SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİLEKTE AĞIR METAL STRESİNE KARŞI BAZI FAYDALI BAKTERİLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Murat ŞAHİN

DOKTORA TEZİ

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Şubat-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Murat ŞAHİN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÇİLEKTE AĞIR METAL STRESİNE KARŞI BAZI FAYDALI BAKTERİLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Murat ŞAHİN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lütfi PIRLAK

2023, 289 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Lütfi PIRLAK
Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN
Prof. Dr. Ahmet Tuğrul POLAT
Prof. Dr. Rafet ASLANTAŞ
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

Bu çalışmada, bitki büyümesini düzenleyici bazı bakteri suşlarının (*Pseudomonas* sp.) kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) toksisitesi altında yetiştirilen üç çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.) çeşidinin bazı morfolojik, fizyolojik, anatomik, pomolojik ve ağır metal biriktirme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Çalışma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitkisel Biyoteknoloji Bölümüne ait bitki yetiştirme odasında yürütülmüştür. Yetiştirme odasında, nötr gün çilek çeşitleri için 16/8, kısa gün çeşidi için ise 10/14 (gündüz/gece) ışıklanma sürelerinde, 27,5/25,0 ºC sıcaklık aralığında (gündüz/gece) ve yaklaşık %70 nem değerlerinde çalışılmıştır. Bitkisel materyal olarak Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin standardize edilmiş birinci sınıf frigo fideleri kullanılmıştır. Bitkiler, torf: dere kumu: toprak (2: 1: 1) içeren ortamda yetiştirilmiştir. Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre (3 çeşit x 2 ağır metal x 3 doz x 4 bakteri x 3 tekerrür) kurulmuştur. Kadmiyum dozu olarak, 0, 100 ve 300 mg kg^{-1}; kurşun dozu olarak, 0, 500 ve 1500 mg kg^{-1} kullanılmıştır.

Çalışmada, kök boğazı çapı, kök yaş/kuru ağırlığı, yeşil aksam yaş/kuru ağırlığı, kök uzunluğu, primer kök sayısı, yaprak alanı/sayısı, ortalama meyve ağırlığı, ortalama meyve boyu, ortalama meyve eni, SPAD, yaprak oransal su içeriği, iyon sızıntısı, stoma boyu, stoma eni, stoma sayısı, yaprak eni, primer kök Cd/Pb içeriği, sekonder kök Cd/Pb içeriği, yaprak Cd/Pb içeriği, yaprak sapı Cd/Pb içeriği ve Translokasyon Faktörü parametreleri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, kadmiyum ve kurşun uygulamaları ile incelenen parametrelerin büyük çoğunluğu olumsuz etkilenmiş ancak kadmiyum uygulamalarının yeşil aksam yaş/kuru ağırlığı, kök uzunluğu, SPAD, yaprak oransal su içeriği ve iyon sızıntısı ile kurşun uygulamalarının kök boğazı çapı, kök uzunluğu ve stoma eni üzerine etkileri kararsız bulunmuştur. Bitkiler tarafından alınan ağır metal miktarı, uygulanan doza bağlı olarak bakteri uygulanmamış bitkilerde artmış olmasına karşın, özellikle MŞ-7 (Pb) ve MŞ-13 (Cd) suşları alımı özellikle yüksek dozda önemli ölçüde azaltmıştır. Her

iki ağır metal uygulamasında da en fazla ağır metal alan çeşit YFL olmuştur. Bununla birlikte, en az ağır metal alımı kadmiyum denemesinde Kabarla, kurşun denemesinde Rubygem çeşidinde tespit edilmiştir. Kadmiyumun yapraklara taşınmasını MŞ-12 ve MŞ-13, kurşunun taşınmasını MŞ-7 bakteri suşları daha çok engellemiştir. Translokasyon Faktörü'nü en fazla azaltan bakteri suşu kadmiyum denemesinde MŞ-13, kurşun denemesinde MŞ-7 olmuştur. Çeşitler arasında yapraklarına oransal olarak en fazla kadmiyum taşıyan Rubygem, en fazla kurşun taşıyan ise Kabarla'dır. Kadmiyum denemesinde diğer iki çeşit benzer miktarda, kurşun denemesinde Rubygem en az oranda taşımıştır. Bakteri uygulamaları çilek çeşitlerinde incelenen parametreleri genellikle olumlu etkilemiştir. MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşları çoğu parametrede bakteri yokluğuna göre daha etkili bulunmuştur. Ağır metal uygulamalarından en fazla etkilenen ve en fazla ağır metal (Cd ve Pb) biriktiren çilek çeşidi YFL iken, en az etkilenen ve en az kadmiyum biriktiren Kabarla olmuştur. Ağır metal stresine karşı uygulanan bakteri suşları Rubygem ve Kabarla çilek çeşitleri üzerinde YFL'ye göre daha olumlu etkiler ortaya koymuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kadmiyum ve kurşun uygulamaları tüm çilek çeşitlerinde morfolojik, fizyolojik, pomolojik, anatomik ve ağır metal biriktirme özellikleri üzerinde olumsuz etkiye yol açmıştır. MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşları ağır metal uygulanan çilek bitkilerinde incelenen parametreleri olumlu yönde etkilemiştir. Kurşun alımını azaltmada ise MŞ-7 bakteri suşu daha etkin bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, anatomik özellikler, bitki büyümesini düzenleyici bakteriler, çilek, kadmiyum, kurşun, morfolojik özellikler, *Pseudomonas* sp.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECT OF SOME BENEFICIAL BACTERIA AGAINST THE STRESS OF HEAVY METAL IN STRAWBERRY

Murat ŞAHİN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN HORTICULTURE

Advisor: Prof. Dr. Lütfi PIRLAK

2023, 289 Pages

Jury
Prof. Dr. Lütfi PIRLAK
Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN
Prof. Dr. Ahmet Tuğrul POLAT
Prof. Dr. Rafet ASLANTAŞ
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

In this study, the effects of some plant growth-promoting bacterial strains (*Pseudomonas* sp.) on some morphological, physiological, anatomical, pomological, and heavy metal deposition characteristics of three strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown under cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity were investigated.

The study was carried out in the plant growth room of Siirt University Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology. In the growth room, the study was carried out at 16/8 (day/night) times for day-neutral strawberry cultivars and 10/14 (day/night) for short-day cultivars, at a temperature range of 27,5/25,0 °C (day/night) and approximately 70% relative humidity. Standardized first-class frigo seedlings of Rubygem, Kabarla, and YFL strawberry cultivars were used as plant material. The plants were grown in a medium containing peat: river sand: soil (2: 1: 1). The study was conducted according to the randomized complete blocks design (3 cultivars x 2 heavy metals x 3 doses x 4 bacteria x 3 replications). 0, 100, and 300 mg kg^{-1} were used as cadmium dose, and 0, 500, and 1500 mg kg^{-1} as the lead dose.

In the study, root collar diameter, root fresh/dry weight, above-ground fresh/dry biomass, root length, number of primary roots, leaf area/number, average fruit weight, average fruit length, average fruit width, SPAD, leaf relative water content, ion leakage, stomatal length, stomatal width, stoma number, and leaf width parameters were investigated. In addition, Cd/Pb contents of primary root, secondary root, leaf, and petiole, and Translocation Factor parameters were investigated.

As a result of the study, most of the parameters examined with cadmium and lead applications were negatively affected. However, the effects of cadmium application on above-ground fresh/dry weight, root length, SPAD, leaf relative water content, ion leakage, and the effect of lead applications on root collar diameter, root length, and

stomatal width were found to be unstable. Although heavy metal uptake increased in untreated plants depending on the applied dose, especially MŞ-7 (Pb) and MŞ-13 (Cd) bacterial strains significantly reduced heavy metal uptake, especially at high doses. In both heavy metal applications, YFL was the cultivar that took the highest amount of heavy metals. However, the least heavy metal uptake was detected in Kabarla in the cadmium trial and Rubygem in the lead trial. Bacterial strains MŞ-12 and MŞ-13 inhibited the transport of cadmium to the leaves, while the MŞ-7 bacterial strain prevented the transport of lead. The bacterial strain that reduced the Translocation Factor the most was MŞ-13 in the cadmium trial and MŞ-7 in the lead trial. Among the cultivars, Rubygem carried the most cadmium proportionally to its leaves and Kabarla carried the most lead. In the cadmium trial, the other two cultivars (Kabarla and YFL) carried similar amounts, while in the lead trial, Rubygem carried the least. Bacterial applications generally positively affected the parameters examined in strawberry cultivars. MŞ-12 and MŞ-13 bacterial strains were found to be more effective in most parameters than the control treatments without bacteria. The strawberry cultivar that was most affected by heavy metal applications and accumulated the highest amount of heavy metals (Cd and Pb) was YFL, while Kabarla was the least affected and accumulated the least amount of Cd. Bacterial strains applied against heavy metal stress showed more positive effects on Rubygem and Kabarla compared to YFL.

According to the results obtained from the study, cadmium and lead applications caused negative effects on morphological, physiological, pomological, anatomical, and heavy metal accumulation characteristics in all strawberry cultivars. MŞ-12 and MŞ-13 bacterial strains positively affected the parameters examined in strawberry plants treated with heavy metals. MŞ-7 bacterial strain was found to be more effective in reducing lead uptake.

Keywords: Anatomical characteristics, cadmium, heavy metal, lead, morphological characteristics, plant growth-promoting bacteria, *Pseudomonas* sp., strawberry

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, son yüzyılın önemli sorunlarından biri olan ağır metal kirliliği şartlarında tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için ağır metal toksisitesine karşı bitki büyümesini düzenleyici bakterilerin etkisi incelenmiştir. Ağır metal toksisitesi altında çilek yetiştiriciliğinin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için bitkileri ağır metal stresine karşı koruyabildiği literatürde belirtilmiş olan *Pseudomonas* cinsine ait ve ön deneme neticesinde kadmiyum ve kurşun varlığında en iyi gelişen üç farklı bakteri suşu kullanılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçların tarımsal faaliyetlerin ağır metal ile kirlenmiş topraklarda sağlıklı ve ekonomik bir şekilde yürütülebilmesine ve gelecekte bu alanda yürütülecek çalışmalara katkısı olmasını umarım.

Yürütülmüş olan çalışmanın konusunun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar geçen sürede bilgisini ve deneyimlerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Lütfi PIRLAK, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN ve Prof. Dr. Ahmet Tuğrul POLAT'a teşekkür ederim.

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ve Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı çalışanlarına, bu çalışmanın yapılması ve tamamlanması süreçlerinde sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Çalışmanın çeşitli aşamalarında desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Harun BEKTAŞ, Dr. Öğr. Üyesi Yasemin BEKTAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Sara YASEMİN, çalışmada kullanılan bakteri suşlarını sağlayan Prof. Dr. Sadık DİNÇER, suşların ağır metal varlığındaki tepkisini belirleyen ön çalışmayı yapan Arş. Gör. Fatıma Masume USLU ve anatomik çalışmalarda desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Şenay KARABIYIK'a teşekkürü borç bilirim.

Lisansüstü öğrenimim boyunca desteğini esirgemeyen sevgili eşim Esma ŞAHİN'e ve bu süreç içerisinde doğup büyüyerek manevi güç veren kızlarım Alya Deylem ve Duru'ya ayrıca teşekkür ederim.

Murat ŞAHİN
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iii**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vii**

İÇİNDEKİLER ..... **viii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xxi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Ağır Metal Kaynakları ve Doğaya Yayılma Yolları 11
1.2. Ağır Metallerin Çevreye ve İnsanoğluna Zararları 15
1.3. Ağır Metallerin Bitkilere Zararları 16
1.4. Kadmiyum 18
1.5. Kurşun 23

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **29**

2.1. Kadmiyum Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar 29
2.2. Kurşun Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar 34
2.3. Kadmiyum ve Kurşun Toksisitesinin Birlikte Uygulanması ile İlgili Çalışmalar 39
2.4. Ağır Metal Toksisitesine Karşı Kullanılan Yöntemler ile İlgili Çalışmalar 40
2.5. Diğer Ağır Metallere (Cd ve Pb dışında) Karşı Bakteri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar 47
2.6. Ağır Metallere Karşı Bitki Büyümesini Düzenleyici Bakteri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar 49
2.7. Bakterilerin Ağır Metal Akümülasyonu ile İlgili Çalışmalar 65

3. MATERYAL VE YÖNTEM **69**

3.1. Materyal 69
3.1.1. Çalışmada kullanılan bitkisel materyal 69
3.1.1.1. Rubygem 69
3.1.1.2. Kabarla 69
3.1.2. Çalışmada kullanılan bakteri suşları 70
3.1.3. Çalışmada kullanılan ağır metaller 70
3.1.3.1. Kurşun 70
3.1.3.2. Kadmiyum 71
3.2. Yöntem 71
3.2.1. Yetiştirme ortamının hazırlanması ve deneme deseni 71
3.2.2. Bitkilerin dikilmesi, yetiştirilmesi ve uygulamalar için hazırlanması 72
3.2.2.1. Bitkilerin dikimi 72
3.2.2.2. Bitkilerin yetiştirilmesi 73
3.2.3. Bakteri solüsyonlarının uygulanması 75
3.2.3.1. Bakteri solüsyonlarının hazırlanması 75
3.2.3.2. Bakteri solüsyonlarının bitkilere uygulanması 76
3.2.4. Ağır metallerin uygulanması 76
3.2.4.1. Ağır metal solüsyonlarının hazırlanması 76
3.2.4.2. Ağır metal uygulamalarının yapılması 77
3.2.5. Çalışmada incelenen özellikler 77

3.2.5.1. Morfolojik özellikler 77
3.2.5.1.1. Kök boğazı çapı 77
3.2.5.1.2. Kök yaş ağırlığı 77
3.2.5.1.3. Kök kuru ağırlığı 78
3.2.5.1.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı 78
3.2.5.1.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı 78
3.2.5.1.6. Kök uzunluğu 78
3.2.5.1.7. Primer kök sayısı 78
3.2.5.1.8. Yaprak alanı 79
3.2.5.1.9. Yaprak sayısı 79
3.2.5.2. Pomolojik özellikler 79
3.2.5.2.1. Ortalama meyve ağırlığı 79
3.2.5.2.2. Ortalama meyve boyu 79
3.2.5.2.3. Ortalama meyve eni 79
3.2.5.3. Fizyolojik özellikler 80
3.2.5.3.1. Yaprak klorofil içeriği (SPAD) 80
3.2.5.3.2. Yaprak oransal su içeriği 80
3.2.5.3.3. İyon Sızıntısı 80
3.2.5.4. Anatomik özellikler 81
3.2.5.4.1. Stoma incelemeleri için preparat hazırlığı 81
3.2.5.4.1.1. Stoma boyu 81
3.2.5.4.1.2. Stoma eni 81
3.2.5.4.1.3. Stoma sayısı 81
3.2.5.4.2. Yaprak kalınlığı 82
3.2.5.4.4.1. Yaprak enine kesiti için preparat hazırlığı 82
3.2.5.4.4.2. Yaprak kalınlığının ölçümü 83
3.2.5.5. Ağır metal depolama özellikleri 84
3.2.5.5.1. Kadmiyum depolama özellikleri 84
3.2.5.5.1.1. Primer köklerin kadmiyum içeriği 84
3.2.5.5.1.2. Sekonder köklerin kadmiyum içeriği 84
3.2.5.5.1.3. Yaprakların kadmiyum içeriği 84
3.2.5.5.1.4. Yaprak saplarının kadmiyum içeriği 85
3.2.5.5.2.Kurşun depolama özellikleri 85
3.2.5.5.2.1. Primer köklerin kurşun içeriği 85
3.2.5.5.2.2. Sekonder köklerin kurşun içeriği 85
3.2.5.5.2.3. Yaprakların kurşun içeriği 86
3.2.5.5.2.4. Yaprak saplarının kurşun içeriği 86
3.2.6. İstatistiki analiz 86

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 87

4.1. Araştırma Sonuçları 87
4.1.1. Morfolojik özellikler 87
4.1.1.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkileri 87
4.1.1.1.1 Kök boğazı çapı (mm) 87
4.1.1.1.2. Kök yaş ağırlığı (g) 90
4.1.1.1.3. Kök Kuru ağırlığı (g) 93
4.1.1.1.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı (g) 96
4.1.1.1.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı (g) 99
4.1.1.1.6. Kök uzunluğu (cm) 102
4.1.1.1.7. Primer kök sayısı (adet) 105

4.1.1.1.8. Yaprak alanı (cm^2) 108
4.1.1.1.9. Bitki başına yaprak sayısı (adet) 111
4.1.1.2. Bakteri uygulamaların kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkisi 113
4.1.1.2.1. Kök boğazı çapı (mm) 113
4.1.1.2.2. Kök yaş ağırlığı (g) 116
4.1.1.2.3. Kök kuru ağırlığı (g) 119
4.1.1.2.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı (g) 122
4.1.1.2.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı (g) 125
4.1.1.2.6. Kök uzunluğu (cm) 128
4.1.1.2.7. Primer kök sayısı (adet) 131
4.1.1.2.8. Yaprak alanı (cm^2) 134
4.1.1.2.9. Bitki başına yaprak sayısı (adet) 137
4.1.2. Pomolojik özellikler 140
4.1.2.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi 140
4.1.2.1.1. Ortalama meyve ağırlığı (g) 140
4.1.2.1.2. Ortalama meyve boyu (mm) 143
4.1.2.1.3. Ortalama meyve eni (mm) 146
4.1.2.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi 149
4.1.2.2.1. Ortalama meyve ağırlığı (g) 149
4.1.2.2.2. Ortalama meyve boyu (mm) 152
4.1.2.2.3. Ortalama meyve eni (mm) 155
4.1.3. Fizyolojik özellikler 157
4.1.3.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi 157
4.1.3.1.1. SPAD 157
4.1.3.1.2. Yaprak oransal su içeriği (%) 160
4.1.3.1.3. İyon Sızıntısı (%) 163
4.1.3.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi 166
4.1.3.2.1. SPAD 166
4.1.3.2.2. Yaprak oransal su içeriği (%) 168
4.1.3.2.3. İyon Sızıntısı (%) 171
4.1.4. Anatomik özellikler 174
4.1.4.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi 174
4.1.4.1.1. Stoma boyu (µm) 174
4.1.4.1.2. Stoma eni (µm) 177
4.1.4.1.3. Stoma sayısı (adet/mm^2) 180
4.1.4.1.4. Yaprak kalınlığı (µm) 183
4.1.4.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi 186
4.1.4.2.1. Stoma boyu (µm) 186
4.1.4.2.2. Stoma eni (µm) 188
4.1.4.2.3. Stoma sayısı (adet/mm^2) 191
4.1.4.2.4. Yaprak kalınlığı (µm) 194
4.1.5. Ağır metal biriktirme özellikleri 197
4.1.5.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kadmiyum biriktirme özellikleri üzerine etkisi 197
4.1.5.1.1. Primer köklerin kadmiyum içerikleri (ppm) 197

4.1.5.1.2. Sekonder köklerin kadmiyum içerikleri (ppm) 200
4.1.5.1.3. Yaprakların kadmiyum içerikleri (ppm) 203
4.1.5.1.4. Yaprak saplarının kadmiyum içerikleri (ppm) 206
4.1.5.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kurşun biriktirme özellikleri üzerine etkisi 209
4.1.5.2.1. Primer köklerin kurşun içeriği (ppm) 209
4.1.5.2.2. Sekonder köklerin kurşun içerikleri (ppm) 212
4.1.5.2.3. Yaprakların kurşun içerikleri (ppm) 215
4.1.5.2.4. Yaprak saplarının kurşun içerikleri (ppm) 218
4.2. Tartışma 221
4.2.1. Morfolojik özellikler 221
4.2.1.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkileri 221
4.2.1.1.1. Kök özellikleri 221
4.2.1.1.2. Toprak üstü aksam özellikleri 224
4.2.1.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkisi 227
4.2.1.2.1. Kök özellikleri 227
4.2.1.2.2. Toprak üstü aksam özellikleri 230
4.2.2. Pomolojik özellikler 233
4.2.2.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi 233
4.2.2.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi 235
4.2.3. Fizyolojik özellikler 236
4.2.3.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi 236
4.2.3.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi 238
4.2.4. Anatomik özellikler 239
4.2.4.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi 239
4.2.4.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi 241
4.2.5. Ağır metal depolama özellikleri 243
4.2.5.1. Kadmiyum depolama özellikleri 243
4.2.5.2. Kurşun depolama özellikleri 247

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 250

5.1. Sonuçlar 250
5.2. Öneriler 252

KAYNAKLAR 254

ÖZGEÇMİŞ 290

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yıllara göre dünya çilek üretimi ve 2020 yılında en fazla çilek üreten ülkeler (ton) **(FAO, 2022a)** 2
Tablo 2. İllere göre Türkiye'nin çilek üretim alanı, üretim miktarı ve dekara verimi **(TÜİK, 2022a)** 4
Tablo 3. Dünyada en fazla çilek ihraç eden ilk 10 ülkenin çilek ihracat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000$) **(FAO, 2022b)** 5
Tablo 4. Dünyada en fazla ithalat yapan ilk 10 ülkenin çilek ithalat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000$) **(FAO, 2022b)** 6
Tablo 5. Türkiye'nin ülkelere göre çilek ihracat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000 $) **(TÜİK, 2022b)** 7
Tablo 6. Çilek meyvelerinin besin öğeleri (100 gram taze meyvede) **(Giampieri ve ark., 2012; Anonim, 2022a)** 8
Tablo 7. Johansen karışımlarında kullanılan saf su, etil alkol ve tersiyer bütil alkol (TBA) miktarları (ml) 82
Tablo 8. Parafin kesitlerin boyama prosedürü 83
Tablo 9. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök boğazı çapı (mm) üzerine etkisi 87
Tablo 10. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi 90
Tablo 11. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi 93
Tablo 12. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi 96
Tablo 13. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi 99
Tablo 14. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök uzunluğu (cm) üzerine etkisi 102
Tablo 15. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök sayısı (adet) üzerine etkisi 105
Tablo 16. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak alanı (cm^2) üzerine etkisi 108
Tablo 17. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine etkisi 111
Tablo 18. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine etkisi 114
Tablo 19. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi 117
Tablo 20. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi 119
Tablo 21. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi 123
Tablo 22. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi 126
Tablo 23. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök uzunluğu (cm) üzerine etkisi 128
Tablo 24. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök sayısı (adet) üzerine etkisi 131
Tablo 25. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak alanı (cm^2) üzerine etkisi 134

Tablo 26. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine etkisi 137
Tablo 27. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve ağrılığı (g) üzerine etkisi 140
Tablo 28. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve boyu (mm) üzerine etkisi 144
Tablo 29. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve eni (mm) üzerine etkisi 147
Tablo 30. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine etkisi 150
Tablo 31. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve boyu (mm) üzerine etkisi 153
Tablo 32. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve eni (mm) üzerine etkisi 155
Tablo 33. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde SPAD değeri üzerine etkileri 158
Tablo 34. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine etkileri 161
Tablo 35. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde iyon sızıntısı (%) üzerine etkileri 163
Tablo 36. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde SPAD üzerine etkileri 166
Tablo 37. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine etkileri 169
Tablo 38. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde iyon sızıntısı (%) üzerine etkileri 172
Tablo 39. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma boyu (µm) üzerine etkileri 175
Tablo 40. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma eni (µm) üzerine etkileri 178
Tablo 41. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine etkileri 181
Tablo 42. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kalınlığı (µm) üzerine etkileri 183
Tablo 43. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma boyu (µm) üzerine etkileri 186
Tablo 44. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma eni (µm) üzerine etkileri 189
Tablo 45. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine etkileri 192
Tablo 46. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kalınlığı (µm) üzerine etkileri 195
Tablo 47. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine etkisi 198
Tablo 48. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine etkisi 201
Tablo 49. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine etkisi 204
Tablo 50. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine etkisi 207
Tablo 51. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine etkisi 210
Tablo 52. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine etkisi 213

Tablo 53. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine etkisi 216
Tablo 54. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine etkisi..... 218

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Yetiştirme ortamının hazırlanma aşamaları. Soldan sağa sırasıyla; kum ve toprak karışımına torfun yarısının karıştırılması, karışıma torfun kalan yarısının karıştırılması, karışımın ikinci defa karıştırılması, karışımın üçüncü defa karıştırılması, karışımın saksılara doldurulması ve saksıların 1.250 g karışım içerecek şekilde tartılması 72
Şekil 2. Fide dikim aşamaları (sırasıyla; fide dikim öncesi sulama, saksılara fidelerin konulması, fidelerin dikilmesi, dikim sonrası sulama ve fide dikilmiş tek bir saksının üstten görünüşü) 73
Şekil 3. Fidelerin uygulamalara hazır hale gelinceye kadar yetiştirilmesi (sırasıyla; nötr gün çeşitlerinin uzaktan ve yakından görünüşü) 74
Şekil 4. Bakteri solüsyonlarının hazırlanması (soldan sağa sırasıyla; bakteri yetiştirme ortamının hazırlanması, gelen kültürün gençleştirilmesi, hazır gelen kültür, yeni ortama ekilen kültürlerin ısıtıcılı çalkalayıcıda bekletilmesi, ikinci bakteri yetiştirme ortamının hazırlanması ve bakterilerin ikinci defa çoğaltılması) 75
Şekil 5. Hazırlanan bakteri suşlarının bitkilere uygulanması (Her bir suş steril ayrı beherler kullanılarak uygulanmıştır) 76
Şekil 6. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 88
Şekil 7. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 89
Şekil 8. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 89
Şekil 9. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 91
Şekil 10. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 92
Şekil 11. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 92
Şekil 12. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 94
Şekil 13. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 95
Şekil 14. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 95
Şekil 15. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 97
Şekil 16. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 98
Şekil 17. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 98
Şekil 18. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 100
Şekil 19. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 101
Şekil 20. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 102
Şekil 21. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 103
Şekil 22. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 104
Şekil 23. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök uzunluğu (cm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 104

Şekil 24. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 106
Şekil 25. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 107
Şekil 26. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 107
Şekil 27. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 109
Şekil 28. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 110
Şekil 29. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak alanı (cm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 110
Şekil 30. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 112
Şekil 31. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 112
Şekil 32. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 113
Şekil 33. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 115
Şekil 34. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 115
Şekil 35. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 116
Şekil 36. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 118
Şekil 37. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi 118
Şekil 38. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 119
Şekil 39. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 120
Şekil 40. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi 121
Şekil 41. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 121
Şekil 42. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 124
Şekil 43. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi 124
Şekil 44. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 125
Şekil 45. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 127
Şekil 46. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi 127
Şekil 47. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 128
Şekil 48. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 129
Şekil 49. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 130

Şekil 50. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök uzunluğu (cm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 130
Şekil 51. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 132
Şekil 52. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine kurşun dozlarının etkisi 133
Şekil 53. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 133
Şekil 54. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 135
Şekil 55. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine kurşun dozlarının etkisi 136
Şekil 56. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak alanı (cm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 136
Şekil 57. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 138
Şekil 58. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine kurşun dozlarının etkisi 139
Şekil 59. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 139
Şekil 60. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 141
Şekil 61. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağrılığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 142
Şekil 62. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 142
Şekil 63. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 145
Şekil 64. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 145
Şekil 65. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve boyu (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 146
Şekil 66. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 148
Şekil 67. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 148
Şekil 68. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve eni (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 149
Şekil 69. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 151
Şekil 70. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi 151
Şekil 71. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 152
Şekil 72. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 153
Şekil 73. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 154
Şekil 74. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve boyu (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 154
Şekil 75. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 156

Şekil 76. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 156
Şekil 77. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve eni (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 157
Şekil 78. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 159
Şekil 79. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 159
Şekil 80. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde SPAD üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 160
Şekil 81. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 162
Şekil 82. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 162
Şekil 83. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 163
Şekil 84. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 164
Şekil 85. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 165
Şekil 86. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde iyon sızıntısı (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 165
Şekil 87. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 167
Şekil 88. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine kurşun dozlarının etkisi 168
Şekil 89. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde SPAD üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 168
Şekil 90. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 170
Şekil 91. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine kurşun dozlarının etkisi 170
Şekil 92. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 171
Şekil 93. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 173
Şekil 94. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 173
Şekil 95. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde iyon sızıntısı (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 174
Şekil 96. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 176
Şekil 97. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 176
Şekil 98. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma boyu (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 177
Şekil 99. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 179
Şekil 100. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 179
Şekil 101. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma eni (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 180
Şekil 102. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 181

Şekil 103. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 182
Şekil 104. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 183
Şekil 105. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 184
Şekil 106. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 185
Şekil 107. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kalınlığı (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 185
Şekil 108. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 187
Şekil 109. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 188
Şekil 110. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma boyu (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 188
Şekil 111. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 190
Şekil 112. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 190
Şekil 113. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma eni (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 191
Şekil 114. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 193
Şekil 115. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine kurşun dozlarının etkisi 193
Şekil 116. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 194
Şekil 117. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 196
Şekil 118. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 196
Şekil 119. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kalınlığı (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 197
Şekil 120. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 199
Şekil 121. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 199
Şekil 122. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 200
Şekil 123. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 202
Şekil 124. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 202
Şekil 125. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 203
Şekil 126. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 205
Şekil 127. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi 205
Şekil 128. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 206

Şekil 129. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 208
Şekil 130. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi..... 208
Şekil 131. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi 209
Şekil 132. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 211
Şekil 133. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 211
Şekil 134. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi..... 212
Şekil 135. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 214
Şekil 136. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 214
Şekil 137. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm üzerine bakteri uygulamalarının etkisi..... 215
Şekil 138. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi..... 216
Şekil 139. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi..... 217
Şekil 140. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi..... 217
Şekil 141. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine Pseudomonas sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi 219
Şekil 142. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi 220
Şekil 143. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi..... 220

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$	: Amerikan doları
%	: Yüzde
^{o}	: Derece
^{o}C	: Santigrat derece
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
cm^2	: Santimetre kare
mm^2	: Milimetre kare
µg m^{-3}	: Mikrogram/metreküp veya mikrogram/ton
g cm^{-3}	: Gram/santimetre küp
µg dm^{-3}	: Mikrogram/desimetreküp veya mikrogram/litre
t	: Ton
kg	: Kilogram
g	: Gram
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
t/da	: Ton/dekar
kg/ha	: Kilogram/hektar
kg da^{-1}	: Kilogram/dekar
g/ha	: Gram/hektar
g/da	: Gram/dekar
g/da/yıl	: Gram/dekar/yıl
mg kg^{-1}	: Miligram/kilogram
µg kg^{-1}	: Mikrogram/kilogram
µg g^{-1}	: Mikrogram/gram
L	: Litre
g L^{-1}	: Gram/litre
mg L^{-1}	: Miligram/litre
M	: Molar
mM	: Milimolar
mM/kg^{-1}	: Milimolar/kilogram
mmol L^{-1}	: Milimol/litre
µmol L^{-1}	: Mikromol/litre
µM	: Mikromolar
ppm	: Milyonda bir değer
dS m^{-1}	: DesiSiemens/metre veya elektriksel iletkenlik
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Au	: Altın
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Cd	: Kadmiyum

$CdCl^+$: Kadmiyum klorid
CdO : Kadmiyum oksit
CdS : Kadmiyum sülfür
CdSe : Kadmiyum selenür
Co : Kobalt
Cr : Krom
Cs : Sezyum
Cu : Bakır
Fe : Demir
Hg : Cıva
H_2O_2 : Hidrojen peroksit
K : Potasyum
Li : Lityum
Mn : Mangan
Mo : Molibden
Na : Sodyum
Ni : Nikel
P : Fosfor
Pb : Kurşun
$Pb(AsO_4)_3Cl$: Mimetesite
$PbCO_3$: Cerussite
Pb_3O_4 : Minium
$Pb(PO_4)_3Cl$: Pyromorphite
PbS : Galena
$Pb_5Sb_4S_{11}$: Boulangerite
$PbSO_4$: Anglesite
pH : Hidrojen potansiyeli
Rb : Rubidyum
Sb : Antimon
Se : Selenyum
Si : Silisyum
Sn : Kalay
Sr : Stronsiyum
Tl : Talyum
U : Uranyum
V : Vanadyum
W : Tungsten
yy : Yüzyıl
Zn : Çinko

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ACC : 1-amilosiyklopropan-1-karboksilat
ACP : Acyl taşıyıcı protein
AMF : Arbuskuler mycorrhizal fungi/Arbüsküler mikorizal mantar
APX : Askorbat proksidaz
ASA : Askorbat
CAT : Katalaz
CYS : Sistein

EDTA : Etilendiamintetraasetik asit
EPs : Exracellular polymeric substances
EPSs : Ekzopolisakkarits
FAO : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
GR : Glutatyon redüktaz
G-POD : Gualikol peroksidaz
GSH : Glutatyon
İh.D : İhracat değeri
İh.M : İhracat miktarı
İS : İyon sızıntısı
İt.D : İthalat değeri
İt.M : İthalat miktarı
KKTC : Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
MŞ-7 : Murat Şahin–7
MŞ-12 : Murat Şahin-12
MŞ-13 : Murat Şahin-13
NPK : Azot, fosfor, potasyum
Ort. : Ortalama
Örn. : Örneğin
PCs : Fitoşelatin sintaz
POD : Peroksidaz
PKCdİ : Primer kök kadmiyum içeriği
PKPbİ : Primer kök kurşun içeriği
SKCdİ : Sekonder kök kadmiyum içeriği
SKPbİ : Sekonder kök kurşun içeriği
SOD : Süperoksit dismütaz
SPAD : Single-photon avalanche diode (Tek fotonlu çığ diotu) (ışık yayarak yaprak rengine göre klorofil miktarını belirleme yöntemi)
TF : Translokasyon Faktörü
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
USDI : Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığı
vb. : Ve benzeri
YCdİ : Yaprak kadmiyum içeriği
YPbİ : Yaprak kurşun içeriği
YSCdİ : Yaprak sapı kadmiyum içeriği
YSPbİ : Yaprak sapı kurşun içeriği
WMSY : Dünya metal yıllık istatistiği
YOSİ : Yaprak oransal su içeriği

1. GİRİŞ

Çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.), *Rosaceae* familyasının *Potentiloideae* alt familyasının *Fragaria* cinsine ait bir meyve türüdür (Ağaoğlu, 1986; Martinelli, 1992; Hancock, 2008; Hummer ve Hancock, 2009). Eski Yunan ve Romalıların bahçelerinde yer verdiği çilek (*F. vesca* L.) 1300'lü yıllardan itibaren Avrupa çapında yayılmış (Darrow, 1966) ve 1600'lü yıllarda Yeni Dünya çilek türlerinin keşfine kadar yaygın olarak yetiştirilmiştir (Hummer ve Hancock, 2009). Yeni Dünya'da keşfedilip Avrupa'ya taşınan *F. virginiana* Mill. (*F. x ananassa* Duch.'ın ebeveynlerinden; 16. yy)'nın (Wilhelm ve Sagen, 1974; Hancock, 2008) *F. vesca* L.'nın yerini almasıyla Yeni Dünya türleri günümüz çileğinin gelişimi sürecini domine etmeye başlamıştır. *F. x ananassa* Duch.'nın ebeveynlerinden bir diğeri olan *F. chiloensis* (L.) Mill. ise Avrupalılar tarafından 1700'lü yıllarda keşfedildiği sırada Şili'nin yerli halkı olan Mapuçeler tarafından 1000 yıldır yetiştirilmekteydi (Darrow, 1966; Hancock, 2008). Şili çilek türlerinin Avrupa'ya taşınmasından sonra meyve vermemesi sebebiyle gözden düşmesinden kısa bir süre sonra *F. chiloensis* (L.) Mill.'in *F. moschata* Duch. veya *F. virginiana* Mill. ile tozlanmasıyla meyve verdiği genç Fransız botanikçi Antoine Nicholas Duchesne tarafından tespit edilmiştir. Duchesne, 1766 yılında bir tesadüf melezi olan günümüz çileğini keşfetmiş ve kokusunun ananasa benzerliği sebebiyle *F. x ananassa* Duch. (*F. chiloensis* (L.) Mill. x *F. virginiana* Mill.) olarak isimlendirmiştir. 1700'lerden sonra, eskinin yaygın türleri olan *F. vesca* L. ev bahçelerinde ve ıslah çalışmalarında, *F. chiloensis* (L.) Mill. ise Şili'de küçük bir bölgede yetiştirilmeye devam etmiştir (Hummer ve Hancock, 2009). *F. x ananassa* Duch. ise bugün dünyanın hemen her yerinde yetiştirilmektedir.

Çilek, yüksek adaptasyon kabiliyeti ve sahip olduğu çok sayıda çeşit sebebiyle bugün dünyanın birçok yerinde yetiştirilebilmektedir. Günümüzde, arktik sınırdan tropikal bölgelere, 250 mm yağış alan çöllerden 3.500 metre yükseklikteki tropikal dağlara ve kış aylarında sıcaklığın -45^{o}C'ye düştüğü bölgelerden tropik ve subtropik alanlara kadar geniş bir coğrafyada yetiştirilmektedir (Hummer ve Hancock, 2009; FAO, 2022a). Birleşmiş Milletler'e bağlı Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, 2020 yılında dünyada ticari olarak 77 ülkede çilek üretilmiş olup, bunlardan 40'ının üretim miktarı 10 bin tonun üzerindedir. 2020 yılında çilek üreten ülkelerden 37'si Avrupa kıtasında iken, 17'si Asya, 14'ü Amerika, 7'si Afrika ve 2'si de Okyanusya'da yer almaktadır. 2020 yılında dünyada üretilen 8.861.381 ton çileğin yaklaşık yarısı Asya, 2.012.879 tonu

Amerika, 1.664.506 tonu Avrupa, 785.227 tonu Afrika ve 62.166 tonu ise Okyanusya'da üretilmiştir. 2000 yılı başında dünya çilek üretimi 4.578.437 ton iken, üretim 20 yılda neredeyse ikiye katlanmıştır. 2020 yılında üretilen çileğin yaklaşık %80'i 10 ülkede üretilmiştir. Bu ülkeler sırasıyla; Çin, ABD, Meksika, Türkiye, Mısır, İspanya, Rusya, Polonya, Güney Kore ve Japonya'dır. 1990 yılında dünya çilek üretim alanı 2.096.240 dekar iken, 2020 yılında 3.846.680 dekara ulaşmıştır. 30 yıl içinde üretim alanı %83 oranında artmışken, üretim miktarındaki artış 3,6 kat olmuştur. 2020 yılı üretim rakamlarına göre sıralandığında dünya çilek üretiminin yaklaşık olarak 1/3'ünü karşılayan Çin (3.326.816 ton) ilk sırada yer alırken, ABD (1.055.963 ton) ikinci ve Mısır (597.029 ton) üçüncü sırada yer almaktadır. Bu üç ülkeyi sırasıyla; Meksika (557.514 ton), Türkiye (546.625 ton), İspanya (272.550 ton), Brezilya (218.881 ton), Rusya (218.400 ton), Polonya (167.300 ton) ve Fas (166.955 ton) izlemektedir **(Tablo 1)** (FAO, 2022a).

Tablo 1. Yıllara göre dünya çilek üretimi ve 2020 yılında en fazla çilek üreten ülkeler (ton) (FAO, 2022a)

Ülke/Yıl	1990	2000	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Çin	---------	1.180.000	1.794.000	2.803.500	2.851.100	3.060.300	3.199.455	3.326.816
ABD	568.940	862.828	1.293.650	1.390.410	1.234.130	1.183.870	1.035.098	1.055.963
Mısır	43.053	70.612	238.432	435.344	318.950	445.106	545.284	597.029
Meksika	106.912	141.130	226.657	392.625	658.436	653.639	861.337	557.514
Türkiye	51.000	130.000	299.940	375.800	400.167	440.968	486.705	546.525
İspanya	206.500	344.865	277.355	397.369	360.416	344.680	351.960	272.550
Brezilya	2.100	112.123	133.391	135.000	155.000	179.700	165.440	218.881
Rusya	---------	160.000	165.000	182.000	159.900	199.000	208.800	218.400
Polonya	241.284	171.314	153.410	204.889	177.921	205.200	185.400	167.300
Fas	1.000	105.000	140.600	141.100	161.793	143.440	167.827	166.955
Diğerleri	1.241.378	1.297.565	1.561.918	2.155.851	1.768.802	1.678.297	1.802.323	1.733.448
Dünya	**2.462.167**	**4.578.437**	**6.284.353**	**8.221.263**	**8.246.615**	**8.534.200**	**9.009.629**	**8.861.381**
Alan(ha)	**209.624**	**317.087**	**301.292**	**377.112**	**370.986**	**395.178**	**400.026**	**384.668**

Son yıllarda dünya çilek üretiminde ilk 5 ülke arasında yer alan ve 2020 yılında dünya çapında üretilen çileğin yaklaşık 1/9'unu üreten Türkiye'de 2021 yılında 70 ilde çilek üretilmiştir. Çilek üretim alanı ve çilek üretim miktarı dünyada olduğu gibi Türkiye'de de her geçen yıl artmıştır. Türkiye'de 2004 yılında 97.500 dekar alandan 155.000 ton çilek üretilirken, 2021 yılında 186.761 dekar alandan 669.195 ton çilek üretilmiş ve bu sürede üretim 4, birim alana verim ise hemen hemen 2 katına ulaşmıştır. (TÜİK, 2022a).

Türkiye'de 2021 yılı çilek üretiminin yaklaşık %90'ı 10 ilden elde edilmiştir. En fazla çilek üretiminin yapıldığı il olan Mersin 2021 yılında Türkiye üretiminin 1/3'ünden fazlasını tek başına karşılamıştır. **Tablo 2**'de de görülebileceği gibi en fazla üretim yapan iller sırasıyla; Mersin, Aydın, Antalya, Konya, Bursa, Çanakkale, Manisa, Balıkesir, Hatay ve Elazığ'dır. Bu iller arasında, Hatay, Çanakkale, Balıkesir ve Konya'da çilek üretimi son yıllarda diğerlerine göre yüksek oranda artış göstermiştir. Görüldüğü üzere çilek üretimi Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde önemli bir tarımsal faaliyet haline gelmiştir (TÜİK, 2022a).

Dünyada 2010 yılından 2020 yılına kadar çilek üretim alanı %27,67 artmışken **(Tablo 1)**, Türkiye'de bu artış %53,93 oranında gerçekleşmiştir **(Tablo 2)**. Ülkemizde çilek üretim alanı özellikle son yıllarda oldukça hızlı artmıştır. Özellikle Çanakkale, Manisa ve Hatay illerinde üretim alanı artışı oldukça yüksektir (TÜİK, 2022a). Dünyada üretilen çileğin önemli bir kısmı dış satıma konu olmaktadır. Çilek üretmeyen, üretimi ülke içi tüketime yetmeyen ve/veya yılın belirli dönemlerinde çilek üreten ülkeler, üretici ülkelerden çilek satın almaktadır. Öyle ki en fazla çilek üreten ülkeler dahi yılın belirli zamanlarında üretim yapmadıkları için diğer ülkelerden çilek satın almaktadırlar.

Dünyada çilek ihracatı 1990'lı yıllardan günümüze hızla artmıştır. 2020 yılında en fazla ihracat yapan ilk 10 ülke toplam ihracatın %88'ini karşılarken, bu ülkeler 1990 yılında toplam ihracattan %68 pay almıştır. Özellikle Meksika, Yunanistan, Mısır, Türkiye, Fas ve Polonya son yıllarda dünya çilek ticaretinden yüksek pay almaya başlamıştır. İspanya ve ABD geçmişten gelen ihracat liderleri iken, son yıllarda ilk 10'a yeni ülkeler girmiştir. 2020 yılında en fazla ihracat yapan İspanya 290.826 ton ile toplam ihracatın %31'ini tek başına karşılamaktadır. Meksika 149.461 ton ve %16 pay ile ikinci, ABD 132.333 ton ve %14 pay ile üçüncüdür. Türkiye ise son yıllarda artan ihracat miktarı ile 2020 yılında 25.298 ton ve %2,71 pay ile 8. sırada yer almaktadır. Bununla birlikte, Meksika, ABD, Hollanda ve Belçika gibi ülkeler sattıkları kilogram başına 3-6 $, İspanya, Mısır ve Fas 2-3 $, Türkiye, Polonya ve Yunanistan ise 1-2 $ arasında gelir elde etmektedir **(Tablo 3)** (FAO, 2022b).

Tablo 2. İllere göre Türkiye'nin çilek üretim alanı, üretim miktarı ve dekara verimi (TÜİK, 2022a)

Yıllar		İller											Türkiye
		Mersin	**Bursa**	**Konya**	**Aydın**	**Antalya**	**Çanakkale**	**Manisa**	**Hatay**	**Elazığ**	**Balıkesir**	**Diğerleri**	
2005	**Üretim (t)**	95.659	25.797	21.398	2.427	34.335	49	1.008	---	---	2.058	16.768	**200.000**
	Alan (da)	25.000	38.990	3.210	7.530	5.960	130	450	---	---	660	15.600	**100.000**
	Verim (t/da)	3,83	0,66*	6,67	0,32*	5,76	0,38*	2,24	---	---	3,12	1,07	**2,00**
2010	**Üretim (t)**	142.269	30.070	31.851	10.976	29.692	1.061	14.913	---	---	5.767	32.333	**299.940**
	Alan (da)	37.660	30.265	5.855	8.347	9.262	439	3.514	---	---	719	17.753	**116.792**
	Verim (t/da)	3,78	0,99	5,44	1,31	3,21	2,42	4,24	---	---	8,02*	1,82	**2,57**
2015	**Üretim (t)**	124.376	60.833	45.522	24.508	48.917	9.928	17.304	920	509	7.339	35.646	**375.800**
	Alan (da)	40.336	31.030	10.273	14.512	12.130	3.090	5.026	215	2.895	653	21.732	**141.899**
	Verim (t/da)	3,08	1,96	4,43	1,69	4,03	3,21	3,44	4,28	0,18*	11,24*	1,64	**2,65**
2016	**Üretim (t)**	164.988	59.973	43.647	28.482	44.333	9.929	12.952	736	588	7.148	42.374	**415.150**
	Alan (da)	44.214	31.421	14.324	16.231	11.919	3.246	3.988	323	3.585	568	24.489	**154.308**
	Verim (t/da)	3,73	1,91	3,05	1,68	3,72	3,06	3,25	2,28	0,16*	12,58*	1,73	**2,69**
2017	**Üretim (t)**	123.783	61.273	45.348	37.572	47.757	14.235	13.974	669	753	9.232	45.571	**400.167**
	Alan (da)	40.816	31.515	16.697	16.243	11.969	4.091	4.011	405	3.698	528	23.945	**153.918**
	Verim (t/da)	3,03	1,94	2,72	2,31	3,99	3,48	3,48	1,65	0,20*	17,48*	1,90	**2,60**
2018	**Üretim (t)**	149.438	63.843	45.988	42.183	49.060	16.686	14.220	1.294	933	9.251	48.072	**440.968**
	Alan (da)	46.382	29.280	17.460	16.979	12.159	4.665	4.309	533	3.705	513	25.036	**161.021**
	Verim (t/da)	3,22	2,17	2,63	2,48	4,04	3,58	3,30	2,43	0,25*	18,03*	1,92	**2,74**
2019	**Üretim (t)**	168.654	67.402	56.069	43.607	48.465	23.292	14.286	1.398	3.658	9.251	50.623	**486.705**
	Alan (da)	42.192	29.336	18.073	16.766	12.160	6.465	4.309	1.485	3.705	554	25.854	**160.899**
	Verim (t/da)	4,00	2,30	3,10	2,60	3,99	3,60	3,32	0,94	0,99	16,70*	1,96	**3,02**
2020	**Üretim (t)**	188.267	67.698	51.018	51.098	60.621	30.098	27.451	1.670	11.266	9.490	47.848	**546.525**
	Alan (da)	48.152	30.193	19.529	16.879	12.519	8.364	8.094	4.140	3.925	558	27.424	**179.777**
	Verim (t/da)	3,91	2,24	2,61	3,03	4,04	3,60	3,39	0,40*	2,87	17,54*	1,75	**3,04**
2021	**Üretim (t)**	259.958	66.237	62.488	51.062	48.136	39.199	32.111	17.323	16.652	9.925	66.104	**669.195**
	Alan (da)	44.475	28.239	20.334	16.377	14.832	10.898	9.655	5.139	3.975	2.965	29.872	**186.761**
	Verim (t/da)	5,85	2,35	3,07	3,12	3,25	3,60	3,33	3,37	4,19	3,35	2,21	**3,58**

*: Üretim miktarı ve/veya üretim alanına ait rakamlarda TÜİK kaynaklı muhtemel hatalar sebebiyle verim değerleri Türkiye ortalamasından oldukça sapmıştır.

Dünya çilek ithalatı 1990'lı yıllardan günümüze 3 kattan fazla artmıştır. En büyük ithalatçılar ABD, Almanya, Kanada, İngiltere ve Fransa'dır. 1990'lı yıllarda ilk 10 ithalatçı ülke dışındaki ülkeler toplam ithalatın %20'sinden azını oluştururken, 2020 yılında bu oran %28'i aşmış ve çilek tüketimi dünya çapında yayılmıştır. Önemli ihracatçı ülkeler arasında yer alan Belçika ve Hollanda ithal ettiği çileğin önemli bir kısmını yurt dışına geri satarken, ABD üretim sezonu dışında ithalat yaparak, sezon içinde üretim fazlasını ihraç etmektedir. Ayrıca, 1990'lı yıllarda 1 kg çilek 2,5 $'ın altında bir fiyatla alıcı bulurken, 2020 yılında fiyat 3,5 $ seviyesine ulaşmıştır **(Tablo 4)** (FAO, 2022b).

Tablo 3. Dünyada en fazla çilek ihraç eden ilk 10 ülkenin çilek ihracat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000$) (FAO, 2022b)

Ü/Y*	*	1990	2000	2010	2015	2017	2018	2019	2020
İsp.*	İh.M	103.667	195.336	360.204	283.229	304.313	283.439	300.036	290.826
	İh.D	221.889	213.391	526.331	605.280	663.428	703.210	669.689	678.124
Mek.*	İh.M	14.457	35.049	66.019	92.260	126.167	124.708	137.393	149.461
	İh.D	17.364	50.188	142.331	225.314	428.307	432.408	564.362	588.713
ABD*	İh.M	48.470	63.095	139.810	134.109	146.385	152.129	130.784	132.333
	İh.D	73.457	118.540	378.764	435.610	473.481	475.243	451.201	476.954
Hol.*	İh.M	13.670	17.096	43.090	51.201	59.585	60.153	57.071	59.770
	İh.D	40.689	45.425	243.660	214.429	285.437	297.781	261.854	344.674
Yun.*	İh.M	9	335	14.411	20.391	25.504	29.413	45.175	55.305
	İh.D	18	661	30.684	33.915	32.909	40.772	61.401	82.059
Bel.*	İh.M	----	39.553	38.573	53.243	47.935	45.253	45.069	42.949
	İh.D	----	83.958	161.798	167.794	183.514	180.818	180.584	212.661
Mıs.*	İh.M	163	338	17.513	24.600	23.649	18.127	38.543	31.929
	İh.D	113	117	48.001	74.198	90.003	74.194	88.364	78.537
Tür.*	İh.M	139	60	25.867	17.566	13.716	19.858	25.352	25.298
	İh.D	58	83	28.101	21.618	12.261	23.828	24.867	24.475
Fas	İh.M	190	21.701	18.396	22.880	19.437	16.891	21.439	19.854
	İh.D	386	19.528	26.441	44.130	51.118	47.007	67.842	63.020
Pol.*	İh.M	1705	10.888	15.078	16.402	9.086	5.926	6.411	14.924
	İh.D	655	4248	20.693	17.659	13.347	10.377	11.230	15.327
Diğ.*	İh.M	87.101	85.254	78.157	156.969	172.357	138.307	110.723	109.447
	İh.D	209.348	144.890	259.553	313.458	354.020	338.721	333.972	352.478
Dün.*	**İh.M**	**269.571**	**468.705**	**817.118**	**872.850**	**948.134**	**894.204**	**917.996**	**932.096**
	İh.D	**563.977**	**681.019**	**1.866.157**	**2.153.468**	**2.587.825**	**2.624.359**	**2.715.366**	**2.917.022**

*İh.M: İhracat miktarı, İh.D: İhracat değeri, Ü/Y: Ülke/Yıl, Diğ.: Diğerleri, Dün.: Dünya, İsp.: İspanya, Mek.: Meksika, ABD: Amerika Birleşik Devletleri, Hol.: Hollanda, Yun.: Yunanistan, Bel.: Belçika, Mıs.: Mısır, Tür.: Türkiye, Pol.: Polonya

Türkiye'nin çilek ihracatı 2005 yılından önce yok denecek kadar azken, son yıllarda artmaya başlamıştır (FAO, 2022b; TÜİK, 2022b). Türkiye 2021 yılında 55 ülkeye toplam 42.108 ton çilek ihracatı yapmış ve bu satıştan 46.147.292 $ gelir elde etmiştir **(Tablo 5)** (TÜİK, 2022b).

Tablo 4. Dünyada en fazla ithalat yapan ilk 10 ülkenin çilek ithalat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000$) (FAO, 2022b)

Ü/Y*	*	1990	2000	2010	2015	2017	2018	2019	2020
ABD*	İt.M	14.598	34.580	89.955	142.594	166.576	161.889	186.499	197.475
	İt.D	18.878	56.599	225.506	413.300	642.573	609.575	871.353	849.315
Alm.*	İt.M	94.229	125.259	98.445	100.500	108.406	103.726	128.105	130.778
	İt.D	230.143	166.690	246.950	229.653	276.834	282.794	298.850	357.411
Kan.*	İt.M	33.778	50.135	111.168	100.314	110.484	116.314	96.912	100.906
	İt.D	45.609	77.623	293.972	316.136	350.903	339.481	327.608	355.500
İng.*	İt.M	19.086	29.047	38.057	52.841	53.525	48.465	57.379	58.608
	İt.D	55.634	61.539	146.087	218.416	219.975	201.323	206.733	239.526
Fra.*	İt.M	48.864	88.506	93.086	77.894	73.131	59.887	64.357	54.621
	İt.D	123.019	121.510	223.877	176.922	184.412	173.393	162.206	163.472
Rus.*	İt.M	----	720	36.024	48.152	47.671	49.484	43.885	43.366
	İt.D	----	385	92.452	50.293	49.767	66.244	77.101	71.443
İta.*	İt.M	3.051	26.872	36.953	32.759	32.350	35.857	42.314	36.661
	İt.D	10.664	32.538	92.052	78.112	77.614	97.063	97.670	81.748
Hol.*	İt.M	15.163	14.058	30.215	16.050	28.298	26.560	30.113	33.876
	İt.D	23.525	19.070	91.095	47.277	94.399	97.263	108.122	122.044
Bel.*	İt.M	----	24.295	26.269	29.188	37.732	35.176	33.325	33.534
	İt.D	----	30.468	82.697	82.992	113.895	120.523	111.711	129.931
İsp.*	İt.M	303	3.370	14.938	11.514	17.413	15.071	18.519	19.202
	İt.D	1.113	3.333	44.740	29.274	51.359	46.397	53.526	53.827
Diğ.*	İt.M	48.463	89.245	159.468	276.467	269.138	252.742	286.840	273.467
	İt.D	132.557	168.777	443.441	750.727	844.292	850.919	835.065	875.185
Dün.*	**İt.M**	**277.232**	**482.717**	**719.640**	**876.759**	**944.724**	**905.176**	**969.729**	**963.292**
	İt.D	**641.142**	**738.532**	**1.982.869**	**2.393.102**	**2.906.023**	**2.884.975**	**3.149.945**	**3.299.402**

*İt.M: İthalat miktarı, İt.D: İthalat değeri, Ü/Y: Ülke/Yıl, Diğ.: Diğerleri, Dün.: Dünya, ABD: Amerika Birleşik Devletleri, Alm.: Almanya, Kan.: Kanada, İng.: İngiltere, Fra.: Fransa, Rus.: Rusya, İta.: İtalya, Hol.: Hollanda, Bel.: Belçika, İsp.: İspanya

Çilek lezzeti, hoş kokusu ve besin değeri sebebiyle insanların büyük çoğunluğu tarafından sevilen ve çokça tüketilen meyvelerdendir. Olgun çilek meyvelerinin yaklaşık %90'ı su, kalanı ise kuru maddelerden oluşmaktadır (Hemphill ve Martin, 1992). Çilek meyveleri yüksek miktarda C vitaminin yanı sıra, B6, E, K, Tiamin, Riboflavin, Niasin vb. vitaminleri de içerir (Maas ve ark., 1996; Giampieri ve ark., 2012; Anonim, 2022a). Çilek meyveleri şekerler açısından da zengin olup, en fazla glikoz ve früktoz içerir (Wrolstad ve Shallenberger, 1981; Kader, 1991; Maas ve ark., 1996). Ayrıca, çilek meyvelerinde az da olsa sakkaroz ve heksoz da bulunmaktadır (Tablo 6) (Forney ve Breen, 1985; Ranwala ve ark., 1992; Manning, 1998).

Çilek meyveleri organik asitler, özellikle sitrik asit açısından oldukça zengindir. Meyvede bulunan organik asitlerin yaklaşık %88'ini sitrik asit oluşturmaktadır (Green, 1971). Çilek meyvelerinde ayrıca, ellagik asit (Maas ve ark., 1991), bütirik asit, hekzanoik asit (Pérez ve ark., 1992) ve az miktarda diğer tat vericiler bulunmaktadır

(Hirvi, 1983; Shamaila ve ark., 1992; Pérez ve ark., 1996; Pérez ve ark., 1997). Kırmızı rengi sebebiyle antosiyaninler açısından da zengin olan çilek meyvelerinde en fazla pelargonidin-3-glukozit bulunur (Wrolstad ve ark., 1970; Kalt ve ark., 1993). Ayrıca, bol miktarda da siyanidin 3-glukozit içeren çilek meyvelerinde 8 pelargonidin- ve 2 siyanidin- temelli antosiyanin bulunmaktadır (Bakker ve ark., 1994). Çilek meyvelerinde hoş koku verici olarak yüksek miktarda furaneol ve mesifurane bulunmaktadır (Pyysalo ve ark., 1979; Sanz ve ark., 1994). Bunun yanında, yabani çileklerde (*F. vesca* ve *F. virginiana*) hoş koku vericilerin miktarı kültür çeşitlerine göre oldukça fazladır (Hirvi ve Honkanen, 1982). Çilek meyvelerinde yüksek miktarda potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyumun yanı sıra az miktarda sodyum, demir, mangan, çinko, bakır ve selenyum da bulunmaktadır **(Tablo 6)** (Giampieri ve ark., 2012; Anonim, 2022a).

Tablo 5. Türkiye'nin ülkelere göre çilek ihracat miktarı (ton) ve parasal değeri (x1000 $) (TÜİK, 2022b)

2000		**2010**		**2015**		**2021**
Ülke	**M./D**	**Ülke**	**M./D.**	**Ülke**	**M./D.**	**Ülke**	**M./D.**
Almanya	31,6 40,6	**Rusya**	11.798 15.860	**Rusya**	13.238 17.279	**Rusya**	27.432 27.680
Fransa	19,0 28,8	**Romanya**	6.595 4.947	**Irak**	1.564 1.776	**Romanya**	5.685 8.867
Hollanda	4,0 7,0	**Bulgar.**	3.549 3.411	**Romanya**	1.378 1.348	**Irak**	5.284 5.610
Yunan.	1,3 1,7	**Sırbistan**	733 607	**Moldova**	555 431	**Gürcistan**	1.247 226
Makedon.	1,1 1,4	**Polonya**	705 905	**Sırbistan**	257 168	**Suriye**	606 757
Slovenya	0,8 1,4	**Azerbay.**	618 368	**Azerbay.**	145 157	**Sırbistan**	436 476
Romanya	0,7 0,4	**İran**	450 498	**Gürcistan**	117 73	**Kazak.**	318 475
Sırb.-Kar.*	0,5 0,8	**Ukrayna**	319 378	**Polonya**	102 174	**Polonya**	287 507
Bos-Her**	0,3 0,3	**Hırvatis.**	260 288	**KKTC**	63 35	**Belarus**	147 264
Avusturya	0,2 0,8	**Moldova**	171 140	**Fransa**	38 34	**Bos-Her****	77 33
Diğerleri	0,8 0,5	**Diğerleri**	631 638	**Diğerleri**	105 201	**Diğerleri**	584 1.248
Toplam	59,6 83,2	**Toplam**	28.832 28.045	**Toplam**	17.460 21.479	**Toplam**	41.524 44.899

*: Sırbistan–Karadağ
**: Bosna-Hersek
Not: Her bir ülkeye ait kısımda üst satır ihracat miktarını, alt satır yapılan ihracatın parasal değerini ifade etmektedir.

Tablo 6. Çilek meyvelerinin besin öğeleri (100 gram taze meyvede) (Giampieri ve ark., 2012; Anonim, 2022a)

	Besin Öğesi	100 g'da		Besin Öğesi	100 g'da
Genel Öğeler	Su (g)	90,80	**Organik asitler**	Sitrik asit (mg)	700,00
	Enerji (kcal)	33,00		Malik asit (mg)	198,00
	Azot (g)	0,10		Oksalik asit (mg)	<40,00
	Protein (g)	0,64		Pirüvik asit (mg)	<40,00
	Yağ (g)	0,22		Kuinik asit (mg)	<40,00
	Karbonhidrat (g)	7,96			
	Kül (g)	0,34			
Karbonhidrat	Karbonhidrat (g)	7,96	**Mineraller**	Potasyum (mg)	161,00
	Şekerler (g)	4,86		Fosfor (mg)	23,00
	Fruktoz (g)	2,62		Kalsiyum (mg)	17,00
	Glikoz (g)	2,24		Magnezyum (mg)	12,50
	Sakkaroz (g)	<0,25		Sodyum (mg)	<2,00
	Laktoz (g)	<0,25		Mangan (mg)	0,37
	Maltoz (g)	<0,25		Demir (mg)	0,26
	Galaktoz (g)	<0,10		Çinko (mg)	0,11
				Bakır (mg)	0,04
Vitaminler	C Vitamini (mg)	59,60	**Vitaminler**	Kolin (mg)	5,70
	K Vitamini (mg)	2,20		Niasin (mg)	0,39
	E Vitamini (mg)	0,39		Betain (mg)	0,20
	Pantotenik asit (mg)	0,13		B6 Vitamini (mg)	0,05
	Tiamin (µg)	240,00		Riboflavin (µg)	220,00
	Lutein+zeaksantin (µg)	26,00		Folat (µg)	24,00
	Biotin (µg)	<3,70		A Vitamini (µg)	1,00

Çilek, dünyada üzerinde en fazla ıslah çalışması yürütülen meyve türlerinden biridir. 1714 yılında bir Fransız ajan olan Kaptan Amèdèe Frèzier tarafından *F. chiloensis* türünün Avrupa'ya getirilmesi ile (Darrow, 1966; Wilhelm ve Sagen, 1974) başlayan günümüz çileğinin ıslah serüveni, 1750'li yıllardan sonra Fransız botanikçi Antoine Nicholas Duchesne'nin çalışmaları ile hızlanmıştır (Darrow, 1966; Hummer ve Hancock, 2009). 1766 yılında Duchesne tarafından bir tesadüf melezi olan *Fragaria x ananassa* Duch. (*F. chiloensis* x *F. virginiana*) türünün keşfedilmesinden sonra Avrupa genelinde yayılan çilek yetiştiriciliği ıslah çalışmalarını da hızlandırmıştır (Hummer ve Hancock, 2009).

Çilek yetiştiriciliği ve ıslah çalışmalarının Avrupa kıtasında yayılmasından sonra, *F. virginiana* çeşitleri ile küçük miktarda çilek üretiminin yapılmakta olduğu ABD'de de 1800'lü yıllardan itibaren ilk modern çeşitler ortaya çıkmaya başlamıştır. ABD'de ilk planlı ıslah çalışmaları 1840'lı yıllarda 'Honey' (günümüz Amerikan çeşitlerinin önemli bir kısmının atası) çilek çeşidi ile tamamlanmış ve bu çeşit ülkenin doğu şehirlerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. ABD'de 1858 yılından itibaren ise 'Wilson' başta olmak

üzere modern çeşitler ıslah edilmeye ve yaygın şekilde yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu tarihten itibaren çilek üretimi ABD'de önemli bir iş kolu haline gelmeye başlamış, Doğu ve Orta kesimdeki eyaletlerin büyük kısmında çilek üretilir hale gelmiştir. Bu sırada Avrupa'da çilek üretimi ve ıslah çalışmaları yaygınlaşmış, Fransa ve İngiltere'nin yanında Almanya'da da ıslah çalışmaları hızlanmıştır. 1900'lü yıllara gelindiğinde, ABD, İngiltere, Fransa ve Almanya'nın yanı sıra Hollanda, Belçika, Danimarka, İsveç, İtalya, Polonya, Macaristan, Rusya, Japonya, Avustralya, Yeni Zelanda, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Meksika'da da çilek üretimi ve ıslahı yaygınlaşmıştır (Darrow, 1966; Hummer ve Hancock, 2009).

İnsanoğlunun metalleri işlemeye başladığı antik çağlardan günümüze kadar kullandığı ve yoğunluğu 5 g cm^{-3}'ten fazla olan metaller "ağır metal" olarak tanımlanmaktadır. Bu da doğal olarak oluşmuş 90 elementten 53'ünün ağır metal olarak tanımlanmasını sağlamaktadır (Holleman ve Wieberg, 1985; Abdelatey ve ark., 2011). Bununla birlikte, yoğunluğu 5 g cm^{-3}'ten az olup, canlı organizmalara zarar veren metaller de bulunmaktadır (Örn.: baryum '3,35 g cm^{-3}' ve titanyum '4,51 g cm^{-3}') (Chaudhry ve ark., 1977; Kim ve ark., 2019).

Tüm topraklar periyodik tablodaki hemen hemen tüm metalleri içermesine rağmen toprak içindeki oranları geniş varyasyon gösterir. Ağır metaller toprak içinde; 1) Birincil ve ikincil minerallerin kristal yapılarına bağlanmış olarak, 2) Kil, oksit ve karbonatlar gibi ikincil minerallerin yüzeylerine bağlanmış olarak, 3) Topraktaki organik maddelere bağlanmış olarak, 4) Serbest iyonlar olarak ve 5) Suda çözünebilir organik ve inorganik bileşikler olarak bulunur (Peters, 1987; Alloway, 2013; Davidson, 2013; Young, 2013). Bununla birlikte, ağır metaller çoğunlukla yerkürede karbonat, fosfat, silikat ve sülfürler ile bileşik formunda istikrarlı olarak bulunur (Rose ve ark., 1979; Kahvecioğlu ve ark., 2003; Young, 2013). Fakat, pH, sıcaklık, toprak organizmaları, uygulanan tarım yöntemleri, yetiştirilen bitki, toprağa eklenen yeni kimyasallar ve sulama gibi insan müdahaleleri sonucu toprak minerallerine sıkıca bağlı olan ağır metaller bitkiler tarafından alınabilir formlara dönüşebilir (Brümmer ve Herms, 1983; Jørgensen, 1993; McLaughlin ve ark., 1994; Cieśliński ve ark., 1996; Weggler ve ark., 2004; Jiang ve ark., 2008).

Doğal olarak toprakta var olan ağır metaller genellikle toprak bileşiklerine tutunmuş halde bulunur. Deprem, yanardağ patlaması, sel vb. sebeplerle yer altı ve yer üstü sularına karışan ağır metaller ekosisteme yayılabilmektedir. Fakat, bu şekilde doğal süreçlere katılan ağır metal miktarı sınırlı olup, dar bölgeleri etkiler ve insan kaynaklı ağır

metallere nazaran bitkiler tarafından daha zor alınır (Lewin ve Beckett, 1980; Grupe ve Kuntze, 1988; Chlopecka, 1993). Günümüzde dünya çapında yaşanan ağır metal kirliliğinin temel sebebi insanoğludur (Buat-Ménard, 1984; Ramade, 1987; Birke ve Rauch, 1999). İnsanoğlunun metalleri işlemeye başlamasından günümüze kadar geçen sürede doğal süreçler haricinde doğaya önemli miktarda ağır metal yayılmıştır (Buat-Ménard, 1984; Boutron ve ark., 1995; Ernst, 1998; Steinnes ve Friedland, 2006). İnsanoğlu, madencilik faaliyetleri, metale dayalı sanayi tesisleri, metal dışı sanayi tesisleri, hidrokarbon kullanımı, kimyevi gübre sanayi, enerji üretimi (termik), ulaşım araçları, evsel atıklar, kanalizasyon atıkları ve pil kullanımı gibi birçok yolla doğaya yüksek miktarda ağır metal yaymaktadır (Chaney, 1980; Sresty ve Rao, 1999; Rether, 2002; Eckel ve ark., 2005; Madrid ve ark., 2006; Jankiewicz ve Adamczyk, 2007; Lehndorff ve Schwark, 2008; Nziguheba ve Smolders, 2008; Reimann ve ark., 2008; Alloway, 2013).

Toprağa karışarak bitkilere zarar veren ağır metaller alüminyum (Al), arsenik (As), bakır (Cu), berilyum (Be), civa (Hg), çinko (Zn), demir (Fe), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), kurşun (Pb), mangan (Mn), nikel (Ni) ve selenyum (Se) elementlerinden oluşurken; altın (Au), antimon (Sb), baryum (Ba), gümüş (Ag), kalay (Sn), molibden (Mo), sodyum (Na), talyum (Tl), tungsten (W), uranyum (U) ve vanadyum (V) ise tali ağır metaller arasında sayılmaktadır (Berg ve Steinnes, 1997; Rühling ve Tyler, 2004; USDI, 2009). Ağır metallerin önemli bir kısmı düşük dozlarda bitkiler için zararlı olmayıp, bazıları bitkiler için gerekli besin elementleri arasındadır (Alloway, 2013). Al, Fe, Zn, Mo, Mn, Cu, Ni, Na ve Co bu elementler arasında yer alır (Godbold ve Hüttermann, 1985; Nies, 1999). Bunlardan, Fe, Cu, Mn, Zn ve Mo mikro besin elementleri arasında yer alırken; Al, Co, Na ve Ni eser miktarda gerekli olan besin elementlerindendir (Sommer ve Lipman, 1926; Sommer, 1931; Arnon ve Stout, 1939; Camp, 1945; Mengel, 1984; Bakkaus ve ark., 2005; Karaman, 2012). Bununla birlikte, yukarıda adı geçen besin elementlerinin yüksek dozları tür ve çeşide bağlı olarak değişmekle beraber bitkilerde toksik etkilere sebep olmaktadır (Wani ve ark., 2007; Rajkumar ve Freitas, 2008). Ayrıca, düşük dozlarda dahi bitkiler için toksik olan, bitkilerin yaşam süreçleri boyunca kullanmadığı ve bir şekilde bitki bünyesine girdiğinde çeşitli bitki dokularında depolanarak biriken ağır metaller de bulunmaktadır. Bu ağır metallerden bir kısmı, Au, Ar, Be, Hg, Ag, Cd, Cr, Pb ve V gibi elementlerdir (Antonovics ve ark., 1971; Kabata-Pendias ve Sadurski, 2004; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Dünyanın çeşitli ülkelerinde yukarıda bahsedilen insan faaliyetleri veya doğal süreçler sebebiyle ağır metal birikimi söz konusudur. Yapılmış birçok çalışma neticesinde, birçok ülkede önemli miktarlarda ağır metal birikimi olduğu bildirilmiştir. Dünya çapında birçok bölgede ortalama ve en yüksek ağır metal değerleri göz önünde tutularak, dünya (Kabata-Pendias, 2000), Avrupa (Salminen, 2005), Baltık ülkeleri (Reimann ve ark., 2003), Çin (Huang ve ark., 2009), ABD (Burt ve ark., 2003), İngiltere (Culbard ve ark., 1988; McGrath ve Loveland, 1992; Ross ve ark., 2007), Hollanda (Brus ve ark., 2009), Danimarka (Bak ve ark., 1997), İrlanda (Zhang ve ark., 2008) ve Kuzey Kaliforniya'da (Goldhaber ve ark., 2009) hemen hemen tüm ağır metallerin yüksek miktarda birikmeye başladığı araştırıcılar tarafından bildirilmiştir. Bunun yanında, farklı zamanlarda ve farklı tekniklerle alınan ölçümlerde İngiltere (Alloway ve ark., 2000; Nicholson ve ark., 2003; Stuart ve ark., 2010), İsviçre (Alloway, 2013), Finlandiya (Alloway, 2013), Yeni Zelanda (Gray ve ark., 2003), Çin (Huang ve ark., 2009; Luo ve ark., 2009) ve ABD'de (Lim ve ark., 2006) atmosferik ağır metal miktarının oldukça yüksek olduğu günümüzün gerçekleri arasındadır. Dünya genelinde, bazı madencilik sahaları (Lehndorff ve Schwark, 2008; Lim ve ark., 2008), sanayi bölgeleri (Gray ve ark., 2003; Jankiewicz ve Adamczyk, 2007; Nabulo ve ark., 2008), tarım alanları (Goodroad ve Caldwell, 1979; Eckel ve ark., 2005; Huang ve Jin, 2008), şehir çevreleri (Dossis ve Warren, 1980; Kitagishi ve Yamane, 1981; Ikem ve ark., 2008) ve otoyol çevreleri (Lehndorff ve Schwark, 2008; Bytyqi ve Sherifi, 2010) çeşitli ağır metaller ile kirlenmiş ve tarım yapılamaz durumdadır.

1.1. Ağır Metal Kaynakları ve Doğaya Yayılma Yolları

Ağır metal kaynakları doğada yer almakta olup, insan etkisiyle ortaya çıkmamıştır. Dünyanın oluşmaya başladığı zamanlardan günümüze kadar göktaşları ile sürekli dünyamıza erişmiş olan bu metaller günümüzde de az da olsa aynı yolla gelmeye devam etmektedir. Dünya henüz lav kütlesi halinde iken bu metaller yoğun olduğu için sıvı olan magma içinde çökelmiş ve önemli bir kısmı dünyanın merkezinde birikmiştir. Bir kısmı da magma ve manto tabakalarında kalmıştır. Dünya soğumaya başladıktan sonra da dünyaya çarpmaya devam eden göktaşı yağmurları ile yer kabuğunda ağır metal birikimi sürmüştür (Photos, 1989; Dai ve ark., 1998; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Ayrıca, yanardağ patlamaları, depremler ve kayaçların parçalanması başta olmak üzere magma ve manto tabakalarında yer alan ağır metaller yeryüzüne çıkmaya ve yağışlarla

yayılmaya günümüzde de devam etmektedir (Kabata-Pendias, 1991; Skiba, 1993; Baize ve ark., 1999; Geagea ve ark., 2008; Pirrone ve Mason, 2009).

Yukarıda belirtilen ağır metal yayılım yolları doğal olup, insan etkisi ile alakalı değildir. Bununla birlikte, bu yollarla yayılan ağır metal miktarı sınırlı ve çoğunlukla bölgeseldir. Belirli bölgeler dışında doğal sebeplerle toksik seviyede ağır metal bulunduran coğrafi alanlar oldukça sınırlıdır (Buat-Ménard, 1984). Ayrıca, kaynağı doğal olan ağır metaller toprakta çoğunlukla çözünmez bileşikler halinde bulunduğundan insan kaynaklı ağır metallere göre bitkiler tarafından alınabilirliği oldukça düşüktür (Grupe ve Kuntze, 1987; Chlopecka, 1993). Yeryüzünde ağır metal kirliliğinin esas sorumlusu olan insanoğlunun en fazla kirliliğe yol açan faaliyetleri arasında madencilik, sanayi, tarım ve kentsel atık üretimi yer almaktadır (Kitagishi ve Yamane, 1981; Gray ve ark., 2003; Eckel ve ark., 2005; Lim ve ark., 2008; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). İnsanoğlu özellikle sanayi devriminin ardından 20. yüzyılın sonuna doğru çevresel bilinç yayılmaya başlayana kadar, özellikle sanayileşmiş ülkeler başta olmak üzere çevreyi önemsemez davranışlar sergilemiştir. Bahsedilen zamana kadar özellikle sanayileşmiş kentler, madenler ve kalabalık şehirlerin etrafında ve yoğun tarım yapılan bölgelerde toprak, su ve havaya önemli miktarda ağır metal yayılmıştır (Bowen, 1979; Goodroad ve Caldwell, 1979; Lehndorff ve Schwark, 2008; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Doğaya ağır metal yayma süreçleri madencilik faaliyetleri ile başlamakta ve insanoğlunun taş devrinin hemen sonrasında metal aletler kullanmaya başladığı dönemden günümüze kadar aynı etki sürmektedir. Metaller ile en fazla kirlenmiş topraklar da maden sahalarının yakın çevresinde veya daha düşük rakımlarda yer almaktadır (Bowen, 1979; Boutron ve ark., 1995; Lim ve ark., 2008). Madencilik sahalarından çevreye metal yayılımı genel olarak yüzey suları, rüzgâr ile toz taşınımı ve su ile yeraltı sularına karışma gibi yollarla gerçekleşmektedir (Huff, 1976; Davies, 1980; Kick ve ark., 1980; Troyer ve ark., 1980; Cairney, 1987).

Bir diğer önemli kaynak ise işletme sürecinde ağır metal veya ağır metal içeren ürün kullanan sanayi tesisleridir. Sanayi tesislerinde kullanılan bu gibi ürünlerde bulunan çeşitli ağır metaller işletmenin kullandığı su, yağış, hava ve depolama sahalarından çevreye kaçma yoluyla özellikle yakın çevreye yayılmaktadır (Buat-Ménard, 1984; Nriagu ve Pacyna, 1988; Lehndorff ve Schwark, 2008). Bu şekilde ağır metal kirliliği en fazla sanayileşmiş ülkelerde görülmektedir. Yapılan birçok çalışmaya göre, kuzey yarımkürenin gelişmiş ülkelerinin havası, toprağı ve suyunda güney yarım küre ülkelerine göre önemli miktarda ağır metal birikimi söz konusudur (Ressar ve Ohlsson, 1985;

Brundin ve ark., 1987; Ramade, 1987; de Miguel ve ark., 1997; Birke ve Rauch, 1999; Ikem ve ark., 2008). Ayrıca, güney yarım kürede havadaki ağır metalin önemli bir kısmı doğal iken, kuzey yarım kürede bazı yerlerde %80'e varan oranlarda insan kaynaklıdır (Buat-Ménard, 1984).

Bir diğer ağır metal kaynağı şehirlerdir. Şehirler ağır metalleri çevreye atık sular, çöpler ve hava yoluyla yaymaktadır. Evlerde kullanılan veya çeşitli şekillerde şehir içi açık alanlarda biriken ağır metaller/ağır metal kaynakları yağışlar ve hane içi su kullanımı yoluyla kanalizasyon ve yağmur suyu tahliye şebekeleri ile yayılmaktadır (Pietuchova ve ark., 1996; Ilyin, 1997; Czarnowska, 1999; Madrid ve ark., 2006; Nabulo ve ark., 2008). Günümüzde birçok şehir bu şekilde yayılabilecek çevresel kirleticilere karşı atık su arıtma tesisleri kurmaktadır. Atık sularda bulunan ağır metalleri ayırmak için filtre, kimyasal maddeler, çoğunlukla mikroorganizma kaynaklı olan organik maddeler (Extracellular polymeric substances "EPs"'ler gibi) ve mikroorganizmalar bu amaçlarla kullanılmaktadır (Guibaud ve ark., 2006; Wu ve ark., 2009; Nasirpour ve ark., 2017). Bununla birlikte, atık su arıtma tesisi kurulması ekonomik olmayan köy, kasaba vb. yerleşimlerden hala çevreye ağır metaller ve ağır metal kaynakları yayılmaya devam etmektedir. Ek olarak, atık su arıtma tesislerinde biriken atık çamurunun tarımsal üretimde gübre olarak kullanılması ile de tarım arazilerine ağır metal yayılmaktadır. Atık çamurunun tarımsal üretimde kullanılmasını teşvik eden yayınlar (Chaney, 1980; Sikora ve ark., 1980) ve çalışmalar sebebiyle bu yolla ağır metal yayılımı hızlanarak devam etmektedir (Andersson ve Nilsson, 1976; Purves, 1977; Crompton, 1998).

Otoyollar da çevreye ağır metal yayan önemli kaynaklardan bir diğeridir. Özellikle kurşunsuz benzin kullanımının son yıllarda dünya ülkeleri tarafından aşamalı bir biçimde yasaklanmasına kadar geçen yaklaşık 100 yıllık süreçte tüm dünyada, özellikle erken dönemde sanayileşmiş ülkelerde, otoyollar ve şehir çevrelerinde önemli miktarda kurşun birikimi yaşanmıştır (de Miguel ve ark., 1997; Puxbaum ve Limbeck, 2004; Oliva ve Espinosa, 2007). Bunun yanında, araç lastiklerinden yayılan kadmiyum da otoyollar ve araç kullanımı sebebiyle yine yol ve kalabalık şehir çevrelerinde sorun olan önemli bir kirleticidir (Horner, 1996; Jankiewicz ve Adamczyk, 2007; Rao ve ark., 2016). Ayrıca, son yıllarda araçların egzozlarından kurşundan çok Ba'un çevreye yayıldığına dair çalışmalar mevcuttur (de Miguel ve ark., 1997; Monaci ve Bargagli, 1997).

Tarımsal alanlar başta olmak üzere çevreye ağır metal yayan bir diğer kaynak da tarım sektörüdür. Tarımsal üretim süreçlerinde yoğun ve yaygın olarak tüm dünyada

kullanılan kimyevi gübreler, tarımsal ilaçlar ve tarımsal iş makinaları da önemli ağır metal kaynakları arasında yer almaktadır (Stenström ve Vahter, 1974; Goodroad ve Caldwell, 1979; Ju ve ark., 2007). Özellikle fosfatlı gübrelerde bulunan kadmiyum başta olmak üzere birçok ağır metal tarım topraklarına bizzat çiftçiler tarafından bulaştırılmaktadır. Dünyada üretilen fosfatlı gübrelerde, kaynağına göre değişmekle birlikte önemli miktarda kadmiyum bulunmakta ve tarımsal faaliyet sürdükçe tarım topraklarında kadmiyum birikimi devam etmektedir (US-EPA, 1999; Dahl ve ark., 2008; Nziguheba ve Smolders, 2008). Toprakta ağır metal birikimine karşın bitkilerin alımı ve yıkanma gibi çeşitli yollarla toprağın ağır metal kaybettiği düşünülebilecek olsa da, yapılmış olan çalışmalar çoğunlukla ağır metal birikiminin artarak devam ettiğini göstermektedir (Hansen ve Tjell, 1978; Gunnarsson, 1980; Eckel ve ark., 2005). Bununla birlikte, Ni, Zn, Cu, Mo ve Mn gibi bitki besin elementlerinin de fazla kullanımı ile toprakta biriktiği ve her biri için değişmekle birlikte toksik sınıra ulaştıktan sonra bitkiler için zararlı olabileceği araştırıcılar tarafından belirtilmiştir (Andersson ve Nilsson, 1976; Purves, 1977; Gupta ve Gupta, 2005). Erken dönemde endüstrileşmiş ve yoğun tarım uygulamalarına geçmiş başta Avrupa kıtasında olmak üzere gelişmiş ülkelerde hayvansal ve bitkisel üretim süreçlerinde toprağa halen yüksek miktarlarda ağır metaller karıştırılmaktadır. Yoğun tarımsal faaliyet yürütülerek üretilen tarımsal ürünlerde tahıllara kıyasla toprağa daha fazla Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, As ve Hg eklenmektedir (Eckel ve ark., 2005; Huang ve Jin, 2008). Ayrıca, tarımsal faaliyetler sırasında hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı kullanılan birçok tarım ilacı da ağır metal etken ve/veya yardımcı maddeler bulundurmaktadır (Matschullat, 2000; Hoch, 2001; Weiss ve ark., 2007). Bu gibi ilaçların fazla kullanımı bir kenara bırakılacak olsa dahi dozunda kullanım ile doğrudan toprağa uygulananlar veya bitki yüzeyine uygulansa dahi toprağa doğrudan, yağış yoluyla veya bitki parçasının toprağa karışması ile ulaşan bu ilaçların içeriğinde bulunan ağır metaller toprakta birikmektedir. Kaldı ki, özellikle yoğun tarımın yapıldığı gelişmiş ekonomiler başta olmak üzere birçok ülkede gereksiz ve fazla miktarda ilaç kullanan çiftçi sayısı azımsanmayacak kadar fazladır (Matschullat, 2000; Coenen, 2004). Bu sebepledir ki birçok araştırıcı tarımsal ilaç kullanımını azaltmak için kritik eşik, alternatif yöntem kullanımı, doğal mücadele ajanları ve doğal ilaçların kullanımı gibi birçok yöntem üzerinde çalışmaya devam etmektedir (Porrini ve ark., 2003; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011; Alengebawy ve ark., 2021).

Görüldüğü üzere, insanoğlu metal aletler kullanmaya başlamasından bugüne kadar doğada belirli alanlarda yoğunlaşmış ağır metalleri bir şekilde gün yüzüne

çıkarmış; dikkatsizlik, umursamazlık ve çözümün pahalı olması sebebiyle ağır metallerin yayılmasına yol açmış ve buna devam etmektedir. Bundan sonraki yıllarda ve yüzyıllarda da bu etkinin, tüm çaba, önlem ve yaptırımlara rağmen devam edeceği de açıktır.

1.2. Ağır Metallerin Çevreye ve İnsanoğluna Zararları

Tarım topraklarına bir şekilde ulaşan ve biriken ağır metaller toprak içinde yaşayan mikroorganizmalardan başlamak üzere küçük çok hücreli canlılar, bitkiler, bitkilerle beslenen hayvanlar ve en nihayetinde insanlara kadar ulaşan bir süreç içerisinde zarar vermeye devam etmektedir (Macnicol ve Beckett, 1985; Woźny, 1998; Asati ve ark., 2016; Fu ve Xi, 2020). Tarım topraklarında biriken ağır metaller toprak içinde yaşayan mikroorganizmaların yanı sıra esas olarak tarım ürünlerinde birikmektedir (Nakajima ve Sakaguchi, 1986; Gadd, 1990; Burd ve ark., 2000). Genel olarak bitkiler ağır metalleri köklerinde biriktirme eğilimi gösterse de, bazı ağır metaller çoğunlukla daha üst aksamlarda birikmektedir (Welch ve Cary, 1975; Kitagishi ve Yamane, 1981; Maclean ve Schneider, 1981; Tsukada ve ark., 1998; Ding ve ark., 2006; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011; Pehlivan, 2016). Ayrıca, bitkilerin çoğunlukla köklerinde biriktirdiği ağır metaller hem bazı bitkiler tarafından sürgünlere taşınabilmekte, hem de toprakta yüksek miktarda bulunması durumunda bitkiler tarafından sürgünlere daha yüksek miktarlarda taşınabilmektedir (Tlustos ve ark., 1998; Karatas ve ark., 2006; Karataş ve ark., 2007; Bissonnette ve ark., 2010; Wang ve ark., 2020).

Birçok tarım ürününün köklerinin tüketilmesi akıllarda tutulmak kaydıyla, bitkilerin ağır metalleri sürgün, yaprak, çiçek ve hatta meyvelerine taşıdığını da gösteren çalışmalar mevcuttur (Kabata-Pendias ve Wiacek, 1985; Verma ve ark., 2007). Hali hazırda insanlar tarafından tüketilen birçok bitkinin kök, stolon, sürgün ve yaprakları gıda olarak kullanılırken, meyvelerinde de ağır metal biriktiren bitkilerin tüketilmesi insan sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir (Cieśliński ve ark., 1996; Kabata-Pendias ve Pendias, 1999).

Tüm bunların yanında, sürgün, yaprak ve hatta meyveleri dahi insanlar tarafından tüketilmeyen birçok bitki hayvan yemi olarak kullanılmakta ve hayvansal gıdaların tüketilmesi yoluyla yine insan metabolizmasında birikmektedir (Takahashi ve ark., 1977; Stekar ve Pen, 1980; Kabata-Pendias ve Terelak, 2004; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Dahası, ürünlerini tükettiğimiz hayvanların besin olarak kullanmadığı bitkilerde biriken ağır metaller de insanlara kadar ulaşabilmektedir. Öyle ki, böcekler başta olmak

üzere bazı hayvanlarla beslenen tavuk ve hindi gibi kuşlar, av hayvanlarının bazıları ile bazı ülkelerde tüketilen köpek başta olmak üzere diğer hayvanlarla beslenen etçillerin vücudunda bu yolla depolanan ağır metaller de en nihayetinde insan vücuduna ulaşmaktadır (Kabata-Pendias, 2000). Ayrıca, su ürünleri yoluyla da birçok ağır metal insan beslenme sürecine karışmaktadır. Daha küçük su canlıları ile beslenen balık ve kabuklu hayvanlar başta olmak üzere birçok deniz ürününü tüketen insanoğlu karasal sistemlerden yağış ve atık sularla su ekosistemlerine ulaşan ağır metallerin de son durağıdır (Dallinger ve ark., 1987; Baki ve ark., 2018). Daha basit bir ifade ile insanoğlu doğaya bilinçsizce ve umursamazca karıştırdığı ağır metallerden en fazla etkilenen canlı durumuna düşmektedir.

1.3. Ağır Metallerin Bitkilere Zararları

Ağır metaller bitkiler üzerinde çok çeşitli zarar ve etkilere yol açmaktadır. Çeşitli ağır metal streslerine karşı dayanıklı olan bitkiler olduğu gibi, oldukça hassas olanlar da mevcuttur (Pavlíková ve ark., 2002a; Sereno ve ark., 2007; Bhaduri ve Fulekar, 2012; Jin ve ark., 2019). Ağır metallerin genel olarak en önemli ve ilk zararı yaygın olarak kökler üzerinedir. Bitkilerin ağır metal kaynağı olan toprak doğal olarak bitkilerin ağır metaller ile ilk karşılaşan organının da kökler olmasına yol açmaktadır (An, 2004). Bitkilerin çok büyük bir kısmı topraktan aldıkları ağır metalleri köklerinde biriktirme eğilimindedir (Tyler ve ark., 1989; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Bununla birlikte, özellikle mikro besin elementleri başta olmak üzere bir kısım ağır metalin de en fazla biriktiği organlar toprak üstü aksamlardır (Scheffer ve ark., 1979; Kabata-Pendias ve Wiacek, 1985; Tlustos ve ark., 1998). Ağır metaller genel olarak kök büyümesini (Mumthas ve ark., 2010; Wang ve ark., 2014), sürgün uzamasını (Aery ve Rana, 2003; Smeets ve ark., 2005; Mishra ve ark., 2006), yaprak gelişimini (Haag-Kerwer ve ark., 1999; Şahin ve ark., 2017), çiçek ve meyve oluşumunu engelleyerek (Ibekwe ve ark., 1996; Malan ve Farrant, 1998); hücre zarının geçirgenliğini (Ouariti ve ark., 1997; Azevedo ve ark., 2005) ve oksidatif stresi artırarak (Schutzendubel ve ark., 2001); solunuma (Zimdahl, 1976; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011) ve fotosenteze engel olarak (Stobart ve ark., 1985; Padmaja ve ark., 1990); besin elementi dengesini bozarak ve hücresel bir takım zararlara yol açarak (Krupa, 1988; Hansch ve Mendel, 2009) bitkilerin büyüme ve gelişmesine engel olmaktadır. Birçok araştırıcı, düşük dozlarda, özellikle bitkilere yararlı ağır metallerin zarara yol açmadığını belirtmiş ancak bitkiler için yararlı olan mikro besin

elementlerinin dahi yüksek dozlarda toksik olduğunu aktarmışlardır (Nies, 1999; Burd ve ark., 2000). Hava, su ve toprakta yer alan insan ve doğal sebeplerle bitki kök bölgesine ulaşan bu elementler, toprakta bulunan besin elementlerinin dengesini bozmakla bitkilere zarar vermeye başlarlar. Örneğin, toprağa katılan kurşun, toprakta bulunan P başta olmak üzere bazı elementlerle çözünmez bileşikler oluşturarak toprakta çok uzun süre kalabilir (Cotter-Howells ve Caporn, 1996; Kabata-Pendias ve Pendias, 1999). Böylece, toprakta bulunan veya toprağa sonradan eklenecek olan P'un çözünürlüğünü azaltarak bitkilerin P alımına engel olurlar. Bunun yanında, Cr, Mo, Co ve Mn'ın toprakta fazla olması durumunda Fe ile antagonistik etki gösterdikleri ve bitkilerin Fe alımını engelledikleri belirtilmiştir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Yine aynı araştırıcılar, toprakta fazla bulunan Cu, Zn, V, As, Cr, Mo, Fe ve Co ile Mn'ın antagonistik etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Bunun yanında birçok araştırıcıya göre, kalsiyum ile Al, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, F, Li, Pb, Ni ve Sr; magnezyum ile Al, Be, Ba, Cr, F, Ni ve Co; fosfor ile Al, As, B, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Rb, Se, Si ve Sr; potasyum ile Al, B, Hg, Cd, Cr, F ve Rb antagonistik ilişki içerisindedir. Ayrıca, Zn, Mn, Fe, Cu ve Mo ile de ağır metallerin antagonistik ilişki kurabileceği de belirtilmiştir. Bu ağır metallerin varlığında ilgili besin elementlerinin bitkiler tarafından alımı azalmaktadır (Gadd ve Griffiths, 1977; Kabata-Pendias ve Pendias, 1979; Roques ve ark., 1980; Mengel ve Kirkby, 1982).

Ağır metaller, özellikle kök ile temas halinde olduğu için ve kökler ağır metal içeriği yüksek toprak çözeltisi içinde yer aldıklarında, birçok ağır metal kök hücrelerinin zarlarını parçalayarak hücre zarı geçirgenliğinin bozulmasına yol açar ve köklerin besin alımında önemli olan hücre zarı geçirgenliğini bozar (Ouariti ve ark., 1997; Azevedo ve ark., 2005). Bitkiler ihtiyaç duymadıkları birçok ağır metali köklerin hücre duvarları, vakuoller ve bazı diğer kısımlarında biriktirir. Bunun neticesinde kök fonksiyonları zarar görmeye başlar. Çoğu durumda kısa, kalın ve en nihayetinde kahverengileşerek ölüme doğru giden kökler oluşur (Wierzbicka, 1995; Woźny, 1998; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Köklerin zarar görmesi ile dolaylı olarak veya üst kısımlara taşınan bazı ağır metallerin doğrudan etkisi neticesinde; solunum, fotosentez, enzim vb. fizyolojik süreçler zarar görmeye başlar (Stobart ve ark., 1985; Schutzendubel ve ark., 2001; Azevedo ve ark., 2005; Hansch ve Mendel, 2009). Bunun neticesinde bitkilerin yaprakları küçülür veya işlevsiz hale gelir, kloroz oluşur, şekilsiz, işlevsiz yapraklar ve sürgünler oluşmaya başlar (Haag-Kerwer ve ark., 1999; Aery ve Rana, 2003; Mishra ve ark., 2006). Tüm

bunların neticesinde kısa boylu, sararmış, meyve ve biyokütle verimi azalmış bitkiler ortaya çıkar (Ibekwe ve ark., 1996; Malan ve Farrant, 1998; Smeets ve ark., 2005).

1.4. Kadmiyum

Periyodik cetvelde geçiş elementleri arasında yer alan 48 atom numaralı kadmiyum 8,65 g cm^{-3} yoğunluğa sahiptir. Kadmiyum gümüş beyazlığında; elektrik, seramik, pil ve akü sanayisinde sıklıkla kullanılan; yumuşak, kanserojen ve toksik bir ağır metaldir. Kadmiyum, çinko, bakır ve kurşunun yan ürünü olarak üretilmektedir (Searles ve ark., 2009). Yer kabuğunda 0,1-0,2 mg kg^{-1} kadar kadmiyum bulunmakla birlikte, dünya çapında toprakların ortalama kadmiyum içeriği 0,41 mg kg^{-1} düzeyindedir (Hedrick, 1995; Reimann ve De Caritat, 1998; Kabata-Pendias ve Pendias, 1999; 2011). Toprakta genel olarak 0,2–1,1 mg kg^{-1} düzeyinde bulunur. ABD'nin farklı bölgelerindeki tarım topraklarında kadmiyum içeriği 0,1–2,0 mg kg^{-1} arasındadır (Holmgren ve ark., 1993). Bunun yanında, Govindaraju (1994) farklı ülkelerin topraklarındaki kadmiyum içeriğini 0,06–4,3 mg kg^{-1} arasında bulmuş, Motuzova ve Pershikova (1999) ise Rusya'nın uzak bir köşesinde yer alan Sichote-Alin'de kadmiyum içeriğini 0,2–1,14 mg kg^{-1} aralığında belirlemiştir. Čurlík ve Šefčík (1999) tarafından, Slovakya topraklarında ortalama kadmiyum içeriği 0,3 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiş ancak en yüksek değer olarak 8,9 mg kg^{-1} Cd belirlenmiştir. Tüm bunların yanında bazı araştırıcılar kadmiyum ile kirlenmiş topraklardaki kadmiyum içeriğinin 300-400 mg kg^{-1} düzeylerinde olduğunu belirtmişlerdir (Kabata-Pendias ve Gondek, 1978; Itoh ve ark., 1979). Kadmiyum toprakta çoğunlukla kadmiyum sülfür (CdS), oktavit, kadmiyum selenür (CdSe), montefonit ve kadmiyum oksit (CdO) olarak bulunur. Alloway (1995)'e göre asidik ortamda Zn'dan daha hareketli olan kadmiyum, insan, hayvan ve bitkilerin tüm biyolojik süreçlerinde olumsuz etkilere yol açan en toksik metaller arasında kabul edilir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Dünya genelinde 2003 yılında 16.800 ton olan kadmiyum üretimi 2008 yılında 20.800 tona ulaşmıştır (USDI, 2009; WMSY, 2022). Kadmiyum ile en fazla kirlenmiş alanlar madencilik sahaları, metal işleme endüstrisi yakınları, şehir içi/çevresi, yoğun şekilde gübrelenen ve atık çamur kullanılan tarım arazileridir. Bunun yanında işlek otoyol kenarları da kadmiyum ile kirlenmiş alanlardır. Madencilik sahaları açısından İngiltere'de 0,6-468 mg kg^{-1} (Davies, 1980; Troyer ve ark., 1980; Abrahams ve Thornton, 1987; Cairney, 1987) ve Belçika'da 2-144 mg kg^{-1} aralığında kirlenmiş bölgeler mevcuttur (Simon, 1977). Metal işleme endüstrilerinin çevresinde ise durum

daha vahimdir. Belçika (3,2-1.781 mg kg^{-1}) (Scokart ve ark., 1983), ABD (26-1.500 mg kg^{-1}) (Fleischer ve ark., 1974; Oyler, 1988) ve Polonya (6-270 mg kg^{-1}) (Widera, 1980; Faber ve Niezgoda, 1982) kadmiyum kirliliğinde başı çeken ülkelerdendir. Kadmiyum kirliliği bu ülkelerin seviyesinde olmasa da Japonya (1,8-88 mg kg^{-1}) (Kobayashi, 1971; Asami, 1988), Kanada (2-36 mg kg^{-1}) (John ve ark., 1975) ve Hollanda'da da (9-33 mg kg^{-1}) görülmektedir (Harmsen, 1977). Bulgaristan gibi azgelişmiş ülkelerde ise kirlilik bu kadar yüksek seviyelerde değildir (Petrov ve Tsalev, 1979). İnsanların yaşam alanı olan şehir içlerinde ve çevrelerinde ise durum bazı ülkelerin metal işleme tesislerinin çevrelerindeki duruma benzemektedir. İngiltere'de düşük olan kadmiyum ile kirlenme değerleri (1-17 mg kg^{-1}) (Cairney, 1987), Polonya (0,08-61 mg kg^{-1}) (Czarnowska, 1982; Umínska, 1988) ve ABD'de (0,02-100 mg kg^{-1}) (Logan ve Cassler, 1988) çok daha yüksek seviyelerdedir. Tarım ve insan sağlığı açısından daha vahim olanı ise tarım topraklarında gübreleme, özellikle P ve atık çamur kullanımı sebebiyle kadmiyum içeriğinin 1990'lı yıllarda dahi toksik seviyelere ulaşmış olmasıdır. Hollanda'da 5 yıl boyunca dekara 6-16 ton atık çamur kullanımı sonucunda tarım arazilerindeki kadmiyum miktarı 15-57 mg kg^{-1} seviyelerine ulaşmıştır (Hemkes ve ark., 1980). Macaristan (Vermes, 1987), Japonya (Asami, 1984), Kanada (Frank ve ark., 1976) ve ABD'de (Shacklette ve ark., 1973) o yıllarda henüz çok yüksek seviyelere ulaşmamış olan tarımsal faaliyetler sonucu kadmiyum birikimi Polonya'da 107 mg kg^{-1} (Umínska, 1988) ve İngiltere'de 167 mg kg^{-1} (Ellis ve Alloway, 1983; Cairney, 1987) seviyelerine ulaşmıştır.

İnsan kaynaklı kadmiyum ile kirlenmenin yanında doğal olarak kirlenmiş topraklar da bulunmaktadır. Baize ve ark. (1999)'na göre Fransa'da kireçtaşı kaynaklı kadmiyum birikimi 0,02-8,15 mg kg^{-1} arasında değişmektedir. Jamaika'da boksit ana kaya kaynaklı kadmiyum varlığı 14-192 mg kg^{-1} (Davies ve ark., 2003), Slovakya'da 100-120 cm derinlikte ana kaya kaynaklı kadmiyum varlığı 222 mg kg^{-1} dolaylarındadır (Čurlík ve Forgac, 1996). Ayrıca, dünyanın birçok yerinde kadmiyum ile kirlenme her geçen yıl devam etmektedir. İsveç'te her yıl dekara 0,039 g kadmiyum eklenirken (Eriksson, 2001), Avrupa genelinde topraktan alınan kadmiyum ile toprağa yeni eklenen kadmiyum arasında ki fark yılda -0,03 (Fransa) ile +0,44 g/da/yıl (Fransa) arasında değişmektedir (Eckel ve ark., 2005). Ayrıca, ABD'de 1996 yılında 300 ton kadmiyum ülke çapında toprağa karışmış olup, bu miktar tüm dünyada gerçekleşen miktarın yaklaşık %22'sine denk gelmektedir (TRI96, 1998). Bununla birlikte, 1990'lı yıllara kadar tüm dünyada artış eğiliminde olan kadmiyum birikimi bu yıllardan sonra çevre bilincinin gelişmesiyle birlikte bazı ülkelerde azalma eğilimine girmiştir. Finlandiya'da 1990'lı

yılların başında 6,3 ton olan kadmiyum emisyonu, 1997 yılında 1,1 tona düşmüştür (Mukherjee ve ark., 1999). İsviçre'de ise 1975 yılında yüzey toprağındaki kadmiyum miktarı 25,2 mg kg^{-1} iken, 1999'da 1,7 mg kg^{-1} seviyelerine kadar gerilemiştir (Herter ve Külling, 2001). Benzer şekilde, 1982/83 döneminde Avrupa genelinde 9 mg kg^{-1} olan kadmiyum miktarı, 1996/97'de 1,6 mg kg^{-1} seviyelerine kadar düşmüştür (Gendebien ve ark., 1999). Tüm bunlara rağmen tüm dünyada aşırı derecede kirlenmiş toprakların olduğu, geneldeki bu düzelmeye rağmen özellikle madencilik sahaları, metal işleme endüstrisi ve şehir çevrelerinde kadmiyum birikiminin sürdüğü bilinmektedir. Alloway ve Steinnes (1999)'e göre, yılda 100 g/ha kadar kadmiyum metal eritme tesislerinden yakın çevrelerine ve 15 g/ha/yıl kadar kadmiyum ise P gübrelemesi ile tarım topraklarına karışmaktadır.

Louekari ve ark. (2000)'na göre, Rusya/Kola ve Finlandiya/Siilinjanui'de üretilen fosfor gübreleri 3 mg kg^{-1}'dan az kadmiyum içermesine rağmen, ABD/Idoha'da üretilenlerde bu miktar 100 mg kg^{-1}'dan fazladır. Benzer bir durum Brezilya'da ticari olarak satılan P gübrelerinde de vardır ve miktar 3-43 mg kg^{-1} arasında değişmektedir (Bizarro ve ark., 2008). Öyle ki, İsveç'te fosfat gübreleri ile toprağa karışan kadmiyum miktarı 1901 yılında <1 mg kg^{-1}'dan az iken, 1981 yılında bu miktar üç kat artmış ve bu süreç içerisinde topraklarda yer alan kadmiyum miktarı 25 g/ha'dan 100 g/ha'a yükselmiştir. Bu süreçte kullanılan P gübresi miktarı ise 2 kg/ha'dan 25 kg/ha'a çıkmıştır (Gunnarsson, 1980). Gübrelenen arazilerin yanı sıra, İngiltere ve Danimarka'da gübrelenmeyen arazilerde de kadmiyum miktarı artmıştır (Jones, 1987; Christensen, 1991). Ek olarak, İsviçre (Gunnarsson, 1980) ve diğer Avrupa ülkelerinin tarım topraklarında da (Jones, 1987; Christensen, 1991; Sillanpää ve Jansson, 1992) kadmiyum birikmeye devam etmiştir. Stigliani (1995)'ye göre, fosfor gübrelemesinin dekara 0,5 kg'dan 7 kg'a çıkarılması ile topraklarda bulunan ortalama kadmiyum içeriği 0,04 mg kg^{-1} seviyesinden 0,1 mg kg^{-1} seviyesine çıkmıştır. Toprak pH'sında meydana gelecek düşmeler sonucunda toprakta biriken bu kadmiyumun besin zincirine katılması önemli bir sorun olarak önümüzde durmaktadır. Kabata-Pendias ve Mukherjee (2007) Avrupa'da yıllık kadmiyum birikiminin dekara 0,3 g düzeyinde ve en düşük değerin 0,015 g ile Finlandiya'da olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırıcılara göre, P gübrelemesi neticesinde toprağa karışan kadmiyum toprakta P bulunması sebebiyle hareketsiz kalabilirken (Hettiarachchi ve ark., 1997), toprakta bulunan karbonat ve oksitler kadmiyumun hareketliliğini artırmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Bununla birlikte, Smolders ve Degryse (2006)'e göre toprakta bulunan

tüm kadmiyum, P varlığı ile sabitlenmeyecektir. Ek olarak, fosfor gübrelemesi ile toprağa Cl eklenmesi durumunda ortaya çıkacak kadmiyum klorür ($CdCl^+$) bileşiği sebebiyle bitkilerin kadmiyum alımı da artabilmektedir (Weggler ve ark., 2004). Bununla birlikte, Escrig ve Morell (1998) toprakta bulunan Ca'un 10 kat artması ile bitkiler tarafından kadmiyum alımının %70 oranında azalacağını bildirmişlerdir.

Birçok araştırıcıya göre, bitkilerin topraktan aldığı kadmiyum daha çok insan kaynaklıdır. Yulaf üzerinde yapılan çalışmalar bunu göstermiştir (Grupe ve Kuntze, 1988). Ispanakta yapılmış olan bir çalışmada da alınan kadmiyumun ¾'ünün insan kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Filipinski, 1989). Kadmiyum bitki, hayvan ve insanlara çok düşük dozlarda dahi zarar verebilen bir ağır metaldir. Bununla birlikte, bitkiler insanlara göre kadmiyum stresine daha fazla dayanabilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Kadmiyum bitkilerin köklerinin kahverengileşmesine, uzunluk, ağırlık ve hacminin azalmasına sebep olarak (Lux ve ark., 2011; Souguir ve ark., 2011), kök hücre duvarlarına (Barcelo ve ark., 1986) ve iletim demetlerine zarar vererek bitkilerin su ve besin elementi alımını azaltmaktadır (Das ve ark., 1997; Sanità di Toppi ve Gabbrielli, 1999). Kadmiyum bitkilerin toprak üstü aksamlarında kloroz, yaprak kıvırcıklığı ve bodurluğa yol açmakta (Haghiri, 1973), stomaların kapanmasına sebep olmakta (Perreault ve ark., 2011) ve fotosentezi engellemektedir (Larsson ve ark., 1998). Kadmiyum ayrıca, bitki boyu, yaprak alanı, yaprak sayısı, çiçek sayısı, meyve verimi, meyve boyutları, sürgün ağırlığı ve gövde çapını da azaltmaktadır (Moral ve ark., 1994; Haag-Kerwer ve ark., 1999; Dong ve ark., 2005; Sinha ve Mukherjee, 2008).

Kadmiyumun tarımsal üretime verdiği zarar sebebiyle araştırıcılar bu zararlı ağır metal ile mücadele etmenin yollarını aramışlardır. Bu arayışlar iki kola ayrılmıştır. Bu kollardan biri topraktan kadmiyumun uzaklaştırılmasıdır. Çeşitli fiziksel yöntemleri bir kenara bırakacak olursak, topraktan kadmiyumun uzaklaştırılması için en etkin yöntemlerden biri bitkileri kullanmaktadır. En önemli kadmiyum fikse eden bitkiler *Alyssum murale* (duvar kuduzotu), *Thlaspi vaerulescens* (dağarcık), *Nicotiana tabacum* (tütün), *Zea mays* (mısır), *Salix viminalis* (sepetçi söğüdü), *Helianthus annuus* (ayçiçeği) ve *Viola baoshanensis* gibi türlerdir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Bunların yanında, şeker pancarı (Sereno ve ark., 2007) ve ıspanak da (Pavlíková ve ark., 2002a; Pavlíková ve ark., 2002b) çok yüksek miktarlarda kadmiyumu topraktan alıp bünyelerinde depolayabilmektedir. Bitkiler tarafından topraktan kadmiyum uzaklaştırılırken, bitkilerin kadmiyum alımını artıran yöntemler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında etilendiamintetraasetik asit (EDTA) gibi kimyasal uygulamalarının yanı

sıra (Jørgensen, 1993), mikoriza (Bissonnette ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2020) ve bakteri uygulamaları da mevcuttur (Jiang ve ark., 2008; Rojjanateeranaj ve ark., 2017; Jin ve ark., 2019). Bu uygulamalar ile bitkilerin kadmiyum alımı artırılarak, toprakta bulunan kadmiyum uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Bunların yanı sıra, toprağa mikroorganizma uygulanması ile kadmiyum mikroorganizmaların bünyesinde, ölü mikroorganizma biomasında ve mikroorganizmaların ürettikleri metabolitlerin yapısında tutularak bitkiler tarafından alınamaz yapılara dönüştürülmektedir (Mullen ve ark., 1989; Ledin, 2000; Tripathi ve ark., 2005).

Kadmiyum ile mücadele etmenin bir diğer yolu da toprakta stabil ve çözünmez hale getirilerek bitkiler tarafından alımının azaltılmasıdır. Bu amaçla, toprak yüzeyinin kireçlenmesi (Kitagishi ve Yamane, 1981), toprağın Ca içeriğinin artırılması (Escrig ve Morell, 1998) ve toprağa torf veya fosfat eklenmesi ile (Bolton ve Thorose, 1997) kadmiyumun bitkiler tarafından alınamaz hale getirilmesi ve bitkilerin alımının azaltılması sağlanabilmektedir. Son yıllarda bitkilere uygulanan mikorizaların da kadmiyum alımını azalttığı araştırıcılar tarafından bildirilmiştir (Turnau ve ark., 1993; Garg ve Chandel, 2012; Gunathilakae ve ark., 2018). Bazı çalışmalarda, bakterilerin toprakta kadmiyumu ve diğer ağır metalleri çeşitli şekillerde absorbe edebildiği ve/veya ürettiği metabolitler ile bitkiler tarafından alınamaz hale getirebildiği de belirtilmiştir (Mullen ve ark., 1989; Silver ve Phung, 1996; Wang ve ark., 1997; Ledin, 2000; Camargo ve ark., 2003). Buradan hareketle, mikoriza uygulamaları neticesinde kadmiyum içeriği azalan bitkilerin bakteriler tarafından sağlanan benzer bir etkiyle kadmiyum alımını azalttığı söylenebilir (Sinha ve Mukherjee, 2008; Jin ve ark., 2019). Yine, ayrı ayrı kullanıldıklarında bitkilerin kadmiyum alımını bir miktar artıran mikoriza ve bakterinin birlikte uygulanması durumunda bitkinin kadmiyum alımını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir (Vivas ve ark., 2003).

Birçok çalışmada toprak pH'sının azalması ile bitkilerin kadmiyum alımının arttığı bildirilmiştir (Hinesly ve ark., 1984; Alloway, 1995; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Bununla birlikte, McLaughlin ve ark. (1994) tuzlu topraklarda kadmiyum alımının benzer şekilde arttığını aktarmışlardır. Bitkiler topraktan aldıkları ağır metalleri başta kökler olmak üzere sürgün ve yapraklarında zararsız formlarda depolamaya çalışmaktadır (Cataldo ve ark., 1983; Blum ve ark., 1997). Mısır bitkisinde yapılmış olan bir çalışmada alınan kadmiyumun 1/5'i köklerde, 1/5'i yapraklarda, 1/5'ten fazla bir kısmı gövdede ve kalanı bitkinin diğer kısımlarında birikmiştir (Kabata-Pendias ve Wiacek, 1985). Benzer sonuçlar, Moral ve ark. (1994) tarafından domateste de elde edilmiştir. Ayrıca, Hornburg

ve Brümmer (1986) buğdayda artan toprak kadmiyum içeriği ile tanelerde kadmiyum içeriğinin de arttığını belirlemişlerdir. Görüldüğü üzere, genellikle köklerde depolansa da kadmiyum bitkilerin insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilen kısımlarına da erişebilmektedir.

1.5. Kurşun

Periyodik cetvelde metaller arasında yer alan 82 atom numaralı Pb, 11,34 g cm^{-3} yoğunluğa sahiptir. Kurşun mavi-gümüş renkli; akü, kablo izolasyonu, mühimmat, çeşitli alaşımlar, pigment üretimi, radyasyon yalıtımı ve 2000'li yıllara kadar benzin katkısı olarak kullanılan; insanlar için oldukça toksik bir ağır metaldir. Yer kabuğunda ortalama 15 mg kg^{-1} civarında bulunan kurşunun yüzey toprağında bulunma miktarı 27 mg kg^{-1} dolaylarındadır (Hedrick, 1995; Reimann ve De Caritat, 1998; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Kurşun, insan kaynaklı olan ağır metal kirleticilerinin başında gelir. İnsanoğlunun metalleri işlemeye başladığı yıllardan bu yana kurşun kirliliği yaşanmaktadır (Davies, 1977; Wixson ve Davies, 2017). Fransa'nın kirlenmiş topraklarındaki kurşunun %40-100'ü ortaçağ atölyelerinden kalmıştır (Baron ve ark., 2006). Avrupa'nın turba topraklarının incelenmesiyle eski uluslardan kaynaklı kurşun birikiminin doğal kaynaklara göre yer yer 100 kat daha fazla olduğu görülmüştür (Shotyk ve ark., 1996). Avrupa kıtasında, yüzey toprağında 32 mg kg^{-1} seviyelerine yükselmiş olan kurşun magmatik kayaçlarda 10-25 mg kg^{-1}, kil tortu kayaçlarında 14-40 mg kg^{-1} ve kireçli topraklarda 3-10 mg kg^{-1} oranlarındadır (Salminen, 2005; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). USDI (2009)'ye göre 2008 yılında küresel ölçekte madenlerden üretilen kurşun miktarı 3,8 milyon ton olup, bu sırada ABD'de üretilen kurşunun %90'ı atık kurşun-asit bataryalardan geri dönüşüm yoluyla elde edilmiştir. Yani, bir yıl içerisinde işlenerek piyasaya sürülen kurşun miktarı madenlerden elde edilenlere göre çok daha fazladır.

Toprağa havadan, sudan veya doğrudan karışarak ulaşan kurşunun birçok yayılım yolu vardır. En fazla yayılım genel olarak maden sahaları ve çıkarılan madenlerin işlendiği tesislerin çevresinde gerçekleşmektedir. Hava yoluyla atmosferden yayılımın kaynakları sanayi tesisleri ve bir zamanlar benzin katkısı olarak kurşun kullanılmış olmasıdır. Dünyada atmosferik kurşun emisyonu 1900'lü yılların sonunda 332.000 ton/yıl olup, bunun yaklaşık 85.000 ton/yıl'lık kısmı Avrupa'da meydana gelmiştir (Pacyna ve Pacyna, 2001). Bir diğer yayılım yolu madencilik sahalarıdır. İngiltere'de eski maden

yataklarının çevresindeki kurşun miktarı 21-21.546 mg kg^{-1} arasında farklılık gösterir (Davies, 1977; Roberts ve ark., 1979; Davies, 1980; Troyer ve ark., 1980). Günümüzde ve yakın geçmişte işletilen demir ve demir dışı metal madenlerinin çevrelerindeki kurşun birikimi ise ABD (15-13.000 mg kg^{-1}) (Huff, 1976) , İngiltere (170-4.563 mg kg^{-1}) (Davies, 1977; Davies, 1980), Rusya (21-3.044 mg kg^{-1}) (Niyazova ve Letunova, 1981) ve Almanya'da (>300 mg kg^{-1}) (Kick ve ark., 1980) oldukça yüksek seviyelerdedir.

Metal işleme endüstrileri çevresinde de kurşun birikimi oldukça yüksek düzeylerdedir. Öyle ki, bu değerler bazı bölgelerde madencilik sahalarının bile üzerine çıkmıştır. Çek Cumhuriyeti (36.234 mg kg^{-1}) (Komarek ve ark., 2007), Yunanistan (1.250-18.500 mg kg^{-1}) (Nakos, 1979), Belçika (137-14.000 mg kg^{-1}) (Scokart ve ark., 1983) ve Kanada (291-12.123 mg kg^{-1}) (John ve ark., 1975) en fazla kirliliğin tespit edildiği ülkelerdir. Daha az olmakla birlikte Polonya, ABD, Almanya, Japonya ve Hollanda'da da metal işleme tesisleri kaynaklı yüksek seviyede kirli topraklar (53-8.000 mg kg^{-1} arasında) mevcuttur (Kobayashi, 1971; Miesch ve Huffman, 1972; Harmsen, 1977; Widera, 1980; Greszta ve ark., 1985; Lux ve ark., 1988). Pil fabrikaları çevresinde de kirlilik ileri seviyededir. En yüksek kirlilik ABD'de (135.000 mg kg^{-1}) (Ormrod, 1978) görülse de, Polonya (93-3.800 mg kg^{-1}) (Biernacka, 1985) ve Şili'de de (881-1.058 mg kg^{-1}) (Schalscha ve ark., 1987) yüksek seviyede kirlilik tespit edilmiştir.

Ağır metal kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü yerlerden biri olan şehirlerdeki yeşil alanlar ve şehir çevreleri de özellikle trafik ve çevreye atılan kirleticiler sebebiyle yüksek miktarda kurşun içermektedir. İngiltere (270-15.240 mg kg^{-1}) (Cairney, 1987), Polonya (165-12.750 mg kg^{-1}) (Grodzinska ve ark., 1987; Umínska, 1988) ve ABD (218-10.900 mg kg^{-1}) (Elfving ve ark., 1978) gibi erken dönemde sanayileşmiş ülkelerde bu değerler son derece yüksektir. Bunun yanında, Jamaika ve Kanada'da da şehir çevrelerinde kirlilik seviyesi yüksektir (Ormrod, 1978; Johnson ve ark., 1996). Ayrıca, şehirlerin lağım sularının arıtılmasından elde edilen atık çamurunun tarım arazilerine uygulanması ile de kurşun kirliliği artmaktadır. Yapılmış olan çalışmalara göre, İngiltere'de 175-3.916 mg kg^{-1} arasında değişen atık çamur kaynaklı kurşun kirliliği (Ellis ve Alloway, 1983) Almanya (>800 mg kg^{-1}) (Herms ve ark., 1986), Hollanda (80-254 mg kg^{-1}) (Hemkes ve ark., 1980) ve Japonya'da da (60-253 mg kg^{-1}) görülmektedir (Kitagishi ve Yamane, 1981).

Kurşunun geçtiğimiz yüzyılda çok geniş alanlara yayılma sebebi ise benzin katkısı olarak kullanılmasından ileri gelmektedir. Yukarıda sayılan sebepler her ne kadar çok yüksek miktarlarda kurşunu çevreye yaymış olsa da, kirlilik oluşturacak seviyede kurşun

bulunan topraklar çoğunlukla bölgesel kalmıştır. Benzin kaynaklı kurşun ise araç trafiğinin var olduğu her yerde 2000'i yıllara kadar yayılmayı sürdürmüştür. Günümüzde ise gelişmekte olan ülkelerin bir kısmında kurşun hala benzin katkısı olarak kullanılmaktadır. Öyle ki, bazı bölgelerde kurşun içeriği 7.000 mg kg^{-1} seviyelerine kadar ulaşmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 1999). Ou ve ark. (1995) ile Preciado ve ark. (2007)'a göre otoyol kenarlarında 2000'li yıllara kadar birikmiş olan kurşun organik maddece zengin topraklarda hala varlığını korumaktadır. Başka araştırıcılar da, özellikle yüksek pH değerlerinde organik maddelerin kurşunu güçlü şekilde tuttuğunu belirtmişlerdir (Li ve Shuman, 1996; Basta ve ark., 2005). Toprakta organik maddenin ve kil içeriğinin düşük olması durumunda ise genellikle kurşun daha derinlere yıkanmaktadır (Alumaa ve ark., 2002; Sipos ve ark., 2005). Araç sahipliği ve kullanım sıklığının fazla olduğu erken dönemde sanayileşmiş ve özellikle şehirlerarası mesafenin fazla olduğu ülkelerde otoyol kenarlarında yüksek miktarlarda kurşun birikmiştir. En yüksek değerler ABD (960-7.000 mg kg^{-1}) (Olson ve Skogerboe, 1975) ve Polonya'da (167-2.115 mg kg^{-1}) (Umínska, 1988) görülmüş olmasına rağmen, diğer ülkelerde de benzer durum söz konusudur (114-885 mg kg^{-1}) (Kloke, 1974; Kitagishi ve Yamane, 1981).

Kurşun toprakta genel olarak organik madde, kil parçacıkları, kireç, fosfor vb. birçok toprak bileşenine bağlı olarak bulunur (Norrish, 1975; Riffaldi ve ark., 1976). Özellikle orman topraklarında kurşun çok sıkı şekilde tutulur ve topraktaki kurşunun %10'unun yıkanması için çok uzun yıllar gerekir (Tyler, 1981). Lepp ve Dickinson (2002) İngiltere'de St. Helens, Merseyside'da 347,5-76.410 mg kg^{-1} düzeylerinde kurşun bulunmasına rağmen, oldukça stabil olması sebebiyle bitkilerin zarar görmediğini belirtmişlerdir. Öyle ki, Kitagishi ve Yamane (1981) toprakta bulunan kurşunun yarılanma ömrünün 590-5.900 yıl arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Kurşun toprakta yaygın olarak galena (PbS), boulangerite ($Pb_5Sb_4S_{11}$), anglesite ($PbSO_4$), minium (Pb_3O_4), cerussite ($PbCO_3$), pyromorphite ($Pb_5(PO_4)_3Cl$) ve mimetesite ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$) formlarında bulunur (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Dünya çapında farklı topraklarda ortalama olarak 27 mg kg^{-1} düzeyinde bulunduğu tahmin edilen kurşunun dağılım aralığı bölgesel ortalamalar olarak 3-90 mg kg^{-1} olarak belirtilmiştir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1999). Zimdahl (1976) ile Kabata-Pendias ve Sadurski (2004) kurşunun toprak bileşenlerine bağlı olduğunu ve toprak çözeltisinde çok düşük miktarlarda bulunduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, Perelomov ve Kandeler (2006) mikroorganizma faaliyetleri ile toprak çözeltisindeki kurşunun arttığını bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalara göre, toprakta bulunan kurşunun kaynağı da bitkiler tarafından alınabilirliğini etkilemektedir. Hettiarachchi ve ark. (2001) ana kaya kaynaklı kurşunun alımının insan kaynaklı kurşuna göre bitkiler tarafından daha zor olduğunu belirtmişlerdir. İnsanlar tarafından meydana getirilmiş kurşun kirliliği genel olarak gelişmiş ülkelerdedir. Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde özellikle madencilik sahaları ve metal işleme endüstrileri çevresinde kurşun kirliliği ortaya çıkmaya devam etse de, dünyada ortaya çıkmış olan çevre bilinci ve yeni teknolojiler sebebiyle kirlenme hızı nispeten daha düşüktür. Davies (1977)'e göre, kirlenmemiş bir toprakta bulunabilecek en fazla kurşun miktarı 70 mg kg^{-1} olmalıdır. Çin'de çay bahçelerinde ise bu değer 60 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Jin ve ark., 2005). Melo ve ark. (2006) gelişmekte olan bir ülke olan Brezilya'da kurşun varlığının bölgesel ortalamalarla 2,6-9,5 mg kg^{-1} arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Herselman ve ark. (2005) Güney Afrika Cumhuriyeti tarım topraklarında belirlenmiş en yüksek kurşun miktarının 56 mg kg^{-1} olduğunu aktarmıştır. Buna karşın, ABD'nin nüfusu az eyaleti olan Alaska'da dahi kurşun miktarı 4-349 mg kg^{-1} arasında değişmektedir (Gough ve ark., 1988). Bunun yanında, erken sanayileşmiş ve gelişmiş ülkelerde yıllık kurşun birikimi dahi gelişmekte olan ülkelerin topraklarında bulunanlara göre çok daha fazladır. Norveç ve Fransa'da tarım arazilerindeki birikim 0,13-13,9 g da^{-1}'dır (Eckel ve ark., 2005). Danimarka'da ise yıllık yeni eklenen kurşun miktarı mevcudun %3,7'si kadardır (Hansen ve Tjell, 1978).

Kurşun insan, hayvan ve bitkiler için oldukça zararlı ağır metaller arasında yer almaktadır. Tüm bitkilerde değişen miktarlarda kurşun bulunmasına rağmen, metabolizma için gerekli olduğuna dair bilgi mevcut değildir (Cannon, 1976; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Broyer ve ark. (1972) bitkiler için gerekli ise de, kurşunun 2-6 μg kg^{-1} aralığında olabileceğini belirtmişlerdir. Davies (1995) toprak yapısındaki kurşunun yalnızca %0,005-%0,13'ünün bitkiler, Wilson ve Cline (1966) ise %0,0023-%0,005'inin arpa tarafından alınabilir olduğunu aktarmışlardır. Bitkilerin topraktan kurşun alımı toprağın organik madde miktarı, toprak pH'sı, kök yüzey alanı ve kök salgıları gibi pek çok değişkene bağlıdır (Sillanpää ve Jansson, 1992). Toprakta kireç varlığı ve/veya toprak sıcaklığının azalmasıyla kurşun alımı azalır (Hughes ve ark., 1980). Bitkiler topraktan aldıkları kurşunun çok önemli bir kısmını köklerde depolar. Mısır ve çim bitkilerinde bu oran %90 dolayındadır (Kabata-Pendias ve Wiacek, 1985). Zimdahl (1976)'a göre bitkiler topraktan aldıkları kurşunun yalnızca %3'ünü sürgünlere göndermektedir. Meyers ve ark. (2008) bitkilerin köklerinde tuttuğu kurşunun vakuollerde depolandığını belirtirken, Malone ve ark. (1974)'ına göre birikme hücre

duvarlarında kristaller şeklindedir. Zimdahl (1976) hücre duvarında kurşun biriktiren bitkilerin daha çok hassas türler olduğunu ve bu birikim neticesinde hücre duvarının parçalanarak elektriksel iletkenliğin arttığını belirtmiştir. Ayrıca, dayanıklı bitki türlerinin kurşunu köklerinde inaktif formlarda tuttuğu da saptanmıştır. Bitkilerin yanı sıra, toprakta artan kurşun miktarı ile mikrobiyotanın enzimatik aktivitesinin de azaldığı dile getirilmiştir (Tyler, 1975; 1976; Doelman ve Haanstra, 1979).

Birçok çalışmada, bitkilerin kurşun toksisitesinden zarar gördüğü belirtilse de (Liu ve ark., 2003; Wierzbicka ve ark., 2007), *Vetiveria zizanioides* (L.) (Vetiver) (Andra ve ark., 2009), *Biscutella laevigata* (Başlıkotu) ve *Allium cepa* (Soğan) (Wierzbicka, 1999) gibi bazı türler kurşuna dayanıklıdır. Bununla birlikte, kurşunun bitkilerde köklerden başlayan oldukça önemli zararları vardır. Araştırıcılar, kurşunun bitkilerde plazma zarı (Woźny, 1998), endoplazmik retikulum (Wierzbicka ve ark., 2007), fotosentez (Prasad ve Strzałka, 1999), kök uzunluğu (Liu ve ark., 1994; Imtiyaz ve ark., 2014), kök ağırlığı (Kabir ve ark., 2010; Aiyesanmi ve ark., 2012), gövde çapı (Liu ve ark., 2008), sürgün uzunluğu (Tripathi ve ark., 2005), yeşil aksam ağırlığı (Hussain ve ark., 2013), yaprak alanı (Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005; Gichner ve ark., 2008), meyve verimi (Liu ve ark., 2003) ve antioksidant sistem (Chen ve ark., 2007) üzerine olumsuz etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında, bitkilerin insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilen kısımlarında biriken kurşun miktarı da önemli bir sorundur. Farklı ülkelerde çim bitkileri (0,36-5,5 mg kg^{-1}) ve yoncanın (1,3-8,0 mg kg^{-1}) yeşil aksamında biriken kurşun miktarı oldukça yüksek bulunmuştur (Ruhling, 1968; Fletcher ve Brink, 1969; Jones ve Clement, 1972; Oelschläger, 1972; Paasikallio, 1978; Shacklette ve ark., 1978; Rovinskiy ve ark., 1979; Terelak ve ark., 1997). Bunun yanında, yüksek derecede kurşun akümülatörü olan gıdalar da mevcuttur. Arpa, kök sebzeler ve yapraklı sebzeler insanların tükettikleri kısımlarında önemli miktarlarda kurşun depolamaktadır (Roberts ve ark., 1974; Kabata-Pendias ve Pendias, 1999; Alexander ve ark., 2006). İnsanlar ve hayvanlar bitkiler yoluyla alınan kurşunu vücutlarında biriktirmekte ve bundan zarar görmektedir.

Kurşun kirliliğine karşı kullanılan yöntemler de kadmiyum kirliliğine benzer şekilde topraktan uzaklaştırmak ve toprakta alınamaz formlara dönüştürmektir. Kurşunun topraktan uzaklaştırılması için toprağı taşıyarak değiştirmek, kirli toprağın üzerine yeni toprak sermek ve bitkilerin kullanılması gibi yöntemler mevcuttur (Arshad ve ark., 2008; Aiyesanmi ve ark., 2012; Ding ve ark., 2019; Lin ve ark., 2022). Bunlar arasında en etkili yöntem hiperakümülatör bitkilerin kullanılmasıdır (Alexander ve ark., 2006; Sereno ve

ark., 2007). Bunlara ek olarak, bitkilerin kurşun alımını artırmak için çeşitli maddeler (Wang ve ark., 2007a; Zaier ve ark., 2010), mikoriza (Bhaduri ve Fulekar, 2012; Gunathilakae ve ark., 2018) ve bakterilerin kullanımı (Tripathi ve ark., 2005) da denenmiş ve önemli başarılar elde edilmiştir. Kurşunun bitkiler tarafından alınmasını engellemek için ise pH'nın artırılması, fosfor gibi çeşitli element, mikoriza ve bakteri uygulamaları önem arz etmektedir. Özellikle mikoriza ve bakteri uygulamaları ile bitkilerin kurşun alımının önemli ölçüde azaldığının tespit edildiği çalışmalar mevcuttur (Cotter-Howells ve Caporn, 1996; Burd ve ark., 2000; Vivas ve ark., 2003; Dell'Amico ve ark., 2008; Sinha ve Mukherjee, 2008; Gao ve ark., 2010).

Çilek, taşımaya dayanımının zayıf olması sebebi ile çoğunlukla tüketim merkezleri olan büyük şehirlere yakın yerlerde ve özellikle ülkemizde satış kolaylığı sebebiyle yol kenarlarında yetiştirilmektedir. Bu bölgeler genellikle ağır metal kirliliğinin en fazla görüldüğü yerler arasındadır. Ağır metal birikiminin insan ve bitki sağlığına zararları da göz önünde bulundurularak bitki büyümesini artırıcı bakterilerin topraktan ağır metal alımını azaltabileceğinden yola çıkılarak bu çalışma planlanmıştır. Çalışmada yüksek miktarda kadmiyum ve kurşun içeren ortamda yetiştirilen çilek çeşitlerinde bazı bakteri ırklarının bazı morfolojik, pomolojik, fizyolojik ve anatomik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, bakteri ırklarının ve çeşit farkının bitki kısımlarında ağır metal birikimine etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kadmiyum Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar

Jalil ve ark. (1994) tarafından Kanada'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesinin (0, 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 µM) solüsyon kültüründe yetiştirilen üç durum buğdayı çeşidinin (Kyle, Nile ve SC84-994) kadmiyum ve besin elementi alımı ile fide büyümesi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum uygulamaları sürgün ve kök biyokütleleri ile kök uzunluğu ve yaprak alanını azaltmıştır. 0,1 µM Cd dozunun bitkilerin kadmiyum ve K içerikleri üzerine etkisinin olmadığı, fakat doz arttıkça Nile çeşidinin kök ve sürgünlerinde biriken kadmiyum ve K miktarlarının diğer iki çeşitten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum uygulamalarının kök ve sürgündeki kadmiyum miktarını artırırken, K, Zn ve Mn miktarını azalttığı, fakat Fe ve Cu miktarını etkilemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, topraktan alınan kadmiyumun biriktiği dokular konusunda çeşitler arasında farklar bulunmuştur. SC84-994 ve Kyle çeşitlerinde 0,5 µM Cd dozunda sürgünlere gönderilen kadmiyum miktarı azalmış ve artan kadmiyum dozları bir değişikliğe yol açmamış olmasına karşın, Nile çeşidinde kadmiyum dozu artışı ile sürgünlerdeki kadmiyum miktarı köklere paralel olacak şekilde artmaya devam etmiştir.

Moral ve ark. (1994) tarafından İspanya'da yürütülen bir çalışmada, Mermande domates çeşidinin meyve verimi, morfolojik özellikleri ve besin elementi miktarı üzerine kadmiyum toksisitesinin (0, 10 ve 30 mg L^{-1}) etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum uygulamaları ile bitki başına meyve verimi ve meyve sayısı azalmış ancak ortalama meyve ağırlığı iki kattan fazla artmıştır. Bitkilerin kök ve sürgün uzunluğunun düşük kadmiyum dozunda (10 mg L^{-1}) karışık tepki verdiği ancak yüksek dozda (30 mg L^{-1}) azaldığı, su içeriğinin ise artan kadmiyum dozları ile köklerde azaldığı, sürgünlerde arttığı belirtilmiştir. Meyvelerdeki besin elementi miktarları kadmiyum dozu artışı ile genellikle artmış olup (N, P, K, Na, Ca, Mg, Zn ve B), Mn içeriği azalmış, Fe içeriği ise önce artmış, ardından yüksek dozda azalmıştır. Araştırıcılar, bitki organlarında biriken besin elementi miktarlarının farklılık gösterdiğini, genel olarak köklerdeki miktarı artan besin elementlerinin sürgün ve özellikle yapraklarda azaldığını, köklerde miktarı azalanların ise sürgün ve yapraklarda arttığını belirtmişlerdir.

Cieśliński ve ark. (1996) tarafından üç çilek çeşidinde (Rainier, Selva ve Totem) yürütülen bir çalışmada, farklı kadmiyum dozlarının (0, 15, 30 ve 60 mg kg^{-1}) bitkilerde

bazı morfolojik ve pomolojik özelliklere etkileri incelenmiştir. Kadmiyum uygulamalarından, bitki büyümesi, verim ve kadmiyum birikimi önemli ölçüde etkilenmiştir. En fazla kadmiyum köklerde birikmesine rağmen, artan kadmiyum dozlarında yaprak ağırlığı kök ağırlığından daha fazla azalmıştır. Çalışmada, topraktan alınan kadmiyumun %90'dan fazlasının köklerde tutulduğu belirlenmiştir.

İspanya'da yürütülen bir çalışmada, Mermande domates çeşidinin meyve verimi ve kalitesi üzerine kadmiyum dozlarının (0, 3, 30 ve 100 mg kg^{-1}), organik ve inorganik gübrelerin etkisi incelenmiştir. Araştırıcılar, organik gübre olarak arıtma çamuru ve arıtma çamurunun içerdiği N, P ve K'a denk miktarda besin elementi içeren inorganik gübre kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, arıtma çamuru ve inorganik gübre uygulamaları ile bitki başına meyve verimi, meyve sayısı, meyvelerin EC değeri, titre edilebilir asitliği ve çözünür protein miktarı artmış, ortalama meyve ağırlığı azalmıştır. Kadmiyum uygulanması ile meyve veriminin azaldığı, meyvelerin kadmiyum içeriğinin ise önemli ölçüde arttığı belirlenmiş ancak kadmiyum uygulamalarının meyve verimi üzerine çok fazla bir etkisi olmamıştır. Ayrıca, inorganik gübre uygulaması ile meyvelerdeki kadmiyum içeriği azalmış ancak arıtma çamuru ile bariz şekilde artmıştır (Moral ve ark., 1996).

Malan ve Farrant (1998) tarafından soya fasulyesinde yapılan bir çalışmada, kadmiyum ve nikel ağır metallerinin tohum gelişimine etkileri incelenmiştir. Araştırıcılar, 0,05 mg L^{-1} Cd ve 1 mg L^{-1} Ni dozlarını kullanmış ve her iki metalin de bitki biyokütlesini ve tohum verimini önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir. Sonuçlara göre, en fazla ağır metal birikimi köklerde olmakla birlikte nikel, kadmiyuma göre daha hareketli olup, tüm bitki organlarında yüksek miktarda tutulmuştur. Özellikle olgun soya tohumlarında önemli miktarda Ni ve bir miktar da kadmiyum birikmiştir. Tohumlarda metal birikimi olgunlaşmayla birlikte artmıştır. Kadmiyumun olgun tohum ağırlığını azaltmasının; yağ, protein ve karbonhidratların üretiminin azalması yoluyla ortaya çıktığı belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, Ni uygulanmış bitkilerde her bir bakla içindeki tohum sayısı azalmış olmakla birlikte, her bir tohumun ağırlığında önemli sayılabilecek bir azalma görülmemiştir.

Ghorbanli ve ark. (1999) tarafından İran'da yürütülen bir çalışmada, Pershing soya fasulyesi çeşidinde kadmiyum toksisitesine (0, 2,5, 5,0 ve 10,0 mg m^{-3}) karşı uygulanan 0 ve 10 mg m^{-3} giberellik asidin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, giberellik asit varlığı düşük kadmiyum dozlarında yokluğuna göre, klorofil a, klorofil b, net asimilasyon oranı, sürgün uzunluğu,

sürgün yaş ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, toplam çözünebilir şeker ve nişasta miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Buna karşın, giberellik asit uygulaması kadmiyum dozu artışına bağlı olarak giberellik asit yokluğuna göre sayılan özellikleri korumuştur. Bununla birlikte, kadmiyum stresi altında giberellik asit varlığı; yaprak alanı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak oransal su içeriği, nisbi kök büyümesi ve nisbi yaprak büyümesi oranlarını tüm kadmiyum dozlarında yokluğuna göre korumuştur. Araştırıcılara göre, kadmiyum stresine maruz kalmış bitkilere giberellik asit uygulanması durumunda kadmiyum toksisitesinin ortaya çıkardığı olumsuz etkiler azaltılabilmektedir.

Jiang ve ark. (2001) tarafından yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi (0, 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3} ve 10^{-2} M) altında yetişen sarımsakta kök, yumru ve sürgünlerde kadmiyum birikimi incelenmiştir. Sonuçlara göre, sarımsak kök, yumru ve sürgünleri önemli derecede kadmiyum biriktirmiştir. Yüksek dozlarda fidelerin önemli ölçüde zarar gördüğü, düşük dozlarda köklerde biriken kadmiyum miktarının düşük, yüksek dozlarda ise oldukça yüksek miktarda olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, kökler tarafından alınan yüksek miktarda kadmiyumun az bir kısmı yumru ve sürgünlere taşınmıştır. Araştırıcılar, 10^{-2} M dozunda alınan kadmiyumun yaklaşık %4'ünün yumrularda ve %1'den az kısmının ise sürgünlerde; 10^{-3} M Cd dozunda ise alınan kadmiyumun yaklaşık 1/5'i yumruda biriktiğini tespit etmişlerdir.

Çin'de yürütülen bir çalışmada, kadmiyum stresi (0, 0,1, 1, 10, 100, 1.000, 10.000 ppm) altında yetişen sarımsak bitkisinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, düşük kadmiyum dozları (0,1 ve 1 ppm) kök uzunluğunu etkilememiş, hatta kısa süre (24 ve 48 saat) denemelerinde olumlu etki yapmıştır. Ayrıca, günlük kök büyüme oranı yüksek dozlarda (100 ve 1.000 ppm) süre ve kadmiyum dozuna bağlı olarak önemli ölçüde azalmıştır. Kök ucunda incelenen mitotik indeks, bölünen hücre ve normal şekilde bölünen hücre sayılarının kadmiyum dozu ve zamana bağlı olarak azaldığı, anormal şekilde yaşanan bölünmelerin ise arttığı, kromozomların da yüksek dozlarda ve zamana bağlı olarak kalınlaştığı belirlenmiştir (Liu ve ark., 2003).

Wang ve ark. (2007a) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, Nongda No. 108 ve Liyu No. 6 mısır çeşitleri kullanılarak 4 farklı kadmiyum dozunda (0, 10, 100 ve 1000 ppm) bitkilerin bazı morfolojik ve kimyasal özellikleri ile kadmiyum biriktirme kapasiteleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, ilk 15 günlük süre içinde Nongda No. 108 mısır çeşidinde kök uzunlukları kadmiyum dozuna göre azalmaya başlamışken, Liyu No. 6 mısır çeşidinde düşük dozlardan elde edilen uzunluklar kontrole göre daha yüksek

bulunmuştur. Bitkilerin kadmiyum biriktirme kapasitelerinin zamana bağlı olarak arttığı, yüksek dozlarda daha fazla kadmiyum biriktirildiği ve alınan kadmiyumun %80'den fazlasının köklerde biriktirildiği belirlenmiştir. Ayrıca, Liyu No. 6 mısır çeşidinin daha fazla kadmiyum biriktirdiği ve aldığı kadmiyumun oransal olarak nispeten daha yüksek bir miktarını sürgünlere taşıdığı tespit edilmiştir. Artan kadmiyum dozları ile özellikle Mn ve Cu alımının azaldığı, bu azalmaya Liyu No. 6 çeşidinin daha fazla direnç gösterdiği ve düşük dozlarda daha fazla besin elementi aldığı saptanmıştır. Ayrıca, kadmiyum stresi altında Fe alımının bir miktar arttığı ve alınan Fe'in köklerde tutulduğu, Zn alımının ise doz, zaman ve çeşide bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

Ekmekci ve ark. (2008) tarafından iki mısır çeşidinde (3223 ve 32D99) yapılan bir çalışmada, 8 gün boyunca 0, 0,3, 0,6 ve 0,9 mM $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ uygulanan 14 günlük fidelerin klorofil miktarı, kuru ağırlığı ve bazı fotosentetik parametreler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, klorofil ışımaları 3223 mısır çeşidinin fotokimyasal etkinliğinin 32D99 mısır çeşidine göre kadmiyum seviyelerinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. 0,9 mM Cd dozunda çeşitlerde oksidatif hasar meydana gelmiş olmasına karşın, PSII aktivitesi durmamış ve bitki ölümü gerçekleşmemiştir. Ayrıca, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak her iki mısır çeşidinde de klorofil ve karotenoid miktarı azalmış ve zar hasarı ortaya çıkmıştır. Her iki çeşitte de kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kuru ağırlık azalmış olup, köklerde daha fazla kadmiyum birikmiştir. Bununla birlikte, 3223 mısır çeşidi 32D99'a göre yapraklara daha fazla oranda kadmiyum taşımış ve kadmiyum toksisitesinden daha fazla etkilenmiştir.

Mısır'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesinin (1, 2,5, 5, 10, 25 ve 50 ppm) turp bitkilerinin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, bitkilerin kadmiyum toksisitesine maruz kalması ile büyümeleri, yaprak alanı, klorofil ve karotenoid içerikleri azalmıştır. Klorofil b miktarı klorofil a'ya göre daha fazla azalmış ve en fazla azalma 50 ppm Cd dozunda görülmüştür. En fazla kadmiyum birikimi köklerde, sonrasında yapraklarda olmuştur. Ayrıca, yapraklarda Fe, Zn, Mn ve Cu içerikleri azalmıştır. Bunun yanında, kadmiyum toksisitesi ile bitkilerin antioksidant enzim aktivitesinin arttığı belirlenmiştir. Araştırıcılara göre, antioksidant enzim aktivitelerindeki artış, yaprak alanı ve pigment içeriğindeki azalma kadmiyum toksisitesinin göstergeleri olarak kullanılabilir (El-Beltagi ve ark., 2010).

Rehman ve ark. (2011) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi (0, 10, 20, 30 ve 40 µg) altında yetiştirilen Navodaya domates

çeşidinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, çiçek sayısı düşük kadmiyum dozlarından itibaren önemli ölçüde olumsuz etkilenmişken, kök, sürgün, yaprak ve toplam biyokütleler ile klorofil b içeriği düşük kadmiyum dozlarından olumlu etkilenmiş ve doz artışı ile etki tersine dönmüştür. Bununla birlikte, klorofil a miktarı tüm kadmiyum dozlarında yükselmiştir. Araştırıcılar, sürgün ve kök uzunluğu, yaprak sayısı, yaprak alanı ve stoma iletkenliğinin düşük kadmiyum dozlarından itibaren olumsuz etkilendiğini ve doz artışına bağlı olarak bu etkinin sürdüğünü belirtmişlerdir.

Ahmad ve ark. (2012) tarafından 4 buğday çeşidinde (Sehar-06, Fareed-06, Inqlab-91 ve Chakwal-50) yürütülen bir çalışmada, bitkilere beş farklı kadmiyum ($CdCl_2.H_2O$) dozu (0, 5, 20, 50 ve 80 mg L^{-1}) uygulanmıştır. Sonuçlara göre, kadmiyum 5 mg L^{-1} dozundan itibaren kök ve sürgün büyümesi, 20 mg L^{-1} dozundan itibaren tohum çimlenmesi ve çimlenme gücü üzerine olumsuz etki göstermiştir. Kadmiyum toksisitesi çeşitler arasında farklı etkiler göstermiş olup, en dayanıklı çeşit Sehar-06, en hassas çeşit ise Inqlab-91 olmuştur. Inqlab-91 buğday çeşidinde 80 mg L^{-1} Cd dozunda kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, çimlenme oranı ve çimlenme indeksi sırasıyla; %70,4, %81,2, %68 ve %76,8 oranında azalmıştır.

Van'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum uygulamalarının (0, 15, 30, 45 ve 60 mg kg^{-1}) çilekte klorofil içeriği, antioksidant enzim ve bitki besin elementi alımı üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, doz artışı ile çilek bitkilerinin kök ve yapraklarındaki kadmiyum miktarı artmış, en fazla kadmiyum birikimi köklerde görülmüştür. Ayrıca, kadmiyum dozu artışı ile bitkilerde klorofil a ve b içeriği azalmış, MDA miktarı, SOD ve POD aktivitesi önemli ölçüde artmıştır. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin köklerinde bulunan K, Mn ve Mg miktarının yapraklardan daha az olduğu belirlenmiştir. Artan kadmiyum dozları ile kök ve sürgünlerde K, Mg, Fe, Ca, Cu ve Zn içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin büyümesinin %30'a varan oranlarda azaldığı da belirlenmiştir (Muradoglu ve ark., 2015b).

Loi ve ark. (2018) tarafından Rusya'da yürütülen bir çalışmada, Moskow marul çeşidinin kadmiyum toksisitesi (0, 2, 5, 10, 50 ve 100 mg kg^{-1}) altında bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile kadmiyum birikimi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum uygulamalarının marul gelişimi üzerine toksik etkisinin olduğu, bitki boyu, yaprak sayısı (%16,4-61,3) ve yaprak alanını yüksek oranlarda azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, kadmiyum toksisitesi klorofil a, klorofil b, karotenoid ve prolin içeriklerini önemli ölçüde

azaltmıştır. Düşük kadmiyum dozunda prolin ve MDA içerikleri önemli artış göstermiş, bitki biyokütlesi incelenen tüm kadmiyum dozlarında %49,6-%99,6 arasında azalmıştır.

2.2. Kurşun Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar

Lane ve Martin (1977) tarafından İngiltere'de yürütülen bir çalışmada, turp bitkilerinin kurşun toksisitesi altında tohum ve fidelerinin hücre kimyaları incelenmiştir. Sonuçlara göre, tohum kabuğu yırtılıp bitkiler toprak çözeltisinden su emmeye başlayıncaya kadar kurşunun hücreye girişi testa tarafından engellenmiştir. Fidelerde ise kurşunun kök korteksine yöneldiği saptanmıştır. Kurşunun çok büyük kısmının endodermisten daha çok vasküler dokularda depolandığı belirlenmiştir. Vasküler dokularda depolanan kurşunun çok küçük bir kısmının damarlı dokuların çevresinde bulunan sürgün ve kotiledon dokularına geçtiği bildirilmiştir.

Polonya'da yapılan bir çalışmada, Senga Sengana çilek çeşidinde 3 farklı endüstriyel atığın (12,4-1.770,0 ppm Pb içeren) kurşun alımı ve biriktirme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan kurşun içeren endüstriyel atıklardan sonra toprakların kurşun içeriği 12,2-40,0 ppm arasında değişmiş ve bu miktarın büyük kısmı pulluk tabanında birikmiştir. Toprakta bulunan kurşun miktarı ile çilek bitkisinin biriktirdiği kurşun miktarı arasında pozitif korelasyon ve kireçleme ile değişen pH sebebiyle kurşun alımının değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, toprağa uygulanan kurşunun önemli bir kısmı toprak bileşenleri tarafından tutulmuştur. Araştırıcılar, topraktan alınan kurşunun çok büyük kısmının köklerde biriktiğini, yapraklara ve özellikle meyvelere çok düşük miktarlarda kurşun taşındığını, yüksek toprak kurşun içeriği durumunda bile çilekte meyvelere çok fazla kurşun taşınmadığını tespit etmişlerdir (Cieśliński ve Mercik, 1993).

Mishra ve Choudhuri (1998) tarafından Hindistan'da iki çeltik çeşidinde (Ratna ve IR 36) yürütülen bir çalışmada, kurşun (10 μM $PbCl_2$) ve Hg (10 μM $HgCl_2$) stresi altındaki bitkilere uygulanan antioksidantların (GSH, Cys, askorbik asit ve α-tokoferol) fidelerde bazı morfolojik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kurşun ve cıva uygulamaları ile fidelerin çimlenme oranı, çimlenme indeksi, sürgün/kök uzunlukları ve sürgün/kök kuru ağırlıkları azalmış ancak bu azalmalar IR 36 çeşidinde daha düşük seviyede kalmıştır. Bununla birlikte, kurşun ve cıva toksisitesine karşı kullanılan antioksidantlar bitki özelliklerini olumlu yönde etkilemiş; çimlenme, çimlenme indeksi, kök uzunluğu ve kuru ağırlık gibi özelliklerde IR 36 çeşidi, sürgün

uzunluğunda ise Ratna çeşidi antioksidantlara daha iyi tepki vermiştir. Araştırıcılar, uygulanan antioksidantları en etkili olandan başlayarak GSH>Cys>askorbik asit>α-tokoferol şeklinde sıralamıştır.

Mısır fidelerinde yürütülen bir çalışmada, kurşun stresi altında (10, 100 ve 1.000 ppm) bitkilerin bazı morfolojik özellikleri ile K, Ca ve Pb içerikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, kök uzaması sürgün uzamasına göre kurşun toksisitesine daha hassas olup, büyüme ile K içeriği arasında pozitif, büyüme ile kurşun içeriği arasında negatif korelasyon bulunmuştur. Ayrıca, kurşun içeriği ile potasyum içeriği arasında da negatif korelasyon belirlenmiştir. Kök hücrelerinden K sızıntısı neticesinde büyümenin yavaşladığı, kök ucunda en fazla kurşunun mezokotil hücrelerinde biriktiği ve bunun neticesinde sürgün büyümesinin kök hücrelerinden K sızıntısı veya kök hücrelerinde kurşun birikimi ile alakalı olmadığı, başka bir sinyal yoluyla büyümenin kısıtlandığı sonucuna varılmıştır. Araştırıcılar, 8 mm'lik kök ucunda biriken kurşunun o kök ucunun bağlı olduğu tüm kökte biriken kurşunun %50'si kadar olduğunu belirlemişlerdir (Małkowski ve ark., 2002).

Verma ve Dubey (2003) tarafından Hindistan'da yapılan bir çalışmada, kurşun toksisitesi altında (0, 103,6 ve 207,2 ppm Pb^{2+}) iki çeltik çeşidinin (Ratna ve Jaya) bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile bitkilerin biriktirdiği kurşun miktarı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, artan kurşun dozları ile sürgün ve köklerin boyları ile ağırlıkları azalmıştır. Ayrıca, artan kurşun dozları ile artan lipid peroksidasyonu neticesinde enzim aktiviteleri de (SOD, gualikol peroksidaz, APX, GR) önemli ölçüde artmıştır. Bitkiler tarafından alınan kurşunun büyük kısmının köklerde biriktiği ve bunun neticesinde oksidasyon ve lipid peroksidasyonunun köklerde daha fazla ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bunun sonucunda, antioksidant enzim aktiviteleri de köklerde daha yüksek seviyede bulunmuştur.

Chatterjee ve ark. (2004) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesinin (1 mM) Swarn Mansoori çeltik çeşidi üzerindeki etkilerini belirlemek için 42 gün boyunca tam besin çözeltisi kullanılarak bitkiler kum içinde yetiştirildikten sonra 104 gün boyunca kurşuna maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kurşun toksisitesi altında bitkilerin verimi ve kuru ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Bitkilerde kurşun birikmesi sonucunda; klorofil, karotenoid, şeker, fenol, protein, Fe, Mn, Cu ve Zn miktarları ile peroksidaz aktivitesi azalmıştır. Buna karşın bitkilerde, S, P ve Mg miktarları ile katalaz, asit fosfataz ve ribonükleaz aktiviteleri artmıştır. Araştırıcılara göre,

büyümede hafif gerileme, yaprak sayısında ve boyutunda azalma, kardeş ve çiçek salkımı sayılarındaki azalma dışında hasattan önce kurşunun belirgin bir etkisi görülmemiştir.

Weryszko-Chmielewska ve Chwil (2005) tarafından Polonya'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (0, 10, 20, 40 mg dm^{-3}) altında yetiştirilen Polan soya çeşidine ait fidelerin bazı morfolojik ve histolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, kurşun dozları soya fasulyesi bitkilerinin kotiledon ve yapraklarının alanını azaltmıştır. Yaprak epidermisinde biriken kurşunun yapraklarda hücre boyunda kısalma, kütiküla tabakasında kalınlaşma, stoma bekçi hücrelerinin boyunda kısalma, birim alan başına düşen stoma ve trikom sayısında azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca, kurşun uygulamalarının yaprak kalınlığında, iletim demetlerinde ve ksilem damarlarının çapında azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir.

Çin'de yürütülen bir çalışmada, iki *Elsholtzia argyi* H. Lev. ekotipinin kurşun toksisitesine (0, 25, 50, 100, 200 ve 400 µM) verdiği bazı morfolojik tepkiler ile kurşun içeriği incelenmiştir. Tohum çimlenmesi ve hidroponik ortam olmak üzere iki deneme yürütmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, her iki denemede de madencilik sahasından elde edilen ekotipin kurşun dozlarına daha yüksek dayanım gösterdiği bildirilmiştir. Kurşun uygulamalarının her iki ekotipin de çimlenmesi üzerine uyarıcı etkisi olduğu ve çimlenen tohum sayısını artırdığı belirlenmiştir. Tohum çimlenmesi denemesinde, madencilik sahasından elde edilen ekotipin kökçük ve hipokotil uzunlukları 25 µM Pb dozunda artmış ve artan dozlar ile azalmışken, diğer ekotipte düşük kurşun dozundan itibaren kökçük ve hipokotil boylarında azalma görülmüştür. Hidrofonik ortam denemesinde 0, 50, 100 ve 200 µM Pb dozları kullanılmış, incelenen tüm kök ve sürgün özelliklerinde madencilik sahasından elde edilen ekotipin daha yüksek değerler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Kök özelliklerinde artan kurşun dozları ile madencilik sahasından elde edilen ekotipte artış söz konusu iken, diğer ekotipte ekseriyetle azalma görülmüştür (Islam ve ark., 2008b).

Kopittke ve ark. (2007) tarafından Avustralya'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (0, 0,025, 0,050, 0,10, 0,15, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 1,00, 1,50, 2,50 µM) altında yetişen börülcenin bazı morfolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, yaş ağırlık sürgünlerde 0,2 µM Pb dozunda, köklerde ise 0,06 µM Pb dozunda %10 azalmıştır. Kurşunun esas birikme yeri kökler (4.000 µg g^{-1}) olup, sürgünlerde kurşun dozu artsa da 80 µg g^{-1}'dan daha fazla kurşun birikmemiştir. Sürgünlerde kurşun miktarı düşük dozlardan itibaren hızla artmış ancak 0,50 µM Pb dozundan sonra artış durmuştur. Köklerde ise düzenli ve istikrarlı şekilde doz artışına bağlı olarak kurşun miktarı artmıştır.

Ayrıca, kurşun toksisitesi altında köklerde K, sürgünlerde K, Ca, S, P, Cu, Fe, Zn ve Mn miktarının azaldığı, köklerde Ca, P, Mg, Cu, Fe, Zn ve Mn miktarının arttığı belirlenmiştir. Kurşunun köklerde hücre duvarları ve hücreler arası boşlukta biriktiği, kök uçlarına yakın bölgesel şişkinliklerin oluştuğu ve apikal baskınlığın kaybolmasına yol açtığı da tespit edilmiştir.

Islam ve ark. (2008a) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, iki *Elsholtzia argyi* H. Lev. ekotipinin kurşun toksisitesine (0, 25, 50, 100, 200 ve 400 µM) verdiği bazı morfolojik ve fizyolojik tepkiler incelenmiştir. Her iki ekotipte de kurşun uygulamaları bitkilerin yaprak büyümesini ve fotosentezi azaltırken, membran hasarını belirgin şekilde artırmıştır. Kurşun uygulamaları SOD ve G-POD aktivitelerini azaltırken, CAT, GSH, toplam çözünür protein ve askorbik asit seviyelerinin özellikle madencilik ekotipinde önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Yaprak dokusu incelendiğinde, kurşunun sünger parankiması hücrelerinin kloroplast yapısında biriktiği ve özellikle madencilik sahasından elde edilmemiş olan ekotipin bu birikmeden daha fazla zarar gördüğü belirtilmiştir. Bu sebeple, madencilik sahasından elde edilmiş olan ekotipin yüksek toleransı sebebiyle, GSH, POD ve SOD'un indüklenmesi sonucu reaktif oksijen türlerinin fazla zarara yol açmadan ortadan kaldırıldığı ve hücre organellerinin daha az zarar gördüğü, böylece yaprak büyümesi ve fizyolojisini koruduğu belirtilmiştir.

Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, *Thespenia populnea* L. (Hint lale ağacı) bitki türünün kurşun toksisitesi altında (0, 5, 10, 15, 20 ve 25 µmol L^{-1}) bazı büyüme parametreleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, tüm bitki özellikleri (sürgün boyu, kök uzunluğu, yaprak sayısı, yaprak alanı ve fide kuru ağırlığı) kurşun stresi altında önemli ölçüde azalmıştır. Özellikle yaprak alanı ve fide kuru ağırlığı %50'den fazla azalmıştır. Birçok özellikte kurşunun olumsuz etkisi düşük dozlardan itibaren başlamış, en fazla olumsuz etki tüm özelliklerde 25 µmol L^{-1} dozunda saptanmıştır (Kabir ve ark., 2010).

Opeolu ve ark. (2010) tarafından Nijerya'da yapılan bir çalışmada, kurşun toksisitesi (0, 300, 600 ve 1.800 ppm) altında yetişen domates fidelerinin 8 hafta boyunca bazı morfolojik, pomolojik ve kurşun biriktirme özellikleri incelenmiştir. Artan kurşun dozları ile bitkilerin morfolojik ve verim özelliklerinde azalmalar görülmüştür. İlk haftalarda tüm kurşun dozlarının bitkilerin yaprak sayısı, dal sayısı ve sürgün boyunu azalttığı ancak ilerleyen haftalarda 300 ppm kurşun dozunda yetişen domates bitkilerinin yukarıda sayılan özelliklerinin kontrol bitkilerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, beşinci haftada oluşan çiçek sayılarında da düşük kurşun dozundan elde edilen değerler kontrol bitkilerinden daha yüksek bulunmuştur. Domates köklerinde doz artışına

bağlı olarak kurşun birikimi artmış, en yüksek değerler sırasıyla kökler ve sürgünlerde bulunmuş ancak 600 ppm kurşun dozundan sonra sürgünlerde birikim yavaşlamıştır. Araştırıcılar, bitkilerin topraktan kaldırdığı kurşunun yüksek dozlarda yaklaşık %80'inin köklerde tutulduğunu, düşük dozlarda bu oranın daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Aiyesanmi ve ark. (2012) tarafından Nijerya'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (50, 100, 200, 500 ve 1.000 ppm) altında yetiştirilen *Chromolaena odorata, Synedrella nodiflora* ve *Talinum triangulare* bitki türlerinin 75 ml EDTA çözeltisi varlığı ve yokluğunda bitki kuru ağırlıkları ile kök ve sürgünlerindeki kurşun biriktirme kapasiteleri incelenmiştir. Dört haftalık deneme süresince en fazla kök ve sürgün kuru ağırlığına sahip ve en fazla kurşun biriktiren türden itibaren sırasıyla *S. nodiflora, C. odorata* ve *T. triangulare*'dir. EDTA eklenmesiyle bitkilerin kurşun alımının önemli ölçüde arttığı, fakat sıralamanın değişmediği belirtilmiştir. EDTA uygulanmış ve uygulanmamış bitkilerde kök ve sürgünlerde biriken kurşun miktarı *T. triangulare* türünde aynı iken, diğer iki türde EDTA yokluğunda bitkilerin topraktan aldığı kurşunun yaklaşık 2/3'ü köklerde tutulmuştur. EDTA varlığında ise bu iki türde köklerde tutulan oran daha da artmıştır.

Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (0, 1, 25, 50, 100, 200 ve 500 mM) altında yetişen mısırın bazı morfolojik özellikleri ile bünyesinde biriktirdiği kurşun miktarı incelenmiştir. Uygulanan kurşun dozları çimlenme oranı, ortalama sürgün ve kök uzunlukları, sürgün ve köklerin yaş ve kuru ağırlıkları ile sürgün ve köklerin protein içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır. Öyle ki, 500 mM Pb dozunda çimlenme meydana gelmemiştir. Araştırıcılar, mısır bitkisinin kök ve sürgünlerinde benzer oranlarda kurşun biriktiğini bildirmiş ancak miktarı daha fazla olduğundan topraktan kaldırılan kurşun miktarı açısından köklerin daha fazla ağır metal tuttuğu belirtilmiştir (Hussain ve ark., 2013).

Muradoğlu ve ark. (2016) tarafından Van'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesinin (0, 20, 60 ve 80 mg kg^{-1}) Camarosa çilek çeşidinde antioksidant enzim aktivitesi, bazı fizyolojik özellikler, kurşun ve besin elementi alımına etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, kurşun dozu artışına bağlı olarak klorofil a ve b içeriğinde azalmalar görülmüştür. Buna karşın, bitkilerin kök ve sürgünlerinde kurşun birikimi, MDA, SOD ve CAT aktivitelerinde artış görülmüş, APX aktivitesinde ise kararsız bir artış ile karşılaşılmıştır. Bitkilerin besin elementi alımında ise farklılıklar tespit edilmiştir. Makro besin elementi (Ca ve Mg tüm bitkide, K kökte) miktarları kurşun dozu artışı ile bitki genelinde artmışken, mikro besin elementi (Fe, Mn ve Cu) miktarları

köklerde artmış, sürgünlerde ise azalmıştır. Çinkonun ise farklı tepki vererek hem sürgünlerde hem de köklerde kurşun dozu artışı ile azaldığı belirlenmiştir.

2.3. Kadmiyum ve Kurşun Toksisitesinin Birlikte Uygulanması ile İlgili Çalışmalar

Breckle ve Kahle (1992) tarafından Almanya'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum (0-75 ppm arası) ve kurşun (0-1.500 ppm arası) toksisitesi altında yetişen kayın bitkilerinin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri ile ağır metal birikimleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, yaprak alanı ve yaprak kuru maddesinde azalma 6 ppm Pb ile 0,3 ppm Cd, biyokütlede azalma ise 18 ppm Pb ve 3,6 ppm Cd varlığında tespit edilmiştir. Topraktaki alınabilir kurşunun 44 ppm düzeyinde olmasıyla kök uzaması engellenmiş, 2 ppm Cd varlığında kurşun miktarının 24 ppm olması yetmiştir. Besin elementi içeriğinde ise kumlu toprakta 20 ppm Pb ve 1 ppm Cd varlığında bitkilerin köklerinde yüksek, yapraklarında düşük, kurşun ve kadmiyum varlığında K, Ca, Mg, Fe, Mn ve Zn içeriklerinde önemli düşüş görülmüştür. Çalışmada ayrıca, 10 yaşında bir ağacın 2,5 ppm Cd içeren toprağa üç ay maruz kalması ile transpirasyon oranı yaklaşık olarak %20 azalmıştır. Araştırıcılar, günümüzde asitlenmiş Avrupa orman topraklarında kurşun miktarının kayın ağaçlarının çimlenme ve büyümesine zarar verebilecek seviyeye ulaştığını ancak kadmiyumun henüz zarar verebilecek kadar birikmediğini belirtmişlerdir.

Sırbistan'da yürütülen bir çalışmada, ayçiçeği fidelerine uygulanan kurşun, kadmiyum, bakır ve çinko dozlarının (1 ve 100 ppm) bitkilerin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, köklerde biriken ağır metal miktarlarının sürgünlere oranla daha yüksek olduğu (azalan sırayla; Cu>Cd>Zn>Pb) ancak köklerde daha az birikmesine rağmen çinko ve bakırın sürgünlere daha fazla taşındığı belirlenmiştir (azalan sırayla; Zn>Cu>Pb>Cd). Yüksek ağır metal dozlarının bitkilerin terleme ve bağıl su içeriğini azalttığı, birim alana düşen stoma sayısını artırmakla birlikte stoma boyutlarını kısalttığı belirlenmiştir. Ağır metal stresi altındaki bitkilerde serbest prolin miktarının arttığı ancak yüksek ağır metal dozlarında suda çözünür protein içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek ağır metal dozlarının bitkilerin su düzenini bozduğu ve bunun arkadan gelen diğer olumsuz etkilere yol açtığı bildirilmiş, zarar düzeyine göre ağır metaller kadmiyum, bakır, çinko ve kurşun şeklinde sıralanmıştır (Kastori ve ark., 1992).

Gothberg ve ark. (2004) tarafından İsveç'te yürütülen bir çalışmada, su ıspanağının cıva, kadmiyum ve kurşun alımı üzerine farklı besin miktarlarının etkisi incelenmiştir. Araştırıcılar bu amaçla, %1, %25 ve %100 Hoagland çözeltisi ile 0,00, 0,05, 0,10 ve 0,20 µM Hg; %25 ve %100 Hoagland çözeltisi ile 0,0, 0,9, 9, 27 ve 45 µM Cd; %10, %25, %50 ve %100 Hoagland çözeltisi ile 0, 24, 72, 120, 360 ve 600 µM Pb kullanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ağır metal dozu arttıkça bitkilerin organlarında biriken metal miktarı artmış ve alınan metallerin çok büyük kısmı köklerde birikmiştir. Ayrıca, besin elementi miktarının azalması ile bitkilerin ağır metal alımı arasında pozitif bir korelasyon olduğu ve azalan Hoagland çözeltisi dozlarına bağlı olarak bitkilerde biriken ağır metal miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Gür ve ark. (2004) tarafından Elazığ'da yürütülen bir çalışmada, bakır, cıva, kurşun ve kadmiyum dozlarının (30, 60, 90, 120 ve 240 µM) *Olivia* sp. bitkisinin polen çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkisi incelenmiştir. Tüm ağır metal türleri ve dozları polen çimlenmesini ve tüp büyümesini belirli oranlarda azaltmıştır. Uygulanan ağır metaller arasında polen çimlenmesi ve tüp uzamasını en fazla engelleyenin kadmiyum, en az engelleyenin ise kurşun olduğu belirlenmiştir.

Bystricka ve ark. (2016) tarafından Slovakya'da, bir üreticiden temin edilen toprak ve meyve örnekleri ile yapılan bir çalışmada yedi çilek çeşidi (Clery, Sonata, Alba, Korona, Azia, Antea ve Joly) kullanılmıştır. Meyve örneklerinde ağır metallerden çinko (0,83-1,67 mg kg^{-1}), bakır (0,12-0,57 mg kg^{-1}) ve nikel (0,08-0,28 mg kg^{-1}) önemli miktarda tespit edilmişken kadmiyum (0,01-0,04 mg kg^{-1}) az miktarda bulunmuş, kurşuna ise rastlanmamıştır. Topraktaki ağır metal miktarı arttıkça çilek meyvelerinde de ağır metal içeriği artmıştır. Clery, Alba, Azia ve Antea çilek çeşitlerinde diğerlerine göre daha fazla miktarda ağır metal birikimi olmuştur.

2.4. Ağır Metal Toksisitesine Karşı Kullanılan Yöntemler ile İlgili Çalışmalar

Treder ve Cieslinski (2005) tarafından Polonya'da yürütülen bir çalışmada, silisyum uygulamasının (toprak ve yapraktan; 16,7 mM kg^{-1} Si) çilek bitkilerinin kumlu ve killi toprakta kadmiyum alımına ve bitki bünyesi içinde dağılımına etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, topraktaki kadmiyum miktarı arttıkça bitkilerin kadmiyum alımı artmış, kumlu toprakta bitkiler bünyelerine daha fazla kadmiyum almıştır. Si uygulamalarının bitki büyümesini olumlu yönde etkilediği ve topraktan uygulanan Si'un bitkilerin kadmiyum alımını azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, killi toprakta

yapraktan uygulanan Si'un kadmiyum alımını azaltmada nispeten daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Meyvelerde kadmiyum birikimini azaltmak üzerine en etkili uygulama olarak kumlu toprakta topraktan, killi toprakta yapraktan uygulamanın daha etkili olduğu ancak düşük dozlarda her iki toprak tipinde de yaprak ve topraktan uygulamanın birlikte yapılmasının daha etkili olduğu da bildirilmiştir.

Kanada'da yürütülen bir çalışmada, iki söğüt türünün (*Salix viminalis* ve *Populus x generosa*) bakır (54,5 mg kg^{-1}), çinko (184,3 mg kg^{-1}), kadmiyum (0,7 mg kg^{-1}) ve kurşun (153 mg kg^{-1}) stresi altında bazı morfolojik özellikleri ve metal biriktirmesi üzerine *Glomus intraradices* türü mikorizanın etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, her iki tür de yüksek miktarda biyokütle üretmiş olmasına karşın *P. x generosa* daha fazla üretmiştir. İki türün de sürgünlerinde kadmiyum ve çinko, köklerinde ise bakır ve kurşunu yüksek miktarda biriktiği belirlenmiştir. Ayrıca, *S. viminalis*'in daha fazla ağır metal biriktirdiği, ilk yıl uygulanan mikorizanın bitkilerin ikinci yılındaki büyümesine etki etmediği bildirilmiştir. Mikoriza uygulanmasının bakır ve kadmiyumu köklerde tuttuğu ve topraktan kadmiyum ve çinko kaldırılmasında mikorizaların etkili olduğu belirtilmiştir (Bissonnette ve ark., 2010).

Gao ve ark. (2010) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, kadmiyuma dayanıklı bir mantar suşunun (*Paecilomyces lilacinus* NH1 (PLNH1)) ve sitrik asidin köpek üzümü bitkisinin bazı morfolojik özellikleri ile antioksidant aktivitesi ve topraktan kaldırdığı kadmiyum miktarı üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, sitrik asit ve PLNH1 mantar suşu kadmiyum stresi atında bitki büyümesini önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, sitrik asit ve PLNH1 suşunun birlikte kullanıldığı durumda olumlu etki daha fazla olmuştur. Bunun yanında, sitrik asit ve PLNH1 suşunun birlikte kullanıldığı durumda bitkinin aldığı kadmiyum miktarı %30 civarında artmışken, bu etkenlerin ayrı ayrı kullanılması durumunda alınan kadmiyum miktarı %10-%15 dolayında artmıştır. Ayrıca, kadmiyum stresi altında yetişen köpek üzümü (*Solanum nigrum* L.) bitkisine uygulanan sitrik asit ve PLNH1 mantar suşunun oksidatif stresi azalttığı ve antioksidant enzim üretimine gerek kalmaması sebebiyle miktarlarının daha düşük kalmasına yol açtığı da belirlenmiştir.

Bhaduri ve Fulekar (2012) tarafından Hindistan'da yapılan bir çalışmada, 6 farklı kadmiyum ($Cd(NO)_3$) dozunda (0, 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm) mikoriza bulunan ve bulunmayan toprak şartlarında su ıspanağı (*Ipomoea aquatica*) bitkisinin kadmiyum alımı, ortamdaki kadmiyumun azalma oranına etkisi, antioksidant aktivite ve kadmiyum sebebi ile topraktaki mikoriza seviyelerinin azalması gibi özellikler incelenmiştir.

Sonuçlara göre, mikoriza uygulanması ile besi ortamında bulunan kadmiyum miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, toprakta bulunan kadmiyum dozu arttıkça toprağın mikoriza içeriğinin de azaldığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulanmış bitkilerin toprakta bulunan kadmiyumun önemli bir kısmını bünyesine aldığı ve büyümede önemli düzeyde gerileme olmadığı, bunun aksine mikoriza uygulanmamış bitkilerin büyümede geri kaldığı bildirilmiştir. Mikoriza uygulanmamış bitkilerin, özellikle yüksek dozlarda bitki ve kök boyu büyük oranda azalmışken, mikoriza uygulanmış bitkilerde bu kaybın %20 civarında gerçekleştiği belirtilmiştir. Araştırıcılar, mikoriza uygulanmış bitkilerin antioksidant kapasitesinin de artan kadmiyum dozlarına bağlı olarak mikoriza uygulanmamış bitkilerden önemli oranda yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Garg ve Chandel (2012) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan* (L.)) bitkisinin (Sel 85 N "dayanıklı" ve ICP 13997 "hassas") tuz (4 ve 6 dS m^{-1}) ve kadmiyum (25 ve 50 mg kg^{-1}) stresi altında bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile kadmiyum biriktirmesi üzerine *Glomus mosseae* türü mikorizanın etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, tuz ve kadmiyum uygulamaları bitki biyokütlesini şiddetli şekilde azaltmış, membran peroksidasyonu, iyonik bozulma ve metabolit sentezini artırmıştır. Tuz varlığında kadmiyum alımının arttığı, dayanıklı çeşitteki büyümenin korunmasının Na^{+}, Cl^{-} ve Cd^{2+}'un alımının kısıtlanmasına ve stres metabolitlerinin üretiminin artmasına bağlandığı bildirilmiştir. Mikoriza uygulanması ile bitki büyümesinin arttığı, toksik iyon alımının azaldığı ve stres metaboliti üretiminin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, tuz uygulaması ile kontrol bitkilerine göre olumsuz etkilenen bitkisel özelliklerin mikoriza uygulanması ile iyileştiği ancak aynı durumun kadmiyum uygulanan bitkilerde tuz uygulananlar kadar etkili işlemediği, dayanıklı çeşitte mikoriza uygulamalarının daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Kadmiyum toksisitesine (0, 3, 6, 9 ve 12 mg kg^{-1}) maruz kalmış iki domates çeşidinde yapraktan uygulanan iki farklı brassinosteroidin (8-homobrassinolide ve 24-epibrassinolide) bazı morfolojik, fizyolojik ve pomolojik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, brassinosteroid uygulamalarının bitki kök ve sürgünlerinin uzunluklarını, yaş ve kuru ağırlıklarını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, domates çeşitlerinin; klorofil içeriği, su kullanım etkinliği, fotosentez etkinliği, transpirasyon oranı, stoma iletkenliği, enzim aktiviteleri, prolin içerikleri, meyve verimi, bitki başına meyve sayısı, likopen, askorbik asit ve β-karoten içeriklerinin de brassinosteroid uygulamaları ile arttığı bildirilmiştir. Yukarıda belirtilen enzim aktiviteleri ve prolin içeriği dışında tüm bitkisel özelliklerin her iki çeşitte de kadmiyum

dozu artışı ile azaldığı ancak brassinosteroid uygulanması ile bu etkinin hafifletildiği ve bazı durumlarda tersine çevrildiği belirtilmiştir. Bitkilerin prolin içeriği ve antioksidant enzim içeriğinin ise artan kadmiyum dozları ile arttığı ve brassinosteroid uygulamalarının bu artışa olumlu etki yaptığı saptanmıştır (Hayat ve ark., 2012).

Tripathi ve ark. (2012) tarafından çeltik fidelerinde kadmiyum stresine karşı uygulanan silisyumun büyüme, kadmiyum alımı, oksidatif stres, antioksidant kapasite ile kök ve yaprak yapısına etkisinin incelendiği bir çalışmada, 50 μmol L^{-1} Cd dozu ile 10 μmol L^{-1} Si uygulanmıştır. Uygulanan kadmiyum ile kök ve sürgünlerde önemli miktarda ağır metal biriktiği, biriken hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit (MDA) ile oksidatif stresin arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, Si uygulaması ile kadmiyum birikimi ve oksidatif stresin azaldığı, kadmiyum uygulaması ile azalan antioksidant kapasite, kök, stoma yoğunluğu ve bozulan yaprak yapısının normale döndüğü bildirilmiştir. Çalışma ile kadmiyum toksisitesine karşı uygulanan dışsal Si'un kadmiyum birikimini ve oksidatif stresi azalttığı, Si alımını ve oksidatif kapasiteyi artırdığı araştırıcılar tarafından belirtilmiştir.

WH 711 buğday çeşidinde kadmiyum toksisitesine (200 mg kg^{-1}; $CdCl_2$) karşı selenyum (2 mg kg^{-1}) ve kükürt (200 mg kg^{-1}) kullanılan bir çalışmada bitkilerin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenmiştir. Uygulanan selenyum ve kükürt ile kadmiyum toksisitesi altında artan oksidatif stresin azaldığı, azalan fotosentetik aktivitenin ise arttığı bildirilmiştir. Klorofil miktarı, yaprak alanı ve bitki kuru ağırlığının kadmiyum uygulaması ile azaldığı belirtilmiştir. Se ve S uygulamaları ile kontrol uygulamasının dahi üzerine çıkmıştır. Öyle ki, kadmiyum yokluğunda uygulanan Se ve S uygulamaları ile morfolojik ve fizyolojik özelliklerin kontrole göre oldukça yüksek seviyelere çıktığı da araştırıcılar tarafından bildirilmiştir (Khan ve ark., 2015).

İtalya'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi altında yetişen Ikram domates çeşidinin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özelliklerine anaç üzerine aşılamanın ve mikoriza uygulamasının etkileri incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, domates bitkileri orta düzeyde kadmiyum stresine yaprak dokusunda kadmiyum birikimi, PS II aktivitesinin inhibisyonu, azaltılmış besin yer değişimi ve oksidatif stres (artan hidrojen peroksit) nedeniyle verim ve bitki büyüme parametrelerini azaltarak yanıt vermiştir. Mikoriza uygulamasının sürgünlerdeki metal içeriğini önemli ölçüde artırdığı, bitki büyümesini ve verimini azalttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, Ikram-Maxifort aşı kombinasyonunun daha yüksek antioksidant aktivitesine, daha fazla prolin birikimine ve lipid peroksidasyon ürünlerinin azalmasına yol açtığı bildirilmiştir. Maxifort'un

domatese anaç olarak kullanılması ile kadmiyum varlığında daha düşük hidrojen peroksit oluşumuna ve oluşan aktif oksijen türlerinin ortadan kaldırılması mekanizmasının daha etkin çalışmasına yol açtığı belirtilmiştir. Ikram-Maxifort kombinasyonunun başarısının arkasındaki bir diğer üstünlüğün ise artan besin elementi alımı (P, K, Ca, Fe, Mn ve Zn) ve bunun neticesinde artan kadmiyum toleransına yol açan metabolitlerin (fitoşelatin PC2, fruktanlar ve inülinler) üretimi olduğu bildirilmiştir. Araştırıcılar, bu kombinasyonun yapraklarında görülen artan *LeNRAMP3* aktivitesinin artırılmış besin elementi alımına ve translokasyonuna sebep olduğunu belirtmişler ve artan gen ifadesini kanıt olarak sunmuşlardır (Kumar ve ark., 2015).

Zhang ve ark. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada, *Lotus japonicus* L. bitkisinin kadmiyum toksisitesi (0, 5 ve 50 mg kg^{-1}) altında bazı morfolojik özellikleri ve kadmiyum biriktirmesi üzerine bazı mikoriza türlerinin (*Gigaspora margarita, Acaulospora longula* ve *Glomus intraradices*) etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, mikoriza uygulamaları kök uzunluğunu kadmiyum yokluğunda ve varlığında artırmıştır. Öyle ki, yüksek kadmiyum dozundan elde edilen köklerin kontrole göre daha uzun olduğu bildirilmiştir. *Glomus intraradices* türü mikorizanın kök ve sürgün kuru ağırlığı ile kök P içeriğini diğer uygulamalara göre büyük oranda artırdığı, sürgün P içeriğini ise en fazla *Acaulospora longula* türünün etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca, kök ve sürgünlerde biriken kadmiyum miktarını en fazla *Glomus intraradices* türünün artırdığı ve diğer mikoriza türlerinin de kadmiyum birikimine katkı sağladığı bildirilmiştir.

Hashem ve ark. (2016) tarafından Mısır'da yürütülen bir çalışmada, mikoriza karışımı (*Glomus mosseae, Glomus intraradices* ve *Glomus etunicatum*) kullanılarak domatesin kadmiyum stresi altında bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, kadmiyum stresi bu özellikler üzerinde önemli değişimlere yol açmış ve mikoriza uygulaması ile bu zararlı etkiler hafifletilmiştir. Antioksidant enzim aktivitesinin kadmiyum stresi altında arttığı ve mikoriza uygulamasının bu aktiviteyi daha fazla artırdığı belirtilmiştir. Kadmiyum stresine karşı bitkinin savunmasını artıran prolin ve fenol içeriğinin kadmiyum ve mikoriza uygulamaları ile arttığı, kadmiyum uygulanması ile ana yağ sınıflarında önemli değişimler olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, kadmiyum stresi altında çoklu doymamış yağ asitlerinin azaldığı ve bunun da membran geçirgenliğini artırdığı araştırıcılar tarafından tespit edilmiştir.

Jiang ve ark. (2016a) tarafından japon hanımeli (*Lonicera japonica*) türünde yürütülen bir çalışmada, kadmiyum ile kirletilmiş toprakta mikoriza türlerinin (*Glomus*

versiforme (Gv) ve *Rhizophagus intraradices* (Ri)) topraktan kadmiyum alımını azaltma kabiliyeti ile bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler incelenmiştir. Sonuçlara göre, mikoriza uygulamaları ile bitkilerin P alımı, sürgün biyokütlesi ve kök biyokütlesi önemli ölçüde artmıştır. Gv türü mikorizanın kök ve sürgünde biriken kadmiyum miktarını azalttığı, Ri türü mikorizanın ise sürgünlerde azalttığı ancak köklerde artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, mikoriza inokülasyonu ile bitkilerde CAT, APX ve GR aktivitesi ile ASA ve PCs miktarının arttığı, MDA ve GSH miktarının azaldığı belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mikoriza uygulamalarının bitki büyümesini ve stres şartlarında oluşan enzim aktivitesini artırdığı, buna karşın bitki organlarında biriken kadmiyum miktarını ve MDA birikimini azalttığı belirlemiştir.

Balcı (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, çilek fidelerinin kadmiyum stresi (0, 1,5 ve 3 ppm) altında vejetatif büyüme özelikleri üzerine 24-Epibrassinosteroidin (BR; 0, 0,5 ve 1 µM) etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum stresi altında yaprak alanı, yaş ve kuru sürgün ağırlıkları azalmış, kök ağırlığı artmıştır. BR uygulamalarının klorofil içeriği, sürgün kuru ağırlığı, kök uzunluğu ve kök yaş ağırlığı üzerine olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, BR uygulamalarının çilek fidelerinde kadmiyum stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiği araştırıcılar tarafından bildirilmiştir.

Sri Lanka'da yürütülen bir çalışmada, yerel mikoriza türleri kullanılarak beş farklı kadmiyum dozu (0, 5, 10, 20 ve 50 ppm) altında yetişen su sümbülü (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) bitkisinin bazı morfolojik özellikleri ve kadmiyum alımı üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, mikoriza uygulaması ile kök kolonizasyonu, kök ve sürgündeki kadmiyum içeriği, nisbi büyüme oranı ve kuru ağırlık bariz şekilde artmıştır. Ayrıca, mikoriza uygulamasının topraktaki ve toprak çözeltisindeki kadmiyum miktarını azalttığı belirlenmiştir. Mikoriza uygulaması ile kök ve sürgünlerde kadmiyum miktarı ve nisbi büyüme arasında pozitif korelasyon olduğu bildirilmiştir (Gunathilakae ve ark., 2018).

Kaya ve Aslan (2020) tarafından Şanlıurfa'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum stresi altında (1 mM $CdCl_2$) yetiştirilen Camarosa çilek çeşidinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile kadmiyum alımı üzerine hidrojen sülfit (H_2S) üretimini teşvik eden Tiamin'in (THI; 50 mg L^{-1}) etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum uygulanmamış bitkilere 4 hafta boyunca uygulanan Tiamin, bitki kuru ağırlığını, klorofil miktarını, maksimum PSII etkinliğini, yapraklardaki besin elementi miktarını (K ve Ca) ve yaprak su potansiyelini azaltmış, incelenen diğer özellikler etkilenmemiştir. Bununla

birlikte, kadmiyum stresi altındaki bitkilere uygulanan Tiamin'in çilek bitkilerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerini önemli ölçüde olumlu etkilediği belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2020b) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, köpek üzümü (*Solanum nigrum* L.) bitkisinin kadmiyum stresi (0, 15, 30, 60 ve 120 mg kg^{-1}) altında bazı morfolojik özellikleri ve kadmiyum biriktirmesi ile toprakta bulunan kadmiyum ile ilgili bazı özellikler üzerine toprak solucanı (*Eisenia fetida*) ve mikorizanın (*Rhizophagus ireegualis* FR717169) etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, solucan ve mikoriza uygulamaları metale dayanımı ve P alımını artırarak ayrı ayrı ve birlikte bitki büyümesini olumlu yönde etkilemiştir. Kadmiyum stresi altında da solucan ve mikoriza uygulamalarının bitki biyokütlesini, P alımını ve kadmiyum birikimini artırdığı belirtilmiştir. Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak bitki organlarındaki ve topraktan kaldırılan kadmiyum miktarının arttığı bildirilmiştir. Buna sebep olarak, mikoriza ve mikoriza ile solucan uygulamalarının topraktaki kadmiyumu alınabilir forma dönüştürmesi ve toprak pH'sını düşürmesi gösterilmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, kadmiyum stresi altındaki çilek bitkilerine uygulanan sodyum selenit ile bitkilerin antioksidant kapasitesinin, meyve verim ve kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Kadmiyum toksisitesinin antioksidant aktivitesi (SOD, APX, CAT vb.), bitki boyu, bitki biyokütlesi, meyve verim ve kalitesinin azalmasına; askorbat oksidaz, glutatyon redüktaz, malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarının artmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum toksisitesine karşı uygulanan sodyum selenitin 5, 10 ve 15 µM dozları antioksidant enzimlerin miktarının, bitki boyunun, bitki biyokütlesinin, ortalama meyve ağırlığının ve yapraklar ile meyvelerdeki selenyum miktarının artmasına yol açarak kadmiyum stresinin etkisinin azalmasını sağladığı bildirilmiştir. Meyve verimi, klorofil miktarı, antioksidant kapasite ve bitkideki kadmiyum miktarı dikkate alındığında en etkili uygulama olarak 5 µM sodyum selenitin öne çıktığı araştırıcılar tarafından belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2020).

Wu ve ark. (2021) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, kadmiyum stresi (1 mmol L^{-1} dozunda 300 mL $CdCl_2$ çözeltisi ile 1 defa sulanmış) altında yetişen Miaoxiang-7 çilek çeşidine dışsal melatonin uygulamasının (0, 10, 50, 100, 150 ve 200 µmol L^{-1}) bitkilerin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum stresi altında bitki büyümesi yavaşlamış, bitki biyokütlesi, klorofil içeriği ve antioksidant enzim içeriği azalmıştır. Bununla birlikte, melatonin uygulamaları ile kadmiyumun yavaşlattığı büyüme ile birlikte, bitki biyokütlesi, klorofil ve antioksidant enzim içeriğinin arttığı bildirilmiştir. En etkili uygulama dozu 100 µmol

L^{-1} olarak belirlenmiş ve kadmiyum toksisitesinden kaynaklanan olumsuz etkileri azalttığı aktarılmıştır.

Faiz ve ark. (2022) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (500 mg kg^{-1}) altında yetişen havuç bitkilerinin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri üzerine 5 mmol L^{-1} magnezyum oksit nanopartiküllerinin etkisi incelenmiştir. Sonuçları göre, magnezyum oksit uygulamasıyla bitkilerin yaprak ve kök yaş/kuru ağırlıkları, kök/sürgün uzunlukları, klorofil, antosiyanin, suda çözünebilir şeker, karoten içerikleri, besin elementi ve net fotosentez miktarı önemli ölçüde artmış, MDA ve H_2O_2 içerikleri ile membran geçirgenliği değerleri azalmıştır. Bununla birlikte, kurşun uygulaması ile bitkilerin önemli ölçüde olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Magnezyum oksit uygulanmasının kurşunun olumsuz etkilerini hafiflettiği ve bitkiyi kurşun stresinden koruduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kurşun uygulanmasıyla bitki kök ve sürgünlerinde artan kurşun birikiminin magnezyum oksit uygulaması ile azaldığı belirtilmiştir.

2.5. Diğer Ağır Metallere (Cd ve Pb dışında) Karşı Bakteri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Wani ve ark. (2007) tarafından Hindistan'da Maş fasulyesinde *Bradyrhizobium vigna* RM8 bakteri suşu kullanılarak yapılan bir çalışmada, Ni ve Zn ağır metallerinin bulunduğu *in vitro* şartlarda; büyüme, tohum verimi ve metal alımı gibi özellikler incelenmiştir. Sonuçlara göre, bakteri suşu siderofor üretmiş ve bitki köklerinde yaklaşık %82 oranında nodül oluşturmuştur. Ayrıca, bakteri suşu uygulanması ile 290 mg kg^{-1} Ni dozunda tohum veriminin %34, tohum protein içeriğinin %13, kök N içeriğinin %41 ve sürgün N içeriğinin %37 arttığı belirtilmiştir. 4.890 mg kg^{-1} Zn dozunda ise nodül sayısının %50, tohum veriminin %36, tohum protein içeriğinin %13, kök N içeriğinin %47 ve sürgün N içeriğinin %42 oranında arttığı bildirilmiştir. RM8 bakteri suşu varlığında bitki organlarındaki Ni ve Zn içeriğinin ise azaldığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, bunu bitki gelişiminin artması ile bitki dokularındaki ağır metal oranının azalmasına ve RM8 bakteri suşunun ürettiği metabolitler ile ağır metalin bitki tarafından alımının engellenmesine bağlamışlardır.

Portekiz'de yürütülen bir çalışmada, ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen hintyağı (*Ricinus communis*) bitkisinin gelişimine metale (Ni, Cu ve Zn) dayanıklı bitki büyümesini artırıcı rizobakteri (*Pseudomonas sp.* PsM6 ve *Pseudomonas jessenii* PjM15)'lerın etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, uygulanan her iki bakteri suşu da

kontamine veya kontamine olmayan ortamda yetişen bitkilerin sürgün ve kök biyokütlesini artırmıştır. Bununla birlikte, en yüksek biyokütlenin PjM15 bakteri suşu ile muamele edilen bitkilerden elde edildiği ve bunun bakteri suşunun fosfat çözme ve IAA üretme yeteneğinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bakteri uygulamalarının Zn dışında ağır metallerin kök, sürgün veya yapraktaki miktarını fazla etkilemediği bildirilmiştir. Araştırıcılar, PsM6 bakteri suşunun Zn'yu, PjM15 bakteri suşunun Ni ve Cu'ı çözmede ve bitkiye alınmasında diğer suştan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (Rajkumar ve Freitas, 2008).

Abbaszadeh-Dahaji ve ark. (2019) tarafından İran'da yürütülen bir çalışmada, ağır metal toksisitesine dayanıklı iki farklı bitki büyümesini artırıcı rizobakteri (*Pseudomonas cedrina* K4 ve *Stenotrophomonas* sp. A22) ve EDTA uygulanarak Cu (42 mg kg^{-1}) ile kirlenmiş toprakta fitoremedasyon etkinliğini incelemek için üç farklı bitki türü (mısır, ayçiçeği ve balkabağı) kullanılmıştır. Çalışmada, kontrol, 2 bakteri suşu, EDTA ve bakteri suşları ile EDTA olmak üzere 6 farklı uygulama ile çalışma yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, EDTA ve bakteri kombinasyonunun bitki biyokütlesinin yanı sıra bitki kök ve sürgünlerindeki Cu miktarını da artırdığı bildirilmiştir. Bakteri suşlarının türlerin kök ve sürgünlerindeki Cu miktarını artırdığı, EDTA uygulamalarının ise kök ve özellikle sürgünlerdeki Cu miktarını önemli düzeyde artırdığı belirtilmiştir. EDTA ve bakteri suşlarının birlikte uygulanması ile bu etkiyi artırdığı, özellikle EDTA + A22 bakteri suşu uygulanması ile mısır ve balkabağı bitkilerinin kök ve sürgünlerinde yüksek miktarda Cu biriktiği bildirilmiştir. Bakteri, EDTA ve birlikte uygulamaların kök ve sürgünlerin kuru ağırlıklarını benzer miktarlarda artırdığı, bunun neticesinde topraktan kaldırılan Cu miktarının uygulamaların doğrudan etkinliği ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Araştırıcılar, incelenen bitki türleri arasında en fazla Cu'ın ayçiçeği tarafından topraktan kaldırılmasına rağmen, bal kabağının topraktan kaldırdığı Cu'ın daha büyük kısmını sürgünlerine taşıdığını bildirmişlerdir.

Kamaruzzaman ve ark. (2020) tarafından Malezya'da yürütülen bir çalışmada, *Scirpus grossus* L. bitkisinin köklerinden izole edilen bazı bakteri suşlarının özellikleri ve yaşayabildikleri ağır metal dozları belirlenmiştir. Bakteri suşlarını rizosferde çoğaltabilmek adına bitki köklerine 0, 50, 100, 150 ve 200 mg L^{-1} Pb uygulanmıştır. Bakteri yığınları hücre ve koloni gözlemlerine dayanarak karakterize edilmiştir. Araştırıcılar tarafından izlenen yol ile *Aeromonas taiwanensis* 5E, *Bacillus* sp. 7G, *Bacillus cereus* 8H ve 3C, *Bacillus velezensis* 9I, *Bacillus proteolyticus* 4D, *Bacillus stratosphericus* 14N, *Bacillus megaterium* 11K, *Pseudomonas* sp. 12L, *Enterobacter*

cloacae 13M ve 16P, *Bacillus aerius* 15O ve *Lysinibacillus* sp. 10J bakteri suşları temin edilip laboratuvarda incelenmiştir. Sonuçlara göre, kurşuna en dirençli bakteriler olarak 4D, 9I ve 10J belirlenmiştir. Araştırıcılar, kurşuna dirençli olan bu bakteri suşlarının bitki büyüme ve gelişimini de artırabileceğini bildirmişlerdir.

Fas'ta yapılan bir çalışmada, fitoremediasyon çalışmalarında kullanılabilecek rizobakterileri belirlemek amacıyla 29 rizobakteri suşu NaCl (0, 20, 40, 60, 80 ve 100 g L^{-1}), kadmiyum (0, 2, 3, 4, 5 ve 6 mmol L^{-1}), kurşun (0, 3, 6, 9 ve 12 mmol L^{-1}), çinko (0, 3, 5, 10 ve 15 mmol L^{-1}), bakır (0, 3, 5, 6 ve 7 mmol L^{-1}) ve Cu+Zn+Pb+Cd (0,2, 0,5, 1, 2 ve 3 mmol L^{-1}) içeren sulu çözeltilerde teste tabi tutulmuştur. Sonuçlara göre, 17 bakteri suşunun 100 g L^{-1} NaCl, 5 mM Cd, 9 mM Pb, 10 mM Zn ve 6 mM Cu içeren çözeltilere toleransı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, tüm bakteri suşlarının tuz ve çoklu bakteri içeren çözeltilerde bitki büyümesini düzenleyici özelliğini koruduğu bildirilmiştir. Devamında, üzerlik otu (*Pegamun harmala* L.) ve marul (*Lactuca sativa* L.) türlerine ait fideler kullanılarak yürütülen çalışmada dört bakteri suşu (*Mesorhizobium tamadayense*, *Enterobacter xiangfangensis*, *Pseudomonas azotifigens* ve *Streptomyces caelestis*) ile bitki tohumu aşılanmasının yararlı etkileri belirlenmiştir. Araştırıcılar, seçtikleri strese dayanıklı bakteriler ile aşırı derecede bozulmuş topraklarda bitki varlığının sürdürülebileceğini belirtmişlerdir (Madline ve ark., 2021).

2.6. Ağır Metallere Karşı Bitki Büyümesini Düzenleyici Bakteri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Burd ve ark. (2000) tarafından Kanada'da yürütülen bir çalışmada, *Kluyvera ascorbata* SUD165 ve SUD165/26 bakteri suşları kullanılarak domates, kanola ve Hint hardalı bitkilerinin nikel, çinko ve kurşun ağır metallerine dayanımları ve bitki dokularında biriken metal miktarları incelenmiştir. Domateste 1 (Ni; 1 mM $NiCl_2$ içeren 200 mL su ile sulama), Hint hardalında 2 (Ni ve Pb; 2 mM Ni ve 4 mM Pb içeren 200 mL su ile sulama) ve kanolada 3 (Ni, Zn ve Pb; 2 mM Ni, Zn ve Pb içeren 200 mL su ile sulama) ağır metal denemişlerdir. Sonuçlara göre, tüm ağır metal uygulamalarında (özellikle Pb) bitkiler zarar görmüştür. Bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ile protein ve klorofil içeriklerinin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, bakteri uygulamaları ile bitkilerin daha iyi geliştiği, protein ve klorofil içeriklerinin arttığı bildirilmiştir. Ağır metal uygulanmış bitkilere uygulanan bakteri suşları ile bitkilerin ağır metal stresinden daha az etkilendiği, özellikle Ni denemelerinde kontrolden daha iyi

sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Nikel ve kurşunun büyük oranda köklerde biriktiği, çinkonun kök ve sürgünde benzer miktarlarda biriktiği bildirilmiştir. SUD 165 bakteri suşunun kök ve sürgünde metal birikimini az daha olsa azalttığı (özellikle Pb), SUD165/26 bakteri suşunun ise etkilemediği veya bir miktar artırdığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, bakteri uygulamaları ile artan bitki biyokütlesi sebebiyle topraktan kaldırılan ağır metal miktarının arttığını belirtmişlerdir.

Pishchik ve ark. (2002) tarafından Rusya'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi (0, 5 ve 15 mg kg^{-1}) altında yetişen arpa bitkilerine uygulanan bakterilerin (*Flavobacterium* sp. L-30, *Arthrobacter mysorens* 7 ve *Klebsiella mobilis* CIAM 880) bazı morfolojik özellikler, bitkilerin kadmiyum alımı ve bakterilerin kadmiyum toksisitesine karşı matematik simülasyonu incelenmiştir. Sonuçlara göre, yapılan ön çalışmalarda bakteri suşları toprak süspansiyonu içindeki kadmiyumun %24-%68'ini hareketsiz hale getirmiştir. *A. mysorens* 7 ve *K. mobilis* CIAM 880 bakteri suşlarının kadmiyuma karşı oldukça dirençli olup, DAS ortamında 1 ve 3 mmol $CdCl_2$ dozuna kadar çoğalmayı sürdürdüğü bildirilmiştir. Tüm bitki büyümesini artırıcı rizobakteri suşlarının N fikse ettiği, IAA ile etilen ürettiği ve tüm kadmiyum dozlarında arpa köklerinde ve rizosferinden aktif bir şekilde kolonize olduğu belirtilmiştir. Geliştirilen ve uygulanan matematik modelin simülasyonunda bitki büyümesini artırıcı rizobakterilerin kadmiyum stresi altında yetişen arpa yetiştiriciliğinde yararlı etkilerinin olduğu, fakat bu süreçlerin karmaşık olduğu belirtilmiştir. Bunun temel sebeplerinden birinin kök yüzeyinde çoğalan bakterilerin etkin bir şekilde rizosfere göç etmesi ve burada çözünür formdaki kadmiyum iyonlarını bağlaması olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, *K. mobilis* CIAM 880 bakteri suşunun uygulanan suşlar arasında en etkilisi olduğunu ve tane verimini %120 dolayında artırdığı, kadmiyum içeriğini ise yarı yarıya azalttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, verimsiz ve ağır metal ile kirlenmiş topraklarda kullanılmak üzere bu bakteri suşunu önermişlerdir.

İspanya'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyuma dayanıklı yerel bir mikoriza, *Glomus mosseae* (BEG 119) ve kadmiyuma dayanıklı yerel bir *Brevibacillus sp*. suşu kullanılarak ak üçgül (*Trifolium repens* L.) türünün kadmiyum stresi (30 µg g^{-1}) altında bazı morfolojik özellikler ve besin elementi alımı incelenmiştir. Sonuçlara göre, yerel mikoriza ve bakteri suşlarının birlikte kullanımı kadmiyum stresi altında bitki kök ve sürgün kuru ağırlıklarını yüksek oranlarda artırmıştır. Benzer etkinin, tüm mikroorganizma suşlarının tekli kullanımında da görüldüğü belirtilmiştir. Birlikte uygulamadan daha etkin sonuç alınması, ortaya çıkan nodül ve kolonizasyon miktarındaki artışa bağlanmıştır. Mikoriza ve bakterilerin ayrı ayrı ve birlikte

uygulanması durumunda besin elementi alımı üzerine farklı etkiler gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, bakteri ve mikorizaların tek tek uygulanması durumunda ak üçgül bitkisinin kontrol ile benzer ve bir miktar daha fazla kadmiyum aldığı, yerel ve BEG 119 mikorizalarının bakteri suşu ile birlikte kullanılması durumunda kadmiyum alımının yaklaşık ¼ oranında gerçekleştiği belirtilmiştir (Vivas ve ark., 2003).

Guibaud ve ark. (2006) tarafından Fransa'da yapılan bir çalışmada, atık su arıtma çamurundan elde edilen bakterilerin üretip ortama bıraktığı hücre dışı polimerik maddelerin (extracelluler polymeric substances "EPs") çözelti içinden kadmiyum ve kurşun bağlama ve çökeltme yeteneği incelenmiştir. Bu özelliğin EPs varlığında ortamın pH'sında meydana gelen değişimden kaynaklandığı belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, EPs'lerin kadmiyum ve kurşun bağlamak için uygun özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Araştırıcılar, EPs'lerin elektrik alanı, metallerin mikro çökeltimi veya proton değişimi yoluyla metal bağlayabileceğini ve çökeltebileceğini aktarmışlardır.

Sheng ve Xia (2006) tarafından Çin'de yapılan bir çalışmada, 100 mg kg^{-1} Cd ($CdCl_2$) şartlarında kanola (*Brassica napus*) bitkisinin kadmiyum alımı ve bazı morfolojik özellikleri üzerine 5 farklı bakteri suşunun (*Xanthomonas* sp. RJ3, *Pseudomonas* sp. RJ10 ve *Bacillus* sp. RJ16) etkileri incelenmiştir. Bakteri suşlarının kadmiyum ile kirlenmiş topraktan elde edilen 30 izolat içinden temin edildiği, bunlardan 5'i ile ön çalışma yapıldığı ve etkili olan 3 suşun nihai çalışmada kullanıldığı belirtilmiştir. Bakteri suşlarının kadmiyum karbonattan önemli miktarda kadmiyumu (24-117 mg L^{-1}) çözelti içinde suda çözünür forma dönüştürdüğü bildirilmiştir. Ayrıca, bakteri uygulamalarının kök uzunluğu üzerine hem kadmiyum yokluğunda hem de 50 mg L^{-1} dozunda önemli düzeyde etkidiği belirtilmiştir. Özellikle, *Pseudomonas* sp. RJ10 ve *Bacillus* sp. RJ16 bakteri suşlarının %30'lara varan oranlarda kadmiyum stresi altında bakterisiz uygulamalara göre bitki kök uzunluğunu artırdığı bildirilmiştir. Bakteri suşlarının sürgün ve kök kuru ağırlığını, nihai çalışma olan 100 mg kg^{-1} Cd dozunda kontrol bitkilere karşı artırdığı belirtilmiştir. Bakteri suşlarının bitkilerin biriktirdiği kadmiyum miktarını da önemli derecede etkilediği bildirilmiştir. Araştırıcılara göre, bitkilerin köklerinde biriken kadmiyum miktarını az miktarda artıran bakteri suşları (RJ10 ve RJ16) sürgünlerde biriken kadmiyum miktarını 2 kattan fazla artırmıştır (RJ16).

Çin'de yürütülen bir çalışmada, üç bakteri suşundan oluşan karışım (*Azotobacter chroococcum* HKN-5, *Bacillus megaterium* HKP-1 ve *Bacillus mucilaginosus* HKK-1) kullanılarak Pb/Zn içeren maden artığı (%10, %25, %40 ve %60 oranlarında) eklenen saksılarda hardal otu (*Brassica juncea*) bitkisinin ağır metal alımı ve bazı morfolojik

özellikleri ile yetiştirme ortamında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bakteri uygulaması ile bitkilerin büyümesi artmış ve metal toksisitesine karşı bitkiler korunmuştur. Ayrıca, bakteri uygulamaları ile bitki dokularındaki ağır metal oranının çok az arttığı, fakat bitki büyümesinde görülen önemli artış ile bitkilerin topraktan kaldırdığı ağır metal miktarının da önemli derecede arttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, topraktan alınan ağır metal miktarındaki artışı bitki büyümesinin yanı sıra kök bölgesinde bulunan ağır metallerin bakteri varlığı ile çözünebilir forma dönüşmesindeki artışa da bağlamıştır (Wu ve ark., 2006).

Brezilya'da yürütülen bir çalışmada, mikoriza (*Glomus intraradices*) varlığı ve yokluğunun kadmiyum stresi (20 µmol L^{-1}) altındaki ayçiçeği bitkisinin bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri ile kadmiyum birikimine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum stresinin görsel herhangi bir belirtisi görülmemiş olmasına karşın mikoriza uygulanmamış bitkilerde kadmiyum varlığında bitki büyümesi azalmıştır. Bunun yanında, kadmiyum toksisitesinin mikorizal gelişim ve hif oluşturma üzerine herhangi bir etkisinin görülmediği belirtilmiştir. Kökler tarafından rizosfer bölgesinden emilen kadmiyumun yalnızca %22 kadarının sürgünlere gönderildiği ve mikoriza varlığı/yokluğunun bu orana etkisinin görülmediği bildirilmiştir. Bununla birlikte, mikoriza varlığında bitkilerin topraktan kaldırdığı kadmiyum miktarının %23 oranında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Mikoriza varlığında bitkiler daha fazla kadmiyum almış olmalarına karşın, fotosentetik pigment üretimlerinin ve P içeriklerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum varlığının Ca, Cu, N ve Fe miktarlarını azalttığı ve sürgünlerdeki S ve K miktarını artırdığı bildirilmiştir Araştırıcılara göre, mikoriza ile muamele kadmiyum stresine karşı toleransı ve bitki bünyesinde biriken kadmiyum miktarını artırmaktadır (de Andrade ve ark., 2008).

Jiang ve ark. (2008) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, ağır metale dayanıklı *Burkholderia sp*. suşlarının bitki büyümesini düzenleyici etkisi ve metalle kirlenmiş topraktan metal alımı incelenmiştir. İncelenen suşlar arasında *Burkholderia sp*. J62 suşu yüksek düzeyde kurşun ve kadmiyum bağladığı için seçilerek hardal otu, mısır ve domates ile birlikte 150,1 mg kg^{-1} Pb ve 37,3 mg kg^{-1} Cd içeren saksı denemelerinde bitki gelişimini artırması ve topraktan ağır metal kaldırmadaki başarısı açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bakteri suşu mısır ve domatesin biyokütlesini artırmıştır. Ayrıca, bitki dokularındaki kurşun ve kadmiyum miktarını sırasıyla %38-%192 ve %5-%191 arasında değişkenlik gösterecek şekilde önemli derecede artırdığı

belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, uygulanan bakteri suşunun başarısı IAA, siderofor ve ACP deaminaz üretimine bağlıdır.

Sinha ve Mukherjee (2008) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyuma yüksek seviyede dayanıklı olan *Pseudomonas aeruginosa* KUCd1 bakteri suşu kullanılarak hardal ve balkabağı bitkilerinin kadmiyum toksisitesi (200 μM; $CdCl_2$) altında bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, uygulanan bakteri suşunun ürettiği kadmiyum tarafından indüklenen sidereforlar sebebiyle kadmiyum toksisitesi altında hardal ve balkabağı bitkilerinin büyümesi artmıştır. Bakteri suşunun 8 mM'a kadar kadmiyumu tolere edebildiği ve bünyesine aldığı kadmiyumu hücre içinde depoladığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, kadmiyum toksisitesi altında yetişen hardalda kontrol bitkilerine göre neredeyse yarı yarıya azalan morfolojik özelikler ve klorofil miktarının KUCd1 bakteri suşu uygulanması ile neredeyse kontrol bitkileri düzeyine çıktığını ayrıca bildirmişlerdir.

Çin'de yürütülen bir çalışmada, kadmiyum (0, 10, 50 ve 100 μM Cd) stresi altındaki köpek üzümü bitkisine uygulanan *Serratia nematodiphila* LRE07 endofit bakteri suşunun bazı morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırıcılar çalışmada, uygulanan bakteri ırkının hali hazırda topraktan ağır metal kaldırmada etkin olan köpek üzümünün ağır metal alımını artırması ve bitkinin gördüğü zararın azaltılmasını hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yaklaşık olarak 0,1 OD_{600} (10^8 CFU mL^{-1}) yoğunluğunda bakteri uygulaması, kadmiyum uygulamaları ile azalan büyüme ve fotosentetik pigment üretimini bakteri uygulanmamış bitkilerden daha iyi duruma getirmiştir. Bakteri uygulamasının düşük kadmiyum dozlarında daha etkili olduğu ve bu etkinin daha çok bitki besin elementi alımı ve antioksidant kapasitenin artışı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Wan ve ark., 2012).

Prapagdee ve ark. (2012) tarafından Tayland'da yürütülen bir çalışmada, üç bakteri suşu (*Arthrobacter sp.* TM6, *Enterobacter sp.* CR191 ve *Enterobacter sp.* CR201) kullanılarak kadmiyum ile kirlenmiş toprakta bitki kök gelişimi ve kadmiyum mobilizasyonunda ki değişim incelenmiştir. Sonuçlara göre, TM6 bakteri suşu diğer ikisine göre daha az IAA üretmekle birlikte kadmiyumu toprakta en fazla mobil hale getiren bakteri suşudur. TM6 bakteri suşunun bu özelliğinin ekzopolisakkarit (EPSs) üretimi ile ilgili olduğu ve bitkilerle yapılacak topraktan ağır metal uzaklaştırma çalışmalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Prapagdee ve ark. (2013) tarafından Tayland'da yapılan bir çalışmada, kadmiyum stresi altında yetişen ayçiçeği bitkisine *Micrococcus sp.* MU1 ve *Klebsiella sp.* BAM1

bakterileri uygulanarak bitkinin kadmiyum alımı ve bazı morfolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki bakteri suşu da kadmiyum iyonlarını sulu çözeltiden alarak bünyesinde tutmuş ve toprakta kadmiyum hareketliliğini artırmış, kadmiyum varlığı ve yokluğunda bakteri uygulanmamışlara göre ayçiçeğinde bitki büyümesini, kök uzamasını ve kadmiyum alımını artırmıştır. Bakteri suşlarının minimum engelleyici dozunun MU1 suşu için 1.000, BAM1 suşu için 800 mM olduğu belirtilmiştir. 0, 25, 50 ve 75 mg L^{-1} Cd dozlarında yapılan denemede BAM1 bakteri suşunun, MU1 bakteri suşuna göre kök uzunluğunu daha fazla artırdığı (0, 25 ve 50 mg L^{-1} Cd dozlarında), yüksek dozda da aynı etkiye yol açtığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, MU1 bakteri suşunun kök ve sürgün uzunluğu ile kuru ağırlık oluşturmada diğer bakteri suşuna göre daha etkili olduğu bildirilmiştir. Kadmiyum alımı söz konusu olduğunda da MU1 bakteri suşunun BAM1 bakteri suşuna göre daha etkili olduğu ve hemen hemen tüm bitki dokularında daha fazla kadmiyum birikimine yol açtığı belirtilmiştir. Ayrıca, MU1 bakteri suşu uyguladıktan sonra bitkilerin bazılarına EDTA uygulandığı, bu uygulama neticesinde bitkilerin tüm organlarında dördüncü haftadan itibaren yüksek miktarda kadmiyum birikmeye başladığı ve bu bitkilerin morfolojik özelliklerinin herhangi bir şey uygulanmadan kadmiyuma tabi tutulan bitkilere benzer olduğu belirtilmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, *Bradyrhizobium* sp. YL-6 bakteri suşunun kadmiyum (20 mg kg^{-1}; $CdSO_4$) ile kontamine toprakta yetiştirilen İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* Lam.) ve soya bitkilerinin bitki büyümesi ve kadmiyum alımı üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, YL-6 bakteri suşu uygulanması ile kadmiyum stresi altındaki bitkilerin fotosentetik pigment ve besin elementi (Fe ve Mg) miktarı, İtalyan çiminde sürgün kuru ağırlığı önemli düzeyde artmıştır. Bununla birlikte, İtalyan çimi köklerinde artan kadmiyum birikimine karşın, soyada kök ve sürgünde kadmiyum birikiminin önemli derecede azaldığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, soyada meydana gelen azalmayı Fe'in alınabilirliğinde ki artışa bağlamışlardır (Guo ve Chi, 2014a).

Kamran ve ark. (2015) tarafından Pakistan'da yapılan bir çalışmada, *Pseudomonas putida* ATCC 39213 suşu kullanılarak roka (*Eruca sativa*) bitkisinin kadmiyum alımı ile bazı morfolojik ve fizyolojik özelikleri incelenmiştir. Çalışmada, 0, 150, 250 ve 500 ppm kadmiyum dozları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre, bakteri uygulaması ile kadmiyum dozunda meydana gelen artış ile bitkilerin kök ve sürgün uzunluğundaki azalma bakteri yokluğuna nazaran daha düşük olmuştur. Yaş ve özellikle kuru ağırlıkta da benzer şekilde etki gösteren bakteri uygulaması ile bitkilerin kadmiyum alımının da önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Bakteri uygulamalarının klorofil

içeriğindeki azalmayı yavaşlattığı ve stres durumunda üretilen prolin miktarında da kadmiyum dozu artışı ile bakteri uygulamalarında bakteri yokluğuna göre önemli miktarda artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, *Sedum plumbizincicola* bitkisine uygulanan 4 farklı türe ait 9 farklı bakteri suşunun kadmiyum ile kirlenmiş toprakta bitkinin büyüme ve kadmiyum alımı üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, bakteri suşlarının IAA üretme ve fosfat çözme yeteneklerinin yüksek olduğu, NSX2 ve NCR1 suşlarının bitki büyümesini ve bitkinin topraktan kadmiyum alımını artırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, uygulanan dışsal mikroorganizmaların bitki kök bölgesindeki mikroorganizma çeşitliliğinin azalmasına karşın, ağır metale dayanıklı *Actinospica, Bradyrhizobium, Rhizobium, Mesorhizobium* ve *Mycobacterium* gibi bakteri türlerinin etkinliğini artırdığı bildirilmiştir (Liu ve ark., 2015).

Ahmad ve ark. (2016) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, beş farklı bitki büyümesini artırıcı rizobakteri suşunun (*Bacillus* sp. CIK-517, *Bacillus* sp. CIK-519, *Klebsiella* sp. CIK-518, *Leifsonia* sp. CIK-521 ve *Enterobacter* sp. CIK-521R) kadmiyum toksisitesi (0, 5, 20, 50 ve 80 mg L^{-1}) altında üç mısır çeşidinin (Neelam, PH-3068, SH-919) bazı morfolojik ve kadmiyum biriktirme özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum uygulamaları mısır bitkilerinde olumsuz, bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamaları olumlu etkilere yol açmıştır. Üç mısır çeşidi ile yapılan ön deneme sonucunda, düşük kadmiyum dozunda çimlenme ve büyümenin olumlu etkilendiği, doz artışı ile birlikte olumsuz etkilerin ortaya çıktığı ve en hassas çeşidin PH-3068 olduğu bildirilmiştir. Ön deneme neticesinde 40 mg L^{-1} Cd dozu ile ikinci aşama denemelerde 5 bakteri suşunun da ayrı ayrı denendiği, kök kuru ağırlığı üzerine tüm bakteri suşlarının, sürgün kuru ağırlığı üzerine ise CIK-517, CIK-519 ve CIK-512R suşlarının etkili olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, uygulamaların membran geçirgenliği ve nisbi su içeriği üzerine önemli ekliler göstermediği bildirilmiştir. Araştırıcılara göre, CIK-518 ve CIK-521R bakteri suşları rizosferde etkili şekilde kolonize olabilmekte, bitki büyümesini olumlu şekilde etkilemekte ve rizosfer bölgesinde bulunan alınabilir formdaki kadmiyumu bünyesine alarak veya almayarak bitki tarafından alınamaz forma dönüştürmektedir.

Suudi Arabistan'da *Cassia italica* Mill. bitki türünde AMF'ler tarafından kadmiyum toksisitesinin olumsuz etkisinin biyolojik remediasyon ile uzaklaştırmasına yönelik bir çalışmada mikoriza karışımı (*Glomus mosseae, Glomus intraradices* ve *Glomus etunicatum*) kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum

stresi bitkilerin klorofil ve protein içeriğinin azalmasına yol açmış olmasına karşın, AMF uygulamaları ile kadmiyum stresi altındaki bitkilerin klorofil ve protein içerikleri sırasıyla %19,3 ve %38,3 oranında artmıştır. Bununla birlikte, AMF uygulamalarının kadmiyum stresi altındaki bitkilerde ortaya çıkan lipid peroksidasyonunu azalttığı, prolin ve fenol içeriğini artırdığı ve kadmiyum stresi altında artan antioksidant enzim aktivitesinin AMF ile daha da arttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, AMF'nin kadmiyum stresinin olumsuz etkisini lipid peroksidasyonunu azaltarak ve antioksidant aktiviteyi artırarak azalttığını ve AMF uygulamasının kadmiyum stresi altında azalan bitki besin elementi alımını artırdığını da belirtmişlerdir (Hashem ve ark., 2016b).

Pan ve ark. (2017) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, kadmiyum ve çinko stresine dayanıklı *Sedum alfredii* Hance bitkisinin rizosferinden ve köklerinden elde edilen farklı türlere ait 4 bakteri suşu (*Arthrobacter sp*. SrN1, *Bacillus altitutinis* SrN9, *Bacillus megaterium* SnA1 ve *Sphingomonas sp*. SaMR12) kullanılarak 2,57 mg kg^{-1} Cd, 57,38 mg kg^{-1} Pb, 64,61 mg kg^{-1} Zn ve 26,04 mg kg^{-1} Cr içeren toprakta yetiştirilen kolza bitkilerinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile topraktan kaldırdığı kadmiyum miktarları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 4 bakteri suşu da bitkilerin biyokütlesini, kök ve sürgün özelliklerini, topraktan kaldırdığı kadmiyum miktarını ve kadmiyumun bitkinin üst kısımlarına taşınmasını önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca, özellikle SaMR12 bakteri suşunun tohumlarda kadmiyum birikimini önemli ölçüde artırdığı ve kolza ile topraktan kadmiyum temizleme amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir.

Rojjanateeranaj ve ark. (2017) tarafından Tayland'da yapılan bir çalışmada, 3 farklı bakteri suşu (*Artrobacter sp., Micrococcus sp*. ve *Pseudomonas sp*.) kullanılarak soya bitkisinin bitki besin elementi varlığı ve yokluğu durumunda kök uzaması, ağır metal akümülasyonu ve toprakta çözünmüş kadmiyum miktarı üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, topraktaki C:N oranı 20:1 seviyesinde iken en fazla kadmiyumu çözünebilir forma dönüştüren bakteri suşunun *Artrobacter sp*. olduğu, en yüksek bitki büyümesinin saksı denemesinde bitki besin elementi uygulamasında *Micrococcus sp*. bakteri suşu varlığında elde edildiği belirtilmiştir. Bunun yanında, besin elementi varlığında *Arthrobacter sp*. suşunun en fazla kadmiyum birikimine yol açtığı ve tüm bakteri suşu uygulamalarında köklerde biriken kadmiyum miktarının sürgün ve yaprakta birikenden daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Pal ve ark. (2018) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum (30 ppm), kurşun (150 ppm) ve bunların kombinasyonunun toksisitesi altında iki farklı

bakteri suşunun (*Lysinibacillus varians* ve *Pseudomonas putida*) bir yerel biber çeşidinin bazı morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, *L. varians* suşu bakteriler bitki büyümesini daha iyi teşvik etmiştir. Kadmiyum, kurşun ve Cd+Pb uygulamaları ile azalan, kuru ağırlık, kök uzunluğu, yaprak sayısı ve yaprak alanı gibi parametrelerin bakteri uygulamaları ile önemli ölçüde arttığı, yer yer kontrol bitkilerinden daha iyi geliştiği bildirilmiştir. Araştırıcılar, bakteri suşlarının bitki büyümesinin yanı sıra ağır metal toksisitesine karşı da kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çin'de kamış (*Phragmites communis*) bitki türü üzerinde yapılan bir çalışmada *Simplicillium chinense* QD10 türü mikoriza suşunun topraktan kadmiyum ve kurşun kaldırmaya katkısı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan mikoriza türü kadmiyum ve kurşun ile bulaşık bir bölgeden elde edilmiş ve yapılan testlerden sonra kamış bitkisi ile saksı denemesine başlanmıştır. İki farklı dozda *S. chinense* QD10 suşu eklenerek (5 mg ve 10 mg mikoriza hücresi), mikoriza uygulanmamış kamış bitkisine göre kadmiyum ve kurşun alımı incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum daha çok kadmiyum -şelatlar halinde bağlanırken, kurşun hücre dışı polimerik maddeler halinde bağlanmış ve depolanmıştır. Uygulanan mikoriza sayısı arttıkça topraktan kaldırılan kadmiyum miktarını artırdığı, kurşun alımında önemli bir fark görülmediği bildirilmiştir. Her iki ağır metalin de, uygulanan mikoriza etkisiyle kamış bitkileri tarafından önemli miktarda topraktan alındığı ve büyük kısmının köklerde depolandığı belirtilmiştir. Kadmiyum uygulamasında mikoriza ile birlikte sürgünlerde de önemli miktarda ağır metal birikimi görülmüştür. Araştırıcılar, mikoriza sebebiyle artan metal alımını; mikoriza etkisi ile bitki gelişiminin ve strese dayanımının artmasına, mikoriza sebebiyle rizosferin kadmiyum ve kurşun açısından zenginleşmesine ve ağır metallerin rizosferden uzaklaştırılarak bitki dokularında tutulmasına bağlamışlardır (Jin ve ark., 2019).

Khanna ve ark. (2019) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum stresi (0,4 mM) altında yetişen Pusa Ruby domates çeşidi fidelerinin bazı morfolojik, fizyolojik, metal alım ve metal şelatlama özellikleri üzerine bakteri suşlarının (*Pseudomonas aeruginosa* MTCC7195 ve *Burkholderia gladioli* MTCC10242) etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum toksisitesi ile bitkilerin büyüme ve fotosentetik pigment içerikleri önemli ölçüde azalmış ve uygulanan bakteri suşları ile bu olumsuz etkiler hafifletilmiştir. Kadmiyum uygulanmış fidelerde kadmiyum miktarı ile birlikte kadmiyum bağlayan protein ve protein olmayan tiyollerin arttığı belirtilmiştir. Kadmiyum ile muamele sonucu artan metal taşıyıcı genlerin ifadesinin bakteri suşu uygulamaları ile

azaldığı, bitki büyümesini artırıcı rizobakterilerin bitkilerde metal toksisitesini azaltan büyümeyi teşvik edici özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir.

Mahohi ve Raiesi (2019) tarafından İran'da yürütülen bir çalışmada, kireçli ve ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen *Stachys inflata* Benth. türünün bazı morfolojik ve kimyasal parametreleri ile toprak özellikleri üzerine toprak solucanı (*Eisenia fetida*), mikoriza (*Glomus mosseae*) ve bakteri (*Bacillus* sp. ve *B. licheniformis*) uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Toprak solucanı, mikoriza ve bakteri suşları ayrı ayrı veya birlikte kullanılmıştır. Çalışma neticesinde üçlü kombinasyon ile topraktan en yüksek Zn, ikili (bitki büyümesini artırıcı rizobakteri ve toprak solucanı) kombinasyon ile topraktan en yüksek kurşun alımına ulaşıldığı belirtilmiştir. Uygulamaların kontrole kıyasla bitki biyokütlesini, toplam kurşun alımını ve toplam Zn alımını artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, ağır metal ile kirlenmiş topraklardan fitoremediasyon ile ağır metallerin uzaklaştırılmasında toprakta yaşayan organizmaların birlikte kullanımının daha etkili olduğu, bitki büyümesini artırmasının yanında topraktan ağır metal alımını da artırdığı belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, topraktan alınan ağır metal miktarının artmasında, bitki biyokütlesindeki artışın yanında toprakta alınabilir formda bulunan ağır metal miktarındaki artışın da etkisi bulunmaktadır.

Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi (10 ppm) altında yetişen hardalın bazı morfolojik, fizyolojik ve pomolojik özellikleri üzerine bazı bakteri suşları (*Lysinibacillus varians* MG976681 ve *Pseudomonas putida* MG976684) ve IAA uygulamalarının (0, 0,01, 0,1, 1 ve 10 M) etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, dışsal IAA uygulamaları kadmiyum stresinin olumsuz etkilerini azaltmakla birlikte, IAA üreten bakteri suşları da aynı işlevi görmektedir. Çalışmada, IAA üretme kabiliyetine sahip bakteri suşları ile IAA uygulamaları karşılaştırılmıştır. Çalışmada belirtildiğine göre, dışsal IAA uygulamaları kadmiyum stresi altındaki bitkilerin büyüme ve gelişmesini artırmıştır. Bununla birlikte, kadmiyum stresi altındaki bitkilere uygulanan bakteri suşlarının IAA uygulamasına kıyasla bitkilerin çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu, klorofil içeriği ve diğer büyüme parametrelerini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, yukarıda sayılan sebeplerle bu bakteri suşlarının ağır metal stresi altında kullanılabilecek biyo gübreler olabileceğini belirtmişlerdir (Pal ve ark., 2019).

Rehman ve ark. (2019) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, petrol rafinerisinin boşaltma sahasında yetişen mısır bitkisinin köklerinden elde edilen iki bakteri suşu (*Exiguobacterium aurantiacum* ve *Bacillus firmus*) ile dışsal IAA

uygulamasının 500 ppm Pb toksisitesi altında yetişen mısır bitkilerinin bazı morfolojik ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kurşun uygulaması ile azalan tüm morfolojik (bitki boyu, sürgün kuru ağırlığı, bitki başına yaprak sayısı, kök uzunluğu ve kuru kök ağırlığı) ve fizyolojik (klorofil içeriği) özellik değerleri bakteri uygulamaları ile artmıştır. Bakteri uygulamaları ile birlikte IAA uygulanması durumunda elde edilen değerlerin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, bakteri uygulamalarının kök ve yapraklardaki kurşun birikimi ile toprakta alınabilir formda bulunan kurşun miktarını da azalttığı bildirilmiştir. Araştırıcılar, söz konusu bakteri suşlarının mısır bitkilerine bir defa uygulanması ile bitkilerin büyüme parametrelerinin iyileştiğini, kurşun toksisitesi altında kontrole kıyasla daha yüksek değerler elde edildiğini ve IAA ile birlikte uygulanması durumunda sonuçların daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Yu ve ark. (2019) tarafından Çin'de yürütülen bir çalışmada, kurşun toksisitesi (0, 100, 200 ve 400 mg kg^{-1}) altında yetişen hardal bitkilerinin bazı özellikleri ile toprak özellikleri üzerine *Pseudomonas* sp. GHD-4 bakteri suşu ile mantar artığının etkisi incelenmiştir. Kurşun uygulaması ile birlikte bakteri suşu, bakteri suşu + mantar artığı uygulanarak toprak çözeltisindeki enzim aktivitesi ile mikroorganizma çeşitliliği belirlenmiştir. Bakteri ve bakteri + mantar artığı uygulanan saksılarda kurşun içeriğinin kontrole göre daha düşük olduğu ancak bitkilerde ki kurşun içeriğinin bunun tersi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yüksek kurşun dozunun topraktaki enzim aktivitelerini olumsuz etkilediği ancak düşük dozlarda enzim aktivitelerinin yüksek olduğu bildirilmiştir. Bakterili ve bakterisiz 400 mg kg^{-1} Pb dozu dışında tüm uygulamalarda *Actinobacteria* ve *Protobactera* türlerinin hakim mikroorganizmalar olduğu bildirilmiştir. Yüksek kurşun dozlarının topraktaki bakteri çeşitliliğini azalttığı ancak bakteri ve mantar artığı uygulanması ile bu etkinin hafiflediği bildirilmiştir. Araştırıcılar, kurşun ile kirlenmiş toprakların bitki ile fitoremedasyonu için GHD-4 bakteri suşu ile mantar artığının birlikte uygulanmasını tavsiye etmişlerdir.

Tunus'ta yapılan bir çalışmada, kadmiyum (2,2 mg kg^{-1} kuru toprak) ve kurşun (895 mg kg^{-1} kuru toprak) toksisitesi altında iki farklı bakteri inokülasyonu (I1: *Rhizobium leguminosarum* strain M5 + *Bacillus simplex* + *Luteibacter* sp. + *Variovorax* sp. ve I5: *R. leguminosarum* strain M5 + *Pseudomonas fluorescens* strain K23 + *Luteibacter* sp. + *Variovorax* sp.) ile mürdümük bitkisinin büyüme ve fitoremedasyon özellikleri incelenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, I1 ve I5 bakteri solüsyonları ile aşılamanın sürgün ağırlığını, kök kuru ağırlığını ve nodül sayısını önemli

ölçüde arttırdığı bildirilmiştir. Köklerde ve nodüllerde en fazla kurşun birikimini I1 bakteri solüsyonu ile aşılama uygulamasının sağladığı, sürgünlerde bu sonucun I5 bakteri solüsyonu ile aşılamadan elde edildiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, tüm bitki dokularında en fazla kadmiyum birikimine yol açan uygulamanın I1 bakteri solüsyonu ile aşılama olduğu, I5 ile aşılama neticesinde özellikle kök ve sürgünlerde kontrol ile fark bulunmadığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, her iki bakteri uygulaması ile bitkilerin sürgün ve kök uzunlukları, sürgün ve köklerin yaş/kuru ağırlıklarının belirgin şekilde arttığını aktarmışlardır (Abdelkrim ve ark., 2020).

Abdollahi ve ark. (2020) tarafından İran'da yürütülen bir çalışmada, beş farklı bakteri suşu (*Pseudomonas putida* PTCC1694, *Bacillus megaterium* PTCC1656, *Azotobacter chroococcum*, *Proteus vulgaris* PTCC1079 ve *Bacillus subtilis* PTCC1715) kullanılarak kadmiyum ve kurşun ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen kabak ve brokoli bitkilerinin bazı morfolojik özellikleri ve fitoremediasyon yetenekleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bakteri uygulamaları bitki biyokütlesi, kök ve sürgünlerde biriken kurşun ve kadmiyum miktarları, bitkilerin kurşun ve kadmiyum alım performansları, topraktaki kurşun ve kadmiyumun bitkiler tarafından alınabilirliği ve bitki içinde taşınımının artmasına yol açmıştır. Bakteri suşları uygulanmadan önce topraktaki kurşun (Fe-Mn oksitlere; %42,7) ve kadmiyumun (karbonata; %38,1) büyük oranda bağlı formda bulunduğu ancak uygulamalar ile çözünür, değişebilir ve organik maddeye bağlı formlardaki kurşun ve kadmiyum miktarlarının arttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, incelenen bakteri suşları arasında özellikle *B. megaterium* PTCC1656 suşu ile aşılamanın bitkilerin büyümesini ve topraktaki kurşun ve kadmiyumun alınabilirliğini artırarak fitoremediasyona katkı sağladığını aktarmışlardır.

Awan ve ark. (2020) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, *Bacillus siamensis* MH559649 bakteri suşunun kadmiyum toksisitesi (0, 20, 30 ve mg kg^{-1}) altında yetişen NARC-2009 ve NARC-2011 buğday çeşitlerinin bazı morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin yanı sına kadmiyum alımını azaltması üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, kadmiyum stresi altındaki bitkilerin kök ve sürgünlerinde kadmiyum birikmiş, MDA gibi metabolitlerin üretilmesi sebebiyle bitkiler oksidatif strese girmiştir. Ayrıca, kadmiyum stresi altındaki bitkilerde hücre osmotik basıncında azalma ve antioksidant enzim aktivitesinde (SOD, CAT ve APX) artış olduğu belirtilmiştir. Bunların bir sonucu olarak; kadmiyuma maruz kalan bitkilerin büyümesi, biyokütle üretimi, fotosentetik pigment üretimi, membran stabilitesi, toplam çözünür şeker ve aminoasit miktarlarında önemli azalmalar olduğu bildirilmiştir. Ortaya çıkan zararın kadmiyum

dozu artışı ile arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, kadmiyum stresi altındaki bitkilere MH559649 bakteri suşu uygulandığında, her iki buğday çeşidinde de bitki büyümesinin arttığı, oksidatif stresin azaldığı ve antioksidant enzim aktivitelerinin arttığı belirtilmiştir. Bakteri uygulaması ile kadmiyum stresine karşı incelenen tüm parametrelerde artışların görüldüğü, NARC-2009 buğday çeşidinde bakteri uygulaması ile daha az kadmiyum biriktiği ve diğer çeşide göre daha yüksek dayanım sergilediği belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, bakteri uygulaması ile buğdayların topraktan aldıkları kadmiyum miktarı (özellikler NARC-2009 çeşidinde) azalmış ve bunun neticesinde azalan oksidatif stres ve bakteri uygulamasının büyüme üzerine olumlu etkileri sebebiyle bitki büyüme ve gelişmesi kontrol bitkilerine göre daha iyi olmuştur.

İran'da yürütülen bir çalışmada, kadmiyum (0,8 mg kg^{-1}), kurşun (50 mg kg^{-1}) ve çinko (200 mg kg^{-1}) ile kirlenmiş toprakta yetişen mısır bitkilerinin bazı morfolojik özellikleri ile ağır metal birikimi üzerine üç farklı bakteri suşu (*Pseudomonas putida* P15, P18 ve P19) ve EDTA'nın etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, üç bakteri suşu da bitki büyüme ve gelişimini artıran özellikler (fosfor çözme ile IAA ve siderofor üretimi) sergilemiştir. EDTA'nın tek başına ve bakteri suşları ile birlikte kullanımı sonucu sürgün biyokütlesinin ve EDTA ile bakteri suşlarının birlikte kullanımı ile mısır kök ve sürgünlerinde biriken ağır metal miktarlarının arttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, EDTA ve bakteri suşlarının birlikte kullanımı neticesinde toprakta bulunan çinko, kurşun ve kadmiyumun daha fazla miktarda bitkiler tarafından alınabilir forma dönüştüğünü, EDTA ile birlikte bakteriyel aşılamanın fitoremedasyon etkinliğini artıracağını aktarmışlardır (Hamidpour ve ark., 2020).

Çin'de yürütülen bir çalışmada, metal toksisitesine dayanıklı iki bakteri suşunun (*Bacillus* sp. QX8 ve *Bacillus* sp. QX13) köpek üzümü bitkisinin ağır metal ile kirlenmiş topraktaki bazı morfolojik ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, bakteri ile aşılama rizosfer bölgesini iyileştirmekte, bitkilerin Fe ve P alımını artırmakta, kontamine (Pb ve Cd) toprakta bitkilerin sürgün ve kök kuru ağırlıklarını artırmaktadır. Bakteri ile aşılamanın bitkilerin sürgünlerindeki kadmiyum ve kurşun miktarını önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, bitki büyümesini artırıcı rizobakteri destekli fitoremediasyonun, bitki verimini artırma ve toprak kalitesini iyileştirme konularında umut vadettiğini belirtmişlerdir (He ve ark., 2020).

Konkolewska ve ark. (2020) tarafından Polonya'da yürütülen bir çalışmada, Malopolska hardal, Codimon mısır ve Sanditi yonca çeşitleri ile birlikte *Burkholderia phytofirmans* $PsJN^T$ bakteri suşu kullanılarak mısır, yonca ve hardal otu bitkilerinin

çinko, kurşun ve kadmiyum fitoremediasyon kapasiteleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, münavebe ve bakteri aşılamalarının bitkilerin kuru ağırlıklarını artırdığı, kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerin canlılığını sürdürdüğü ve bitkilerin topraktan metal alım kapasitesinin arttığı bildirilmiştir. Araştırıcılar yürüttükleri çalışmada, en etkili uygulama olan hardal otu ve yoncanın ekim nöbeti + bakteri ile aşılamanın, monokültürde büyütülen hardal otu bitkilerine kıyasla %95 Zn, %90 Cd ve yaklaşık %160 Pb biriktirdiğini aktarmışlardır.

Li ve ark. (2020) tarafından Çin'de yapılan bir çalışmada, kadmiyum toksisitesi (0, 50 ve 100 mg kg^{-1}) altında yetiştirilen domates bitkilerinin bazı morfolojik ve metal alımı özellikleri üzerine bazı bakteri (*Enterobacter* sp. EG16 ve *Enterobacter ludwigii* DJ3) ve mikoriza (*Glomus mosseae*) suşlarının tek tek ve birlikte etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, tek başına mikoriza ve mikoriza bakteri suşu uygulamaları en iyi büyüme parametrelerine yol açmıştır. Kombine uygulamada en yüksek bakteri ve mikorizal kolonizasyonun da elde edildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, sürgünlerdeki kadmiyum miktarındaki azalma ve translokasyon faktörü sebebiyle *G. mosseae* + EG16 bakteri suşu uygulamasının konukçu bitkinin kadmiyum toleransını artırmada en etkili uygulama olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, uygulanan mikroorganizmalar ile pH'da meydana gelen artış ve rizosferde bitkiler tarafından alınabilir kadmiyum formlarındaki azalış sebebi ile de bitkilerde ki kadmiyum miktarının azaldığı bildirilmiştir. Araştırıcılar, bitki türüne uygun mikroorganizma uygulanması ile bitki büyümesinin artacağını ve kadmiyum ile bulaşık topraklarda bitkilerin toleransında önemli artışlar olacağını bildirmişlerdir.

Pidlisnyuk ve ark. (2020) tarafından Çekya'da yürütülen bir çalışmada, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr ve Pb ile kontamine eski bir madencilik sahasından elde edilen toprağa haricen kurşun ekleyerek (42,6 "orijinal", 273,7 ve 2.033,3 mg kg^{-1}) ve eklemeyerek *Miscanthus x giganteus* bitkisinin topraktan ağır metal kaldırması ve bazı morfolojik özellikler üzerine *Bacillus alttitudinis* KP-14 bakteri suşunun etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, enerji üretimi ve topraktan metal temizlemede iyi bir bitki olan *M. x giganteus* bitkisinin bakteri uygulamaları ile daha etkin olduğu bildirilmiştir. Bakteri uygulanması ile bitkilerin yaprak, sürgün ve kök biyokütlelerinin (sırasıyla; %49, %86 ve %76) önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Artan kurşun dozları ile bitki köklerindeki kurşun miktarının KP-14 bakteri suşu uygulanmış bitkilerde arttığı, en büyük farkın ise yüksek dozda görüldüğü belirtilmiştir. Bakteri uygulaması ile köklerde kurşunun yanı sıra Mn, Zn, Sr ve Cu miktarlarının da arttığı, sürgün ve yapraklarda düşük kurşun dozunda benzer olan bu durumun doz artışı ile ortadan kalktığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, Pb,

Zn ve Sr yüksek kurşun dozunda bakteri uygulaması ile yapraklarda bakteri uygulanmamış olanlara göre daha fazla biriktiği belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, yüksek kurşun dozunda Pb, Zn, Cu ve Sr daha çok köklerde tutulmakta ve sürgünlere gönderilmemektedir.

Raza Altaf ve ark. (2020) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, *Pseudomonas gessardii* BLP141 bakteri suşu ile bitki büyümesini artırıcı rizobakteri + şeker fabrikası artığının (presmund; %2) Hisun-39 ayçiçeği çeşidinin kurşun toksisitesi (600 mg kg^{-1}) altında bazı morfolojik, fizyolojik, kimyasal ve pomolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kurşun ile kirlenmiş toprakta presmund ve bakteri suşu uygulamaları ile bitkilerin büyümesi ve gelişimi artmıştır. Kurşun toksisitesine karşın presmund ve bakteri suşunun birlikte uygulanması ile; bitki büyümesinin %65, klorofil içeriğinin %63, meyve veriminin %47 ve kurşunun stabil hale gelmesinin %78 artarak önemli ölçüde iyileşme sağlandığı bildirilmiştir. Araştırıcılar, şeker fabrikası atığı ile bakteri suşunun bitkilerin büyüme ve gelişimi ile kurşun toksisitesine karşı etkili olduğunu aktarmışlardır.

Pakistan'da yapılan bir çalışmada, kudret narında kadmiyum toksisitesine (2 ve 5 mg kg^{-1}) karşı ACC deaminaz üreten *Stenotrophomonas maltophilia* ve *Agrobacterium fabrum* bakteri suşları ile önerilen NPK gübrelemesinin ayrı ayrı ve birlikte etkisinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum dozları bitki özelliklerini zayıflatmış, *A. fabrum* ile NPK gübrelemesinin birlikte uygulamasından elde edilen sürgün uzunluğu, yaş ağırlık ve klorofil miktarları her iki kadmiyum dozunda da yükselmiştir. Herhangi bir uygulama yapılmamış bitkilerin sürgün ve kök uzunluklarının önemli ölçüde düştüğü belirtilmiştir. Klorofil miktarlarının düşük kadmiyum dozunda uygulamalar sebebiyle artış gösterdiği, yüksek kadmiyum dozunda fazla değişmediği bildirilmiştir. Bununla birlikte, bitkilerin kadmiyum içeriğinin özellikle yüksek dozda arttığı, bakteri ve bakteri + NPK uygulamaları (özellikle *A. fabrum* ve *A. fabrum* + NPK uygulamaları) ile bitkilerin aldığı kadmiyum miktarının azaldığı belirtilmiştir. Araştırıcılara göre, bakteri uygulamaları ile bitkilerin topraktan aldığı kadmiyum miktarı azaltılabilir ve bu bakterilerin ürettiği metabolitler sebebiyle toprakta alınabilir formda olan kadmiyum miktarının düşmesi ile sağlanabilir (Zafar-ul-Hye ve ark., 2020).

Mahohi ve Raiesi (2021) tarafından İran'da yürütülen bir çalışmada, kurşun madenciliği faaliyetleri sebebiyle kirlenmiş toprakta yetiştirilen Bermuda otunun bazı morfolojik ve kimyasal özellikleri üzerine mikoriza (*Glomus mosseae* ve *Septoglomus*

constrictum), toprak solucanı (*Eisenia fetida*) ve bakteri suşlarının (*Bacillus* sp. ve *B. licheniformis*) etkisi incelenmiştir. Çalışmada, toprak solucanı, mikoriza ve bakteri suşları ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, mikoriza ile bakteri ve mikoriza ile toprak solucanı arasında, toprak çözeltisi içindeki kurşun ve fosfor miktarının artırılması ile mikorizal hif büyümesi üzerine antagonistik etkileşim olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, mikoriza uygulamalarından sonra yapılan bakteri ve solucan uygulamaları ile de mikorizal hif büyümesinin azaldığı bildirilmiştir. Bitki biyokütlesinin toprakta bulunan kurşun sebebiyle azaldığı ancak mikoriza uygulanması ile arttığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, mikoriza, solucan ve bakteri suşlarının birlikte kullanımı ile bitkilerin kurşun alımının arttığını belirtmiş, bitkiler ile yapılacak fitoremediasyon çalışmalarında toprak organizmalarının birlikte kullanılmasının etkili olacağını bildirmişlerdir.

Rakic ve ark. (2021) tarafından Sırbistan'da yürütülen bir çalışmada, *Miscanthus x giganteus* türü enerji bitkisinin ağır metal ile kirlenmiş verimsiz bir toprakta yetişmesi, morfolojik özellikleri ve metal alımı üzerine etkili olabilecek bakteri suşlarının belirlenmesi ve etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ilgili bölgeden seçilen 75 izolat farklı dozlarda Ni, Pb, Cu, As ve Mn'a tabi tutmuş ve bunların arasından altı suş (*Pseudomonas chlororaphis* Bo, *Bacillus cereus/thuringiensis* Co, *B. safensis* Do, *Arthrobacter* sp. B21, *B. megaterium* B22 ve *B. cereus/thurigiensis* F4) belirlemiştir. Daha sonra, bu suşların bir karışımı kullanılarak 1.850 µg g^{-1} dozunda kurşun ve değişken miktarlarda diğer ağır metalleri içeren bir ortamda yetişen *M. x giganteus* türünün ağır metal ve P alımı ile bazı özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, bakteri uygulamasının bitkilerin morfolojik özellikleri üzerine olumlu etkidiği, bitkilerin kök ve sürgünlerinde biriken ağır metal miktarını (sürgünlerde Ni ve Cd dışında) büyük ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, Mn dışında tüm ağır metal türlerinin çok yüksek oranlarda kökte biriktiği bildirilmiştir. Araştırıcılar, ağır metale dayanıklı bakteri suşları ile fitoremedasyona uygun bitkilerin topraktan kaldırdığı ağır metal miktarının artırılabileceğini bildirmişlerdir.

Shabaan ve ark. (2021) tarafından Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, *Pseudomonas fluorescence* bakteri suşunun kurşun toksisitesi (0, 250, 500 ve 750 mg kg^{-1}) altında yetişen Meteor Faisalabad bezelye çeşidinin bazı morfolojik, fizyolojik ve pomolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bitkilerin sürgün (uzunluğu, yaş ve kuru ağırlığı), kök (uzunluğu, yaş ve kuru ağırlığı), tohum (sayısı, yaş ve kuru ağırlığı), yaprak oransal su içeriği ve SPAD değeri bakteri uygulaması

ile önemli ölçüde artarken, kurşun uygulamaları ile azalmıştır. Kurşun stresi altındaki bitkilere bakteri uygulanması ile olumsuz etkilenen bitkisel özelliklerin iyileştiği, kontrol bitkileri kadar olmasa da değerlerin yükseldiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, toprak, kök, yaprak ve tohumlardaki kurşun miktarının bakteri uygulaması ile %80'lere varan oranlarda azaldığı belirtilmiştir. Araştırıcılar, bakteri uygulamasının toprakta bulunan kurşunu hareketsiz hale getirerek bu etkiye yol açtığını aktarmışlardır.

Pakistan'da *in vitro* ortamda yürütülen bir çalışmada, *Serratia sp*. CP-13 bakteri suşunun kadmiyum toksisitesi (0, 6, 12, 18, 24 ve 30 µM) altında yetişen MMRI-Yellow (dayanıklı) ve Sahiwal-2002 (hassas) mısır çeşitlerinin morfolojik, fizyolojik, kimyasal özellikleri ile kadmiyum alımını azaltması üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre, dayanıklı ve hassas çeşitlerin her ikisinde de yaprak alanı, besin elementi içeriği, bitki biyokütlesi, antioksidant aktivitesi, toplam protein, fotosentetik pigmentler ve flavonoidlerde önemli bir azalma; membran geçirgenliği, H_2O_2, MDA ve prolin içeriğinde artış görülmüştür. Bununla birlikte, bu azalma ve artışların hassas olan çeşitte daha yüksek olduğu bildirilmiştir. CP-13 bakteri suşunun uygulanması ile her iki çeşitte de kadmiyum stresi altında membran geçirgenliği, H_2O_2 ve MDA üretiminin azaldığı, buna karşın bitki biyokütlesi, fotosentetik pigment, antioksidant ezim aktivitesi, flavonoid ve prolin miktarı/üretiminin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Bakteri suşu uygulanması ile bitkilerin besin elementi içeriğinin (Ca, Mg, Zn, K ve Fe) önemli ölçüde arttığı ancak sodyum ile kadmiyum arsındaki antagonistik etki sebebiyle sodyum miktarının düşük kaldığı bildirilmiştir. Araştırıcılar, bakteri suşu inokülasyonunun kadmiyum dozu artışı ile toleransı artırdığını ve bakteri uygulamaları ile bitkilerin yenilebilir kısımlarında daha az kadmiyum biriktiğini aktarmışlardır (Tanwir ve ark., 2021).

2.7. Bakterilerin Ağır Metal Akümülasyonu ile İlgili Çalışmalar

Nakajima ve Sakaguchi (1986) tarafında Japonya'da bazı bakteri suşlarının seçici metal bağlama seviyelerinin ölçüldüğü bir çalışmada; 83 farklı tür (32 bakteri, 15 maya, 16 fungus ve 20 aktinomiset) mikroorganizma kullanılmıştır. Çalışma, uranyum ve metal karışımı (Co, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg ve Pb) olmak üzere iki ayrı sistemde kurulmuş ve tüm bakteri suşları her iki deney düzeneğinde de denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, *Pseudomonas stutzeri*, *Neurospora sitophila*, *Streptomyces albus* ve *Streptomyces viridochromogens* en fazla uranyum bağlayan mikroorganizma türleri olmuştur. Ayrıca, test edilen tüm mikroorganizmaların uranyum, cıva ve kurşunu seçici olmadan bağladığı

ancak *Streptomyces albus* türünün uranyumu seçici olarak bağladığı da belirtilmiştir. Benzer şekilde diğer ağır metallerin de bazı mikroorganizmalar tarafından daha yüksek miktarlarda bağlandığı, diğer mikroorganizmalar tarafından birincil olarak tercih edilmediği belirtilmiştir.

Mullen ve ark. (1989) tarafından ABD'de yapılan bir çalışmada, 4 farklı bakteri suşunun Ag^{+2}, Cd^{+2}, Cu^{+2} ve La^{+3} alımı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan ağır metal dozları 0,001 ile 1 mM arasında değişmektedir. Sonuçlara göre, 1 mM dozunda *P. aeruginosa* en etkili ve *B. cereus* ise en etkisiz bakteri olarak ortaya çıkmıştır. Tüm dozlar dikkate alındığında *E. coli*'nin kadmiyum uzaklaştırılmasında, *B. subtilis*'in ise Cu uzaklaştırılmasında en etkin bakteriler olduğu belirtilmiştir. Bakterilerin en etkin şekilde gümüşü uzaklaştırdığı, 1 mM dozunda ortamdaki gümüşün %89'unun bakteriler tarafından alındığı, aynı dozda kadmiyumun %12'si, lantanın %27'si ve bakırın %29'unun uzaklaştırılabildiği bildirilmiştir.. Ağır metaller oransal olarak Ag>La>Cu>Cd sıralaması ile ortamdan uzaklaştırıldığını belirten araştırıcılar, bakterilerin yüksek miktarda ağır metali bünyelerinde veya ürettikleri metabolitlerde bağladığını bildirmişlerdir.

Gourdon ve ark. (1990) tarafından ABD'de yürütülen bir çalışmada, aktif çamurdan izole edilen gram pozitif ve gram negatif bakterilerin kadmiyum alım yeteneği incelenmiştir. Sonuçlara göre, düşük pH değerlerinde gram pozitif bakterilerin gram negatif bakterilere göre daha fazla kadmiyum absorbe ettiği belirtilmiştir (Ör.: 30 ^{o}C sıcaklık 6,6 pH'da %20 daha fazla). Her iki bakteri grubunun da kadmiyum absorbsiyonunun genellikle pasif olduğu ancak gram pozitif bakterilerde aktif absorbsiyonun daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, düşük pH değerlerinde gram pozitif bakteriler ile gram negatif bakteriler arasında var olan kadmiyum alım farkının pH yükseldikçe azaldığı bildirilmiştir. Araştırıcılar, ortama besin elementi ilavesi durumunda gram pozitif bakterilerin kadmiyum absorbsiyonunun bariz şekilde arttığını belirtmişlerdir.

İngiltere'de yapılan bir çalışmada, çoğaltıldıktan sonra 121 ^{o}C sıcaklıkta tutularak öldürülmüş bazı mikoriza türlerinin (*Rhizopus arrhizus* (IMI 057412), *Mucor racemosus* (IMI 035716), *Mycotypha africana* (IMI 139108), *Aspergillus nidulans* (IMI 028644), *Aspergillus niger* (IMI 057396)) düşük ve yüksek Zn içeren sulu çözelti içinden metal alımı incelenmiştir. En çok Zn bağlayan *R. arrhizus* ile alınan Zn'nun birikme yerlerini öğrenmek için farklı denemeler yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek Zn içeren sulu çözeltide *R. Arrhizus*, Zn birikimi çoktan aza doğru sırasıyla

Çitin/Çitosan>Hücre Duvarı>Tüm Hücre İçi>Protoplast olarak sıralanmıştır. Düşük dozda Zn içeren çözeltide ise sıralamanın terse döndüğü belirtilmiştir. Araştırıcılar, pH azalması ile Zn emiliminin azaldığını, ortamda bulunan ligandların hücre içine Zn girişini azalttığını bildirmişlerdir (Zhou, 1999).

Samuelson ve ark. (2000) tarafından İsveç'te yürütülen bir çalışmada, iki değerlikli metal iyonlarına bağlanmak üzere tasarlanmış polihistidil polipeptitler içeren yüzey aktif kimerik protein içerecek şekilde rekombinant teknikle geliştirilmiş iki bakteri suşunun yabani ve rekombinant tiplerinin (*Staphylococcus xylosus* "yabani tip", Sx: ABP, Sx: H1ABP ve Sx: H2ABP ile *Staphylococcus carnosus* "yabani tip", Sc: ABP, Sc: H1ABP ve Sc: H2ABP) Ni bağlama yeteneği incelenmiştir. Sonuçlara göre, kimerik yüzey proteinlerinin yüzeyde erişilebilir ve metal bağlama konusunda işlevsel olduğu belirtilmiştir. Araştırıcılar, stafilokok hücrelerinin Ni^{2+} ve Cd^{2+} bağlama yeteneği kazandığından dolayı ağır metal remediasyonunda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Hussein ve ark. (2005) tarafından Mısır'da yürütülen bir çalışmada, *Pseudomonas sp*. suşlarının (*Pseudomonas fluorescens, P. putida* "Cd, Cu ve Ni'e dayanıklı 3 suş) krom (Cr^{+6}), bakır (Cu^{+2}), kadmiyum (Cd^{+2}) ve nikel (Ni^{+2}) ağır metallerine dayanımı ve bu ağır metalleri bağlama yetenekleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, *P. fluorescens* suşu kroma dayanıklı olup, çözeltideki miktar 3 mmol L^{-1} düzeyine ulaştığında krom alımına başlamış ve çözeltiye ikinci bir metal konulduğunda bakteri suşunun bağladığı krom miktarı azalmıştır. Bakıra dayanıklı *P. putida* suşunun da benzer şekilde 3 mmol L^{-1} konsantrasyonda metal alımına başladığı, konsantrasyon 4 mmol L^{-1} düzeyini aşınca metal bağlama özelliğini önemli ölçüde kaybettiği ve bunun ikinci bir metal iyonunun varlığı ile farklı şekillerde etkilendiği belirtilmiştir. Nikele dayanıklı *P. putida* suşunun 5 mmol L^{-1} konsantrasyonuna kadar önemli ölçüde metal bağladığı, çözeltiye eklenen ikinci metal iyonunun krom veya kadmiyum olması durumunda ise nikel bağlama özelliğinin azaldığı belirtilmiştir. Kadmiyuma dayanıklı *P. putida* suşu ise 10 mmol L^{-1} konsantrasyona kadar değişken düzeylerde metal bağlamada etkin bulunduğu ve diğer metal iyonlarının ortama eklenmesiyle de bu etkisini sürdürdüğü bildirilmiştir. En fazla krom bağlayan bakteri suşu nikele dayanıklı suş iken, en fazla bakır ve nikel bağlayan suşun kadmiyuma dayanıklı bakteri suşu olduğu belirtilmiştir. En fazla kadmiyumun ise nikel ve kadmiyuma dayanıklı bakteri suşları tarafından bağlandığı ve bunun yürütülen çalışmada bağlanan en yüksek metal miktarı olduğu bildirilmiştir.

Tripathi ve ark. (2005a) tarafından Hindistan'da yürütülen bir çalışmada, kurşun ve kadmiyuma dayanıklı ve siderofor üreten *Pseudomonas putida* KNP9 bakteri suşunun

izolasyonu ve fonksiyonel karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, KNP9 bakteri suşu maş fasulyesinde kök ve sürgün büyümesini kadmiyum toksisitesi altında (110 µM $CdCl_2$) sırasıyla %16,48 ve %28,80, kurşun toksisitesi altında (660 µM $(CH_3COO)_2Pb$) ise sırasıyla %20 ve %19,5 oranında artırmıştır. Bunun yanında, ürettiği sideroforlara bağladığı ağır metaller sebebiyle bitkilerin kök ve sürgünlerine aldığı kurşun ve kadmiyum miktarını %37,5-%93,19 arasında azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca, KNP9 bakteri suşu varlığında kurşun ve kadmiyum varlığı sebebiyle azalan klorofil miktarını da koruduğu araştırıcılar tarafından belirtilmiştir.

Çin'de yürütülen bir çalışmada, iki farklı bitki büyümesini artırıcı rizobakterinin (*Azotobacter chroococcum* ve *Bacillus megaterium*) kurşun ve kadmiyum bağlama kinetikleri incelenmiştir. Çalışmada, $Pb(NO_3)_2$ ve $Cd(NO_3)_2$ kullanılarak hazırlanan çözeltilerde 50, 100 ve 200 µg ml^{-1} dozunda kurşun ve kadmiyum kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, *A. chroococcum B. megaterium*'a göre metal bağlamada daha etkili bulunmuş ve Pb^{+2} ve Cd^{+2} bağlama oranı sırasıyla %59,8 ve %75,6 daha fazla olarak belirlenmiştir. Araştırıcılara göre, çözelti içinde yer alan rizosfer bakterileri çözeltide yer alan ağır metallerin hareketini engelleyebilmektedir (Wu ve ark., 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma 2019-2020 yılları arasında Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Biyoteknolojisi Bölümü Yetiştirme Odasında yürütülmüştür.

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan bitkisel materyal

Çalışmada, üç çilek çeşidi (Rubygem, Kabarla ve YFL) kullanılmıştır. Fideler standardize edilmiş birinci sınıf frigo fideler olup Adana'da faaliyet gösteren YALTIR Tarım Ürünleri A.Ş.'nden temin edilmiştir. Çeşitlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1.1.1. Rubygem

Rubygem bir kısa gün çeşidi olup, Kabarla çilek çeşidinden daha kompakt, Festival çeşidine benzer bir habitüse sahiptir. Yaprağın üst kısmı yeşil renkli olup enine iç bükey bir şekle sahiptir. Yapraklarında parlaklık zayıf olup kabarcıklanma azdır veya hiç yoktur. Yaprağın sapa yakın kısmı daha geniş olup, yaprak boyunun enine oranı, enin boya oranından daha fazladır. Yaprak kenarlarındaki dişler çentiklidir. Yaprak saplarındaki tüyler dışa dönüktür. Yaprak sapındaki kulakçıklarda antosiyanin renklenmesi yoktur veya oldukça zayıftır. Bitkinin kompakt yapısı ile nispeten uzun ve sert olan çiçek sapı meyvelerin bitkinin dışına çıkmasına sebep olmaktadır. Bu özellik hasadı kolaylaştırmasına rağmen yağmura karşı meyveleri savunmasız hale getirir. Meyveleri Festival çilek çeşidi gibi düzenli şekilli değildir. Meyvelerin dış kısmı kırmızı renkli ve parlak olup, iç kısmı daha açık kırmızıdır. Özellikle ilk flaşta, çiçeklerin kaliksi meyve çapından büyüktür. Meyveler sert ama suludur. Meyve tadı ve görünüşü Camarosa çilek çeşidine benzemektedir (Herrington ve ark., 2007).

3.1.1.2. Kabarla

Bir nötr gün çeşidi olan Kabarla, Avustralya'nın Queensland eyaletinde ıslah edilmiş, erkenden yüksek verime ulaşabilen bir çeşittir. Erkenci bir çeşit olup, verimi sezon boyunca devam eder. Meyveleri çekici kırmızı renkte, orta parlaklıkta, konik

şekilli, orta büyüklükte, sert ve dayanıklı olup, yağmur zararına biraz dayanıklıdır. Kabarla çilek çeşidi özellikle sezon başında oldukça verimlidir. Meyve rengi kırmızı, asitliği orta derecededir. Tadı ve lezzeti mevsim başlarında en yüksek seviyede olup, mevsim sonuna doğru azalmaktadır. Bitki habitusu nispeten düz, gelişmesi zayıftır. Meyveleri kolay şekilde toplanabilmesine rağmen küçük meyve oluşumu yüksektir. Akarlara karşı hassastır (Herrington, 1995; Herrington ve Chandler, 2006).

3.1.2. Çalışmada kullanılan bakteri suşları

Bu çalışmada *Pseudomonas* cinsine ait üç bakteri suşu kullanılmıştır. Çukurova Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü stoklarından, Prof. Dr. Sadık DİNÇER'den temin edilmiştir. 15 farklı *Pseudomonas* sp. suşu kadmiyum ve kurşun içeren bakteri çoğaltma ortamlarında çoğaltılmıştır. Bu suşlar arasında söz konusu ağır metallerin bulunduğu ortamda en fazla gelişen üç bakteri suşu seçilmiş ve bunlar MŞ-7 (Murat Şahin – 7), MŞ-12 (Murat Şahin – 12) ve MŞ-13 (Murat Şahin – 13) olarak adlandırılmıştır.

3.1.3. Çalışmada kullanılan ağır metaller

3.1.3.1. Kurşun

Kurşun, atom numarası 82, atom kütlesi 207,19 g olan mavi-gümüş rengi karışımı bir elementtir. 327,5 ^{o}C'ta erir ve 1.740 ^{o}C'ta kaynar. Kolay işlenebilen yaygın bir metal olan kurşunun ergime noktası da düşük olduğu için kullanımı oldukça yaygındır (Anonim, 2022b). Kurşun doğal olarak tüm topraklarda (Detreville, 1964) 1-200 mg kg^{-1} arasında değişen oranlarda ve ortalama 15 mg kg^{-1} kadar bulunur (Swaine, 1955). Aubert ve Pinta (1980) tarım topraklarındaki kurşun miktarının 15-25 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmiştir. Topraklarda çözünebilir şekilde bulunan kurşun yıkanarak toprak derinliklerine inebilirken, toprak özellikleri ve mikroorganizmalar tarafından immobil hale de dönüştürülebilmektedir (Tornabene ve Edwards, 1972; Kacar ve İnal, 2010). Kurşun bitkiler için mutlak gerekli olmayan elementler arasında yer almakla birlikte, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için zararlıdır (Vallee ve Ulmer, 1972; Shaw, 1989; Nies, 1999). Bitkiler tarafından topraktan alınan kurşun, beslenme yoluyla, hayvanlar aracılığıyla veya doğrudan olarak bitkilerden insanlara geçebilmektedir (Wiersma ve ark., 1986; Ma, 1996; Adriano, 2001). Bu çalışmada, Sigma-Aldric marka %98 saflıkta kurşun

klorid ($PbCl_{2)}$ kullanılmıştır.

3.1.3.2. Kadmiyum

Kimyasal simgesi "Cd" olan kadmiyum, gümüş beyaz renkli olup elektrik, seramik, ısıtma sistemleri ve enerji depolama sanayisinde kullanılan yumuşakça, kanserojen ve toksik bir ağır metaldir. Kadmiyum, çinko bileşikleriyle beraber doğada kadmiyum sülfür olarak bulunup çinko, kurşun ve bakırın yan ürünü olarak üretilir (Kacar ve İnal, 2010; Anonim, 2022c). Fosforlu gübre endüstrisi, arıtma çamurları, metalürji sanayi, piller, aküler, tarım ilaçları ve araç trafiği yoluyla toprağa karışan kadmiyum bitkilerin gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Ross ve Stewart, 1969; Garrido ve ark., 1998; Benavides ve ark., 2005). Kadmiyum, kullanıldığı sanayi dallarının yoğun olduğu bölgelerde ve trafiği yoğun yolların kenarlarındaki tarım topraklarında yüksek miktarlarda bulunur (Buchauer, 1973; van Geen ve ark., 1997; Lombi ve ark., 2000; Kacar ve İnal, 2010). Bitkilerin özellikle kök ve köke yakın kısımlarında yoğun olarak bulunan kadmiyum asitli topraklarda bitkiler tarafından daha kolay şekilde alınmaktadır (Lagerwerff, 1971; Jansson ve Oborn, 2000; Szomolányi ve Lehoczky, 2002; Kacar ve İnal, 2010). Kadmiyum da kurşunda olduğu gibi insan, hayvan ve bitki sağlığı için zararlı elementlerden olup insanlara hayvanlar yoluyla dolaylı veya bitkiler yoluyla doğrudan ulaşmaktadır (Salt ve ark., 1997; Kawada ve Suzuki, 1998; Nies, 1999; Sanità di Toppi ve Gabbrielli, 1999; Pinto ve ark., 2004). Bu çalışmada, Merck marka %98 saflıkta kadmiyum sülfat ($3CdSO_4.8H_2O$) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Yetiştirme ortamının hazırlanması ve deneme deseni

Yetiştirme ortamı olarak 2:1:1 (torf: toprak: dere kumu) karışımı iyice karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım 2 litrelik saksılara doldurulmuş ve ortalama kuru ağırlık olarak 1.250 gr belirlenerek her saksıya bu miktarda karışım doldurulmuştur.

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre (3 çeşit x 2 ağır metal x 3 doz x 4 bakteri x 3 tekerrür) her tekerrürde 3 saksı olacak şekilde kurulmuştur. Kadmiyum dozu olarak 0, 100 ve 300 mg kg^{-1}; kurşun dozu olarak 0, 500 ve 1500 mg kg^{-1} kullanılmıştır.

Bakteri uygulamaları; kontrol, *Pseudomonas* sp. MŞ-7, *Pseudomonas* sp. MŞ-12 ve *Pseudomonas* sp. MŞ-13 olarak 4 adettir.

3.2.2. Bitkilerin dikilmesi, yetiştirilmesi ve uygulamalar için hazırlanması

3.2.2.1. Bitkilerin dikimi

Adana'da faaliyet gösteren YALTIR Tarım Ürünleri A.Ş.'nden temin edilen standardize edilmiş birinci sınıf frigo fidelerin kök ve yaprakları temizlenerek dikime hazır hale getirilmiş ve 2 dakika boyunda mantar ilacı içeren suda bekletilmiştir. Daha sonra saksılar içinde hazır halde bulunan yetiştirme ortamı ıslatılarak fide dikimine hazır hale getirilmiştir. Islatılan saksılara fideler Ekim 2019'da dikilmiştir. Fide dikiminden sonra can suyu verilerek saksılar yerlerine dizilmiştir.



Şekil 1. Yetiştirme ortamının hazırlanma aşamaları. Soldan sağa sırasıyla; kum ve toprak karışımına torfun yarısının karıştırılması, karışıma torfun kalan yarısının karıştırılması, karışımın ikinci defa karıştırılması, karışımın üçüncü defa karıştırılması, karışımın saksılara doldurulması ve saksıların 1.250 g karışım içerecek şekilde tartılması

3.2.2.2. Bitkilerin yetiştirilmesi

Bitkiler, dikimden sonra düzenli ve eşit olarak sulanmış, hastalık ve zararlı kontrolü yapılarak gerektiği zamanlarda hastalık ve zararlılara karşı ilaçlama yapılmıştır. Bitkilerin gübre ihtiyacı Hoogland Çözeltisi ile karşılanmıştır (Epstein, 1972; Taiz ve Zeiger, 2003). Ayda 1 defa olmak üzere bitkiler Hoogland Çözeltisi (N, P, K, Mg, B, Mn, Zn, Mo, Fe, S, Si, Na ve Ca), diğer zamanlar ortalama haftada iki defa olacak şekilde her seferinde 250 ml çeşme suyu ile sulanmıştır.



Şekil 2. Fide dikim aşamaları (sırasıyla; fide dikim öncesi sulama, saksılara fidelerin konulması, fidelerin dikilmesi, dikim sonrası sulama ve fide dikilmiş tek bir saksının üstten görünüşü)



Şekil 3. Fidelerin uygulamalara hazır hale gelinceye kadar yetiştirilmesi (sırasıyla; nötr gün çeşitlerinin uzaktan ve yakından görünüşü)



Şekil 4. Bakteri solüsyonlarının hazırlanması (soldan sağa sırasıyla; bakteri yetiştirme ortamının hazırlanması, gelen kültürün gençleştirilmesi, hazır gelen kültür, yeni ortama ekilen kültürlerin ısıtıcılı çalkalayıcıda bekletilmesi, ikinci bakteri yetiştirme ortamının hazırlanması ve bakterilerin ikinci defa çoğaltılması)

3.2.3. Bakteri solüsyonlarının uygulanması

3.2.3.1. Bakteri solüsyonlarının hazırlanması

Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden sıvı kültür halinde temin edilen bakteriler Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji, Bitki Koruma ve Toprak ve Bitki Besleme Bölümleri'ne ait laboratuvarlarda hazırlanan

ortamlara ekilerek çoğaltılmıştır. Gelen sıvı kültür ortamındaki bakteriler ilk olarak yeni bir sıvı kültür içinde gençleştirilmiştir. Ortamlar 24-48 saat süreyle 100 rpm hızda çalkalanmıştır. Daha sonra bakterileri çoğaltmak amacıyla hazırlanmış sıvı kültüre aktarılmıştır. Hazırlanmış sıvı kültür de benzer şekilde istenilen bakteri yoğunluğuna ulaşılıncaya kadar 100 rpm hızda çalkalanmıştır.



Şekil 5. Hazırlanan bakteri suşlarının bitkilere uygulanması (Her bir suş steril ayrı beherler kullanılarak uygulanmıştır)

3.2.3.2. Bakteri solüsyonlarının bitkilere uygulanması

Bakteri suşları 16,2 litre su içerisinde yaklaşık 10^8 CFU ml^{-1} olacak şekilde, spektrofotometrik (Thermo Scientific) yöntemle hesaplanarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bakterili su her bir saksıya 100 ml olacak şekilde uygulanmıştır (Saravanakumar ve ark., 2011).

3.2.4. Ağır metallerin uygulanması

3.2.4.1. Ağır metal solüsyonlarının hazırlanması

Ağır metaller saf su ile karıştırılarak bitkilere uygulanmıştır. 1,25 kg yetiştirme ortamı alan saksılara kg başına 100 ve 300 mg Cd veya 500 ve 1.500 mg Pb olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır (El-Meihy ve ark., 2019).

Kadmiyum çözeltileri hazırlanırken, 100 mg kg^{-1} Cd uygulaması için 11 litre su içerisinde 25 g kadmiyum sülfat ($3CdSO_4.8H_2O$; %98) bileşiği çözdürülmüştür. 300 mg kg^{-1} Cd uygulaması için 16,5 litre su içerinde 75 g kadmiyum sülfat ($3CdSO_4.8H_2O$; %98) bileşiği çözdürülmüştür.

Kurşun çözeltisi hazırlanırken, 500 mg kg^{-1} Pb uygulaması için 33 litre su içerisinde 72 g kurşun klorid ($PbCl_2$; %98) bileşiği çözdürülmüştür. 1.500 mg kg^{-1} Pb uygulaması için 99 litre su içerisinde 216 g Kurşun klorid ($PbCl_2$; %98) bileşiği çözdürülmüştür.

3.2.4.2. Ağır metal uygulamalarının yapılması

Kadmiyum uygulamaları tek seferde yapılmış olmasına karşın, daha zor çözünen kurşun uygulamaları 3 seferde yapılmıştır. Kadmiyum uygulamalarından 100 mg kg^{-1} Cd dozu 27.01.2020'de, 100 ml su ile her bir saksıya uygulanmıştır. Yine aynı gün 300 mg kg^{-1} Cd, 150 ml su ile her bir saksıya uygulanmıştır.

Kurşun tek seferde suda çözülemediği için 1.500 mg kg^{-1} uygulaması 3 parça halinde uygulanmış, 500 mg kg^{-1} ise tek seferde uygulanmıştır. İlk kurşun 28.01.2020 tarihinde uygulanmıştır. Her bir uygulamada 300 ml su kullanılmıştır. 1.500 mg kg^{-1} uygulamasının ikinci kısmı 05.02.2020 tarihinde yapılmıştır. Üçüncü ve son kısım ise 13.02.2020 tarihinde uygulanmıştır.

3.2.5. Çalışmada incelenen özellikler

Fidelerin dikiminden yaklaşık 8 ay sonra hasat öncesi veriler ve örnekler alınıp bitkiler sökülmüş ve aşağıdaki ölçüm, tartım ve analizler yapılmıştır.

3.2.5.1. Morfolojik özellikler

3.2.5.1.1. Kök boğazı çapı

Deneme sonunda bitkilerin "Kök Boğazı Çapı" bitkiler sökülerek dijital kumpas ile mm cinsinden ölçülmüştür (Boyer ve ark., 1987).

3.2.5.1.2. Kök yaş ağırlığı

Deneme sonunda bitkilerin "Kök Yaş Ağırlığı", bitkiler sökülüp tazyikli su yardımıyla yetiştirme ortamından ayrıldıktan ve kök yüzeyindeki su uzaklaştırıldıktan sonra hassas terazi ile gram cinsinden tartılarak belirlenmiştir (Atkinson, 2000).

3.2.5.1.3. Kök kuru ağırlığı

Deneme sonunda "Kök Kuru Ağırlığı", yaş ağırlığı belirlenen kökler kese kâğıtlarına konularak 80 ^{o}C sıcaklığa ayarlanmış etüv içerisinde 72 saat bekletildikten sonra hassas terazi ile gram cinsinden tartılarak belirlenmiştir (Atkinson, 2000).

3.2.5.1.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı

Deneme sonunda, kök boğazından kesilerek ayrılan yeşil aksamın hassas terazi ile tartılması sonucu "Yeşil Aksam Yaş Ağırlığı" gram cinsinden tartılarak belirlenmiştir (Young ve Werner, 1984).

3.2.5.1.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı

"Yeşil Aksam Kuru Ağırlığı" deneme sonunda, kök boğazından kesilerek ayrılan yeşil aksamın yaş ağırlığı alınıp sonra kese kâğıtlarına konulduktan sonra 80 ^{o}C sıcaklığa ayarlanmış etüv içerisinde 72 saat bekletilmesi sonucunda hassas terazi ile gram cinsinden tartılarak belirlenmiştir (Young ve Werner, 1984).

3.2.5.1.6. Kök uzunluğu

Deneme sonunda bitkilerin "Kök Uzunluğu", bitkiler sökülüp tazyikli su yardımıyla bitki köklerinin içinde yer aldığı bitki yetiştirme ortamı uzaklaştırıldıktan sonra metre ile ölçülerek belirlenmiştir (Brezniak ve ark., 2004).

3.2.5.1.7. Primer kök sayısı

Deneme sonunda bitkilerin "Primer Kök Sayısı", bitkiler sökülüp tazyikli su yardımı ile bitki köklerinin içinde bulunduğu bitki yetiştirme ortamı uzaklaştırıldıktan sonra kök boğazına yakın bir yerden primer kökler sayılarak belirlenmiştir (Gregory ve ark., 2009).

3.2.5.1.8. Yaprak alanı

Deneme sonunda bitkilerin "Yaprak Alanı", her bir bitkiden olgunlaşmış olan 3 yaprağın alınıp yaprakçıkları birbirinden ayrıldıktan sonra şeffaf ve 2 mm kalınlığındaki plastik yüzeyler arasına konularak "iScan Mini Portable Scanner" model el tarayıcısı ile 600 DPI çözünürlükte taranıp elde edilen ölçekli görsellerin "İmageJ" paket programında işlenmesi sonucunda cm^2 cinsinden belirlenmiştir (Rueden ve ark., 2017).

3.2.5.1.9. Yaprak sayısı

Deneme sonunda bitkilerin "Yaprak Sayısı", sayılarak adet cinsinden belirlenmiştir (Awang ve ark., 1993).

3.2.5.2. Pomolojik özellikler

3.2.5.2.1. Ortalama meyve ağırlığı

Deneme süresince elde edilen meyvelerin ağırlıkları hassas terazi ile tartıldıktan sonra "Ortalama Meyve Ağırlığı" hasat edilen tüm meyvelerin ortalaması olarak gram cinsinden belirlenmiştir (Woodward, 1972).

3.2.5.2.2. Ortalama meyve boyu

Deneme süresince elde edilen meyvelerin boyları dijital kumpas ile ölçüldükten sonra "Ortalama Meyve Boyu" hasat edilen tüm meyvelerin ortalaması olarak mm cinsinden belirlenmiştir (Woodward, 1972).

3.2.5.2.3. Ortalama meyve eni

Deneme süresince elde edilen meyvelerin enleri dijital kumpas ile ölçüldükten sonra "Ortalama Meyve Eni" hasat edilen tüm meyvelerin ortalaması olarak mm cinsinden belirlenmiştir (Woodward, 1972).

3.2.5.3. Fizyolojik özellikler

3.2.5.3.1. Yaprak klorofil içeriği (SPAD)

"Yaprak Klorofil İçeriği" klorofil metre (SPAD 502, Minolta/Japan) cihazı kullanılarak olgunlaşmış ve bütünlüğü bozulmamış yapraklardan, her bir bitkide 2 yaprak ve her yaprakta 2 tekrarlı olacak şekilde okunarak belirlenmiştir (Khan ve ark., 2004).

3.2.5.3.2. Yaprak oransal su içeriği

"Yaprak Oransal Su İçeriği"'ni belirlemek amacıyla olgunlaşmış ve bütünlüğü bozulmamış yapraklardan alınan 1 cm çaplı disklerin "Yaş ağırlığı" tartıldıktan sonra diskler 4 saat boyunca distile suda bekletilmiştir. Distile sudan çıkartılan diskler üzerindeki su, kurutma kâğıtlarına emdirildikten sonra "Turgor ağırlığı" tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra diskler 70^{o}C sıcaklıkta 24 saat süreyle etüvde bekletilmiş ve disklerin "Kuru ağırlığı" tartılarak belirlenmiştir (Sanchez ve ark., 2004; Demiral ve Türkan, 2005).

$$YOSİ\ (\%) = [(YA-KA)/(TA-KA)]x100$$

YOSİ: Yaprak oransal su içeriği
YA: Yaş ağırlık
KA: Kuru ağırlık
TA: Turgor ağırlığı

3.2.5.3.3. İyon Sızıntısı

Yaprakların "İyon Sızıntısı"'nı belirlemek amacıyla, Arora ve ark. (1998)'ndan modifiye edilen aşağıdaki yöntem kullanılmıştır. Olgunlaşmış ve bütünlüğü bozulmamış yapraklardan alınan 1 cm çapındaki yaprak diskleri distile su ile yıkanmış ve her bir test tüpü içerisine 3 adet disk 30 ml saf su ile birlikte konulmuştur. Tüpler 4 saat boyunca çalkalayıcıda oda sıcaklığında 100 rpm hızında çalkalanmıştır. Çalkalayıcıdan çıkartılan örneklerin ilk ölçüm değerleri (EC1) Hanna 2020 EC Meter kullanılarak ölçülmüştür. Örnekler daha sonra 24 saat boyunca 70^{o}C sıcaklıkta etüvde bekletilmiş ve ikinci ölçüm

değeri (EC2) oda sıcaklığına getirilmiş örneklerden alınmıştır. İyon sızıntısı değeri aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir (Lutts ve ark., 1996).

$$\text{İyon Sızıntısı (İS, \%)} = (EC1/EC2)x100$$

3.2.5.4. Anatomik özellikler

3.2.5.4.1. Stoma incelemeleri için preparat hazırlığı

Stoma sayım ve ölçümleri için alınan yaprak örneklerinin ana damarının iki yanına şeffaf tırnak cilası sürülmüştür. Tırnak cilası kuruduktan sonra şeffaf bant yapıştırılmış ve sonrasında yaprak alt yüzeyinin epidermisi yapraktan ayrılmıştır. Alınan bu örnekler lam üzerine tespit edildikten sonra, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait laboratuvarlarda yer alan Olympus DP72 kamera takılı Olympus BX51 floresan mikroskopta incelenmek üzere kuru ve serin bir ortamda bekletilmiştir (Åström ve ark., 2015).

3.2.5.4.1.1. Stoma boyu

Lam üzerine tespit edilen çilek çeşitlerinin yapraklarının alt kısmına ait epidermis 20x'lik objektif altında incelenmiştir. Alınan her bir örnekten 3 farklı noktadan 10-15 stomanın boyu Olympus DP72 model kameraya ait paket program ile µm cinsinden ölçülmüştür (Åström ve ark., 2015).

3.2.5.4.1.2. Stoma eni

Lam üzerine tespit edilen çilek çeşitlerinin yapraklarının alt kısmına ait epidermis 20x'lik objektif altında incelenmiştir. Alınan her bir örnekten 3 farklı noktadan 10-15 stomanın eni Olympus DP72 model kameraya ait paket program ile µm cinsinden ölçülmüştür (Åström ve ark., 2015).

3.2.5.4.1.3. Stoma sayısı

Lam üzerine tespit edilen çilek çeşitlerinin yapraklarının alt kısmına ait epidermis

20x'lik objektif altında incelenmiştir. Alınan her bir örnekten 3 farklı noktadan sınırları belli alanlar içinde kalan stomalar sayılmıştır. Daha sonra mm^2 başına düşen stoma sayısı oranlanarak belirlenmiştir (Salisbury, 1928).

3.2.5.4.2. Yaprak kalınlığı

3.2.5.4.4.1. Yaprak enine kesiti için preparat hazırlığı

"Yaprak Kalınlığı"nı belirlemek amacıyla preparatlar hazırlanmıştır. Yaprak kesitlerinin alınması için parafine gömme ve mikrotom ile kesit alma işlemi uygulanmıştır (Eti, 1987). Bu amaçla, deneme sonunda bitkiler sökülmeden bir gün önce alınan yaprak örnekleri FPA-70 tespit çözeltisi içine konulmuştur. Daha sonra, örnekler sırasıyla Johansen 1-2-3 sıvılarına aktarılmış ve her aşamada 3'er saat bekletilmiştir. Johansen 3 sıvısının bekleme süresinin üçüncü saatinde örneklerin havasını alma işlemi desikatör kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra örnekler Johansen 4 sıvısına alınmış ve bu sıvı içinde de 3 saat bekletilmiştir. Bu sıvıların içeriği **Tablo 7'**de verilmiştir. Johansen çözeltilerinde bekleme sürelerinin sonunda örnekler saf tersiyer bütil alkol (TBA) içine alınarak 3 saat daha bekletilmiştir. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak örnek hücrelerinin tamamen TBA ile dolması sağlanmıştır. Örnekler daha sonra, etüvde 65^{o}C'lik sıcaklıkta eritilerek petri kaplarında dökülmüş olan sıvı parafin içerisine konulmuştur. Örnekler sıvı parafin içerisinde 2 gün bekletilmiş ve örnekler içerisindeki TBA'nın uçarak yerine parafinin girmesi sağlanmıştır. Bekleme süresinin sonunda, örnekler teker teker etüvden dışarı alınarak dik hale getirildikten sonra buzda bekletilerek sertleşmesi sağlanmıştır. Sertleştirme işleminden sonra örnekler +4 ^{o}C sıcaklıkta olan buzdolabına kaldırılmış ve sonrasında bloklama işlemine alınmıştır (Stosser ve ark., 1969; Arpacı ve ark., 2017).

Tablo 7. Johansen karışımlarında kullanılan saf su, etil alkol ve tersiyer bütil alkol (TBA) miktarları (ml)

Karışım	Saf Su	Etil Alkol	TBA
Johansen 1 (%70)	300	500	200
Johansen 2 (%85)	150	500	350
Johansen 3 (%95)	-	450	550
Johansen 4 (%100)	-	200	800

Bloklama işleminden sonra, örnekler LEİCA RM 2245 marka döner mikrotom ile 10 µm kalınlığında kesitler haline getirilmiştir. Kesitler, yumurta akı: gliserol (1:1)

sürülmüş lamlar üzerine aktarılarak kesitlerin altına pipet ile su ilave edilmiştir. Ardından lamların sıcak zemin üzerinde ısıtılması yoluyla kesitlerin su üzerinde gerginleşmesi ve suyun uçması ile kesitlerin lama yapışması sağlanmıştır. Kuruyan örnekler, lam taşıyıcıya alınarak bir gün boyunca etüvde bekletildikten sonra boyamaya alınmıştır. Boyama işlemi sırasında örnekler sırasıyla, ksilol-1 (10 dk), ksilol-2 (10 dk), izopropil alkol-1 (5 dk), izopropil alkol-2 (5 dk), %96'lık alkol (3 dk), %70'lik alkol (3 dk), %40'lık alkol (3 dk), %20'lik alkol (3 dk), saf su (3 dk), Hematoksilin boya çözeltisi (40 dk) ve sürekli akan su (15 dk)'da bekletildikten sonra yeniden %20'lik alkol (3 dk), %40'lık alkol (3 dk), %70'lik alkol (3 dk), %96'lık alkol (3 dk), izopropil alkol-2 (5 dk), izopropil alkol-1 (5 dk) ve ksilol-3 (10 dk) çözeltilerinde bekletilmiştir **(Tablo 8)** (Stosser ve ark., 1969; Arpacı ve ark., 2017).

Tablo 8. Parafin kesitlerin boyama prosedürü

Çözelti	Süre (dk)	İşlem Yönü	İşlem Yönü	İşlem Yönü	İşlem
Ksilol 1	10				
Ksilol 2	10		Ksilol 3		Entellan ile
İzopropil 1	5				lamel kapatma
İzopropil 2	5				
%96'lık alkol	3				
%70'lik alkol	3				
%40'lık alkol	3				
%20'lik alkol	3				
Saf Su	3				
Hematoksilin	30				
Akan Suda	15				

Boyama işleminin ardından örneklerin üzerine entellan damlatılmış ve lamların üzerine lameller kapatılmıştır. Böylece örneklerin devamlılığı sağlanmıştır.

3.2.5.4.4.2. Yaprak kalınlığının ölçümü

Hazırlanan yaprak enine kesit preparatlarından Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait laboratuvarlarda yer alan Olympus DP72 kamera takılı Olympus BX51 floresan mikroskop kullanılarak yaprağın farklı bölgelerinin kalınlığı mikrometre cinsinden ölçülmüştür (Åström ve ark., 2015).

3.2.5.5. Ağır metal depolama özellikleri

3.2.5.5.1. Kadmiyum depolama özellikleri

Deneme sonunda sökülen bitkilerin primer ve sekonder kökleri ile yaprak ve yaprak sapları ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve kadmiyum içerikleri Yeditepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü laboratuvarlarında ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.5.5.1.1. Primer köklerin kadmiyum içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin köklerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra primer kökler ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen primer köklerdeki kadmiyum ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Mertens, 2005).

3.2.5.5.1.2. Sekonder köklerin kadmiyum içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin köklerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra sekonder kökler ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen sekonder köklerdeki kadmiyum ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Mertens, 2005).

3.2.5.5.1.3. Yaprakların kadmiyum içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin toprak üstü aksamında gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yaprak ayaları ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen yapraklardaki kadmiyum ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Mertens, 2005).

3.2.5.5.1.4. Yaprak saplarının kadmiyum içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin toprak üstü aksamında gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yaprak sapları ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen yaprak saplarındaki kadmiyum ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Mertens, 2005).

3.2.5.5.2.Kurşun depolama özellikleri

Deneme sonunda sökülen bitkilerin primer ve sekonder kökleri ile yaprak ve yaprak sapları ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve kurşun içerikleri Yeditepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü laboratuvarlarında ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.5.5.2.1. Primer köklerin kurşun içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin köklerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra primer kökler ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen primer köklerdeki kurşun ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kobayashi ve ark., 2005).

3.2.5.5.2.2. Sekonder köklerin kurşun içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin köklerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra sekonder kökler ayrılarak 70^{o}C'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen sekonder köklerdeki kurşun ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kobayashi ve ark., 2005).

3.2.5.5.2.3. Yaprakların kurşun içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin toprak üstü aksamında gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yaprak ayaları ayrılarak 70ºC'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen yapraklardaki kurşun ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kobayashi ve ark., 2005).

3.2.5.5.2.4. Yaprak saplarının kurşun içeriği

Deneme sonunda sökülen bitkilerin toprak üstü aksamında gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yaprak sapları ayrılarak 70ºC'de kurutulmuş ve elektrikli öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Yaş yakma neticesinde çözeltiye geçen yaprak saplarındaki kurşun ICP-OES (Inductively Coupled Plazma – Optical Emission Spectrometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kobayashi ve ark., 2005).

3.2.6. İstatistiki analiz

Çalışmadan elde edilen veriler SPSS v.23 (IBM Corp.) istatistik programı ile tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar, $p \leq 0,05$ anlamlılık düzeyinde Duncan's çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş ve harflendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Sonuçları

4.1.1. Morfolojik özellikler

4.1.1.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkileri

4.1.1.1.1 Kök boğazı çapı (mm)

Kök boğazı çapı üzerine; çilek çeşidi, *Pseudomona*s sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 9).**

Tablo 9. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök boğazı çapı (mm) üzerine etkisi

Kök Boğazı Çapı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**9,23^{A}**	
	0	9,01^{g-l}	9,14^{e-i}	9,26^{c-f}	9,81^{a}		**0 mg/kg 9,04^{A}**
	100	8,96^{h-m}	9,34^{c-e}	9,36^{cd}	9,16^{d-h}		
	300	9,18^{d-g}	9,41^{bc}	8,99^{g-l}	9,13^{e-i}		
Kabarla						**9,08^{B}**	
	0	9,30^{c-f}	9,30^{c-f}	9,14^{e-h}	9,17^{d-h}		**100 mg/kg 8,90^{B}**
	100	8,96^{h-m}	9,58^{b}	8,93^{i-n}	8,96^{h-m}		
	300	8,71^{no}	9,13^{e-i}	9,11^{f-j}	8,88^{k-n}		
YFL						**8,36^{C}**	
	0	8,32^{qr}	8,86^{l-n}	8,75^{m-o}	8,42^{pq}		**300 mg/kg 8,74^{C}**
	100	7,89^{t}	9,09^{f-k}	8,55^{op}	8,05st		
	300	7,34^{u}	8,90^{j-n}	8,21^{rs}	7,94^{t}		
Bakteri Ort.		**8,63^{D}**	**9,19^{A}**	**8,92^{B}**	**8,84^{C}**		

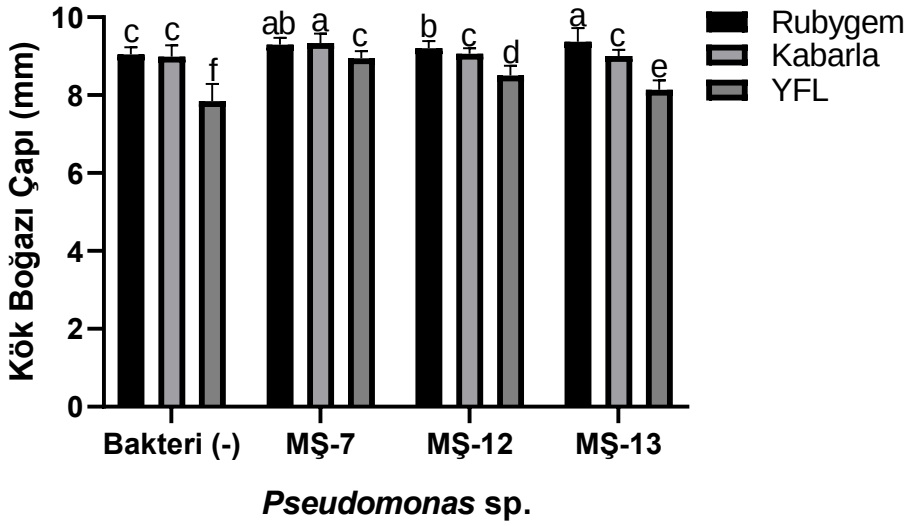
LSD Çeşit: 0,063 *** LSD Ç*B: 0,125 *** LSD Ç*B*D: 0,215 ***
LSD Bakteri: 0,072 *** LSD Ç*D: 0,108 ***
LSD Doz: 0,063 *** LSD B*D: 0,125 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozu artışı kök boğazı çapını azaltmış, bakteri uygulaması ise B- uygulamasına göre artırmıştır. Çeşitler arasında en yüksek kök boğazı çapı Rubygem, en

düşük YFL'de tespit edilmiştir. Doz artışına bağlı olarak çilek çeşidi ve bakteri uygulamalarının verdiği tepkilerde farklılıklar bulunmaktadır. Kabarla ve YFL'de B- ve MŞ-13 uygulamalarında doz artışına bağlı olarak kök boğazı çapı azalırken, Rubygem'de B- uygulamasında önce azalıp, sonra artmış; MŞ-13 uygulamasında ise doz artışı ile azalmıştır. MŞ-7 bakteri uygulamasında ise Kabarla ve YFL çeşitlerinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök boğazı çapı önce artmış, sonra azalmıştır. Rubygem'de doz artışı ile artış meydana gelmiştir. MŞ-12 suşunda kök boğazı çapı Rubygem'de önce artmış, sonra azalmış; Kabarla'da önce azalmış, sonra artmıştır. YFL'de ise doz artışı ile birlikte azalma tespit edilmiştir **(Tablo 9).**

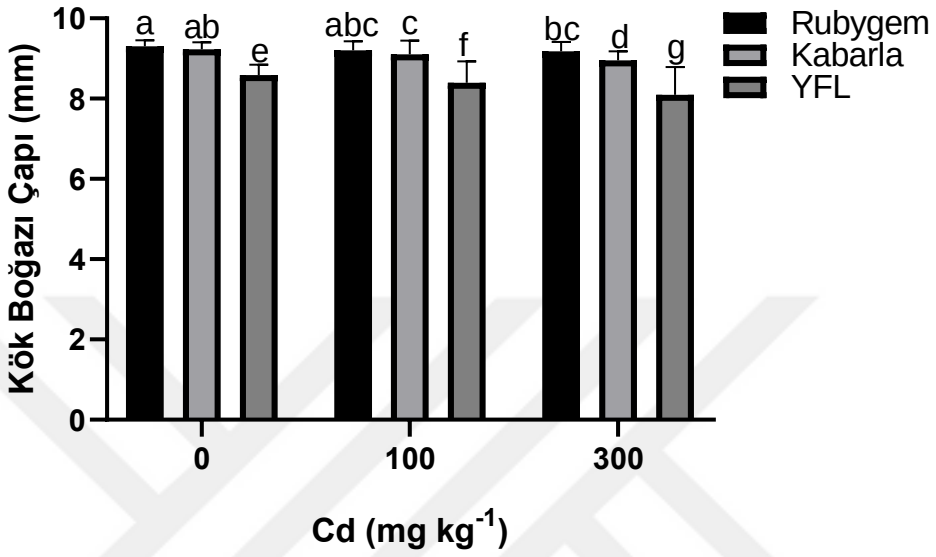
Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm suşlar Rubygem ve YFL'de kök boğazı çapını bakteri uygulanmamış bitkilerin kök boğazı çaplarına göre artırmıştır. Kabarla'da ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları uygulanan bitkilerden elde edilen değerler diğer uygulamalara göre daha düşük bulunmuştur. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda da Rubygem ve YFL'de bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre daha kalın kök boğazı oluşturmuştur. Kabarla'da MŞ-7 suşu uygulamasından elde edilen kök boğazı çapı diğer uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Kabarla ve YFL çeşidinde tüm suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. Rubygem'de yalnız MŞ-7 uygulamasından elde edilen kök boğazı çapı değeri diğer tüm uygulamalardan elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur **(Tablo 9).**



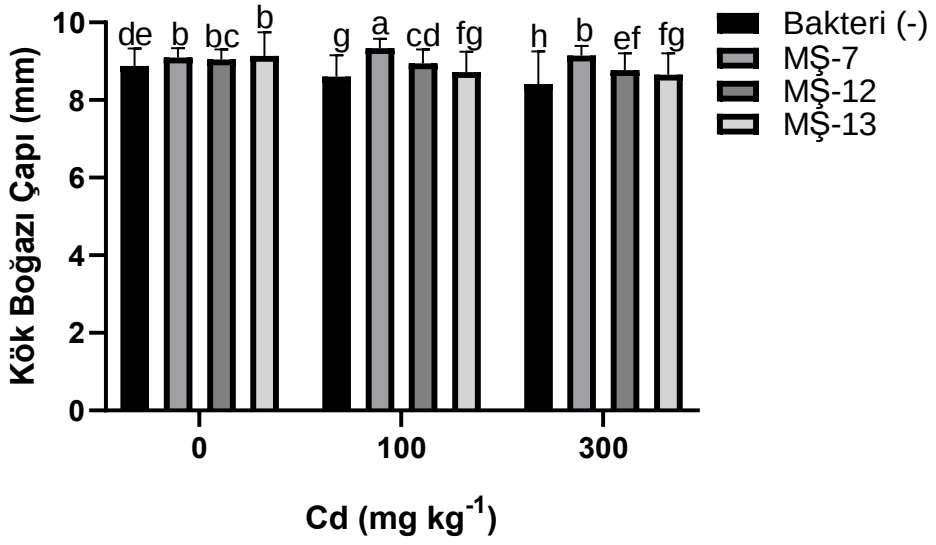
Şekil 6. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kök boğazı çapı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi

incelendiğinde en yüksek değerler bakteri uygulamalarından elde edilmiştir. En düşük kök boğazı çapları ise bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir. Bununla birlikte, çilek çeşitleri arasında en yüksek değerler Rubygem, en düşük değerler ise YFL'den elde edilmiştir **(Şekil 6).**



Şekil 7. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 8. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök boğazı çapı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök boğazı çaplarının azaldığı

görülmüştür. Doz artışı ile en fazla azalma YFL'de görülmüştür **(Şekil 7).**

Kök boğazı çapı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde doz artışına bağlı olarak kök boğazı çapları azalmıştır. Bununla birlikte, MŞ-7 suşunda doz artışı ile birlikte kök boğazı çapı önce artmış, sonra azalmıştır. En yüksek değerler tüm kadmiyum dozlarında bakteri uygulamalarından elde edilmiştir. MŞ-7 suşundan elde edilen değerler tüm kadmiyum dozlarında en yüksek olarak bulunmuştur **(Şekil 8).**

4.1.1.1.2. Kök yaş ağırlığı (g)

Kök yaş ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 10).**

Tablo 10. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi

Kök Yaş Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**13,04^{C}**	
	0	12,70^{k-m}	14,43^{g}	14,44^{g}	15,49^{f}		***0 mg/kg*** **16,80^{A}**
	100	14,06^{g-i}	12,02^{m}	13,25^{i-k}	13,83^{g-j}		
	300	10,19^{n}	10,63^{n}	13,01^{j-l}	12,40^{lm}		
Kabarla						**18,19^{A}**	
	0	18,20^{b}	19,43^{a}	19,72^{a}	19,69^{a}		***100 mg/kg*** **15,68^{B}**
	100	17,76^{b-d}	18,01^{bc}	20,18^{a}	17,34^{c-e}		
	300	17,05^{de}	17,58^{b-e}	17,21^{c-e}	16,05^{f}		
YFL						**15,50^{B}**	
	0	15,85^{f}	15,63^{f}	17,73^{b-e}	18,23^{b}		***300 mg/kg*** **14,25^{C}**
	100	15,48^{f}	13,65^{g-j}	15,60^{f}	16,91^{e}		
	300	14,43^{gh}	13,48^{h-k}	13,24^{i-k}	16,05^{f}		
Bakteri Ort.		**15,05^{B}**	**14,99^{B}**	**16,04^{A}**	**16,22^{A}**		

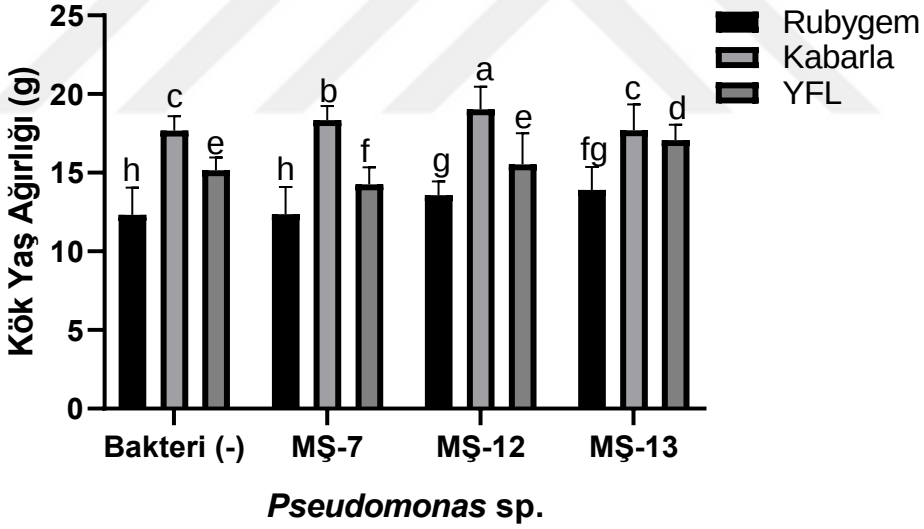
LSD Çeşit: 0,241 *** LSD Ç*B: 0,483 *** LSD Ç*B*D: 0,836 ***
LSD Bakteri: 0,279 *** LSD Ç*D: Ö.D.
LSD Doz: 0,241 *** LSD B*D: 0,483 ***

* Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök yaş ağırlığı azalmışken, bakteri uygulamaları ile artmıştır. Çeşitler arasında en yüksek kök yaş ağırlığı değeri Kabarla, en düşük Rubygem'den elde edilmiştir. Kabarla'da MŞ-12 suşu dışındaki tüm çeşit ve bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök yaş ağırlığı azalmıştır.

Kadmiyum dozu artışı ile azalan kök ağırlığı üzerine MŞ-12 ve MŞ-13 suşları diğer uygulamalara göre olumlu etki yapmıştır **(Tablo 10).**

Tüm çilek çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Cd dozunda (YFL çeşidinde MŞ-7 suşu dışında) bakteri uygulamaları kök yaş ağırlığını artırmıştır. Rubygem ve YFL çeşitlerinde, en yüksek değerler MŞ-13, Kabarla'da MŞ-12 suşundan elde edilmiştir. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem'de tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler bakteri uygulanmamışlardan düşük bulunmuşken, Kabarla'da MŞ-7 ve MŞ-12 bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre kök yaş ağırlığını artırmıştır. YFL'de ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları diğer uygulamadan daha fazla kök oluşumu sağlamıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise diğer kadmiyum dozlarına benzer şekilde tüm bakteri suşlarından elde edilen kök yaş ağırlığı değerleri B- uygulamasından daha yüksek olmuştur. Kabarla çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarından elde edilen değerler diğer uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur. YFL'de ise yalnızca MŞ-13 suşu kök yaş ağırlığını B- uygulamasına göre artırmıştır **(Tablo 10).**

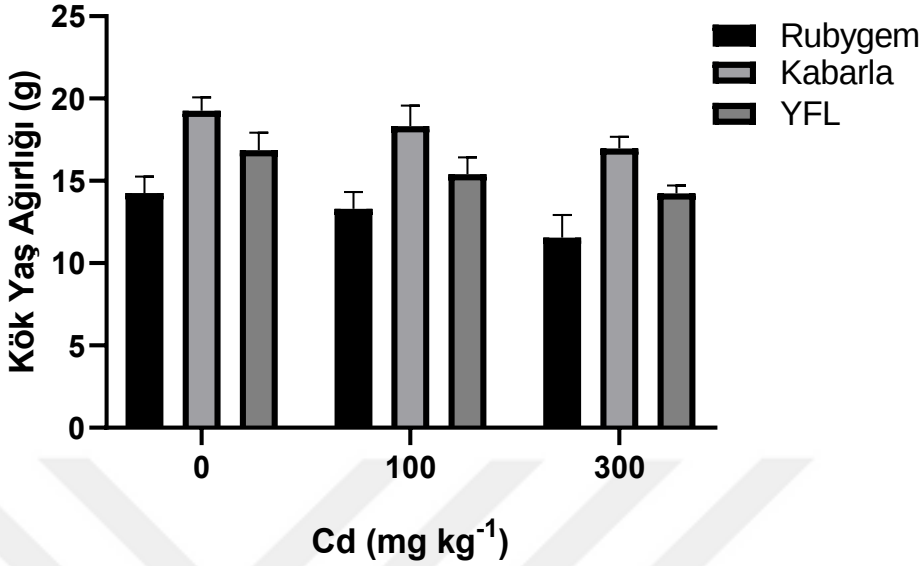


Şekil 9. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

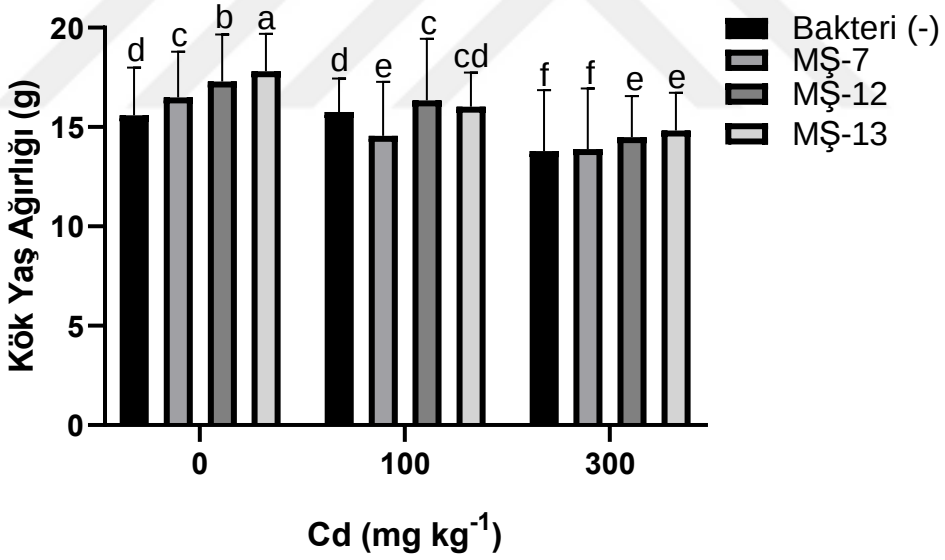
Kök yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinde bulunmuştur. En düşük değerler ise tüm bakteri suşlarında Rubygem'den elde edilmiştir. Bunun yanında, YFL çeşidi dışında tüm bakteri suşları kök yaş ağırlığı üzerine olumlu etki yapmıştır. YFL 'de ise MŞ-12 ve MŞ-13'ün olumlu etkileri görülmektedir **(Şekil 9).**

Kök yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi

istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur **(Şekil 10).**



Şekil 10. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 11. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök yaş ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde tüm bakteri suşlarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök yaş ağırlığı azalmıştır. Her bir bakteri suşunda en yüksek değerler 0 mg kg^{-1}, en düşük değerler de 300 mg kg^{-1} Cd dozundan alınmıştır. En yüksek değerler MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından, en düşük değerler ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında elde edilmiştir **(Şekil 11).**

4.1.1.1.3. Kök Kuru ağırlığı (g)

Kök kuru ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları (P<0,05), *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 11).**

Tablo 11. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi

Kök Kuru Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**2,45^{C}**	
	0	2,38^{h-j}	2,62^{g-i}	2,63^{gh}	3,10^{ef}		***0 mg/kg*** **3,24^{A}**
	100	2,65^{g}	2,45^{g-j}	2,36^{ij}	2,47^{g-j}		
	300	1,85^{l}	2,10^{kl}	2,48^{g-j}	2,26^{jk}		
Kabarla						**3,49^{A}**	
	0	3,18^{ef}	3,93^{ab}	3,88^{ab}	3,67^{bc}		***100 mg/kg*** **2,99^{B}**
	100	3,29^{de}	3,61^{c}	3,98^{a}	3,27^{d-f}		
	300	3,16^{ef}	3,72^{bc}	3,12^{ef}	3,13^{ef}		
YFL						**3,02^{B}**	
	0	3,20^{ef}	3,17^{ef}	3,56^{c}	3,53^{cd}		***300 mg/kg*** **2,74^{C}**
	100	3,14^{ef}	2,46^{g-j}	3,16^{ef}	3,06^{ef}		
	300	3,02^{f}	2,50^{g-j}	2,45^{g-j}	3,05^{ef}		
Bakteri Ort.		**2,87^{B}**	**2,95^{B}**	**3,07^{A}**	**3,07^{A}**		

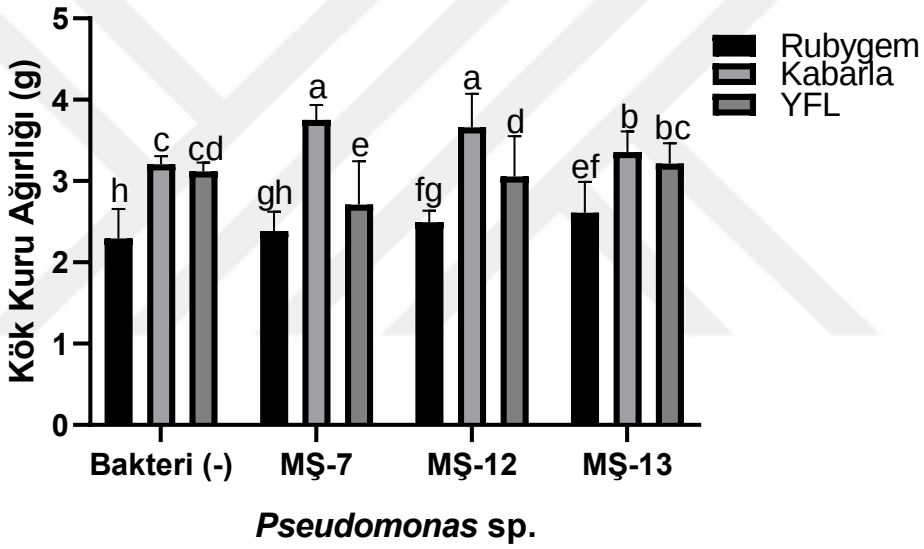
LSD Çeşit: 0,076 *** LSD Ç*B: 0,151 *** LSD Ç*B*D: 0,261 ***
LSD Bakteri: 0,087 *** LSD Ç*D: 0,131 *
LSD Doz: 0,076 *** LSD B*D: 0,151 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök kuru ağırlığı azalmış olmasına karşın, bakteri uygulamaları kök kuru ağırlığını artırmıştır. Çeşitler arasında en yüksek kök kuru ağırlığı Kabarla, en düşük ise Rubygem'de belirlenmiştir. 300 mg kg^{-1} dozunda kök kuru ağırlığı 100 mg kg^{-1} dozuna göre azalmıştır. Bakteri suşları Rubygem çeşidinde 0 ve 300 mg kg^{-1} Cd, Kabarla'da ise 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında B- uygulamasına göre kök kuru ağırlığını artırmıştır. YFL'de ise özellikle yüksek kadmiyum dozunda uygulanan bakteri suşları B- uygulamasına göre kök kuru ağırlığını azaltmıştır. 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında MŞ-12 ve MŞ-13 suşları B- uygulamasına göre genel olarak kök kuru ağırlığını artırmıştır **(Tablo 11).**

Tüm çilek çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Cd dozunda (YFL'ye uygulanan MŞ-7 suşu dışında) bakteri uygulamalarından elde edilen kök kuru ağırlığı değerleri bakteri

uygulanmamış olanlardan daha yüksek bulunmuştur. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda en yüksek değerler Rubygem çeşidinde MŞ-13, Kabarla'da MŞ-7 ve YFL'de MŞ-12 suşlarından elde edilmiştir. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem çeşidinde tüm suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasından daha düşüktür. Kabarla çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-12 suşları diğer uygulamalara göre kök kuru ağırlığını artırmıştır. YFL çeşidinde ise yalnızca MŞ-12 suşu bakteri uygulanmamış bitkilerden daha yüksek kök kuru ağırlığı değerine sahiptir. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem çeşidinde bakteri uygulamaları B-uygulamasına göre kök kuru ağırlığını artırmıştır. Buna karşın, Kabarla (MŞ-7) ve YFL (MŞ-13) çeşitlerinde yalnızca birer suş B- uygulamasına göre kök kuru ağırlığının artırmıştır **(Tablo 11).**

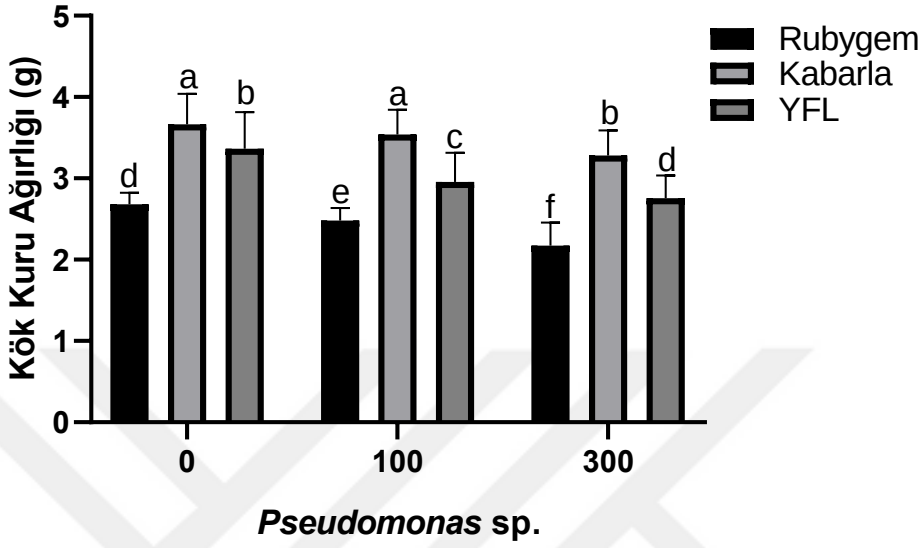


Şekil 12. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

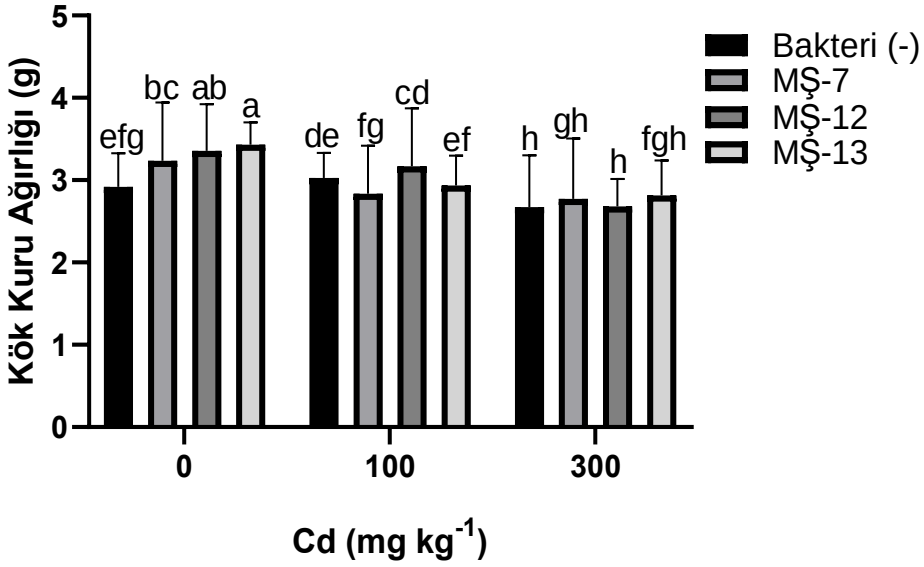
Kök kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulanmış Rubygem ve Kabarla çeşitlerinin kök kuru ağırlıkları bakteri uygulanmamış olanlardan daha yüksek bulunmuştur. Kabarla'da en yüksek değerler MŞ-7 ve MŞ-12 suşları uygulanmış bitkilerden elde edilirken, diğer iki çilek çeşitte MŞ-13'ten elde edilmiştir **(Şekil 12).**

Kök kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler Rubygem çeşidinde meydana gelmiştir. Üç çilek çeşidinde de kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök kuru

ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Üç çilek çeşidinde de en düşük değerler 300 mg kg^{-1} Cd dozundan elde edilmiştir. Bununla birlikte, Kabarla'da 0 mg kg^{-1} Cd ile 100 mg kg^{-1} Cd uygulamaları arasında istatistiki açıdan önemli fark bulunmamıştır **(Şekil 13).**



Şekil 13. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 14. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök kuru ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde 0 mg kg^{-1} Cd dozunda en yüksek değerler bakteri uygulanmış bitkilerden elde edilmiştir. Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak kök kuru ağırlıkları azalmış

olmasına rağmen, B- bakteri uygulamasında 100 mg kg^{-1} Cd dozunda 0 mg kg^{-1} Cd dozuna göre artış söz konusudur. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri uygulamaları ile B- uygulaması arasında önemli ölçüde fark varken, doz artışı ile birlikte fark azalmıştır **(Şekil 14).**

4.1.1.1.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı (g)

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,05$), kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki olarak önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 12).**

Tablo 12. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi

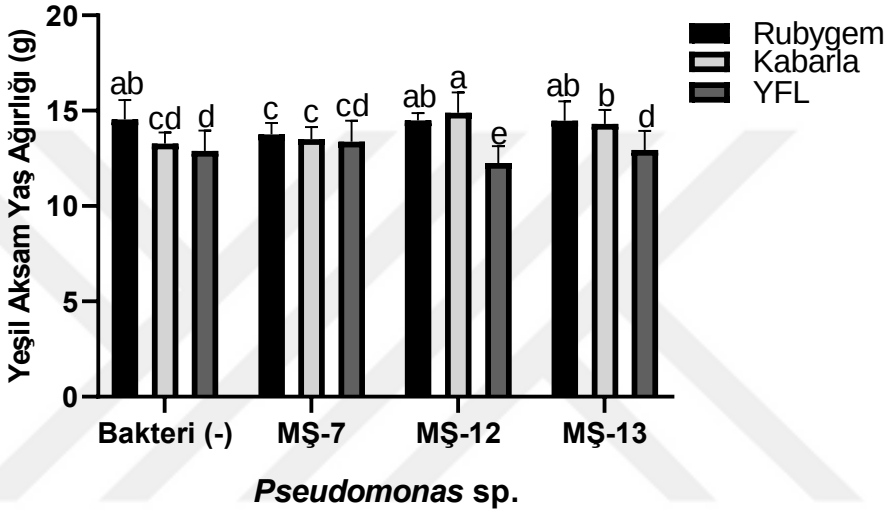
Yeşil Aksam Yaş Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**14,32^{A}**	
	0	15,68^{a}	13,60^{f-i}	14,62^{b-d}	13,97^{c-h}		***0 mg/kg*** **13,94^{A}**
	100	14,54^{b-d}	14,11^{c-g}	14,42^{b-f}	15,23^{ab}		
	300	13,43^{g-i}	13,54^{g-i}	14,42^{b-f}	14,21^{c-g}		
Kabarla						**13,99^{B}**	
	0	12,85^{i-l}	12,80^{i-l}	15,74^{a}	14,81^{bc}		***100 mg/kg*** **14,12^{A}**
	100	13,57^{f-i}	13,82^{d-h}	15,27^{ab}	14,47^{b-e}		
	300	13,39^{g-j}	13,90^{d-h}	13,65^{e-i}	13,63^{e-i}		
YFL						**12,87^{C}**	
	0	14,11^{c-g}	13,46^{g-i}	13,13^{h-k}	12,56^{j-l}		***300 mg/kg*** **13,11^{B}**
	100	13,86^{i-l}	14,52^{b-d}	12,44^{k-m}	14,18^{c-g}		
	300	11,69^{mn}	12,16^{lm}	11,22^{n}	12,08^{lm}		
Bakteri Ort.		**13,57^{B}**	**13,55^{B}**	**13,88^{A}**	**13,91^{A}**		

LSD Çeşit: 0,246 *** LSD Ç*B: 0,493 *** LSD Ç*B*D: 0,853 ***
LSD Bakteri: 0,284 * LSD Ç*D: 0,427 ***
LSD Doz: 0,246 *** LSD B*D: 0,493 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

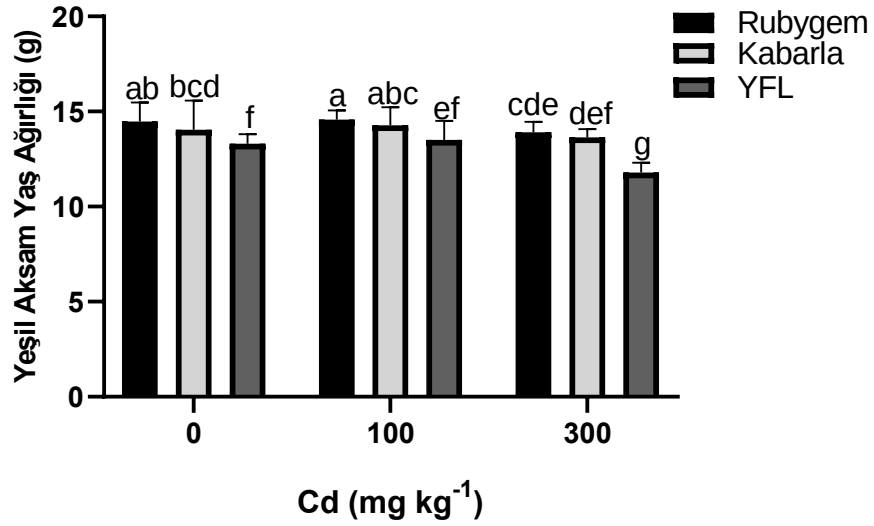
Kadmiyum dozu artışı ile tüm uygulamaların ortalamasına göre yeşil aksam yaş ağırlığı önce artmış, yüksek dozda azalmıştır. En yüksek yeşil aksam yaş ağırlığı Rubygem, en düşük ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Bunun yanında tüm uygulamaların ortalamasına göre, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamaları yeşil aksam yaş ağırlığını diğer uygulamalara göre artırmıştır. Rubygem'de, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm bakteri suşlarından elde edilen yeşil aksam yaş ağırlığı B- uygulamasından düşük iken,

100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksektir. Kabarla'da, tüm kadmiyum dozlarında bakteri uygulamalarından (0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 suşu dışında) elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksektir. Özellikle, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları, 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozunda oldukça etkili bulunmuştur. YFL'de ise 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri suşları yeşil aksam yaş ağırlığını azaltmışken, 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarında özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 suşları bakteri yokluğuna göre artırmıştır **(Tablo 12).**

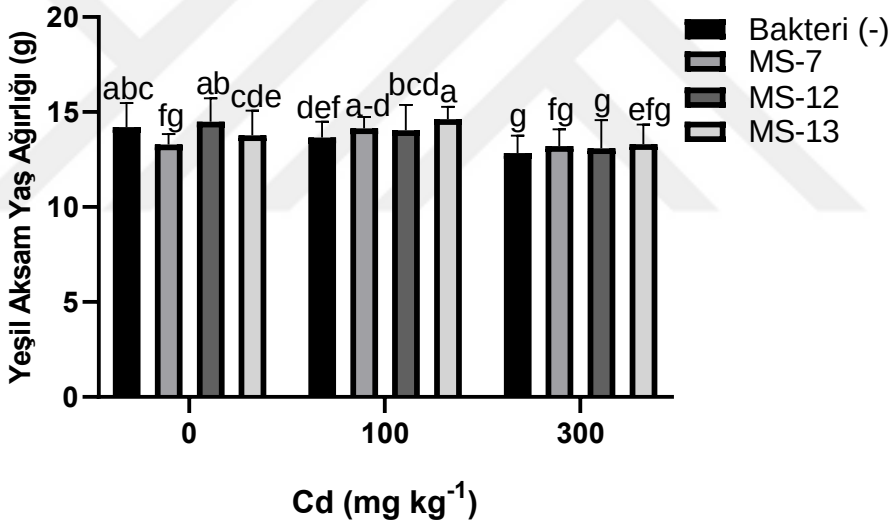


Şekil 15. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Rubygem ve YFL çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Cd uygulamasındaki bitkilerde tüm bakteri suşu uygulamalarından elde edilen yeşil aksam yaş ağırlığı değerleri bakteri uygulanmamış olanlardan düşük bulunmuştur. En düşük değerler, Rubygem'de MŞ-7, YFL'de ise MŞ-13 suşundan elde edilmiştir. Kabarla'da ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından elde edilen değerler diğer iki uygulamadan yüksek bulunmuştur. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda ise her çeşitten farklı sonuçlar elde edilmiştir. Rubygem çeşidinde en yüksek değer MŞ-13, en düşük değer MŞ-7 suşundan elde edilmiştir. Kabarla'da tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından yüksek bulunmuştur. YFL çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından elde edilen değerler diğer bakteri uygulamalarından yüksek bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda YFL'ye uygulanmış MŞ-12 suşu dışında tüm bakteri uygulamalarından elde edilen değerler B- uygulamasından yüksek bulunmuştur. En yüksek değerler, Rubygem çeşidinde MŞ-12, Kabarla ve YFL çeşitlerinde MŞ-7 suşundan elde edilmiştir **(Tablo 12).**



Şekil 16. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 17. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Rubygem'de B- ve MŞ-13, Kabarla'da, MŞ-12 ve MŞ-13, YFL'de B- ve MŞ-7 bakteri uygulamalarından elde edilmiştir. Genel olarak en yüksek yeşil aksam yaş ağırlığı değerleri Rubygem, en düşük değerler YFL çeşidinden elde edilmiştir **(Şekil 15).**

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak önce bir artış, ardından düşüş meydana gelmiştir. En yüksek değerler Rubygem, en düşük değerler YFL çeşidinden elde

edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde yüksek kadmiyum dozunda düşüş az olurken, YFL'de düşüş fazla olmuştur **(Şekil 16).**

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kadmiyum dozu artışı ile azalma meydana gelmiştir. MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında doz artışı ile önce bir artış, ardından azalış; B- ve MŞ-12 uygulamalarında doz artışı ile birlikte düzenli bir azalma belirlenmiştir. Bakteri uygulamalarının kadmiyum dozu artışına etkisi 100 mg kg^{-1} dozunda fazla, 300 mg kg^{-1} dozunda ise nispeten daha azdır **(Şekil 17).**

4.1.1.1.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı (g)

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki bakımdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 13).**

Tablo 13. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi

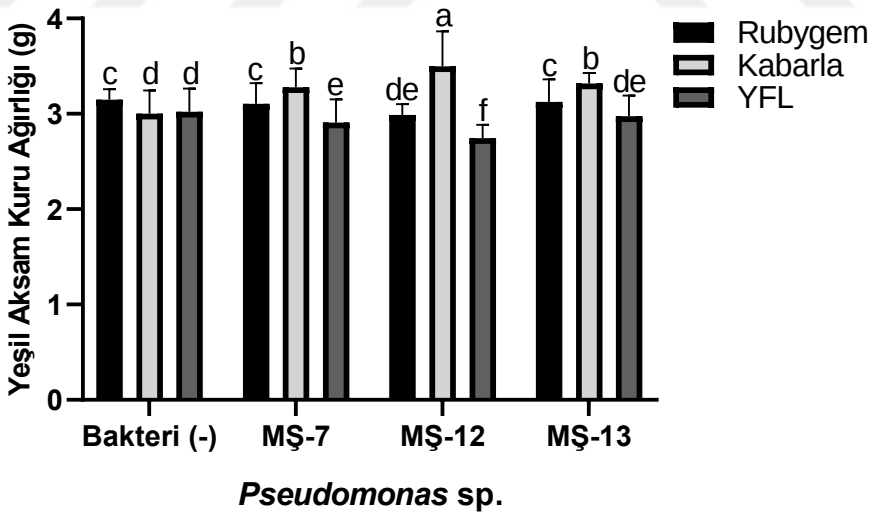
Yeşil Aksam Kuru Ağırlığı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**3,09^{B}**	
	0	3,23^{d-f}	2,84^{k-m}	2,97^{i-k}	2,84^{k-m}		***0 mg/kg*** **3,02^{B}**
	100	3,19^{e-h}	3,26^{de}	2,90^{j-l}	3,32^{c-e}		
	300	3,02^{i-j}	3,21^{d-g}	3,09^{f-i}	3,22^{d-g}		
Kabarla						**3,27^{A}**	
	0	2,70^{mn}	3,06^{hi}	3,52^{b}	3,41^{bc}		***100 mg/kg*** **3,21^{A}**
	100	3,05^{hi}	3,29^{c-e}	3,90^{a}	3,34^{cd}		
	300	3,25^{de}	3,49^{b}	3,08^{g-i}	3,21^{d-g}		
YFL						**2,91^{C}**	
	0	3,29^{c-e}	2,78^{lm}	2,84^{k-m}	2,79^{lm}		***300 mg/kg*** **3,05^{B}**
	100	3,01^{ij}	3,22^{d-g}	2,79^{lm}	3,24^{de}		
	300	2,76^{lm}	2,74^{mn}	2,60^{n}	2,90^{j-l}		
Bakteri Ort.		**3,06^{B}**	**3,10^{AB}**	**3,08^{B}**	**3,14^{A}**		

LSD Çeşit: 0,041 *** LSD Ç*B: 0,081 *** LSD Ç*B*D: 0,141 ***
LSD Bakteri: 0,047 ** LSD Ç*D: 0,071 ***
LSD Doz: 0,041 *** LSD B*D: 0,081 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Tüm uygulamaların ortalamasına göre, kadmiyum uygulamaları yeşil aksam kuru ağırlığını 100 mg kg^{-1} Cd dozunda artırmış ve doz artışı ile azaltmıştır. Çeşitler arasında

en yüksek değer Kabarla, en düşük değerler ise YFL'de tespit edilmiştir. Bunun yanında bakteri uygulamaları yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. Bakteri uygulamaları Rubygem'de 0 mg kg^{-1} Cd dozunda yeşil aksam kuru ağırlığını azaltmış iken, özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşları 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarında hem B- hem de 0 mg kg^{-1} Cd dozu uygulamalarına göre artış sağlamıştır. Ayrıca, bakteri uygulamaları Rubygem'de kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yeşil aksam kuru ağırlığını önce artırmış, sonra azaltmıştır. Kabarla'da, B-, MŞ-7 ve MŞ-12 (300 mg kg^{-1} Cd dozu hariç) bakteri uygulamalarında yeşil aksam kuru ağırlığı kadmiyum dozu artışına bağlı olarak bir miktar artmış, MŞ-13 bakteri uygulamasında ise azalmıştır. Ek olarak, kadmiyum dozlarında bakteri uygulamaları (300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 ve MŞ-13 suşları dışında dışında) B- uygulamasına göre yeşil aksam kuru ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. YFL'de ise genel olarak bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre yeşil aksam kuru ağırlığını azaltmış olmasına karşın, 100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 ve MŞ-13; 300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşu uygulamalarında artırmıştır. Ayrıca, B- ve MŞ-12 bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışı ile yeşil aksam kuru ağırlığı azalmış, MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarında önce artmış, sonra azalmıştır **(Tablo 13).**

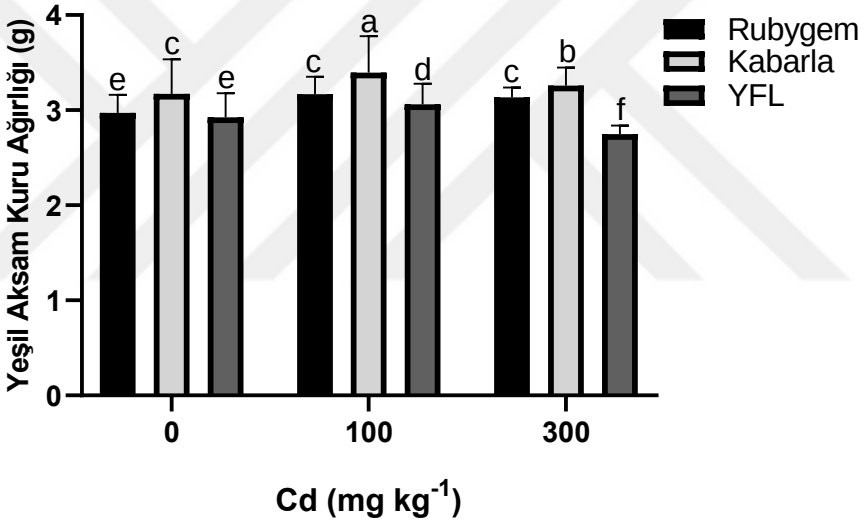


Şekil 18. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kadmiyum yokluğunda Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından düşük, Kabarla'da ise daha yüksektir. En yüksek değerler Rubygem ve YFL çeşitlerinde B-, Kabarla'da ise MŞ-12 suşundan elde edilmiştir. En düşük değerler ise Rubygem'de MŞ-7 ve MŞ-13, Kabarla'da B- ve YFL'de

ise MŞ-7 uygulamalarında belirlenmiştir. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem ve YFL çeşitlerinde MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından, Kabarla'da ise tüm suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde Kabarla-MŞ-12 uygulaması dışında tüm suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksektir. YFL'de MŞ-13 suşu dışındaki uygulamalardan elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlardan düşüktür **(Tablo 13).**

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinde bakteri uygulanmış bitkilerde, en düşük değerler ise YFL'de bulunmuştur. Bakteri suşları yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine Kabarla dışında etkisiz kalmıştır **(Şekil 18).**

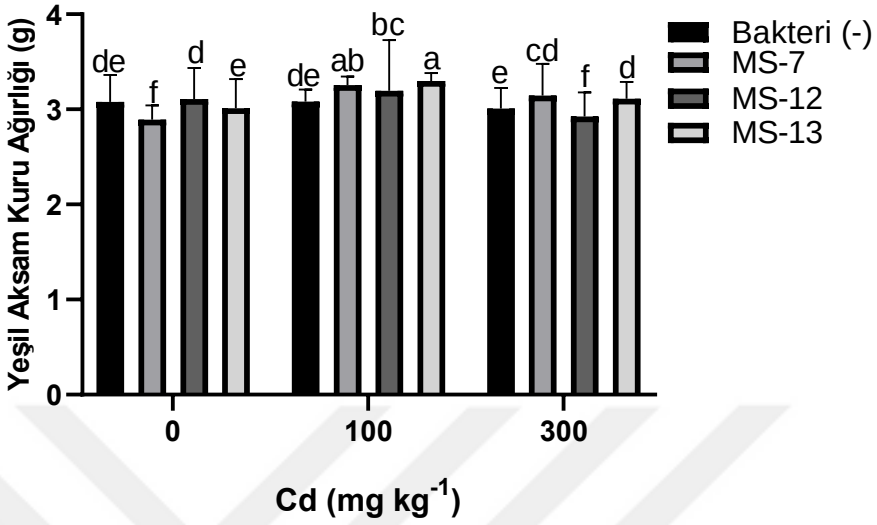


Şekil 19. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler YFL çeşidinde belirlenmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yeşil aksam kuru ağırlığı önce artmış sonrasında ise azalmıştır. Kabarla'da kadmiyum uygulanmış bitkilerin kuru ağırlıkları 0 mg kg^{-1} Cd dozundan daha yüksek bulunmuştur **(Şekil 19).**

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde B- uygulaması dışındaki uygulamalarda doz artışı ile birlikte yeşil aksam kuru ağırlığı önce artmış, sonra azalmıştır. Bununla birlikte, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 uygulamasından elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlardan

daha düşüktür. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda ise bakteri suşları bakteri yokluğuna göre kök kuru ağırlığını artırmıştır **(Şekil 20).**



Şekil 20. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.1.1.6. Kök uzunluğu (cm)

Tablo 14. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök uzunluğu (cm) üzerine etkisi

Kök Uzunluğu		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**30,61^{A}**	
	0	33,22^{a}	32,50^{ab}	29,83^{fg}	30,11^{ef}		***0 mg/kg*** **28,42**
	100	31,83^{bc}	29,39^{f-h}	28,39^{i-k}	30,89^{de}		
	300	30,00^{ef}	29,78^{fg}	31,28^{cd}	30,06^{ef}		
Kabarla						**27,47^{B}**	
	0	27,17^{l-n}	27,11^{l-n}	25,95^{p}	26,11^{op}		***100 mg/kg*** **28,71**
	100	26,11^{op}	26,97^{m-o}	27,06^{mn}	31,04^{cd}		
	300	27,82^{j-m}	27,11^{l-n}	27,72^{j-m}	29,44^{f-h}		
YFL						**27,60^{B}**	
	0	25,83^{pq}	26,61^{n-p}	27,61^{k-m}	28,94^{g-i}		***300 mg/kg*** **28,55**
	100	28,56^{h-j}	28,00^{j-l}	27,33^{l-n}	28,94^{g-i}		
	300	24,98^{q}	28,28^{i-k}	26,11^{op}	30,00^{ef}		
Bakteri Ort.		**28,39^{B}**	**28,42^{B}**	**27,92^{C}**	**29,51^{A}**		

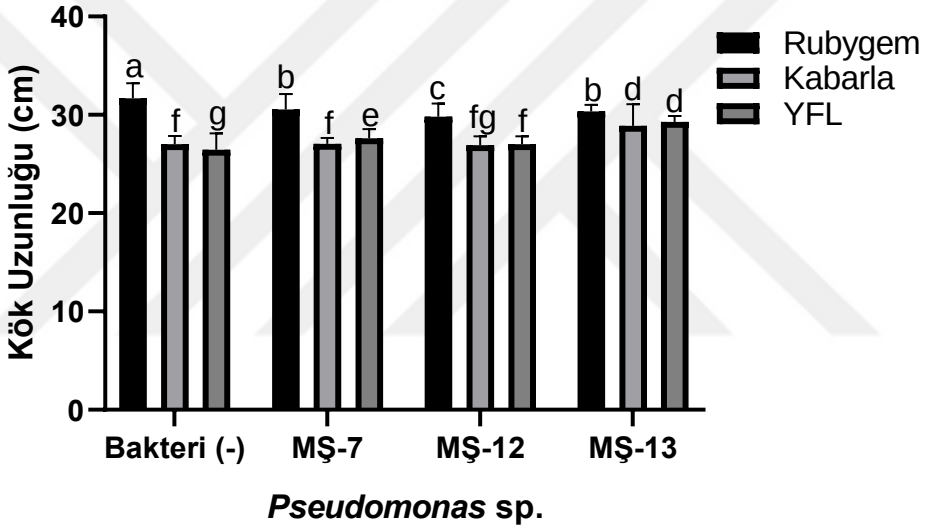
LSD Çeşit: 0,258 *** LSD Ç*B: 0,518 *** LSD Ç*B*D: 0,893 ***
LSD Bakteri: 0,298 *** LSD Ç*D: 0,447 ***
LSD Doz: Ö.D. LSD B*D: 0,518 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kök uzunluğu üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x

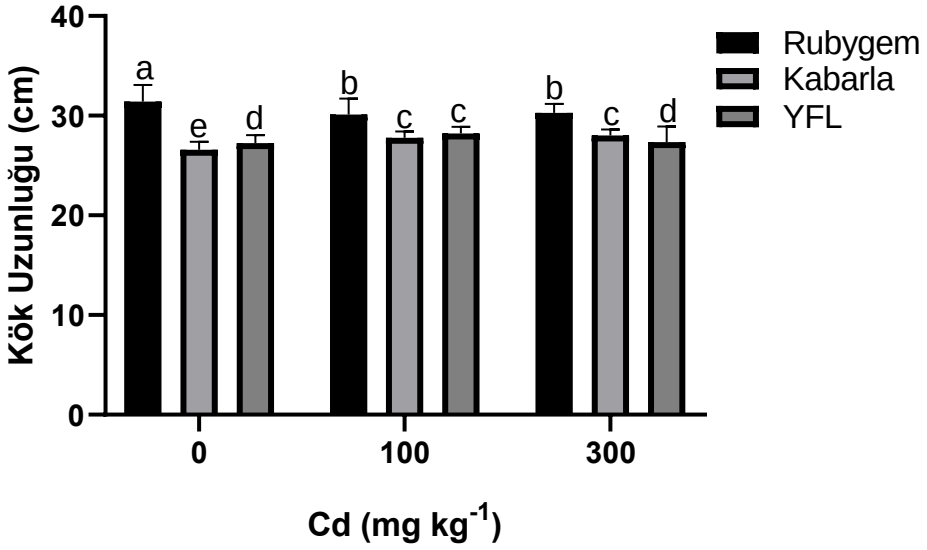
kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 14).**

Tüm çeşitlerin ortalamasına göre, kadmiyum dozlarının kök uzunluğu üzerine etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Çeşitler arasında en uzun kökler Rubygem, en kısa kökler YFL'de tespit edilmiştir. Bakteri uygulamaları arasında yalnızca MŞ-13 suşu kök uzunluğunu az da olsa artırmıştır. Rubygem çeşidinde, bakteri uygulamaları tüm kadmiyum dozlarında kök uzunluğunu azaltmış olmasına karşın, Kabarla'da MŞ-13 suşu başta olmak üzere etki etmemiş veya artırmıştır. YFL'de ise 100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 ve MŞ-13 suşlar dışında tüm uygulamalarda suşlar kök uzunluğunu B-uygulamasına göre artırmıştır **(Tablo 14).**

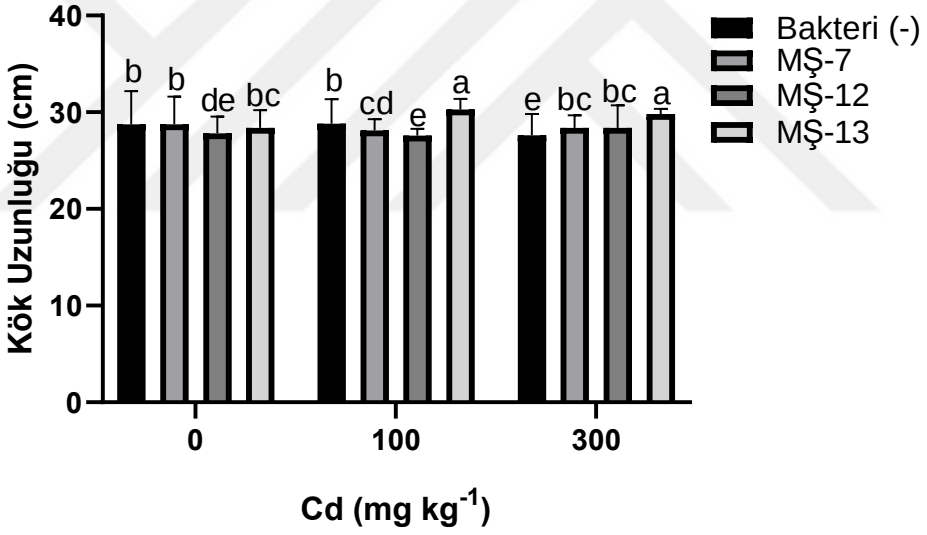


Şekil 21. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm suşlar kök uzunluğunu bakteri uygulanmamış olanlara göre azaltmıştır. Buna karşın, YFL'de suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre kök uzunluğunu artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem'de tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre kök uzunluğunu azaltmışken, Kabarla'da artırmıştır. YFL'de ise MŞ-13 dışındaki suşlardan elde edilen kök uzunluğu değerleri bakteri uygulanmamış olanlardan daha düşüktür. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise MŞ-13 suşundan elde edilen kök uzunluğu değerleri tüm çeşitlerde bakteri uygulanmamış olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun yanında, Rubygem'de MŞ-12, YFL'de MŞ-7 ve MŞ-12 suşları da kök uzunluğunu artırmıştır **(Tablo 14).**



Şekil 22. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 23. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kök uzunluğu (cm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök uzunluğu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde tüm bakteri uygulamalarında en yüksek değerler Rubygem'den elde edilmiştir. YFL'de 0 ve 100, Kabarla'da 300 mg kg^{-1} dozlarında diğer çeşitlere göre daha uzun kökler tespit edilmiştir. Rubygem'de en yüksek değerler bakteri uygulanmamış bitkilerden, diğer iki çeşitte MŞ-13 suşundan elde edilmiştir **(Şekil 21).**

Kök uzunluğu üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Diğer iki çeşitte ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Rubygem çeşidinde kadmiyum dozu artışına

bağlı olarak kök uzunluğu azalmış, diğer iki çeşitte artmıştır **(Şekil 22).**

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde bakteri uygulanmamış bitkilerde doz artışına bağlı olarak kök uzunluğu azalmışken, MŞ-13 suşunda artmıştır. Diğer iki bakteri uygulamasında ise önce azalmış, sonrasında artmıştır **(Şekil 23).**

4.1.1.1.7. Primer kök sayısı (adet)

Primer kök sayısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 15).**

Tablo 15. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök sayısı (adet) üzerine etkisi

Primer Kök Sayısı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**30,89^{C}**	
	0	34,78^{lm}	34,17^{lm}	33,67^{l-n}	32,67^{mn}		***0 mg/kg*** **45,80^{A}**
	100	28,44^{p}	31,44^{no}	29,67^{op}	34,00^{lm}		
	300	24,11^{q}	30,33^{op}	29,11^{p}	28,33^{p}		
Kabarla						**51,16^{A}**	
	0	37,67^{k}	56,56^{c}	61,78^{b}	59,56^{b}		***100 mg/kg*** **44,56^{B}**
	100	45,33^{i}	60,67^{b}	64,44^{a}	52,78^{de}		
	300	35,11^{l}	48,56^{g}	45,78^{i}	45,67^{i}		
YFL						**46,01^{B}**	
	0	50,33^{fg}	48,44^{g}	48,33^{gh}	51,67^{ef}		***300 mg/kg*** **37,70^{C}**
	100	54,44^{cd}	44,11^{i}	44,44^{i}	44,89^{i}		
	300	46,11^{hi}	39,67^{jk}	39,11^{jk}	40,56^{j}		
Bakteri Ort.		**39,59^{B}**	**43,77^{A}**	**44,04^{A}**	**43,35^{A}**		

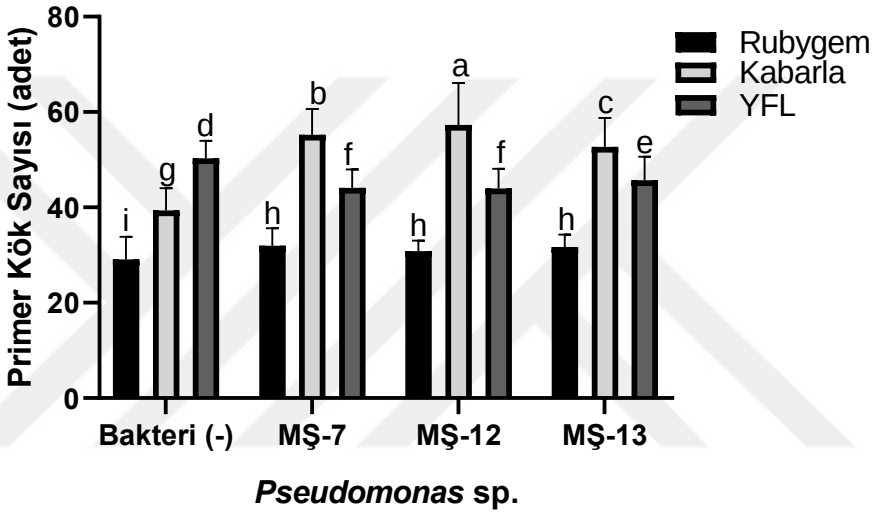
LSD Çeşit: 0,661 *** LSD Ç*B: 1,322 *** LSD Ç*B*D: 2,289 ***
LSD Bakteri: 0,763 *** LSD Ç*D: 1,445 ***
LSD Doz: 0,661 *** LSD B*D: 1,322 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısı düşük kadmiyum dozunda azalmış ve doz arttıkça azalma artmıştır. Çeşitler arasında en yüksek primer kök sayısı Kabarla, en düşük değerler ile Rubygem çeşidinde belirlenmiştir. Bakteri uygulamalarının ise YFL çeşidi dışında oldukça etkili olduğu görülmüştür **(Tablo 15).**

Rubygem çeşidinde 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm bakteri uygulamaları bakteri

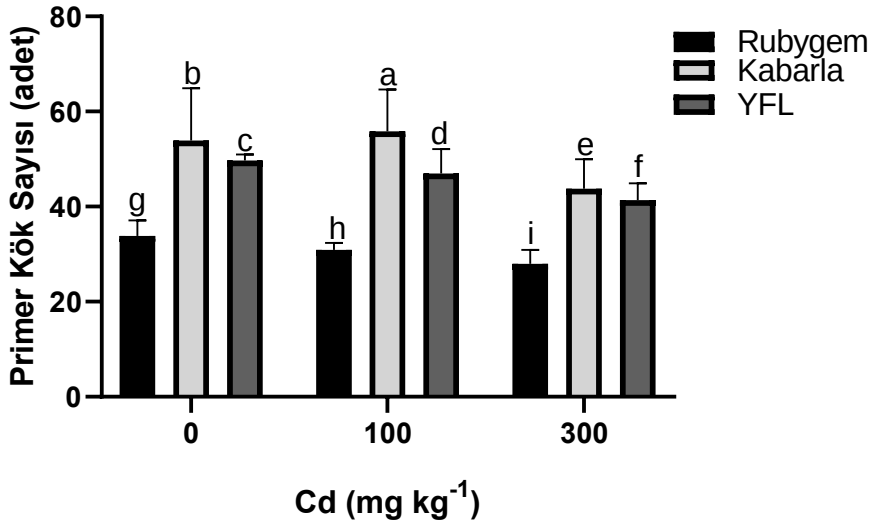
uygulanmamış olanlara göre primer kök sayısını azaltmış, Kabarla'da önemli ölçüde artırmıştır. YFL'de ise MŞ-13 suşu dışındaki tüm suşlar primer kök sayısını bakteri uygulanmamış olanlara göre azaltmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre primer kök sayısını artırmıştır. YFL'de ise bakteri uygulamaları uygulanmamış bitkilere göre primer kök sayısını azaltmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda da benzer şekilde Rubygem ve Kabarla çeşitlerinden elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlara göre yüksekken, YFL'de daha düşüktür **(Tablo 15).**



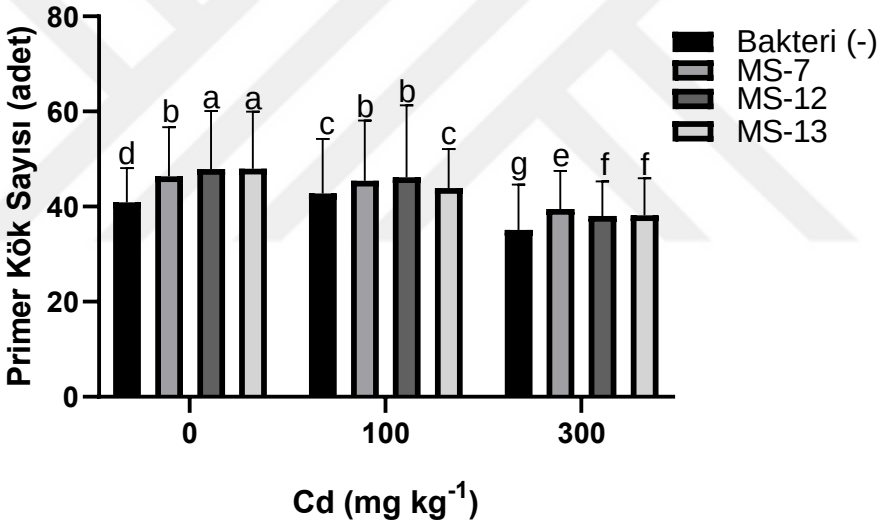
Şekil 24. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Primer kök sayısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler tüm bakteri suşlarında Kabarla, en düşük değerler ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde bakteri uygulamaları primer kök sayısını artırmışken, YFL'de önemli miktarda azaltmıştır **(Şekil 24).**

Primer kök sayısı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde tüm kadmiyum dozlarında en yüksek primer kök sayısı Kabarla, en düşük değerler Rubygem'den elde edilmiştir. Rubygem ve YFL'de kadmiyum dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısı azalmış, Kabarla'da önce artmış, ardından azalmıştır. Kabarla'da 300 mg kg^{-1} Cd dozunda 100 mg kg^{-1} Cd dozuna göre önemli miktarda azalma belirlenmiştir **(Şekil 25).**



Şekil 25. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 26. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Primer kök sayısı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısında azalma meydana gelmiştir. Buna karşın, B- uygulamasında 100 mg kg^{-1} Cd dozunda artış belirlenmiştir. MŞ-7 suşu uygulamasında 100 mg kg^{-1} Cd dozu uygulamasında 0 mg kg^{-1} Cd dozu uygulamasına göre istatistiki bir fark bulunmamıştır. Tüm bakteri uygulamalarında 300 mg kg^{-1} Cd dozu uygulanmış bitkilerde 100 mg kg^{-1} Cd dozu uygulanmış olanlara göre primer kök sayısında düşüş belirlenmiştir **(Şekil 26).**

4.1.1.1.8. Yaprak alanı (cm^2)

Yaprak alanı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 16).**

Tablo 16. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak alanı (cm^2) üzerine etkisi

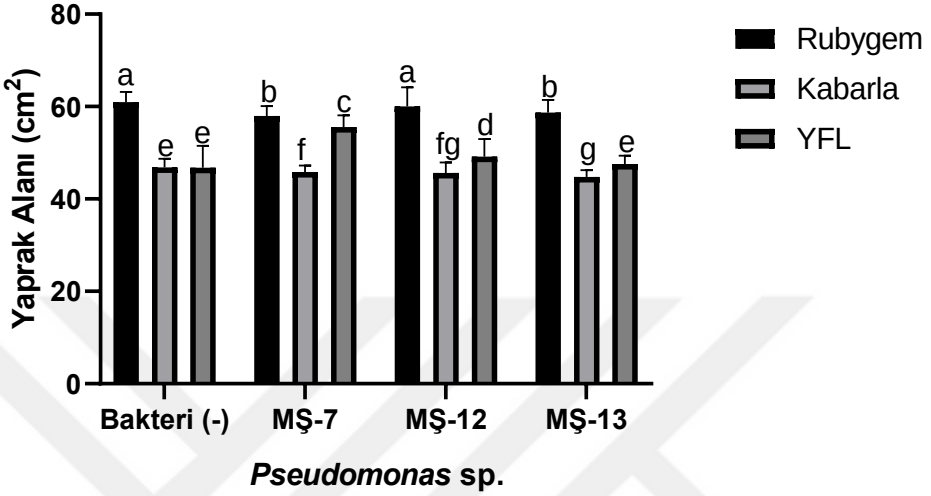
Yaprak Alanı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**59,42^{A}**	
	0	63,07^{b}	59,01^{d}	65,23^{a}	61,95^{bc}		***0 mg/kg*** **53,57^{A}**
	100	61,38^{c}	59,15^{de}	58,62^{de}	58,12^{de}		
	300	58,50^{de}	55,25^{g}	56,29^{fg}	55,95^{g}		
Kabarla						**45,77^{C}**	
	0	48,75^{ij}	46,11^{m-p}	47,52^{j-m}	44,61^{p-r}		***100 mg/kg*** **52,63^{B}**
	100	46,62^{l-o}	47,10^{k-n}	46,49^{l-o}	46,27^{m-o}		
	300	45,14^{o-q}	44,26^{q-s}	42,92^{s}	43,46^{rs}		
YFL						**49,78^{B}**	
	0	51,00^{h}	56,27^{fg}	50,94^{h}	47,90^{i-l}		***300 mg/kg*** **48,76^{C}**
	100	48,35^{i-k}	57,87^{ef}	52,33^{h}	49,27^{i}		
	300	41,02^{t}	52,48^{h}	44,31^{q-s}	45,60^{n-q}		
Bakteri Ort.		**51,53^{B}**	**53,11^{A}**	**51,63^{B}**	**50,35^{C}**		

LSD Çeşit: 0,470 *** LSD Ç*B: 0,939 *** LSD Ç*B*D: 1,625 ***
LSD Bakteri: 0,542 *** LSD Ç*D: 0,813 ***
LSD Doz: 0,470 *** LSD B*D: 0,939 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Tüm uygulamaların ortalamasına göre kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak alanı azalmış olup, MŞ-7 suşu uygulamasında artmış, MŞ-13'te ise azalmıştır. Çeşitler arasında en yüksek değer Rubygem, en düşük ise Kabarla'dan elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları Rubygem çeşidinde tüm kadmiyum dozlarında (0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 uygulaması dışında) B- uygulamasına göre yaprak alanını azaltmıştır. Ayrıca, bakteri uygulamalarında (MŞ-7 suşu uygulaması dışında) kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak alanı azalmıştır. Kabarla'da da bakteri uygulamalarında (100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 uygulaması dışında) yaprak alanını B- uygulamasına göre azalmıştır. B- ve MŞ-12 bakteri suşlarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak alanı önce artıp sonra azalmışken, MŞ-7 ve MŞ-13 uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak azalmıştır. Diğer çeşitlerin aksine YFL'de, bakteri suşu uygulamaları

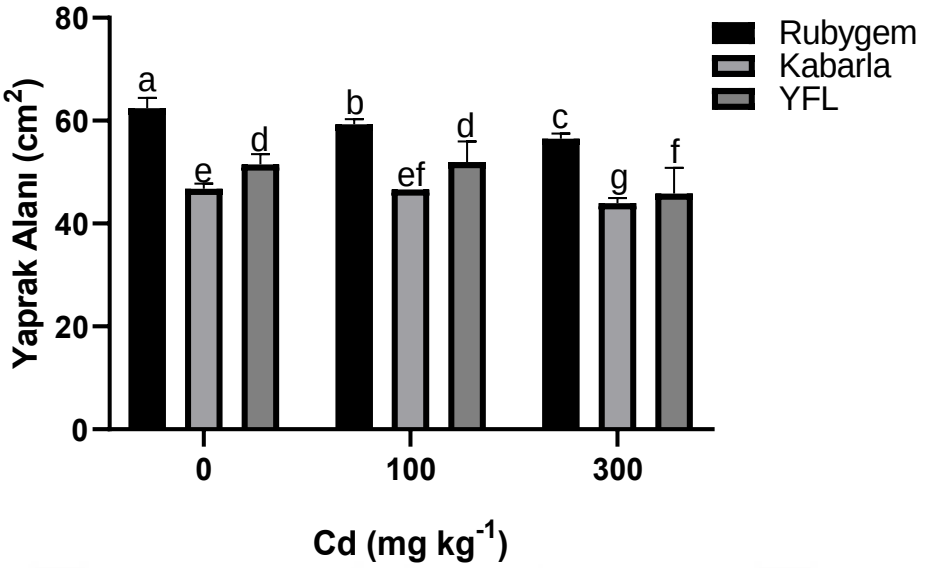
kadmiyum dozlarında (0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşu dışında) B- uygulamasına göre yaprak alanını önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, bakteri uygulamaları ile 100 mg kg^{-1} Cd dozunda yaprak alanını 0 mg kg^{-1} Cd dozundan elde edilen değerlere göre önemli ölçüde artmış, doz artışı ile azalmıştır **(Tablo 16).**



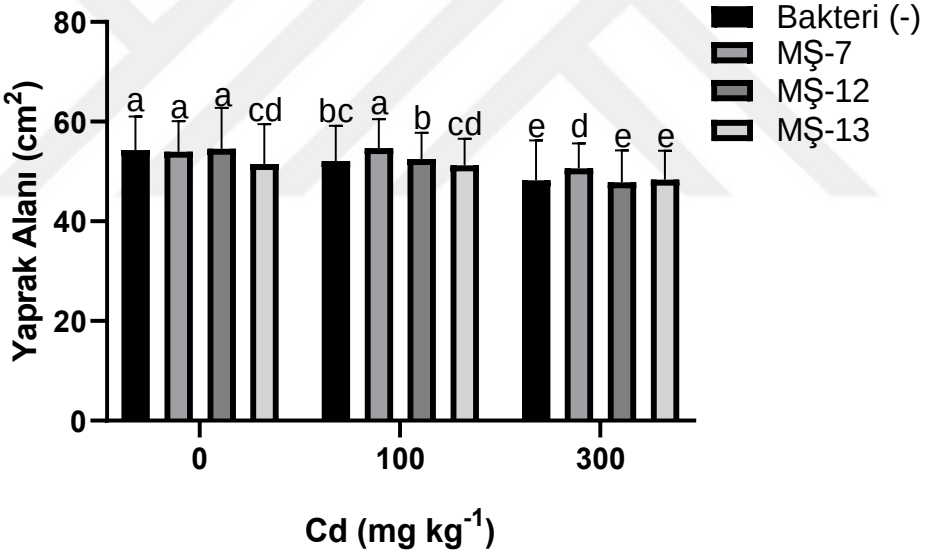
Şekil 27. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozu uygulamasında, en yüksek değerler Rubygem çeşidinde B- ve MŞ-12 uygulamalarından elde edilmiştir. Kabarla'da tüm suşlar B- uygulamasına göre yaprak alanını azaltmıştır. YFL'de ise MŞ-7 dışındaki bakteri uygulamalarından elde edilen değerler B- uygulamasına göre daha düşüktür. 100 mg kg^{-1} Cd uygulamasında, Rubygem'de tüm suşlardan elde edilen yaprak alanı değerleri B- uygulamasına göre daha düşük iken, YFL'de durum tam tersidir. Kabarla'da ise MŞ-7 dışındaki suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasından daha düşüktür. 300 mg kg^{-1} Cd uygulamasında ise Rubygem ve Kabarla çeşitlerine uygulanan bakteri suşlarından alınan değerler B- uygulamasına göre daha düşük olmasına karşın, YFL'de daha yüksektir **(Tablo 16).**

Yaprak alanı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde çeşitler arasında Rubygem tüm bakteri uygulamalarında en fazla yaprak alanına sahip çeşit olmuştur. En düşük değerler ise genel olarak Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları sadece YFL'de etkili olmuş ve yaprak alanını artırmış, diğer çeşitlerde ise etkisiz kalmıştır **(Şekil 27).**



Şekil 28. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 29. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak alanı (cm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Yaprak alanı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en büyük yapraklar Rubygem, en küçük yapraklar Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak tüm çeşitlerde yaprak alanı azalmış olmasına rağmen, YFL'de 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozları aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 28).**

Yaprak alanı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde doz artışına bağlı olarak yaprak alanı azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda

bakteri uygulamalarında (MŞ-13 suşu dışında) yaprak alanı birbirine yakınken, kadmiyum dozu arttıkça MŞ-7 suşunun artırıcı etkisi ortaya çıkmaya başlamıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise MŞ-7 suşu dışında diğer tüm bakteri uygulamaları aynı grupta yer almıştır **(Şekil 29).**

4.1.1.1.9. Bitki başına yaprak sayısı (adet)

Bitki başına yaprak sayısı üzerine; çilek çeşitleri, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 17).**

Tablo 17. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine etkisi

Bitki Başına Yaprak Sayısı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**10,17^{A}**	
	0	10,44^{b}	10,00^{c-i}	10,11^{b-g}	10,11^{b-g}		**0 mg/kg 10,11^{A}**
	100	10,33^{bc}	10,22^{b-e}	10,11^{b-g}	10,28^{b-d}		
	300	10,44^{b}	10,11^{b-g}	10,17^{b-f}	9,67^{h-l}		
Kabarla						**9,97^{B}**	
	0	10,00^{c-i}	9,89^{d-j}	10,32^{bc}	11,28^{a}		**100 mg/kg 9,99^{B}**
	100	9,83^{e-k}	9,56^{j-m}	9,94^{c-j}	9,67^{h-l}		
	300	10,06^{b-h}	9,78^{f-l}	9,72^{g-l}	9,56^{j-m}		
YFL						**9,77^{C}**	
	0	9,94^{c-j}	9,83^{e-k}	9,39^{lm}	10,04b-h		**300 mg/kg 9,81^{C}**
	100	9,72^{g-l}	10,44^{b}	9,61^{i-l}	10,11^{b-g}		
	300	9,19^{m}	9,44^{k-m}	9,78^{f-l}	9,78^{f-l}		
Bakteri Ort.		**10.00**	**9.92**	**9.91**	**10.05**		

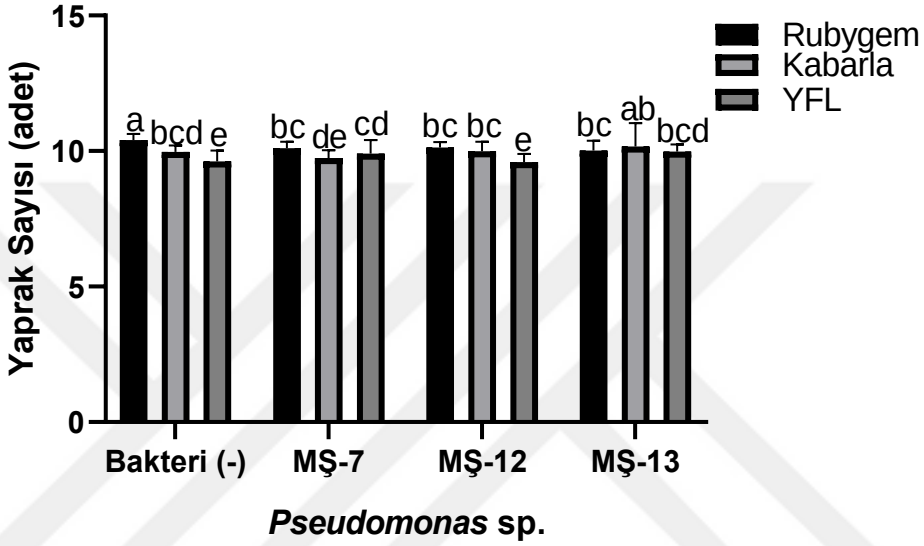
LSD Çeşit: 0,122 *** LSD Ç*B: 0,244 *** LSD Ç*B*D: 0,423 ***
LSD Bakteri: Ö.D. LSD Ç*D: 0,212 ***
LSD Doz: 0,122 *** LSD B*D: 0,244 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

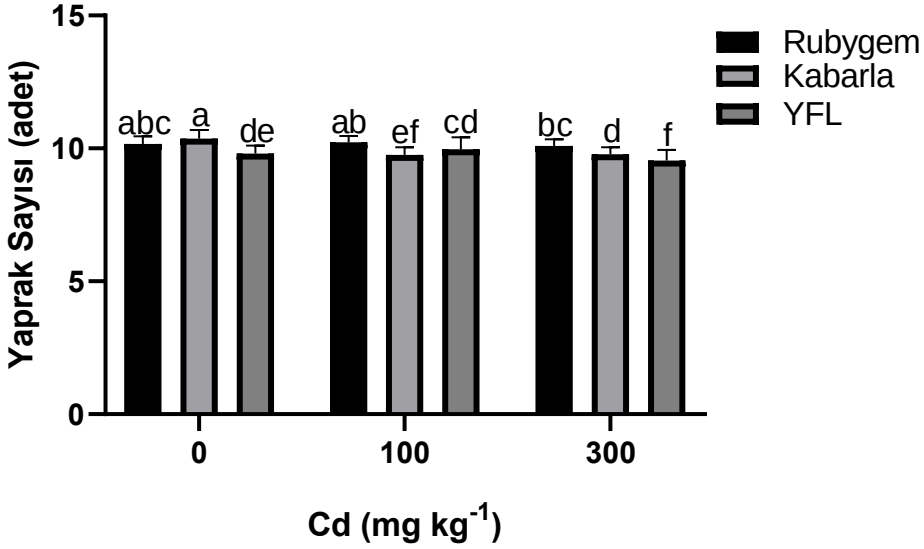
Kadmiyum doz artışına bağlı olarak bitki başına yaprak sayıları azalmış olup, çilek çeşitleri arasında en fazla yaprak oluşturan Rubygem, en az ise YFL olarak belirlenmiştir. Bakteri suşlarının yaprak sayısına etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur **(Tablo 17).**

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem çeşidine uygulanan tüm suşlar yaprak sayısını bakteri uygulanmamış bitkilere göre azaltmıştır. Kabarla'da, MŞ-12 ve MŞ-13 ve YFL'de MŞ-13 suşları bakteri uygulanamamış bitkilere göre yaprak sayısını

artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, benzer şekilde Rubygem'de tüm suşlardan elde edilen yaprak sayıları bakteri uygulanmamış olanlara göre azalmıştır. Kabarla'da MŞ-12, YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları B- uygulamasına göre yaprak sayısını artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm suşlardan elde edilen yaprak sayıları B- uygulamasından daha düşüktür. Ayrıca, YFL'de tüm suşlardan elde edilen değerler B- uygulamasına göre daha yüksektir **(Tablo 17).**



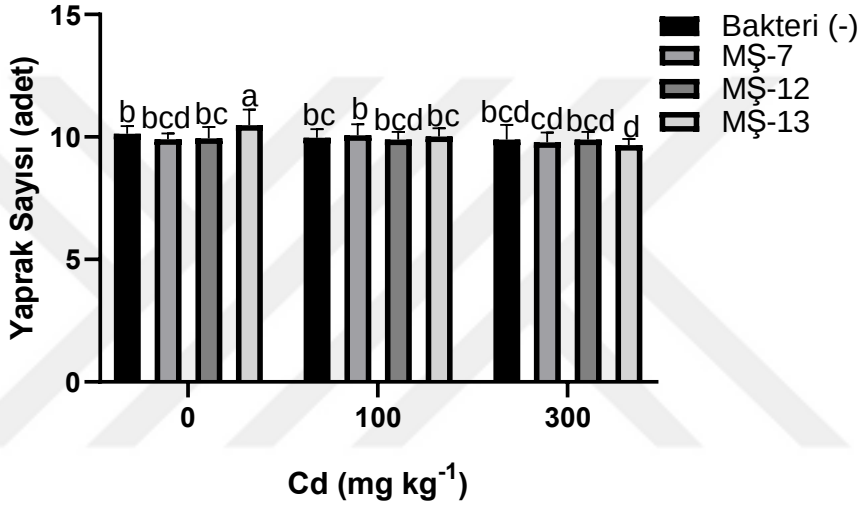
Şekil 30. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 31. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Bitki başına yaprak sayıları üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Rubygem ve Kabarla, en düşük ise YFL'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları Rubygem'de yaprak sayısını azaltmış, Kabarla'da MŞ-12 ve MŞ-13; YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları yaprak sayısını artırmıştır **(Şekil 30).**

Bitki başına yaprak sayıları üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile birlikte çilek çeşitleri arasında farklı tepkiler gözlenmiştir. Yaprak sayısı Rubygem ve YFL'de doz artışına bağlı olarak önce artmış, ardından azalmış; Kabarla'da önce azalmış ve doz artışı ile artmıştır **(Şekil 31).**



Şekil 32. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Bitki başına yaprak sayıları üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler MŞ-7 suşu dışında 0 mg kg^{-1} Cd dozundan elde edilmiştir. En fazla yaprak ise 0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşundan elde edilmiştir **(Şekil 32).**

4.1.1.2. Bakteri uygulamaların kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkisi

4.1.1.2.1. Kök boğazı çapı (mm)

Kök boğazı çapı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları ($p<0,01$), çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları,

Pseudomonas sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 18).**

Tablo 18. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine etkisi

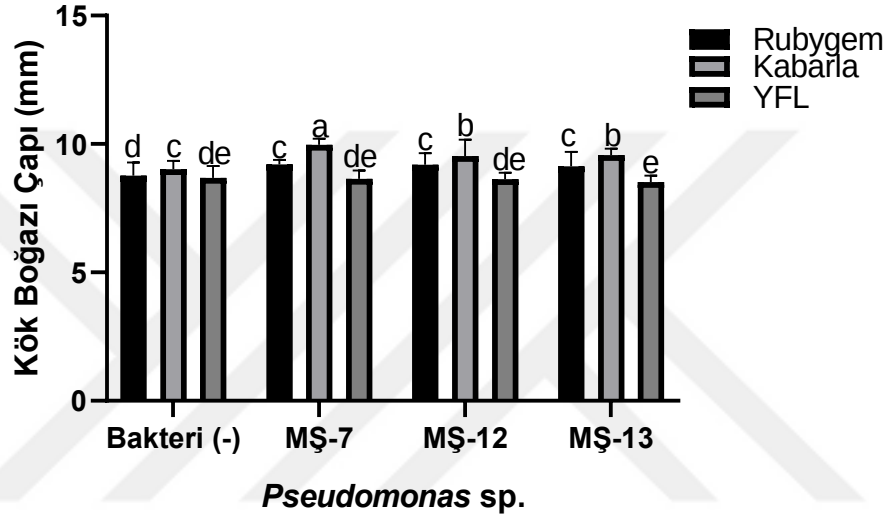
Kök Boğazı Çapı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**9,08^{B}**	
	0	8,13^{v}	9,39^{f-j}	9,17^{i-m}	8,86^{m-s}		***0 mg/kg*** **8,97^{B}**
	500	8,96^{k-q}	9,08^{i-n}	9,70^{c-f}	8,88^{l-r}		
	1500	9,23^{h-l}	9,17^{i-m}	8,71^{o-s}	9,64^{c-g}		
Kabarla						**9,52^{A}**	
	0	8,74^{n-s}	9,83^{b-d}	9,07^{i-o}	9,40^{e-i}		***500mg/kg*** **9,16^{A}**
	500	9,01^{k-p}	10,15^{ab}	10,34^{a}	9,55^{d-h}		
	1500	9,32^{g-k}	9,92^{bc}	9,16^{i-m}	9,76^{c-e}		
YFL						**8,62^{C}**	
	0	8,87^{l-s}	9,02^{j-p}	8,51^{s-u}	8,64^{q-t}		***1500mg/kg*** **9,09^{A}**
	500	8,12^{v}	8,57^{r-u}	8,89^{l-r}	8,68^{p-t}		
	1500	9,04^{i-p}	8,34^{t-v}	8,51^{s-u}	8,23^{u-v}		
Bakteri Ort.		**8,83^{C}**	**9,27^{A}**	**9,12^{B}**	**9,07^{B}**		

LSD Çeşit: 0,106 *** LSD Ç*B: 0,213 *** LSD Ç*B*D: 0,368 ***
LSD Bakteri: 0,123 *** LSD Ç*D: 0,184 ***
LSD Doz: 0,106 ** LSD B*D: 0,213 ***

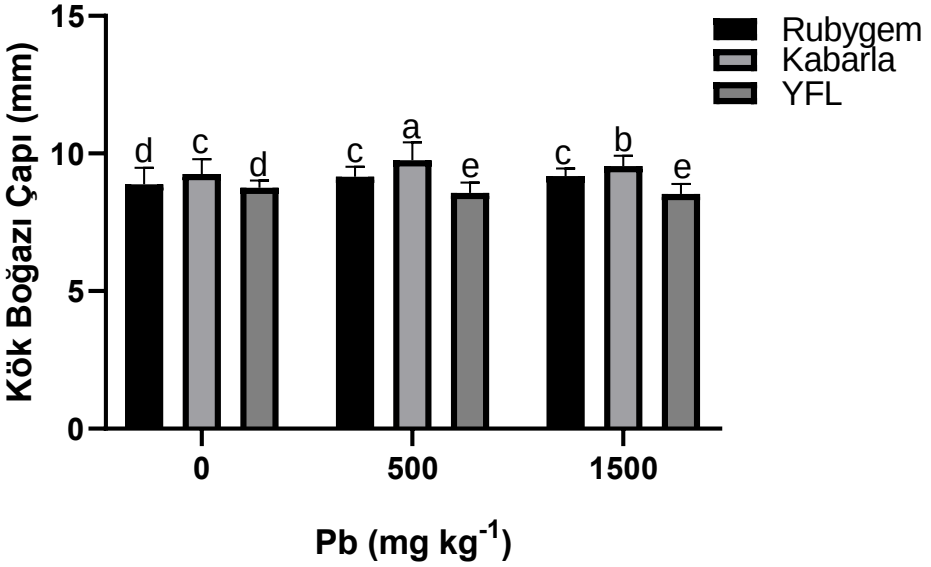
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışı ile kök boğazı çapı önce artmış sonra azalmıştır. Çeşitler arasında en yüksek kök boğazı çapı Kabarla, en düşük YFL'de belirlenmiştir. Bakteri uygulamaları ise kök boğazı çapı üzerine olumlu etki yapmıştır. En etkili uygulama ise MŞ-7 suşu olmuştur. Üç çeşitte de bakteri uygulanmamış ve M-13 suşu uygulanmış bitkilerin kök boğazı çapları kurşun dozu artışına bağlı olarak artmıştır. MŞ-12 suşu uygulanmış Rubygem ve YFL çeşitlerinde ise kurşun dozu artışı ile kök boğazı çapı önce artmış, sonra 0 mg kg^{-1} Pb dozundan bile daha düşük bir değere inmiştir. MŞ-7 suşunda ise çeşitler arasında farklılıklar vardır. Kabarla'da kök boğazı çapı önce artıp, sonra azalmışken; diğer iki çeşitte doz artışı ile birlikte önce azalmış, sonra artmıştır. Çeşitler arasında, bakteri uygulanmamış bitkilerde her üç kurşun dozunda da en yüksek kök boğazı çapı değerleri Kabarla'dan elde edilmiştir. Bakteri uygulanmış bitkiler arasında ise 0 ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozlarında en yüksek değerler Kabarla MŞ-7 suşu interaksiyonunda belirlenmiştir. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise en yüksek değer Kabarla'da MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilerde tespit edilmiştir **(Tablo 18).**

Üç çilek çeşidinde de 0 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm bakteri suşları kök boğazı çapını artırmıştır. En yüksek değerler tüm çilek çeşitlerinde MŞ-7 suşundan elde edilmiştir. Kabarla'da 500 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm suşlar kök boğazı çapını artırmış olmasına karşın, diğer iki çeşitte sadece MŞ-7 ve MŞ-12 bu artışı sağlayabilmiştir. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise en yüksek değerler Rubygem ve YFL çeşitlerinde MŞ-13, Kabarla'da MŞ-7 suşunda elde edilmiştir. Kurşun dozu artışı ile birlikte kök boğazı çapının değişimi ise çeşit ve bakteri uygulamalarına göre farklılık göstermektedir **(Tablo 18).**



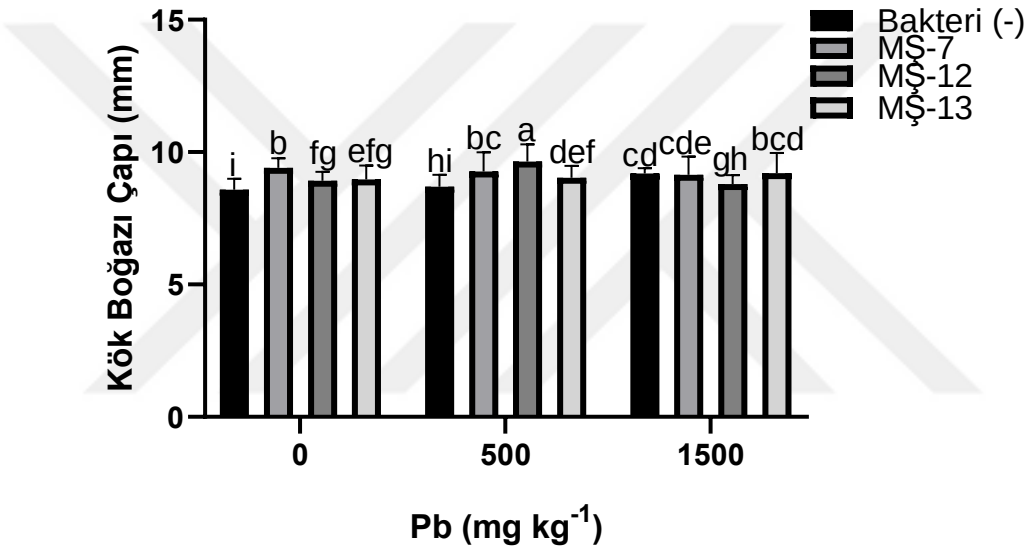
Şekil 33. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 34. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Kök boğazı çapı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Her üç bakteri uygulamasından da Kabarla ve Rubygem'de bakteri uygulanmamış bitkilere göre daha kalın kök boğazları elde edilmiştir. YFL çeşidinde ise bakteri uygulamaları açısından kök boğazı çapı arasında fark görülmemiştir **(Şekil 33).**

Kök boğazı çapı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler her üç çeşitte de Kabarla, en düşük değerler ise YFL'den elde edilmiştir. Kabarla çeşidinde kurşun dozu artışına bağlı olarak önce artan sonra azalan kök boğazı çapı diğer iki çeşitte doz artışı ile azalmıştır **(Şekil 34).**



Şekil 35. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök boğazı çapı (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök boğazı çapı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7, 500 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-13 suşundan en yüksek değerler elde edilmiştir. Tüm kurşun dozu ve bakteri suşu interaksiyonlarında en yüksek kök boğazı çapı değerleri MŞ-12 suşu uygulanmış 500 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir **(Şekil 35).**

4.1.1.2.2. Kök yaş ağırlığı (g)

Kök yaş ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları

(p<0,05) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 19).**

Tablo 19. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi

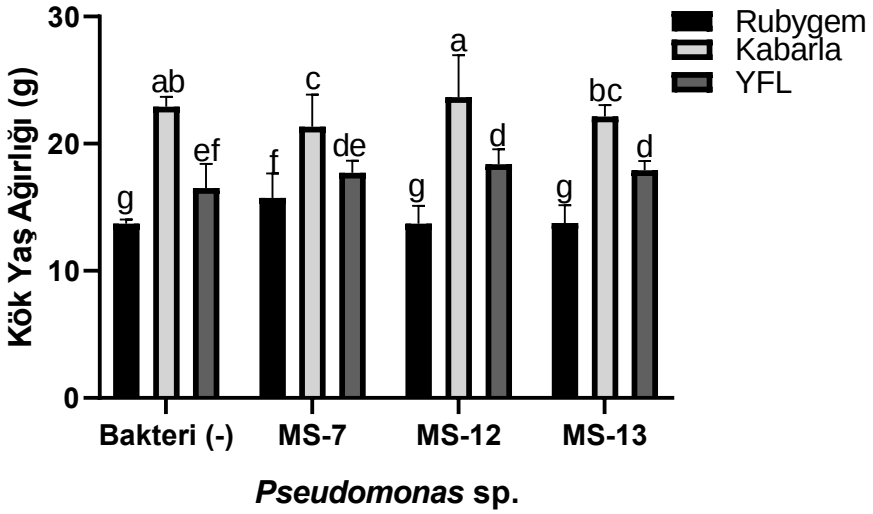
Kök Yaş Ağırlığı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**14,23^{C}**	
	0	13,69^{k-m}	18,22^{f-h}	14,11^{k-m}	15,47^{i-k}		***0 mg/kg*** **18,85^{A}**
	500	13,96^{k-m}	14,28^{kl}	15,03^{j-l}	12,96^{lm}		
	1500	13,47^{k-m}	14,74^{j-l}	11,96^{m}	12,89^{lm}		
Kabarla						**22,51^{A}**	
	0	23,44^{ab}	22,10^{b-d}	24,92^{a}	22,83^{a-c}		***500mg/kg*** **18,31^{A}**
	500	22,14^{b-d}	21,77^{b-e}	23,61^{ab}	22,50^{bc}		
	1500	23,19^{a-c}	20,13^{d-f}	22,45^{bc}	21,07^{c-e}		
YFL						**17,63^{B}**	
	0	17,46^{hi}	16,97^{h-j}	19,74^{e-g}	17,65^{g-i}		***1500mg/kg*** **17,19^{B}**
	500	17,96^{f-h}	18,76^{f-h}	17,96^{f-h}	18,76^{f-h}		
	1500	14,12^{k-m}	17,43^{hi}	17,32^{hi}	17,46^{hi}		
Bakteri Ort.		**17,71**	**18,27**	**18,58**	**17,94**		

LSD Çeşit: 0,654 *** LSD Ç*B: 1,308 *** LSD Ç*B*D: 2,266 *
LSD Bakteri: Ö.D. LSD Ç*D: Ö.D.
LSD Doz: 0,654 *** LSD B*D: Ö.D.

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışına bağlı olarak kök yaş ağırlığı azalmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek kök yaş ağırlığı Kabarla, en düşük Rubygem'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı uygulamalara göre farklı tepkiler vermiştir. Bununla birlikte, Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamaları B-uygulamasına göre kök yaş ağırlığını artırmıştır **(Tablo 19).**

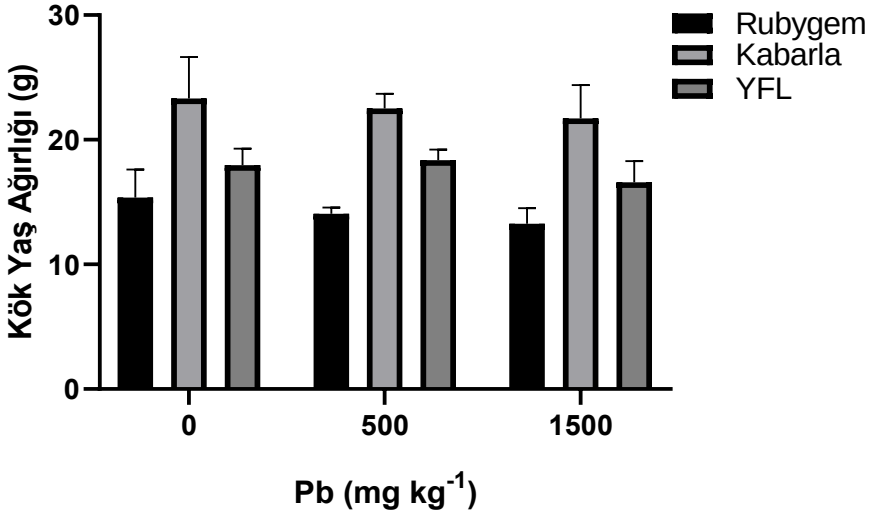
Her üç çilek çeşidinde de 0 mg kg^{-1} Pb dozunda, *Pseudomonas* sp. MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında en yüksek kök yaş ağırlığı değerleri elde edilmiştir. Rubygem'de 0 mg kg^{-1} Pb dozunda bakteri uygulamaları bakteri uygulanmamış olanlara göre kök yaş ağırlığını artırmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise Rubygem'de MŞ-7 ile MŞ-12, Kabarla'da MŞ-12 ile MŞ-13 ve YFL'de MŞ-7 ile MŞ-13 suşlarından en yüksek kök yaş ağırlığı değerleri elde edilmiştir. En yüksek kurşun dozunda ise YFL'de tüm suşlar kök yaş ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmıştır. Bununla birlikte, Rubygem'de sadece MŞ-7 suşu kök yaş ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmıştır. Kabarla'da ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda en yüksek değerler bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir **(Tablo 19).**



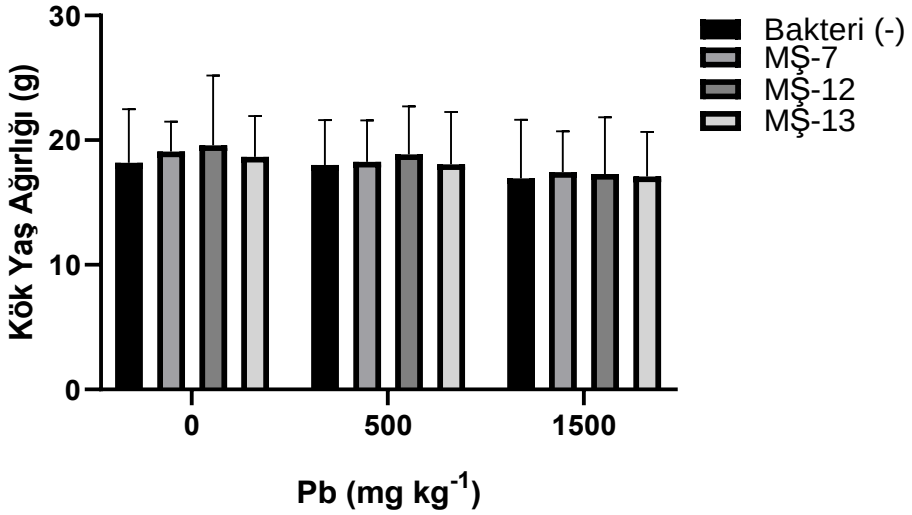
Şekil 36. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kök yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla'dan elde edilmiştir. Çeşitler arasında yalnızca YFL'de tüm suşlardan elde edilen kök yaş ağırlığı değerleri bakteri uygulanmamış olanlardan daha yüksektir. Rubygem'de ise MŞ-7 suşundan elde edilen değer diğer tüm uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur **(Şekil 36).**

Kök yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu ve kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur **(Şekil 37, Şekil 38).**



Şekil 37. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök yaş ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 38. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.1.2.3. Kök kuru ağırlığı (g)

Kök kuru ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 20).**

Tablo 20. Kurşun stresine karşı bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi

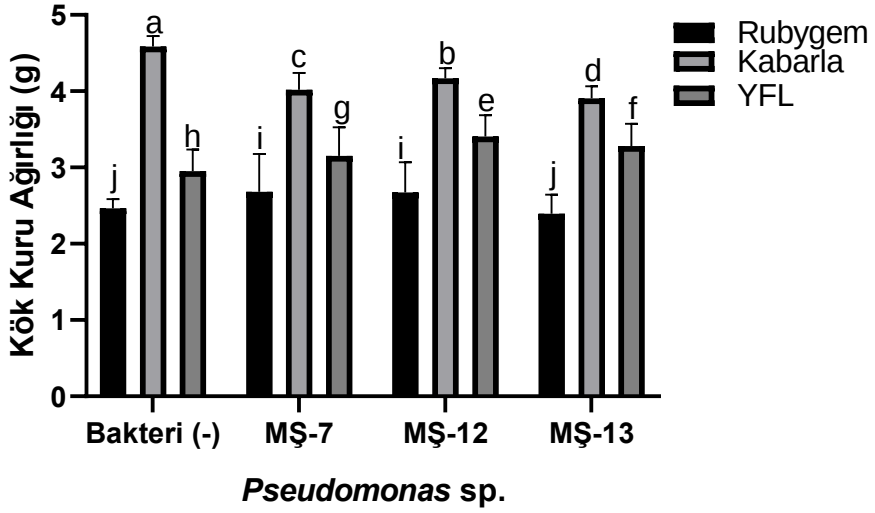
Kök Kuru Ağırlığı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**2,55^{C}**	
	0	2,42st	3,33^{jk}	2,84^{pq}	2,71^{qr}		***0 mg/kg*** **3,40^{A}**
	500	2,58^{rs}	2,30^{t-v}	3,01^{op}	2,26^{t-v}		
	1500	2,38^{tu}	2,42st	2,17^{v}	2,22^{uv}		
Kabarla						**4,17^{A}**	
	0	4,68^{a}	4,22^{de}	4,31^{cd}	3,76^{hi}		***500mg/kg*** **3,34^{B}**
	500	4,48^{bc}	3,87^{gh}	4,08^{ef}	3,99^{fg}		
	1500	4,59^{ab}	3,97^{fg}	4,12^{d-f}	3,98^{fg}		
YFL						**3,20^{B}**	
	0	3,01^{n-p}	2,67^{qr}	3,77^{hi}	3,06^{m-o}		***1500mg/kg*** **3,19^{C}**
	500	3,23^{j-m}	3,40^{j}	3,19^{k-n}	3,64^{i}		
	1500	2,61^{r}	3,39^{j}	3,26^{j-l}	3,14^{l-o}		
Bakteri Ort.		**3,33^{B}**	**3,28^{B}**	**3,41^{A}**	**3,19^{C}**		

LSD Çeşit: 0,053 *** LSD Ç*B: 0,107 *** LSD Ç*B*D: 0,185 ***
LSD Bakteri: 0,062 *** LSD Ç*D: 0,093 ***
LSD Doz: 0,053 *** LSD B*D: 0,107 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışı ile bitkilerde kök kuru ağırlığı azalmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek kök kuru ağırlığı Kabarla, en düşük Rubygem'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları arasında yalnızca MŞ-12 kök kuru ağırlığını artırmıştır. Çilek çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile kök kuru ağırlığı YFL'de (MŞ-12 dışında) önce artmış, sonrasında azalmıştır **(Tablo 20).**

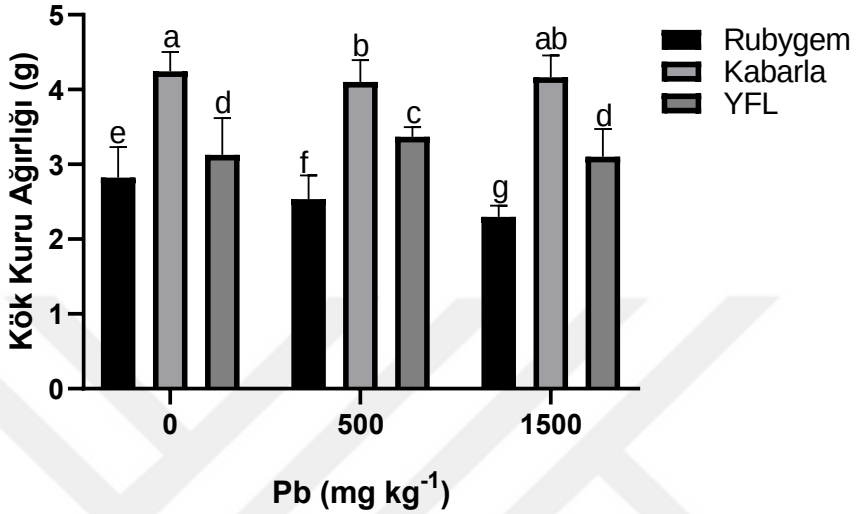
Rubygem çeşidinde, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre kök kuru ağırlığını artırmıştır. Buna karşın, Kabarla'da bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilen kök kuru ağırlığı değerleri bakteri uygulanmış olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. YFL'de ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları kök kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmıştır. Bununla birlikte, MŞ-7 suşu kök kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre azaltmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Kabarla'ya uygulanan suşlar kök kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre azaltmıştır. Buna karşın, Rubygem'de MŞ-12; YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları kök kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise Rubygem çeşidinde sadece MŞ-7 suşu, YFL'de ise tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre kök kuru ağırlığını artırmıştır. Buna karşın, Kabarla çeşidinde bakteri uygulanmamış bitkilerin kök kuru ağırlığı bakteri uygulanmış olanlara göre daha yüksek bulunmuştur **(Tablo 20).**



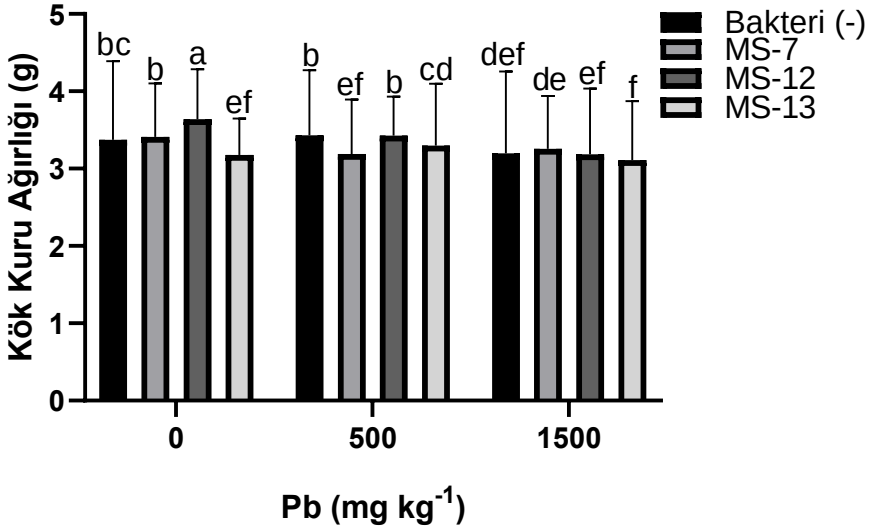
Şekil 39. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kök kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem'de MŞ-

7 ve MŞ-12 suşları kök kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmışken, Kabarla'da bakteri uygulamalarından elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. YFL'de ise tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre kök kuru ağırlığını artırmıştır **(Şekil 39).**



Şekil 40. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök kuru ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 41. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek kök kuru ağırlığı değerleri Kabarla, en düşük değerler ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem'de kurşun dozu artışına bağlı olarak

düzenli bir artış söz konusu iken, Kabarla'da önce azalış, daha sonra artış görülmüştür. YFL'de ise kurşun dozu artışı ile kök kuru ağırlığı önce artmış, sonra azalmıştır. Tüm çeşit ve dozlar arasında en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Kabarla çeşidinden elde edilmişken, en düşük değerler 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'den elde edilmiştir **(Şekil 40).**

Kök kuru ağırlığı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kurşun dozu artışına bağlı olarak kök kuru ağırlığı azalmıştır. En yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb ve MŞ-12 suşu, en düşük değerler ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozu ve MŞ-13 suşu uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. Bakteri uygulanmamış ve MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilerde kurşun dozu artışına bağlı olarak kök kuru ağırlığı düzenli şekilde azalmışken, MŞ-7 suşu uygulanmış bitkilerde önce azalmış, sonra artmış; MŞ-13 suşunda ise önce artmış, sonra azalmıştır **(Şekil 41).**

4.1.1.2.4. Yeşil aksam yaş ağırlığı (g)

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 21).**

Kurşun dozu artışı ile yeşil aksam yaş ağırlığı azalmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek yeşil aksam yaş ağırlığı Rubygem, en düşük ise YFL'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamalarının tamamı yeşil aksam yaş ağırlığını B- uygulamasına göre önemli ölçüde artırmıştır. Tüm çilek çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile yeşil aksam yaş ağırlığı azalmış olup, bakteri uygulamaları kurşun toksisitesi şartlarında azalmayı bakteri yokluğuna göre engellemiştir **(Tablo 21).**

Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm suşlar bakteri uygulanmamış olan bitkilere göre yeşil aksam yaş ağırlığını artırmıştır. YFL'de ise 0 mg kg^{-1} Pb dozunda yalnızca MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilerin yeşil aksam yaş ağırlıkları bakteri uygulanmamış olanlardan yüksek bulunmuştur. Diğer iki bakteri suşundan elde edilen değerler daha düşük bulunmuştur. Kurşun dozu artışına bağlı olarak genel bir yeşil aksam yaş ağırlığı azalışı söz konusu olsa da, YFL çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13 uygulamaları farklı tepkiler meydana getirmiştir. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem ve

Kabarla çeşitlerinde MŞ-12 suşundan elde edilen yeşil aksam yaş ağırlığı değerleri bakteri uygulanmamış olan bitkilerden daha yüksek bulunmuştur. Kabarla'da, MŞ-7 suşu yeşil aksam yaş ağırlığını artırmıştır. Bu iki çeşitte diğer uygulamalar yeşil aksam yaş ağırlığını azaltmıştır. YFL'de ise MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından elde edilen değerler B- ve MŞ-12 suşu uygulamalarından daha yüksek bulunmuştur. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'de tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre yeşil aksam yaş ağırlığını daha fazla azaltmıştır. Buna karşın, Kabarla ve YFL'de tüm suşlarda yeşil aksam yaş ağırlığı bakteri uygulanmamış olanlara göre daha yüksek bulunmuştur **(Tablo 21).**

Tablo 21. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine etkisi

Yeşil Aksam Yaş Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**14,96^{A}**	
	0	15,20^{c-e}	16,23^{a}	16,47^{a}	16,40^{a}		***0 mg/kg*** **14,90^{A}**
	500	14,50^{e-i}	14,46^{e-i}	15,39^{bc}	14,28^{f-j}		
	1500	14,57^{d-h}	14,56^{d-h}	13,34^{l-o}	14,16^{f-k}		
Kabarla						**14,18^{B}**	
	0	12,67^{op}	15,44^{bc}	16,76^{a}	13,86^{h-m}		***500mg/kg*** **14,45^{B}**
	500	13,75^{i-n}	13,92^{h-l}	15,31^{b-d}	13,41^{k-o}		
	1500	11,99^{p}	13,60^{j-n}	14,91^{c-f}	14,49^{e-i}		
YFL						**14,05^{B}**	
	0	14,13^{g-k}	13,14^{mo}	15,34^{bc}	13,09^{no}		***1500mg/kg*** **13,85^{C}**
	500	13,56^{j-n}	16,02^{ab}	13,32^{l-o}	15,42^{bc}		
	1500	12,72^{op}	14,81^{c-g}	13,76^{i-n}	13,23^{l-o}		
Bakteri Ort.		**13,68^{D}**	**14,69^{B}**	**14,96^{A}**	**14,26^{C}**		

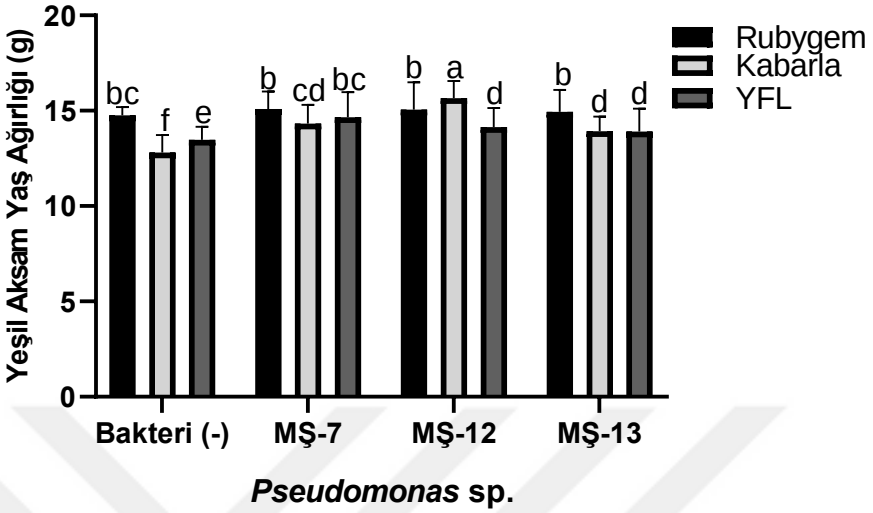
LSD Çeşit: 0,219 *** LSD Ç*B: 0,437 *** LSD Ç*B*D: 0,757 ***
LSD Bakteri: 0,252 *** LSD Ç*D: 0,379 ***
LSD Doz: 0,219 *** LSD B*D: 0,437 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

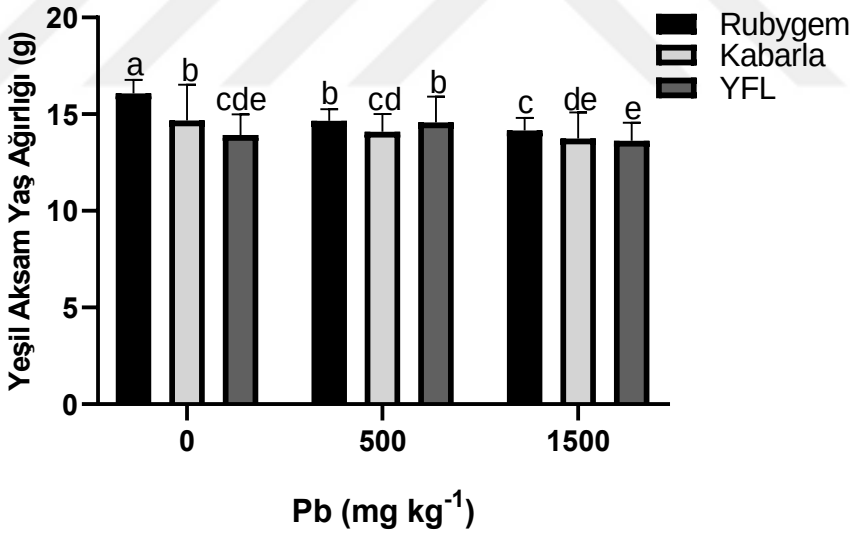
Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler MŞ-12 dışındaki tüm suşlarda Rubygem'den elde edilmiştir. MŞ-12 suşunda ise en yüksek değer Kabarla'dan elde edilmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde en düşük değerler ise bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir. YFL dışındaki diğer çeşitlerde en yüksek değerler MŞ-12, YFL'de MŞ-7 suşundan elde edilmiştir **(Şekil 42).**

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değer Rubygem'de ve 0 mg kg^{-1} Pb dozunda bulunmuştur. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb, YFL'de 500 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir. Bununla birlikte, her üç çeşitte de en düşük değerler 1.500

mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir. 0 mg kg^{-1} ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozlarında en yüksek değerler Rubygem, 500 mg kg^{-1} Pb dozunda YFL'den elde edilmiştir **(Şekil 43).**



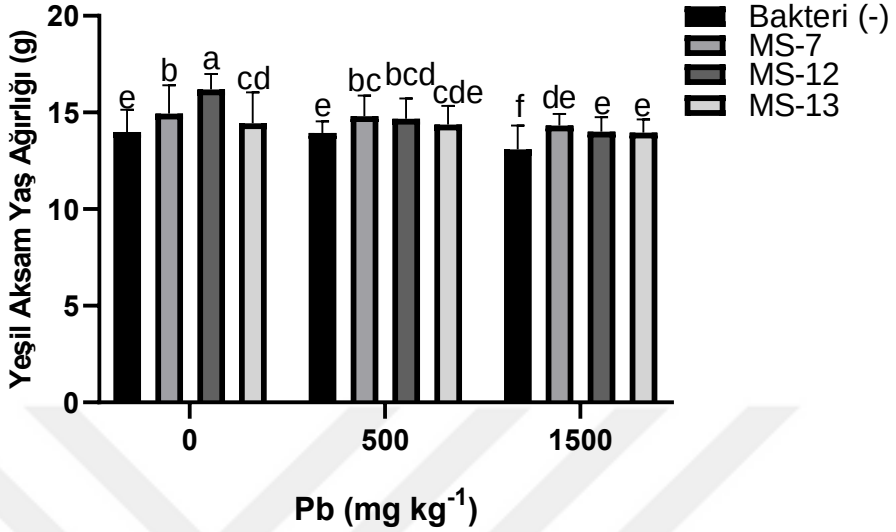
Şekil 42. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 43. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Yeşil aksam yaş ağırlığı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değer 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 suşundan elde edilmiştir. Diğer dozlarda ise en yüksek değerler MŞ-7 suşundan elde edilmiştir. Bakteri uygulamalarında en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiş olup, doz artışı ile birlikte tüm bakteri uygulamalarında yeşil aksam yaş ağırlığı azalmıştır. Ayrıca, tüm

kurşun dozlarında en düşük değerler bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir **(Şekil 44).**



Şekil 44. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam yaş ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.1.2.5. Yeşil aksam kuru ağırlığı (g)

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri ($p<0,5$), *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 22).**

Kurşun dozu artışı ile yeşil aksam kuru ağırlığı azalmıştır. Çeşitler arasında en yüksek yeşil aksam kuru ağırlığı YFL, en düşük Rubygem'de bulunmuştur. Bununla birlikte, tüm suşlar B- uygulamasına göre yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. Çilek çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile yeşil aksam kuru ağırlığı farklılık göstermiştir. YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında doz artışı ile artıp sonra düşen yeşil aksam kuru ağırlığı diğer iki çeşitte bakteri suşu uygulamalarında (Kabarla MŞ-13 dışında) azalmıştır **(Tablo 22).**

Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. YFL'de ise yalnızca MŞ-12 suşu, bakteri uygulanmamış olan bitkilere göre yeşil aksam kuru ağırlığı artırmıştır. Diğer iki suştan elde edilen yeşil aksam kuru ağırlığı değerleri B- uygulamasına göre daha düşük bulunmuştur. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem ve

Kabarla çeşitlerinde yalnızca MŞ-12 suşu bakteri uygulanmamış olanlardan daha yüksek yeşil aksam kuru ağırlığı değeri meydana getirmiştir. MŞ-7 ve MŞ-13 ise daha düşük yeşil aksam kuru ağırlığı değerleri meydana getirmiştir. Buna karşın, YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları bakteri uygulanmamış ve MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilere göre yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise diğer iki dozdan farklı olarak Kabarla ve YFL çeşitlerinde tüm suşlar yeşil aksam kuru ağırlığını bakteri uygulanmamış olanlara göre artırmıştır. Rubygem'de MŞ-7 suşu B- uygulamasına göre yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır **(Tablo 22).**

Tablo 22. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine etkisi

Yeşil Aksam Kuru Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**3,24^{B}**	
	0	3,22^{g-l}	3,39^{e-i}	3,64^{b-e}	3,46^{c-g}		***0 mg/kg*** **3,37^{A}**
	500	3,12^{i-l}	3,02^{k-m}	3,30^{f-j}	3,13^{i-l}		
	1500	3,17^{h-l}	3,23^{g-l}	3,00^{k-m}	3,16^{h-l}		
Kabarla						**3,33^{A}**	
	0	2,98^{lm}	3,71^{a-c}	3,93^{a}	3,12^{i-l}		***500mg/kg*** **3,32^{A}**
	500	3,33^{f-j}	3,11^{j-l}	3,57^{c-f}	3,18^{h-l}		
	1500	2,79^{m}	3,20^{gl}	3,55^{c-f}	3,41^{d-h}		
YFL						**3,34^{A}**	
	0	3,41^{d-h}	2,97^{lm}	3,66^{a-e}	2,99^{k-m}		***1500mg/kg*** **3,21^{B}**
	500	3,32^{f-j}	3,86^{ab}	3,16^{h-l}	3,67^{a-d}		
	1500	2,97^{lm}	3,64^{b-e}	3,26^{g-k}	3,15^{h-l}		
Bakteri Ort.		**3,15^{D}**	**3,35^{B}**	**3,45^{A}**	**3,25^{C}**		

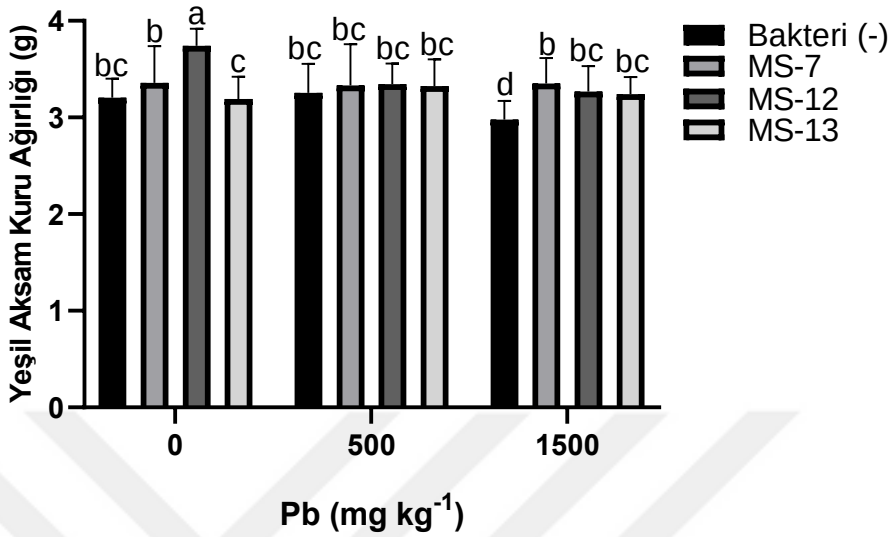
LSD Çeşit: 0,079* LSD Ç*B: 0,157 *** LSD Ç*B*D: 0,275 ***
LSD Bakteri: 0,091*** LSD Ç*D: 0,136 ***
LSD Doz: 0,079 *** LSD B*D: 0,157 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

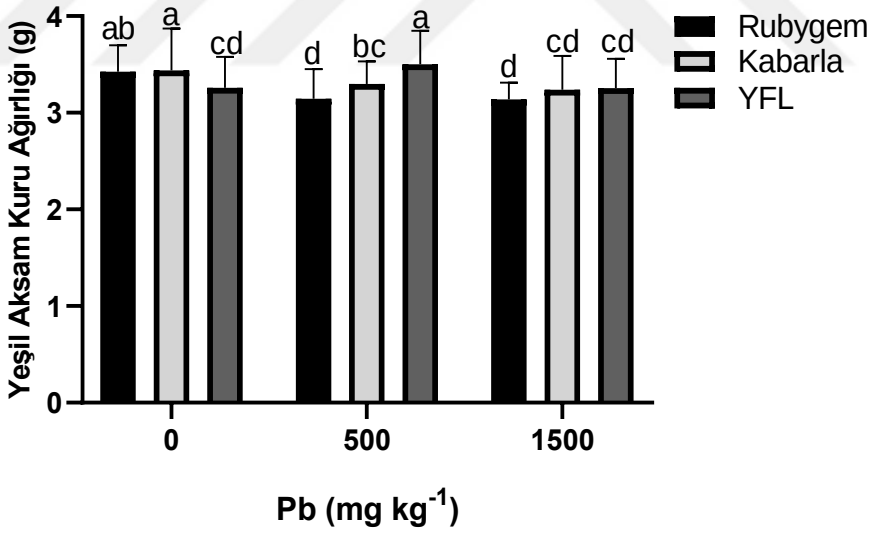
Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler bakteri uygulanmamış ve MŞ-7 suşu uygulanmış bitkilerde YFL'den, MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilerde Kabarla'dan elde edilmiştir. MŞ-13 suşunda ise çeşitler arasında fark bulunmamaktadır. MŞ-7 ve MŞ-12 suşları tüm çeşitlerde B- uygulamasına göre yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. En düşük değerler ise bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir **(Şekil 45).**

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem ve Kabarla, 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde kurşun dozu artışına bağlı olarak gövde kuru ağırlığı azalırken, YFL'de önce artmış, sonra

azalmıştır. En düşük değerler tüm çeşitlerde 1.500 mg kg^{-1} kurşun dozundan elde edilmiştir **(Şekil 46).**

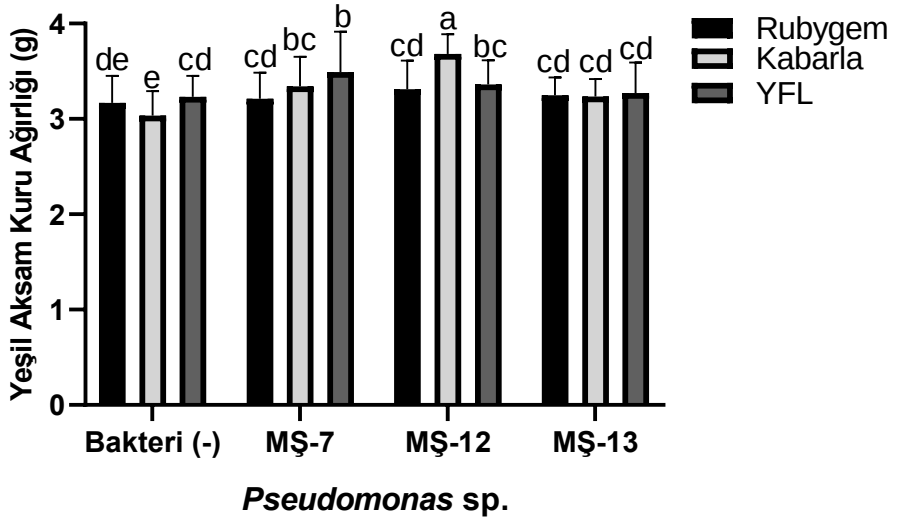


Şekil 45. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 46. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değer 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 suşu uygulamasından elde edilmiştir. En düşük değer ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir. B-, MŞ-7 ve MŞ-12 uygulamalarında kurşun dozu artışına bağlı olarak yeşil aksam kuru ağırlığı azalmış, MŞ-13 uygulamasında artmıştır **(Şekil 47).**



Şekil 47. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yeşil aksam kuru ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.1.2.6. Kök uzunluğu (cm)

Kök uzunluğu üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 23).**

Tablo 23. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde kök uzunluğu (cm) üzerine etkisi

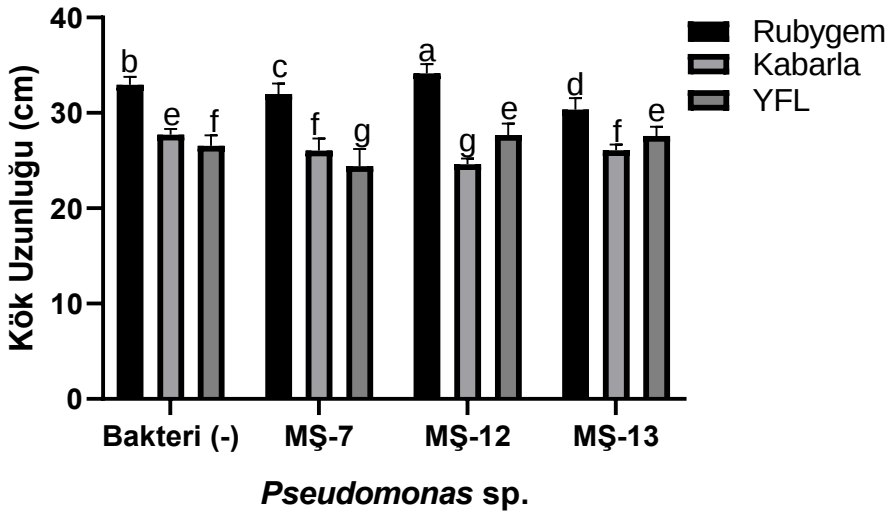
Kök Uzunluğu		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**32,36^{A}**	
	0	32,58^{c-e}	31,77^{ef}	34,12^{ab}	30,47^{g}		***0 mg/kg*** **28,29**
	500	33,73^{ab}	31,00^{fg}	33,62^{a-c}	31,31^{fg}		
	1500	32,51^{de}	33,22^{b-d}	34,69^{a}	29,29^{h}		
Kabarla						**26,12^{C}**	
	0	27,83^{i-k}	25,61^{q-t}	24,77^{t-v}	26,00^{o-s}		***500mg/kg*** **28,33**
	500	28,00^{i-k}	27,56^{j-l}	24,06^{uv}	25,50^{r-t}		
	1500	27,33^{k-m}	25,00^{s-u}	25,00^{s-u}	26,72^{l-p}		
YFL						**26,56^{B}**	
	0	26,19^{n-r}	26,67^{l-q}	26,28^{m-r}	27,22^{k-n}		***1500mg/kg*** **28,41**
	500	25,72^{p-t}	22,89^{w}	28,00^{i-k}	28,56^{h-j}		
	1500	27,72^{i-l}	23,72^{vw}	28,78^{hi}	26,94^{k-o}		
Bakteri Ort.		**29,07^{A}**	**27,49^{C}**	**28,81^{A}**	**28,00^{B}**		

LSD Çeşit: 0,314 *** LSD Bakteri: 0,363 *** LSD Doz: Ö.D.
LSD Ç*B: 0,629 *** LSD Ç*D: Ö.D. LSD B*D: 0,629 ***
LSD Ç*B*D: 1,089 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu değişimi ile kök uzunluğu değişmemiş, bakteri uygulamaları ise bakteri yokluğuna göre kök uzunluğunu azaltmıştır (MŞ-12 dışında). Çeşitler arasında en uzun kökler Rubygem, en kısa kökler Kabarla'dan elde edilmiştir.

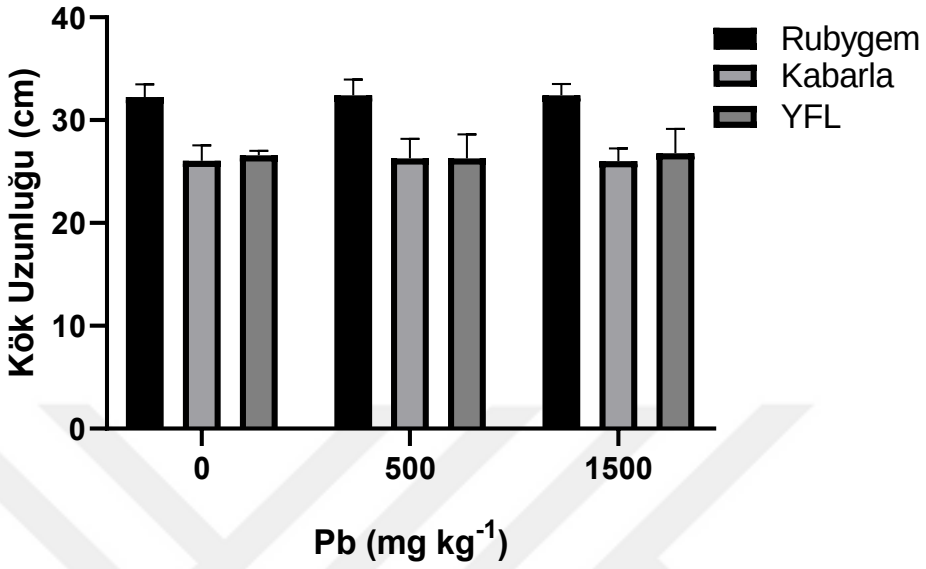
Rubygem çeşidinde tüm kurşun dozlarında en yüksek kök uzunluğu B- ve MŞ-12, Kabarla'da B-, YFL'de ise MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamalarından elde edilmiştir. Kurşun dozu artışına bağlı olarak kök uzunluğu istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Çeşitler arasında en uzun kökler Rubygem, en kısa kökler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları ise B- uygulamasına göre kök uzunluğunu kısaltmıştır. Çilek çeşidi, bakteri suşları ve kurşun dozlarının kök uzunluğu üzerine etkisi farklılık göstermektedir. Rubygem çeşidinde doz artışına bağlı olarak 2 bakteri uygulamasında (B- ve MŞ-13) kök uzunluğu önce artmış, sonra azalmış; diğer iki bakteri uygulamasında (MŞ-7 ve MŞ-12) önce azalmış, sonrasında artmıştır. Kabarla çeşidinde B- ve MŞ-7 uygulamalarında kök uzunluğu kurşun dozu artışına bağlı olarak önce artmış, sonra azalmış; MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamalarında önce azalmış, sonrasında artmıştır. YFL'de ise Kabarla'nın aksine B- ve MŞ-7 uygulamalarında kurşun dozu artışına bağlı olarak kök uzunluğu önce azalmış, sonra artmış; MŞ-12 ve MŞ-13 uygulamalarında önce artmış, sonrasında azalmıştır **(Tablo 23).**



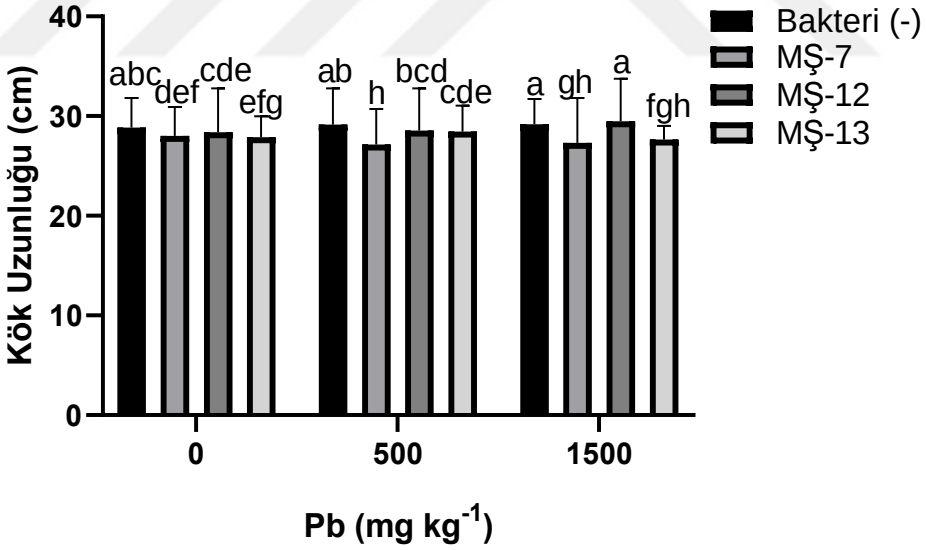
Şekil 48. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kök uzunluğu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Tüm bakteri uygulamalarında Rubygem'in kök uzunluğu daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte,

en kısa kökler B- ve MŞ-7 suşu uygulamalarında YFL'den, diğer iki suş uygulamasında (MŞ-12 ve MŞ-13) Kabarla'dan elde edilmiştir **(Şekil 48).**



Şekil 49. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin kök uzunluğu (cm) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 50. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kök uzunluğu (cm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Kök uzunluğu üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi istatistiki açıdan önemsizdir. **(Şekil 49).**

Kök uzunluğu üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kurşun dozu artışı ile bitkilerde kök uzunluğu değişmemiştir. Yalnızca, MŞ-7 suşu uygulanmış bitkilerde kök uzunluğu kurşun dozu artışına bağlı olarak

azalmıştır. Bakteri uygulanmamış ve MŞ-12 suşu uygulanmış bitkilerin kök uzunlukları tüm uygulamalar arasında en uzun olmuştur. Diğer iki bakteri (MŞ-7 ve MŞ-13) uygulamasında kök uzunlukları daha düşüktür **(Şekil 50).**

4.1.1.2.7. Primer kök sayısı (adet)

Primer kök sayısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,05$) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 24).**

Kurşun dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısı özellikle 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda önemli ölçüde azalmıştır. Çeşitler arasında en yüksek primer kök sayısı Kabarla, en düşük Rubygem'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları primer kök sayısını azaltmıştır. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm bakteri suşlarında kurşun dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısı azalmıştır. Bakteri uygulanmamış olanlarda ise önce artmış, sonrasında 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilen değerin altına düşmüştür. YFL'de ise MŞ-12 suşu dışındaki tüm uygulamalarda primer kök sayısı önce artmış, sonra 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilen değerin altına düşmüştür **(Tablo 24).**

Tablo 24. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök sayısı (adet) üzerine etkisi

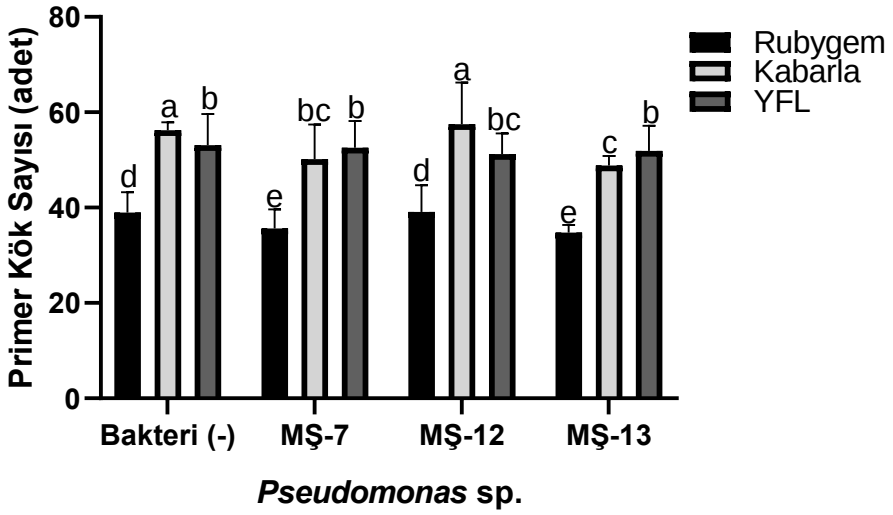
Primer Kök Sayısı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**37,11^{B}**	
	0	37,33^{l-n}	40,67^{kl}	45,78^{i-k}	36,67^{l-o}		***0 mg/kg*** **49,46^{A}**
	500	44,44^{jk}	34,44^{m-o}	38,56^{lm}	34,56^{m-o}		
	1500	35,11^{m-o}	31,78^{o}	33,00^{no}	33,00^{no}		
Kabarla						**53,17^{A}**	
	0	57,56^{bc}	54,33^{c-e}	64,67^{a}	51,11^{e-i}		***500mg/kg*** **49,07^{A}**
	500	56,89^{b-d}	48,67^{f-j}	54,22^{c-e}	48,67^{f-j}		
	1500	54,22^{c-e}	47,44^{g-j}	53,56^{c-f}	46,67^{g-j}		
YFL						**52,20^{A}**	
	0	52,00^{d-g}	45,89^{i-k}	56,22^{b-e}	51,33^{e-h}		***1500mg/kg*** **43,94^{B}**
	500	61,00^{ab}	58,22^{bc}	51,11^{e-i}	58,11^{bc}		
	1500	46,22^{h-j}	53,67^{c-f}	46,33^{h-j}	46,33^{h-j}		
Bakteri Ort.		**49,42^{A}**	**46,12^{B}**	**49,27^{A}**	**45,16^{B}**		

LSD Çeşit: 1,546 *** LSD Ç*B: 3,092 *** LSD Ç*B*D: 5,356 *
LSD Bakteri: 1,785 *** LSD Ç*D: 2,678 ***
LSD Doz: 1,546 *** LSD B*D: 3,092 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Tüm çilek çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 suşu diğer tüm bakteri uygulamalarına göre primer kök sayısını artırmıştır. Bunun yanında, Rubygem çeşidinde MŞ-7 suşu uygulamasından elde edilen primer kök sayısı da bakteri uygulanmamış olanlardan daha yüksektir. 0 mg kg^{-1} Pb dozunda diğer tüm bakteri uygulamalarından elde edilen primer kök sayısı değerleri bakteri uygulanmamış olanlardan daha düşüktür. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise tüm bakteri suşlarından elde edilen primer kök sayısı değerleri bakteri uygulanmamış olanlardan daha düşüktür. Benzer şekilde, 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda da Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlardan elde edilen primer kök sayısı değerlerinden daha düşük bulunmuştur. YFL'de ise bakteri suşları B- uygulamasına göre daha fazla sayıda kök meydana gelmiştir **(Tablo 24).**

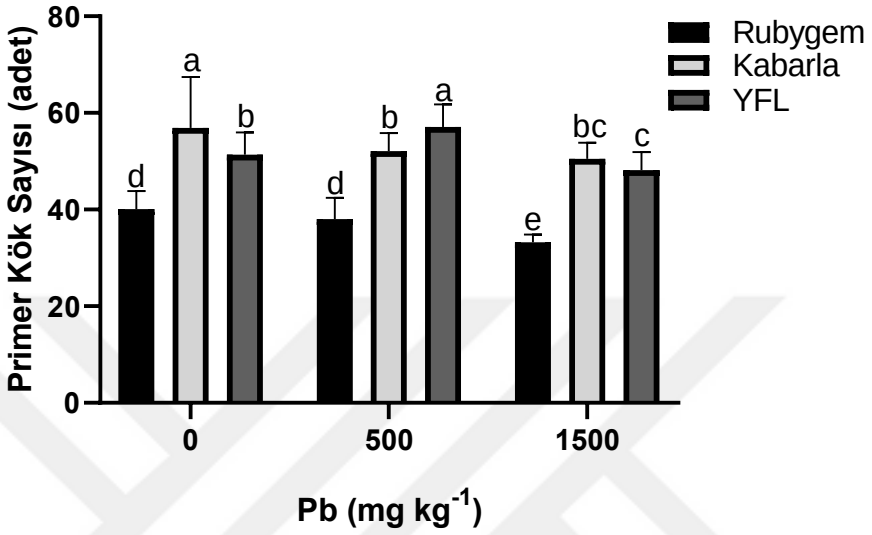
Primer kök sayısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en düşük değerler tüm bakteri suşlarında Rubygem'den elde edilmiştir. En yüksek değerler ise bakteri uygulanmamış ve MŞ-12 suşu uygulanmış Kabarla'dan elde edilmiştir. MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında en yüksek primer kök sayısı değerleri YFL'den elde edilmiştir. Ayrıca, YFL çeşidinde bakteri uygulamalarının primer kök sayısı üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir. Kabarla'da ise MŞ-7 ve MŞ-13 suşları primer kök sayısını azaltmıştır **(Şekil 51).**



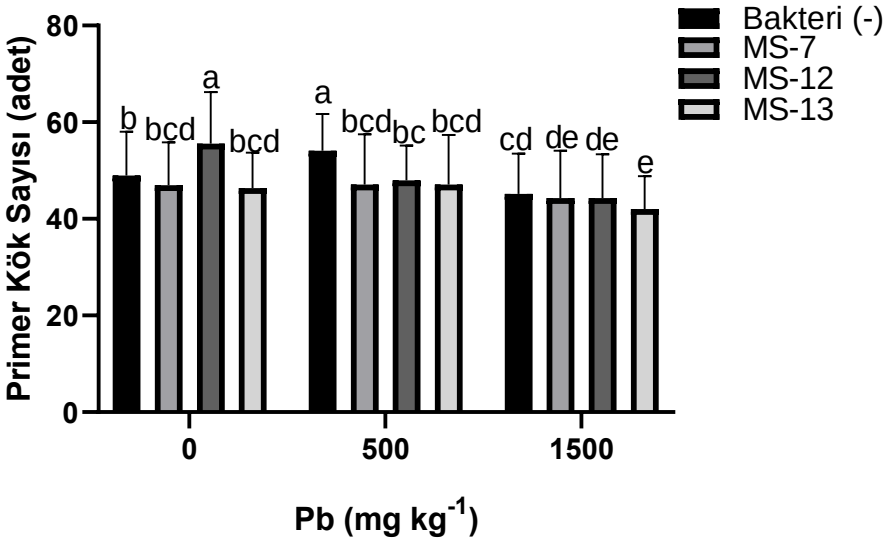
Şekil 51. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Primer kök sayısı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kurşun dozu artışına bağlı olarak Rubygem ve Kabarla çeşitlerinin primer

kök sayısı azalmıştır. YFL'de ise önce artmış, sonrasında 0 mg kg^{-1} Pb dozunun da altına inmiştir. En fazla primer kök sayısı 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Kabarla, 500 mg kg^{-1} Pb dozunda YFL'den elde edilmiştir. En düşük sayıda primer kök ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'den elde edilmiştir **(Şekil 52).**



Şekil 52. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök sayısı (adet) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 53. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Primer kök sayısı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 uygulanmış, 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise bakteri uygulanmamış bitkilerden elde edilmiştir. Bakteri

uygulamalarında, kurşun dozu artışına bağlı olarak primer kök sayısı azalmıştır. Bu azalış MŞ-12 suşunda daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bakteri uygulanmamış bitkilerde ise kurşun doz artışına bağlı olarak önce artmış, sonra azalmıştır **(Şekil 53).**

4.1.1.2.8. Yaprak alanı (cm^2)

Yaprak alanı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 25).**

Tablo 25. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak alanı (cm^2) üzerine etkisi

Yaprak Alanı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**59,73^{A}**	
	0	58,58^{d}	59,16^{cd}	61,63^{b}	63,95^{a}		**0 mg/kg 50,70^{A}**
	500	59,39^{cd}	59,54^{cd}	60,47^{bc}	58,59^{d}		
	1500	59,47^{cd}	59,10^{cd}	58,10^{d}	58,45^{d}		
Kabarla						**45,92^{B}**	
	0	44,41^{j-n}	48,03^{f}	46,70^{f-h}	46,44^{gh}		**500 mg/kg 50,34^{A}**
	500	46,82^{fg}	47,13^{fg}	50,40^{e}	46,59^{f-h}		
	1500	43,80^{k-o}	43,40^{m-o}	43,79^{k-o}	43,57^{m-o}		
YFL						**44,02^{C}**	
	0	43,59^{l-o}	45,14^{h-l}	45,22^{h-k}	45,59^{g-j}		**1500 mg/kg 48,62^{B}**
	500	41,14^{p}	46,12^{g-i}	44,77^{i-m}	42,88^{no}		
	1500	42,80^{o}	44,41^{j-n}	43,60^{l-o}	42,95^{no}		
Bakteri Ort.		**48,89^{C}**	**50,22^{AB}**	**50,52^{A}**	**49,92^{B}**		

LSD Çeşit: 0,451 *** LSD Ç*B: 0,902 *** LSD Ç*B*D: 1,562 ***
LSD Bakteri:0,521 *** LSD Ç*D: 0,781 ***
LSD Doz: 0,451 *** LSD B*D: 0,902 ***

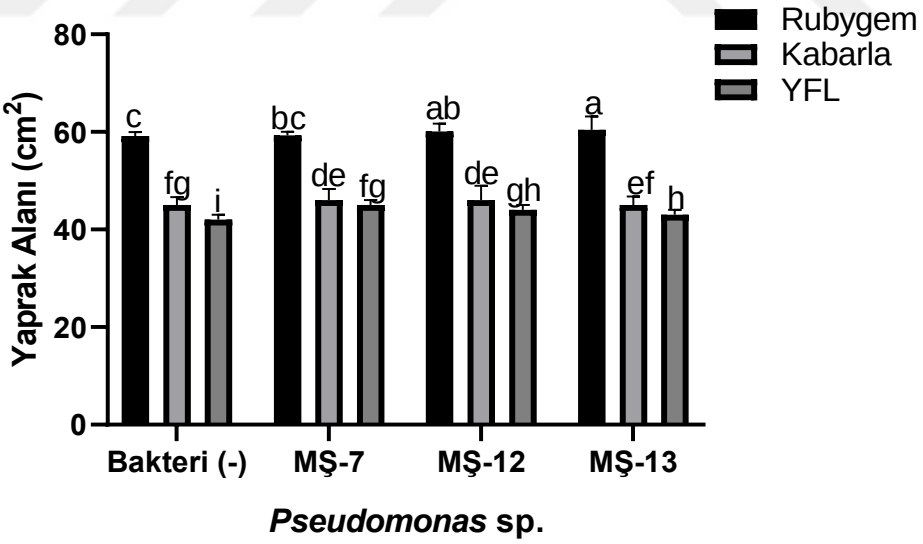
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Çalışmada, kurşun dozu artışı ile yaprak alanı azalmıştır. Çeşitler arasında en yüksek yaprak alanı Rubygem, en düşük ise YFL'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları ise yaprak alanını önemli ölçüde artırmış, en etkili uygulama MŞ-12 olmuştur. Kurşun dozu artışına göre yaprak alanı değişimi çilek çeşitlerine göre farklılık göstermiştir. Rubygem'de bakteri uygulanmamış bitkilerde doz artışına göre yükseliş, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarında azalma görülmüştür. Kabarla'da bakteri uygulanmamış bitkiler ve MŞ-12 bakteri suşu uygulanmış bitkilerde önce artış ve daha sonra 0 mg kg^{-1} Pb dozunun da altına inen bir azalış meydana gelmiştir. MŞ-7 ve MŞ-13

suşu uygulamalarında ise doz artışı ile birlikte azalma görülmüştür. YFL'de MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında önemli bir azalış, MŞ-7 suşunda önce artış, sonra bir azalış ve bakteri uygulanmamış bitkilerde doz artışıyla azalış ve sonrasında artış görülmüştür **(Tablo 25).**

Tüm çilek çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları, B-uygulamasına göre yaprak alanını artırmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde MŞ-7 ve MŞ-12, YFL'de tüm suşlarda yaprak alanları bakteri uygulanmamışlara göre daha yüksektir. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm suşlardan elde edilen yaprak alanları bakteri uygulanmamışlara göre daha düşük bulunmuştur. YFL'de ise diğer çilek çeşitlerinin aksine tüm suşlar bakteri uygulanmamış olanlara göre yaprak alanını artırmıştır **(Tablo 25).**

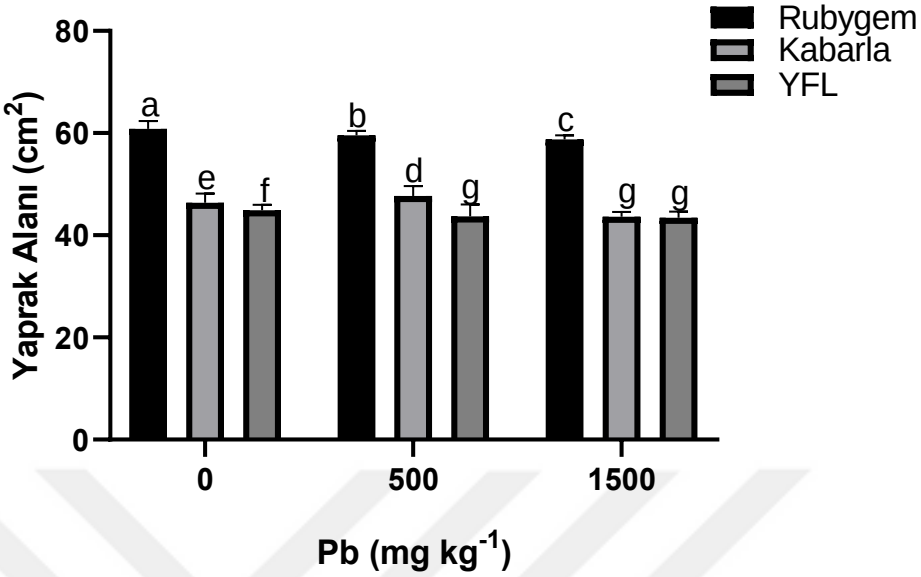
Yaprak alanı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en büyük yapraklar Rubygem'de MŞ-13 bakteri uygulamasından elde edilmiştir. Tüm bakteri uygulamalarında da en geniş yapraklar Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde, tüm suşlar bakteri uygulanmamış bitkilere göre yaprak alanını artırmıştır. Bunun yanında, tüm bakteri uygulamalarında en düşük yaprak alanı YFL'den elde edilmiştir **(Şekil 54).**



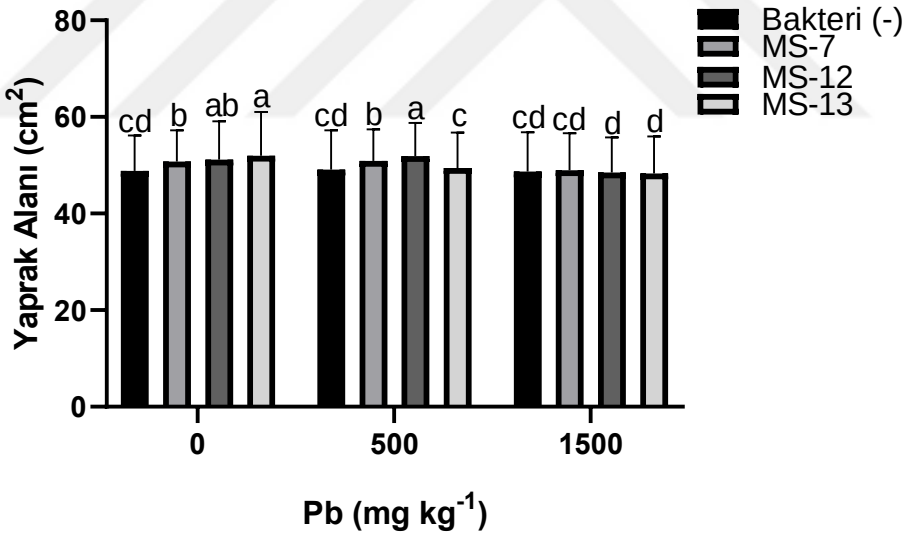
Şekil 54. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Yaprak alanı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Rubygem'de 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir. En düşük değerler ise YFL'den elde edilmiştir. Rubygem'de doz artışına bağlı olarak yaprak alanı azalmıştır. Kabarla'da ise düşük dozda artış görülmüştür. YFL çeşidinde doz

artışıyla azalma meydana gelmiştir **(Şekil 55).**



Şekil 55. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak alanı (cm^2) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 56. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak alanı (cm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Yaprak alanı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değer 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-13 suşundan elde edilmiştir. En düşük değerler ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiştir. MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarında 500 mg kg^{-1} Pb dozunda herhangi bir azalma olmazken, 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda azalma meydana gelmiştir. MŞ-13 suşunda ise doz artışı ile birlikte yaprak alanında azalma görülmüştür. Bakteri uygulanmamış olanlarda

ise doz artışına bağlı olan herhangi bir değişim meydana gelmemiştir **(Şekil 56).**

4.1.1.2.9. Bitki başına yaprak sayısı (adet)

Bitki başına yaprak sayısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,05$) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 26).**

Tablo 26. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine etkisi

Bitki Başına Yaprak Sayısı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**10,60^{A}**	
	0	10,44^{d-g}	11,22^{ab}	11,50^{a}	10,83^{b-d}		***0 mg/kg*** **10,42^{A}**
	500	10,06^{g-l}	10,33^{e-i}	11,00^{a-c}	10,44^{d-g}		
	1500	10,11^{f-k}	10,56^{d-f}	10,26^{e-i}	10,33^{e-i}		
Kabarla						**9,60^{C}**	
	0	9,72^{j-m}	10,17^{f-j}	9,94^{h-l}	9,61^{l-o}		***500mg/kg*** **10,29^{A}**
	500	10,28^{e-i}	9,67^{k-n}	10,06^{g-l}	9,04^{p}		
	1500	9,39^{m-p}	9,17^{op}	8,94^{p}	9,22^{n-p}		
YFL						**10,40^{B}**	
	0	10,28^{e-i}	10,67^{c-e}	10,54^{d-f}	10,11^{f-k}		***1500mg/kg*** **9,89^{B}**
	500	9,94^{h-l}	10,80^{b-d}	11,11^{a-c}	10,67^{c-e}		
	1500	9,89^{i-l}	10,39^{d-h}	10,06^{g-l}	10,33^{e-i}		
Bakteri Ort.		**10,01^{B}**	**10,33^{A}**	**10,39^{A}**	**10,06^{B}**		

LSD Çeşit: 0,130 *** LSD Ç*B: 0,259 *** LSD Ç*B*D: 0,450 *
LSD Bakteri: 0,150 *** LSD Ç*D: 0,225 ***
LSD Doz: 0,130 *** LSD B*D: 0,259 ***

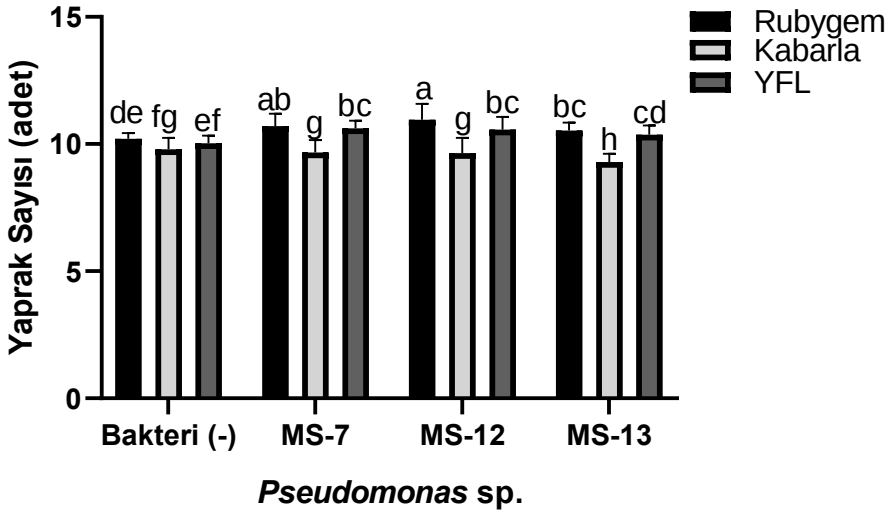
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışına bağlı olarak yaprak sayısı artmıştır. Çeşitler arasında en çok yaprak oluşturan Rubygem, en az ise Kabarla'dır. Bakteri uygulamaları ise yaprak sayısını artırmış ve en etkili suş MŞ-12 olmuştur. Rubygem'de, MŞ-12 ve MŞ-13 suşu uygulamalarında kurşun dozu artışına bağlı olarak yaprak sayıları azalmıştır. Diğer iki uygulamada ise önce azalmış, sonra artmıştır. YFL'de MŞ-7 suşunda doz artışı ile birlikte yaprak sayısı azalmışken, bakteri uygulanmamış bitkiler ve MŞ-12 suşu uygulanmış olanlarda önce artmış sonrasında azalmıştır. MŞ-13 suşu uygulamasında ise önce azalmış, sonrasında artmıştır. YFL'de ise tüm suşlarda yaprak sayıları kurşun dozu artışına bağlı

olarak önce artmış, sonrasında azalmıştır. Bakteri uygulanmamış bitkilerde ise doz artışına bağlı olarak yaprak sayısı azalmıştır **(Tablo 26).**

Çalışmada kullanılan Rubygem, Kabarla ve YFL çeşitlerinde, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7 ve MŞ-12 suşu uygulamaları bakteri uygulanmamış olanlardan daha fazla yaprak oluşturmuştur. Bunun yanında, Rubygem'de MŞ-13 suşu da bakteri uygulanmamış olanlara göre daha fazla yaprak meydana getirmiştir. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları; Rubygem ve YFL'de bakteri uygulanmamış olanlara göre yaprak sayısını artırmıştır. Kabarla'da B- ve MŞ-7 uygulamalarında doz artışı ile yaprak sayısı artmış, MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında ise azalmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulanmamış olanlara göre yaprak sayısını artırmıştır. Kabarla'da ise en yüksek değer B- uygulamasından elde edilmiştir **(Tablo 26).**

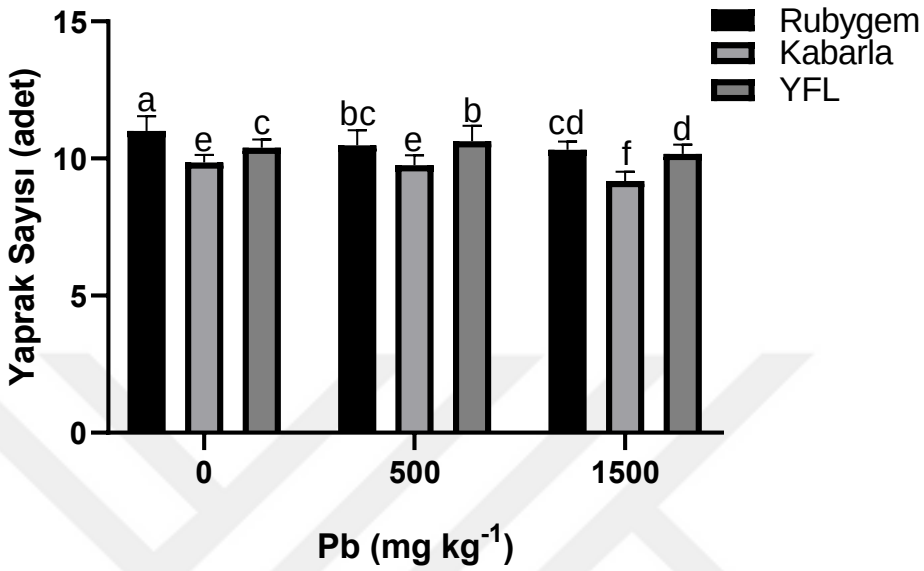
Bitki başına yaprak sayısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler tüm bakteri uygulamalarında Rubygem, en düşük değerler ise Kabarla'dan elde edilmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri suşu uygulamalarından elde edilen değerler bakteri uygulanmamış bitkilerden daha yüksek bulunmuştur. Kabarla'da ise bakteri suşu uygulamalarından elde edilen değerler bakteri uygulanmamış olanlara göre daha düşük bulunmuştur **(Şekil 57).**



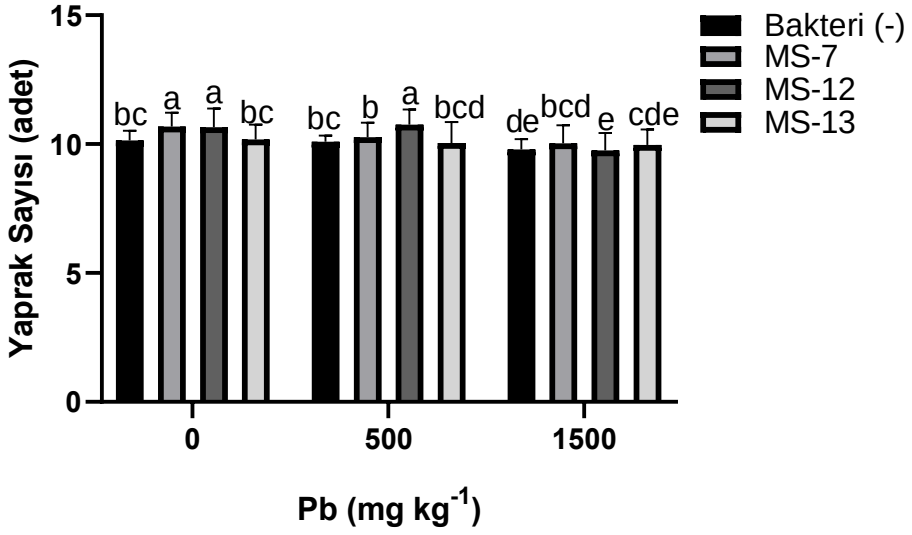
Şekil 57. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Bitki başına yaprak sayısı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değer 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem, en düşük değer

ise 500 mg kg^{-1} Pb dozunda Kabarla'dan elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde kurşun dozu artışına bağlı olarak yaprak sayısında azalma söz konusu iken, YFL'de önce artış, ardından bir azalış meydana gelmiştir **(Şekil 58).**



Şekil 58. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 59. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde bitki başına yaprak sayısı (adet) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Bitki başına yaprak sayısı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında yaprak sayısında azalma tespit edilmiştir. En yüksek değerler 0 ve 500 mg kg^{-1} Pb, en düşük değerler ise tüm bakteri uygulamalarında 1.500 mg kg^{-1} Pb dozundan elde

edilmiştir. Bunun yanında, B- ve MŞ-12 uygulamalarında 500 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilen yaprak sayıları, 0 mg kg^{-1} Pb dozu ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise bu iki uygulamada azalma görülmüştür **(Şekil 59).**

4.1.2. Pomolojik özellikler

4.1.2.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi

4.1.2.1.1. Ortalama meyve ağırlığı (g)

Ortalama meyve ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ($p<0,01$) ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 27).**

Tablo 27. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve ağrılığı (g) üzerine etkisi

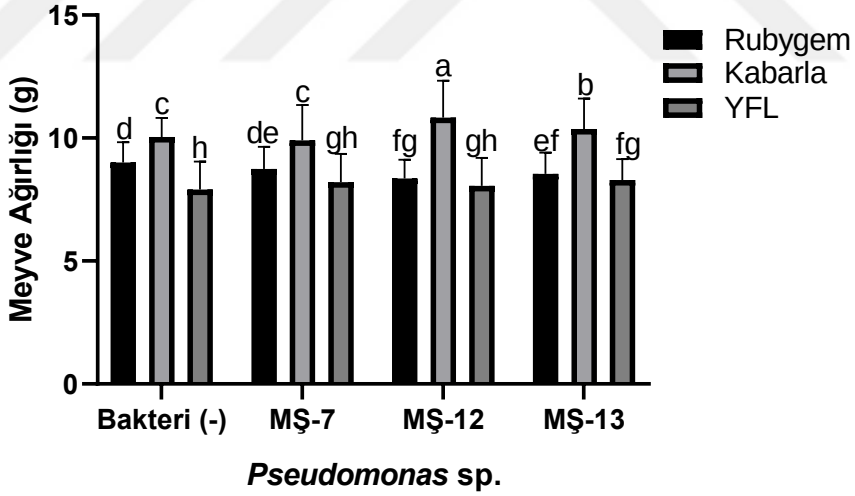
Ortalama Meyve Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**8,66^{B}**	
	0	9,63^{e-h}	9,84^{d-g}	9,12^{h-j}	9,55^{e-h}		**0 mg/kg 10,19^{A}**
	100	8,97^{i-k}	8,50^{k-m}	8,49^{k-m}	8,45^{k-n}		
	300	8,44^{k-n}	7,91^{n-q}	7,46^{qr}	7,62^{pq}		
Kabarla						**10,29^{A}**	
	0	10,88^{c}	11,53^{b}	12,75^{a}	11,39^{bc}		**100 mg/kg 8,95^{B}**
	100	10,08^{de}	9,93^{d-f}	10,26^{d}	10,94^{c}		
	300	9,16^{h-j}	8,25^{l-o}	9,49^{f-i}	8,76^{j-l}		
YFL						**8,12^{C}**	
	0	9,20^{h-j}	9,56^{e-h}	9,48^{f-i}	9,31^{g-i}		**300 mg/kg 7,93^{C}**
	100	7,88^{o-q}	8,09^{m-p}	7,72^{o-q}	8,08^{m-p}		
	300	6,64^{s}	6,96^{rs}	6,97^{rs}	7,50^{qr}		
Bakteri Ort.		**8,99**	**8,95**	**9,07**	**9,08**		

LSD Çeşit: 0,157 *** LSD Ç*B: 0,314 *** LSD Ç*B*D: 0,544 ***
LSD Bakteri: Ö.D. LSD Ç*D: 0,272 ***
LSD Doz: 0,157 *** LSD B*D: 0,314 **

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Tüm uygulamaların ortalamalarına göre kadmiyum dozu artışı ile birlikte meyve ağırlıkları azalmış olup, bakteri uygulamalarının ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi

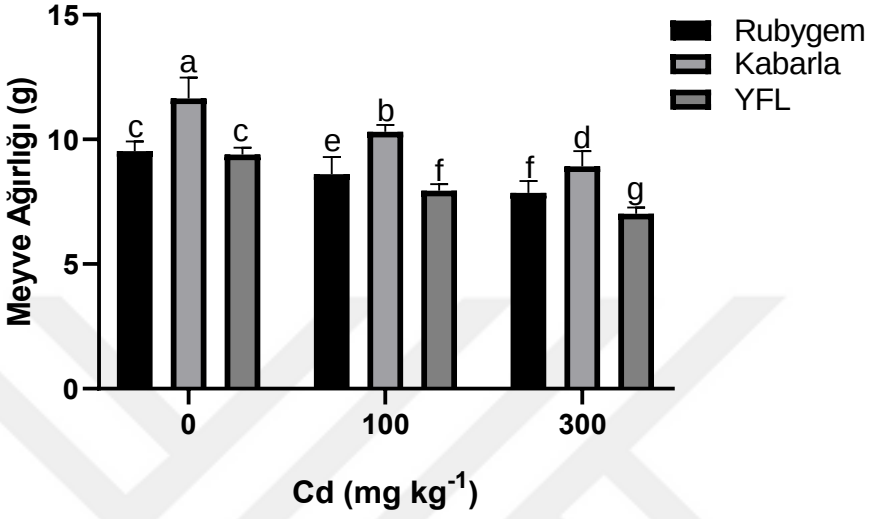
istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En ağır meyveler Kabarla'dan, en hafif meyveler ise YFL'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları Rubygem'de tüm kadmiyum dozlarında (0 mg kg^{-1} Cd MŞ-7 suşu dışında) ortalama meyve ağırlığını B- uygulamasına göre (özellikle 300 mg kg^{-1} Cd dozunda) azaltmıştır. Ayrıca, tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve ağırlığı azalmıştır. Kabarla'da Rubygem'in aksine, özellikle 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında bakteri uygulamaları B-uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise sadece MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre etkili olmuştur. Diğer uygulamalardan elde edilen değerler ise B- uygulamasına göre oldukça düşük bulunmuştur. Ayrıca, tüm bakteri uygulamalarında Rubygem'e benzer şekilde kadmiyum dozu artışı ile ortalama meyve ağırlığı önemli oranda azalmıştır. YFL'de ise bakteri uygulamalarında (100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 suşu dışında) ortalama meyve ağırlığı B- uygulamasına göre daha yüksek bulunmuştur. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm suşlar artış sağlamışken, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşu bu etkiyi meydana getirmiştir **(Tablo 27).**



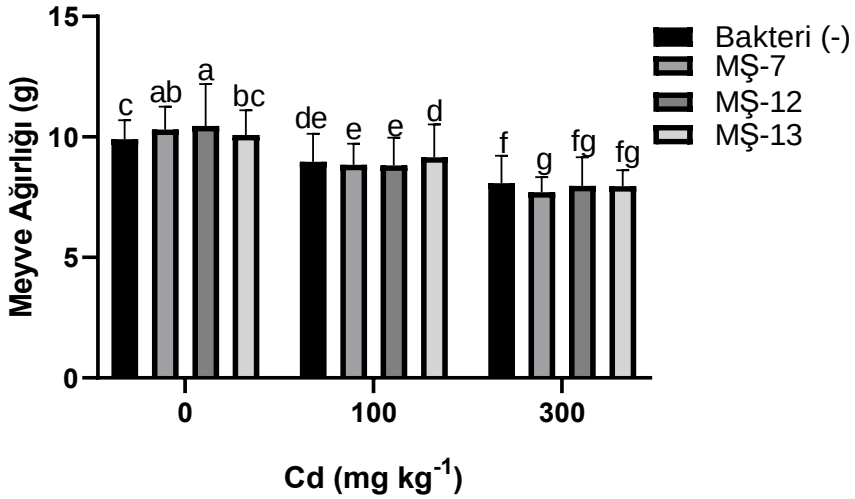
Şekil 60. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Kabarla ve YFL çeşitlerine 0 mg kg^{-1} Cd dozunda uygulanan suşlar B-uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmıştır. Rubygem'de ise yalnızca MŞ-7 suşu B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem'de bakteri suşları B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını azaltmıştır. Kabarla'da MŞ-12 ve MŞ-13; YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları B-

uygulamasına göre meyve ağırlığını artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını daha fazla azaltmış olmasına karşın, YFL'de B- uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. Kabarla'da ise MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmıştır **(Tablo 27).**



Şekil 61. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağrılığı (g) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 62. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Ortalama meyve ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler tüm bakteri uygulamalarında Kabarla, en düşük değerler YFL çeşidinden elde edilmiştir. Kabarla'da MŞ-12 ve MŞ-13 uygulamalarında en yüksek değerler elde edilmiştir. Rubygem'de suşlar ortalama meyve ağırlığını azaltmış

olmasına karşın, YFL'de artırmıştır **(Şekil 60).**

Ortalama meyve ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde doz artışı ile birlikte tüm çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı azalmıştır. En yüksek değerler tüm dozlarda Kabarla, en düşük değerler ise YFL çeşidinden elde edilmiştir **(Şekil 61).**

Ortalama meyve ağırlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında ortalama meyve ağırlığı azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm suşlar B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmış olmasına rağmen, kadmiyum dozu arttıkça azalmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 uygulamasında ortalama meyve ağırlığı değerleri B- uygulamasının da altına inmiştir. Bununla birlikte, 100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşu uygulamasında ortalama meyve ağırlığı değerleri diğer tüm uygulamalardan yüksek bulunmuştur **(Şekil 62).**

4.1.2.1.2. Ortalama meyve boyu (mm)

Ortalama meyve boyu üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 28).**

Tüm uygulamaların ortalamalarına göre kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyu önemli ölçüde azalmıştır. MŞ-13 suşu ortalama meyve boyunu azaltmışken diğer iki suş artırmıştır. En uzun meyveler Kabarla, en kısa meyveler ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri suşu uygulamaları Rubygem'de özellikle 300 mg kg^{-1} Cd dozunda etkisiz kalmıştır. Bununla birlikte, MŞ-12 suşu tüm kadmiyum dozlarında B- uygulamasına göre ortalama meyve boyunu artırmıştır. Bununla birlikte, tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyu önemli ölçüde azalmıştır. Kabarla'da da MŞ-12 suşu diğer suşlar ve B- uygulamasına göre özellikle 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında ortalama meyve boyunu önemli ölçüde artırmış, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda B- uygulamasına göre azaltmıştır. Diğer suşlar ise yalnızca 0 mg kg^{-1} Cd dozunda B- uygulamasına göre ortalama meyve boyunu artırmıştır. Ayrıca, Rubygem çeşidi ile benzer şekilde kadmiyum dozu artışı ile ortalama meyve boyu önemli ölçüde kısalmıştır. YFL'de ise diğer çilek çeşitlerinin aksine MŞ-12 suşu B-

uygulamasına göre kadmiyum dozlarında ortalama meyve boyunu kısaltmışken, MŞ-7 ve MŞ-13 suşları (0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-13 suşu dışında) B- uygulamasına göre artırmıştır. Diğer çilek çeşitlerinde olduğu gibi tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyu önemli ölçüde azalmıştır **(Tablo 28).**

Tablo 28. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve boyu (mm) üzerine etkisi

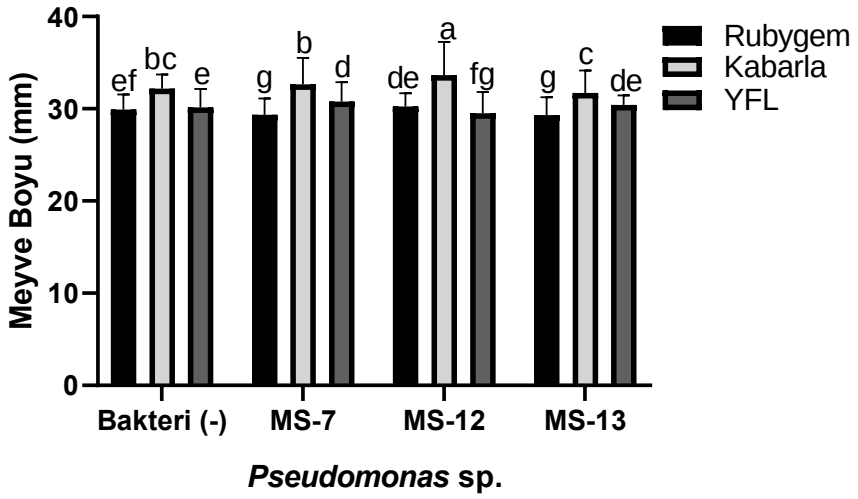
Ortalama Meyve Boyu		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**29,71^{C}**	
	0	31,55^{f-i}	31,22^{g-k}	31,80^{fg}	31,33^{g-j}		***0 mg/kg*** **33,20^{A}**
	100	29,90^{l-n}	29,42^{m-o}	30,35^{j-m}	29,58^{mn}		
	300	28,32^{pq}	27,38^{q-s}	28,59^{op}	27,02^{s}		
Kabarla						**32,55^{A}**	
	0	33,87^{cd}	36,32^{b}	38,23^{a}	34,49^{c}		***100 mg/kg*** **30,58^{B}**
	100	32,02^{fg}	31,66^{f-i}	32,46^{ef}	31,70^{f-h}		
	300	30,70^{i-l}	29,95^{l-n}	30,24^{k-m}	29,00^{n-p}		
YFL						**30,22^{B}**	
	0	32,51^{ef}	33,13^{de}	32,33^{ef}	31,60^{f-i}		***300 mg/kg*** **28,70^{C}**
	100	29,86^{l-n}	30,70^{h-l}	29,06^{n-p}	30,18^{lm}		
	300	28,08^{p-r}	28,55^{op}	27,17^{rs}	29,43^{m-o}		
Bakteri Ort.		**30,76^{BC}**	**30,93^{AB}**	**31,14^{A}**	**30,48^{C}**		

LSD Çeşit: 0,286 *** LSD Ç*B: 0,573 *** LSD Ç*B*D: 0,992 ***
LSD Bakteri: 0,331 ** LSD Ç*D: 0,496 ***
LSD Doz: 0,286 *** LSD B*D: 0,573 ***

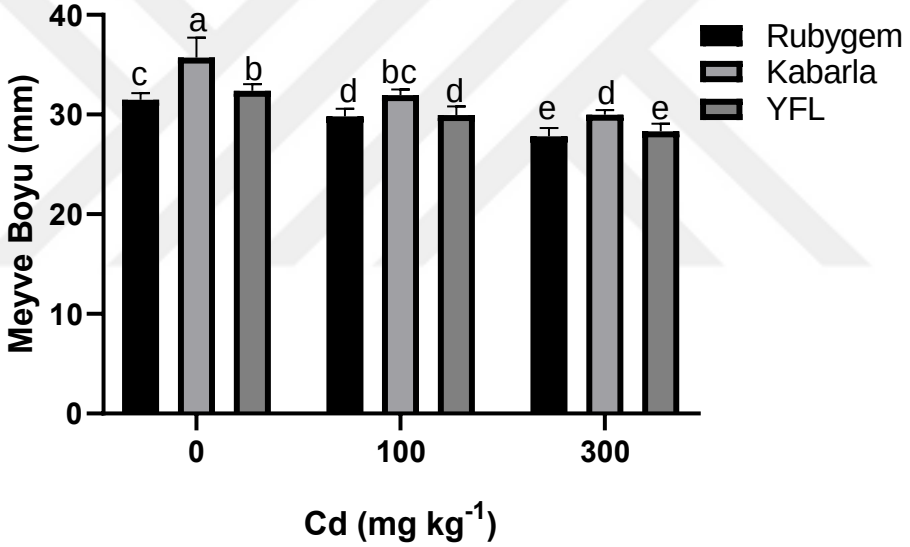
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından elde edilen ortalama meyve boyu değerleri B- uygulamasından düşük olmasına karşın, Kabarla'da durum bunun aksidir. Rubygem'de MŞ-12 suşu, B- uygulamasına göre meyve uzunluklarını artırmıştır. YFL'de ise MŞ-7 suşu dışındaki suşlar B- uygulamasına göre meyve uzunluğunu azaltmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre meyve uzunluğunu artırmış olup, YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları B- uygulamasından daha iyi sonuç vermiştir. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem'de en yüksek meyve uzunluğu MŞ-12, Kabarla'da B- uygulamasından elde edilmiştir. YFL çeşidinde ise yine MŞ-7 ve MŞ-13 suşları en etkili uygulamalar olmuştur **(Tablo 28).**

Ortalama meyve boyu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinde bulunmuştur. MŞ-7 suşu YFL, MŞ-12 suşu Rubygem ve Kabarla, MŞ-13 suşu ise YFL çeşitlerinde ortalama meyve boyunu artırmıştır **(Şekil 63).**



Şekil 63. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

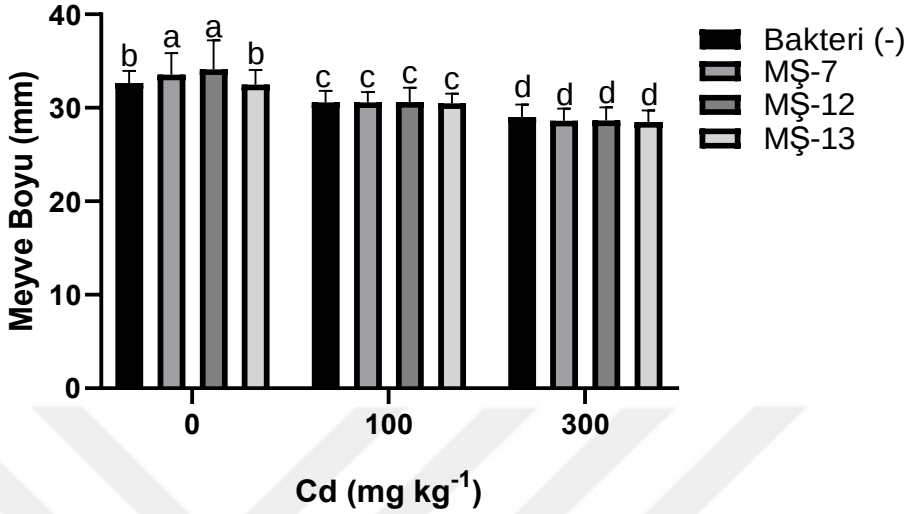


Şekil 64. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Ortalama meyve boyu üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak meyve boyunun azaldığı belirlenmiştir. En yüksek değerler tüm kadmiyum dozlarında Kabarla, en düşük değerler Rubygem çeşidinden elde edilmiştir **(Şekil 64).**

Ortalama meyve boyu üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde tüm bakteri suşlarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyu azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 ve MŞ-12 suşu uygulamaları ortalama meyve boyunu artırmış olmasına rağmen, kadmiyum dozu artışına

bağlı olarak olumlu etki azalmıştır. 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise tüm bakteri suşları aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 65).**



Şekil 65. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve boyu (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.2.1.3. Ortalama meyve eni (mm)

Ortalama meyve eni üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 29).**

Tüm uygulamaların ortalamalarına göre kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve eni azalmıştır. Bakteri uygulamalarında en yüksek değer MŞ-12 suşundan elde edilmiş olmasına karşın, diğer iki suş B- uygulamasına göre ortalama meyve enini azaltmıştır. Çeşitler arasında en yüksek değer Kabarla, en düşük değer ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları Rubygem'de kadmiyum dozlarında (0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 suşları dışında) ortalama meyve enini azaltmıştır. Bununla birlikte, MŞ-7 suşu dışındaki bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve eni azalmıştır. Kabarla'da ise Rubygem'in aksine 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında suşlar B- uygulamasına göre ortalama meyve enini önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda B-uygulamasında ortalama meyve eni artmış, bakteri uygulamalarında ise kadmiyum dozu artışı ile azalma devam etmiştir. Buna bağlı olarak, bakteri suşlarında kadmiyum dozu

artışı ile ortalama meyve eni azalmışken, benzer etki ortaya koyan B- uygulamasında 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ortalama meyve eni artış göstermiştir. YFL'de ise bakteri suşları tüm kadmiyum dozlarında B- uygulamasına göre etkili bulunmuş ve ortalama meyve enini aynı dozda B- uygulamasına göre artırmıştır. Tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve eni azalmıştır **(Tablo 29).**

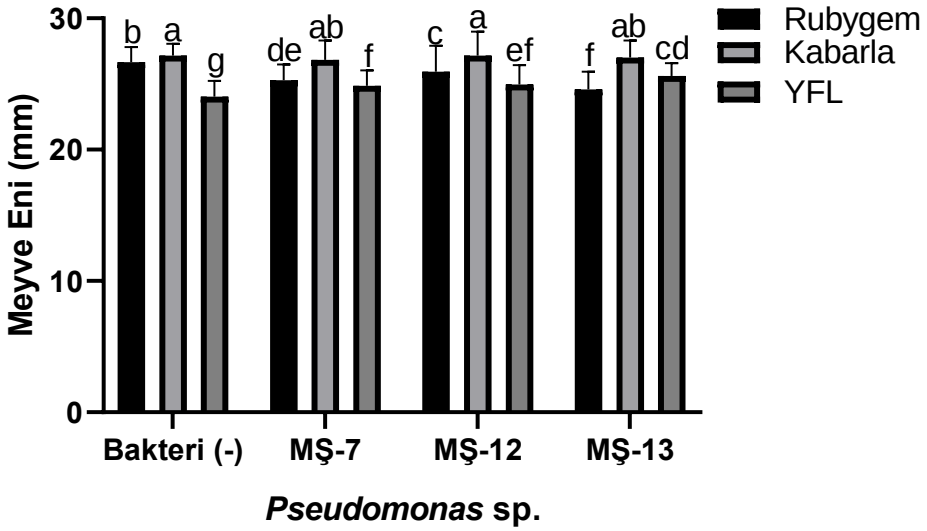
Tablo 29. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve eni (mm) üzerine etkisi

Ortalama Meyve Eni		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**25,63^{B}**	
	0	27,49^{d-f}	26,57^{hi}	27,85^{c-e}	26,26^{i-k}		***0 mg/kg*** **27,26^{A}**
	100	27,28^{e-g}	25,38^{m}	24,67^{hi}	23,93^{n-p}		
	300	25,26^{m}	25,95^{n-p}	23,51^{pq}	23,56^{pq}		
Kabarla						**27,05^{A}**	
	0	27,99^{b-d}	28,55^{b}	29,51^{a}	28,42^{bc}		***100 mg/kg*** **25,88^{B}**
	100	24,70^{d-f}	27,71^{g-i}	26,32^{i}	27,08^{f-h}		
	300	26,12^{i-l}	25,23^{m}	25,60^{k-m}	25,57^{lm}		
YFL						**24,87^{C}**	
	0	25,22^{m}	26,31^{ij}	26,28^{ij}	26,71^{g-i}		***300 mg/kg*** **24,87^{C}**
	100	24,26^{no}	24,51^{n}	25,50^{lm}	25,66^{j-m}		
	300	22,61^{r}	23,79^{op}	23,08^{qr}	24,47^{n}		
Bakteri Ort.		**25,96^{AB}**	**25,67^{C}**	**26,02^{A}**	**25,74^{C}**		

LSD Çeşit: 0,193 *** LSD Ç*B: 0,387 *** LSD Ç*B*D: 0,670 ***
LSD Bakteri: 0,223 ** LSD Ç*D: Ö.D
LSD Doz: 0,193 *** LSD B*D: 0,387 ***

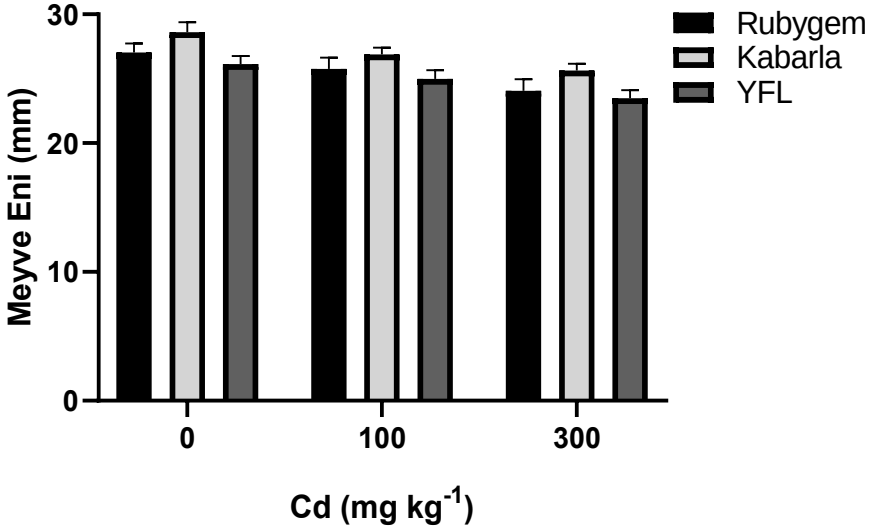
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

0 mg kg^{-1} Cd uygulamasında Rubygem çeşidinde sadece MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre ortalama meyve enini artırmış olmasına rağmen, Kabarla ve YFL çeşitlerinde tüm suşlar meyve enini artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd uygulamasında Rubygem'de hiçbir bakteri uygulaması B- uygulamasına göre meyve enini artırmamışken, Kabarla ve YFL'de tüm suşlar artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd uygulamasında ise Rubygem çilek çeşidinde MŞ-7 suşu ve YFL'de tüm suşlar B- uygulamasına göre daha etkili olmuştur. Kabarla'da ise B- uygulamasında meyve enleri bakteri uygulamalarına göre daha yüksek olmuştur **(Tablo 29).**



Şekil 66. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Ortalama meyve eni üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Kabarla'da en yüksek değerler B- ve MŞ-12 uygulamalarından elde edilmiştir. Rubygem'de ise bakteri suşu uygulamalarından elde edilen değerler B- uygulamasına göre daha düşüktür. Buna karşın, YFL'de bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre ortalama meyve enini artırmıştır **(Şekil 66).**

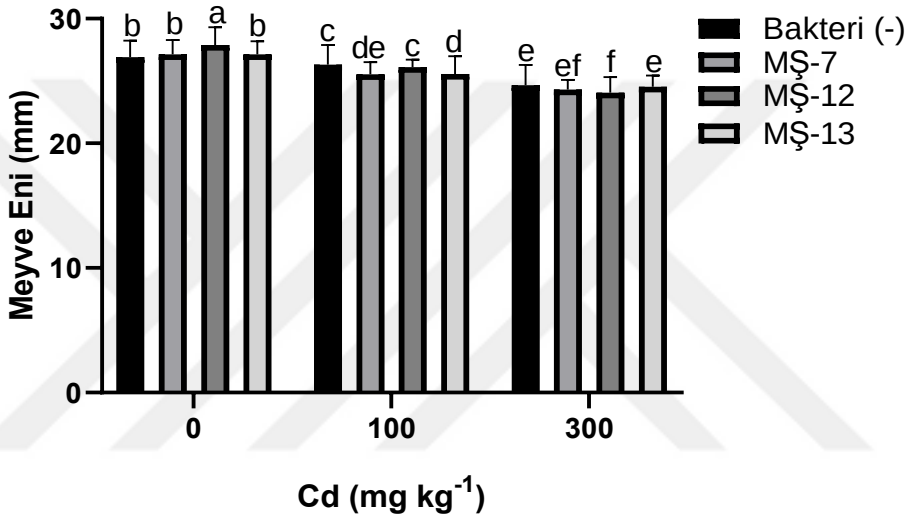


Şekil 67. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Ortalama meyve eni üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun

etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur **(Şekil67).**

Ortalama meyve eni üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Cd dozundan elde edilmiştir. Doz artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında ortalama meyve eni azalmıştır. Bununla birlikte, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri suşu uygulamaları B- uygulamasına göre ortalama meyve enini artırmışken, kadmiyum dozu artışı ile azaltmıştır. 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozunda B- uygulamasında ortalama meyve eni bakteri suşlarına göre yüksek bulunmuştur **(Şekil 68).**



Şekil 68. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve eni (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.2.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi

4.1.2.2.1. Ortalama meyve ağırlığı (g)

Ortalama meyve ağırlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,05$) ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,01$) interaksiyonlarının etkisi istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 30).**

Kurşun dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Bakteri uygulamaları arasında en etkili olarak MŞ-13 suşu tespit edilmiştir.

Diğer bakteri suşları B- uygulaması ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Çeşitler arasında en büyük meyveler Kabarla, en küçük meyveler ise YFL'den elde edilmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı 500 mg kg^{-1} Pb dozunda bakteri uygulamalarında B- uygulamasına göre artmışken, 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'de bu artış görülmüştür **(Tablo 30).**

Tablo 30. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine etkisi

Ortalama Meyve Ağırlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**8,90^{B}**	
	0	9,49^{g-i}	10,09^{de}	9,87^{e-g}	11,27^{b}		***0 mg/kg*** **10,44^{A}**
	500	8,25^{m-p}	9,02^{kl}	8,44^{mn}	9,86^{e-g}		
	1500	7,40st	7,88^{pq}	7,98^{o-q}	8,44^{mn}		
Kabarla						**10,29^{A}**	
	0	11,45^{b}	11,48^{b}	11,46^{b}	12,96^{a}		***500 mg/kg*** **8,97^{B}**
	500	10,41^{cd}	9,65^{f-h}	9,80^{e-h}	10,71^{c}		
	1500	8,61^{m}	8,31^{m-o}	8,63^{lm}	10,03^{d-f}		
YFL						**8,09^{C}**	
	0	9,03^{j-l}	9,43^{h-j}	9,11^{i-k}	9,61^{gh}		***1500 mg/kg*** **7,97^{C}**
	500	7,85^{qr}	7,66^{q-s}	7,91^{pq}	8,04^{n-q}		
	1500	7,13^{tu}	6,89^{u}	6,91^{u}	7,47^{r-t}		
Bakteri Ort.		**8,85^{B}**	**8,93^{B}**	**8,90^{B}**	**9,82^{A}**		

LSD Çeşit: 0,116 *** LSD Ç*B: 0,232 *** LSD Ç*B*D: 0,402 **
LSD Bakteri: 0,134 *** LSD Ç*D: 0,201 ***
LSD Doz: 0,116 *** LSD B*D: 0,232 *

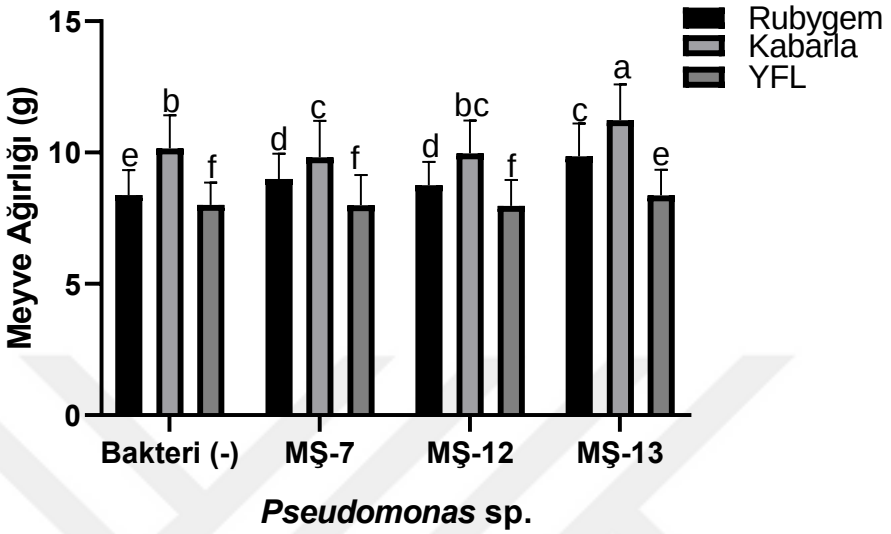
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

0 mg kg^{-1} Pb dozunda tüm bakteri uygulamalarında ortalama meyve ağırlığı bakteri uygulanmamış olanlara göre, üç çeşitte de yüksek bulunmuştur. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda B- uygulamasına göre, Rubygem'de tüm suşlar, Kabarla'da MŞ-13, YFL'de ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları ortalama meyve ağırlığını artırmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda da, 500 mg kg^{-1} Pb'ye benzer şekilde Rubygem'de de tüm suşlar B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmıştır. Kabarla'da ise MŞ-12 ve MŞ-13 ile YFL'de MŞ-13 suşları da B- uygulamalarına göre ortalama meyve ağırlığını artırmıştır **(Tablo 30).**

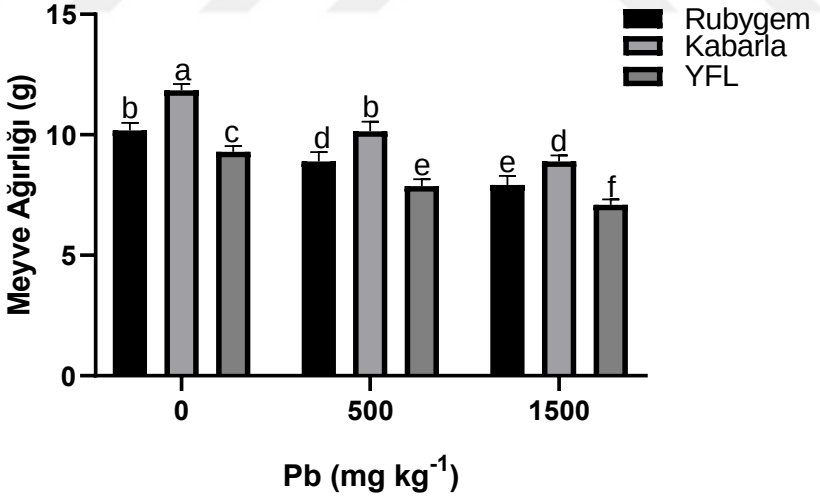
Ortalama meyve ağırlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Üç çilek çeşidinde de MŞ-13 suşu en etkili uygulama olmuştur. Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre ortalama meyve ağırlığını artırmış olmasına karşın, Kabarla ve YFL'de sadece MŞ-13 suşu artırmıştır **(Şekil 69).**

Ortalama meyve ağırlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun

etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler YFL çeşidinden elde edilmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde kurşun dozu artışına bağlı olarak meyve ağırlığı azalmıştır **(Şekil 70).**



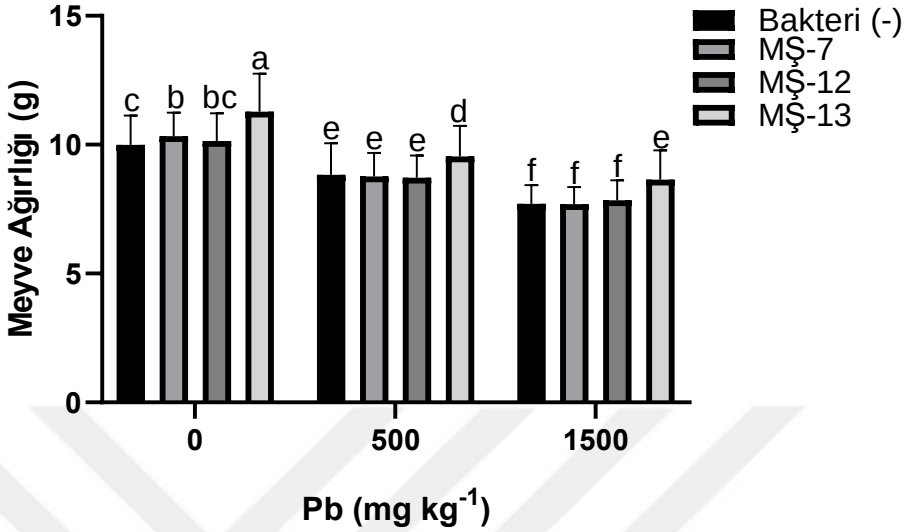
Şekil 69. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 70. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Ortalama meyve ağırlığı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler MŞ-13 suşundan elde edilmiştir. Kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri suşlarında ortalama meyve ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Bakteri suşu uygulamalarında kurşun dozu artışı ile ortalama meyve ağırlığı azalmış olmasına karşın, B- uygulamasında azalma daha düşüktür. Kurşun yokluğunda

bakteri suşlarına göre ortalama meyve ağırlığını azaltan B- uygulaması, yüksek dozda MŞ-7 ve MŞ-12 ile aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 71).**



Şekil 71. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığı (g) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.2.2.2. Ortalama meyve boyu (mm)

Ortalama meyve boyu üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları ve *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,01$) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 31).**

Kurşun dozlarının ortalama meyve boyu üzerine etkisi doz artışına bağlı olarak olumsuz olmuştur. Buna karşın bakteri uygulamalarından MŞ-7 diğerlerine göre meyve enini artırmıştır. Çeşitler arasında en yüksek ortalama meyve boyu Kabarla, en düşük ise YFL çeşidinde belirlenmiştir. Düşük kurşun dozlarında ortalama meyve boyunu artıran bakteri uygulamaları doz arttıkça etki etmemiş veya B- uygulamasına göre ortalama meyve boyunu azaltmıştır. Özellikle MŞ-13 suşu doz arttıkça ortalama meyve boyunu azaltmıştır **(Tablo 31).**

Çalışmada, çilek çeşidi x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur **(Tablo 31).**

Ortalama meyve boyu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde en etkili bakteri suşu MŞ-7 iken, YFL'de MŞ-12 olmuştur **(Şekil**

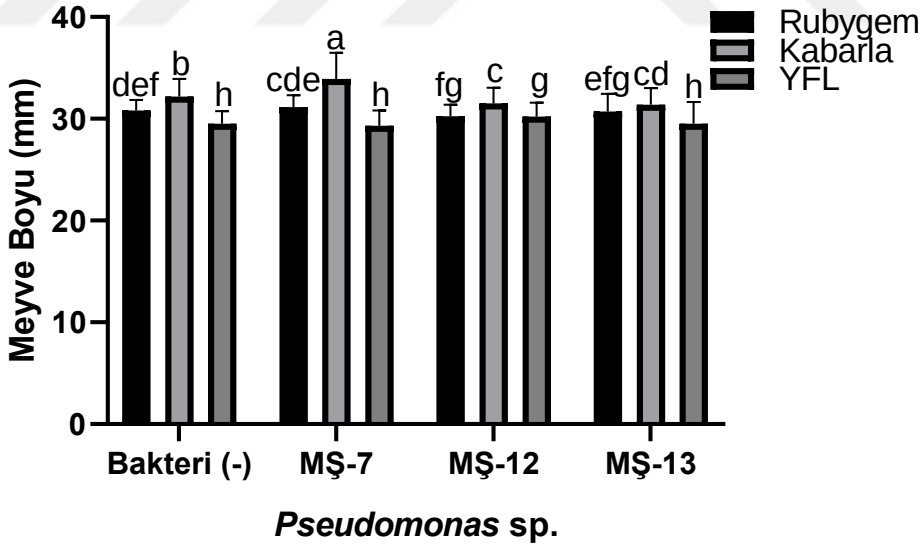
72).

Tablo 31. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve boyu (mm) üzerine etkisi

Ortalama Meyve Boyu		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**30,73^{B}**	
	0	31,60	32,15	31,43	32,41		***0 mg/kg*** **32,54^{A}**
	500	31,05	31,53	29,97	31,04		
	1500	29,79	29,76	29,36	28,66		
Kabarla						**32,24^{A}**	
	0	33,99	36,97	33,18	33,41		***500 mg/kg*** **30,87^{B}**
	500	32,99	34,10	31,41	30,95		
	1500	30,15	30,99	29,94	29,75		
YFL						**29,65^{C}**	
	0	30,98	30,90	31,79	31,99		***1500 mg/kg*** **29,21^{C}**
	500	29,14	29,50	29,97	29,40		
	1500	28,43	27,60	28,91	27,15		
Bakteri Ort.		**30,84^{B}**	**31,47^{A}**	**30,66^{B}**	**30,53^{B}**		

LSD Çeşit: 0,286 *** LSD Ç*B: 0,571 *** LSD Ç*B*D: 0,990 Ö.D
LSD Bakteri: 0,330 *** LSD Ç*D: 0,495 ***
LSD Doz: 0,286 *** LSD B*D: 0,571 **

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

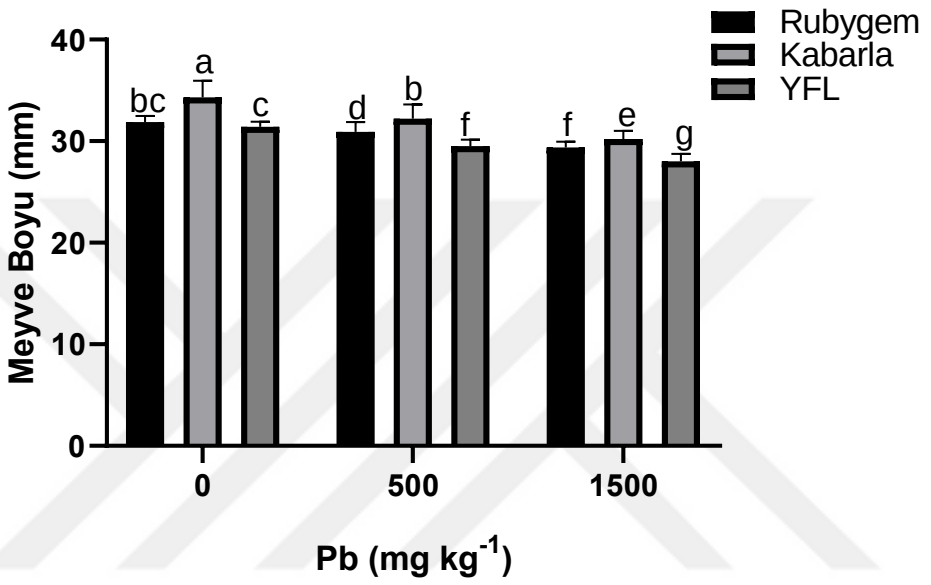


Şekil 72. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

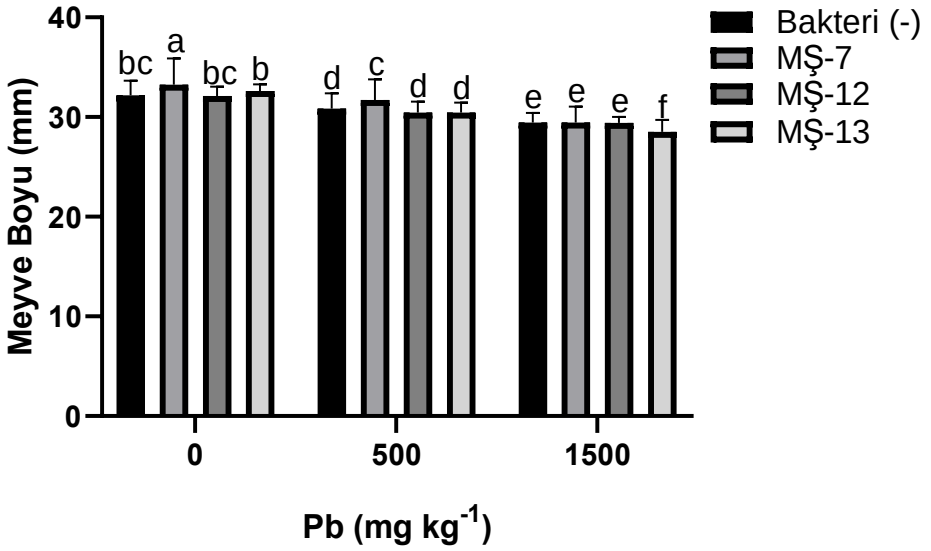
Ortalama meyve boyu üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyunun azaldığı görülmüştür. En yüksek değerler tüm kurşun dozlarında Kabarla, en düşük değerler ise YFL'den elde edilmiştir. Kabarla ile diğer çilek çeşitleri arasındaki fark 0 mg kg^{-1} Pb

dozunda belirgin iken, doz arttıkça fark azalmıştır **(Şekil 73).**

Ortalama meyve boyu üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve boyu azalmıştır. 0 ve 500 mg kg^{-1} Pb dozlarında MŞ-7 suşu ortalama meyve boyu üzerine olumlu etki etmişken, 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda bu etki ortadan kalkmıştır. MŞ-13 suşunda ise etki olumsuza dönmüştür **(Şekil 74).**



Şekil 73. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve boyu (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 74. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve boyu (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.2.2.3. Ortalama meyve eni (mm)

Ortalama meyve eni üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,05$), kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları ($p<0,01$), *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,05$) ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,01$) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 32).**

Kurşun dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve eni azalmış olup, bakteri suşları arasında MŞ-7 ve MŞ-12 ortalama meyve enini artırmıştır. Kabarla çeşidi en yüksek ortalama meyve eni değerlerine sahipken, en düşük değerler YFL'de tespit edilmiştir. Bunların yanında, kurşun dozu artışı ile meydana gelen ortalama meyve eni azalmasına bakteri suşları özellikle Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde engel olmuş ve B- uygulamasına göre ortalama meyve enini yüksek dozlarda artırmıştır **(Tablo 32).**

Tablo 32. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde ortalama meyve eni (mm) üzerine etkisi

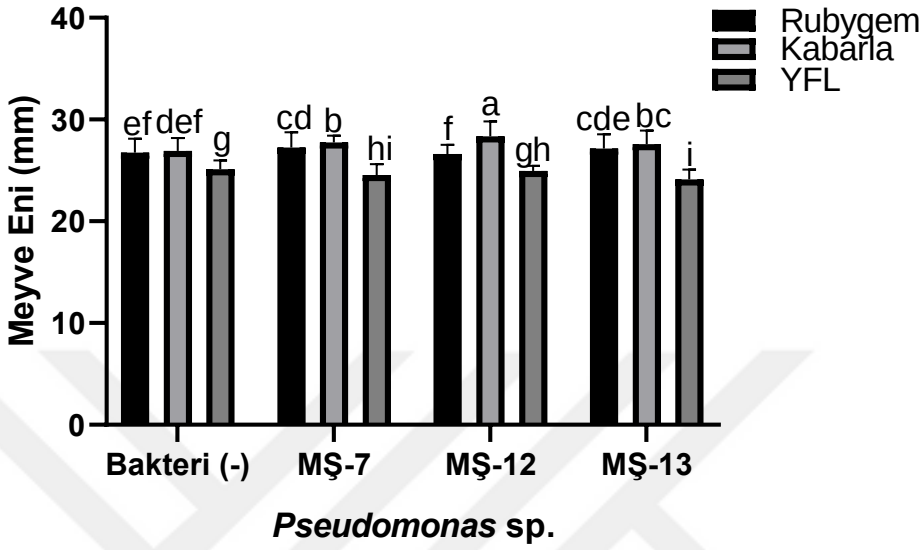
Ortalama Meyve Eni		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**26,95^{B}**	
	0	27,90^{d-g}	28,70^{bc}	27,66^{fg}	28,63^{b-d}		***0 mg/kg*** **27,46^{A}**
	500	27,34^{gh}	27,58^{fg}	26,43^{i-k}	27,30^{gh}		
	1500	25,03^{n-q}	25,45^{l-o}	25,79^{k-n}	25,52^{l-o}		
Kabarla						**27,64^{A}**	
	0	27,95^{c-g}	28,22^{c-f}	29,87^{a}	29,07^{b}		***500mg/kg*** **26,64^{B}**
	500	27,45^{f-h}	27,77^{e-g}	28,49^{b-e}	27,50^{fg}		
	1500	25,33^{m-o}	27,21^{g-i}	26,68^{h-j}	26,14^{j-l}		
YFL						**24,68^{C}**	
	0	25,86^{k-m}	25,31^{m-p}	25,30^{m-p}	24,99^{o-q}		***1500mg/kg*** **25,18^{C}**
	500	25,35^{m-o}	25,10^{m-p}	25,02^{n-q}	24,30^{qr}		
	1500	24,11^{r}	23,26^{s}	24,54^{p-r}	23,05^{s}		
Bakteri Ort.		**26,26^{B}**	**26,51^{AB}**	**26,64^{A}**	**26,28^{B}**		

LSD Çeşit: 0,226 *** LSD Ç*B: 0,452 *** LSD Ç*B*D: 0,783 **
LSD Bakteri: 0,261 * LSD Ç*D: 0,392 **
LSD Doz: 0,226 *** LSD B*D: 0,452 *

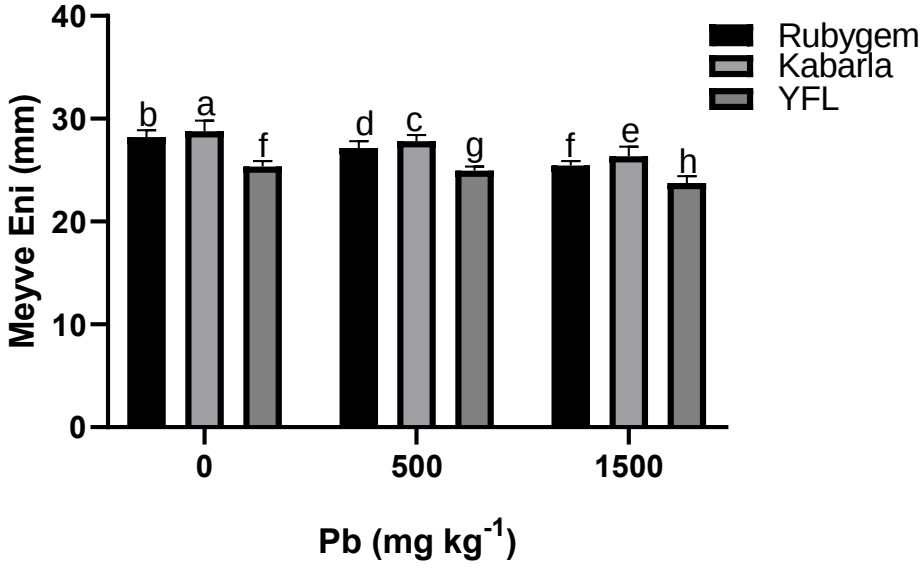
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13, Kabarla'da ise tüm suşlar B- uygulamasına göre meyve enini artırmıştır. YFL'de ise bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından daha düşük kalmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem'de MŞ-7, Kabarla'da ise MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları B- uygulamasına göre etkili bulunmuştur. YFL'de ise tüm suşlar B- uygulamasına göre

etkisiz kalmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde tüm suşlar, YFL'de ise MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre ortalama meyve enini artırmıştır **(Tablo 32).**



Şekil 75. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



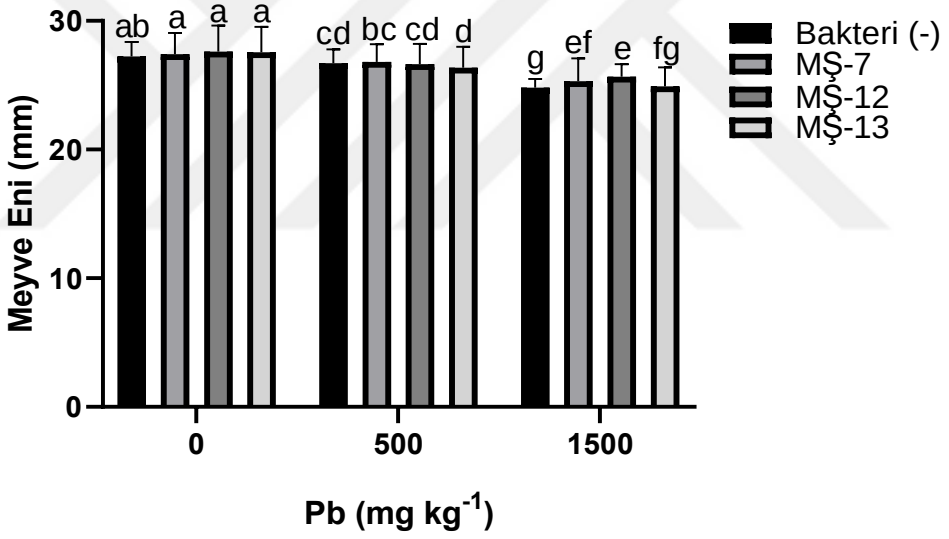
Şekil 76. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin ortalama meyve eni (mm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Ortalama meyve eni üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, tüm bakteri uygulamalarında en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise YFL çilek çeşidinden elde edilmiştir. Kabarla çeşidinde MŞ-12, Rubygem

çeşidinde MŞ-7 suşu en iyi sonucu vermiştir. YFL'de ise tüm suşlardan elde edilen ortalama meyve eni B- uygulamasına göre daha düşük bulunmuştur **(Şekil 75).**

Ortalama meyve eni üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Üç çilek çeşidinde de kurşun dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve eni azalmıştır. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde kurşun dozu artışına bağlı olan azalış YFL'ye göre daha fazladır **(Şekil 76).**

Ortalama meyve eni üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında ortalama meyve eni azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Pb dozunda bakteri suşları ortalama meyve eni üzerine B- uygulamasına göre daha etkili olsa da, MŞ-13 suşu dışında yüksek kurşun dozlarında bu fark daha belirgindir. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise aradaki fark artmıştır **(Şekil 77).**



Şekil 77. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde ortalama meyve eni (mm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3. Fizyolojik özellikler

4.1.3.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi

4.1.3.1.1. SPAD

SPAD değeri üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları,

çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları (p<0,01), çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 33).**

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak SPAD değeri artmıştır. B- ve MŞ-12 uygulamaları en yüksek SPAD değerlerini meydana getirmiştir. Çeşitler arasında en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler YFL'den elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak bakteri uygulamalarında SPAD değeri artmıştır. YFL'de ise önce artmış, sonra azalmıştır **(Tablo 33).**

Tablo 33. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde SPAD değeri üzerine etkileri

SPAD		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**51,60^{B}**	
	0	52,71^{d-f}	50,25^{n}	52,66^{d-f}	50,68^{l-n}		**0 mg/kg 51,60^{B}**
	100	50,91^{k-n}	52,10^{d-i}	51,42^{i-l}	52,40^{d-g}		
	300	52,66^{d-f}	51,43^{i-l}	51,63^{g-k}	50,40^{mn}		
Kabarla						**53,26^{A}**	
	0	51,52^{h-l}	52,66^{d-f}	53,57^{bc}	51,94^{f-j}		**100 mg/kg 52,27^{A}**
	100	52,91^{cd}	52,83^{c-e}	53,86^{b}	52,53^{d-f}		
	300	54,84^{a}	53,94^{b}	54,20^{ab}	54,39^{ab}		
YFL						**51,30^{C}**	
	0	50,67^{l-n}	51,34^{i-l}	50,21^{n}	51,04^{k-n}		**300 mg/kg 52,30^{A}**
	100	51,62^{g-k}	52,73^{c-f}	52,02^{e-j}	51,96^{f-j}		
	300	52,30^{d-h}	49,17^{o}	51,41^{i-l}	51,19^{j-m}		
Bakteri Ort.		**52,24^{A}**	**51,83^{B}**	**52,33^{A}**	**51,84^{B}**		

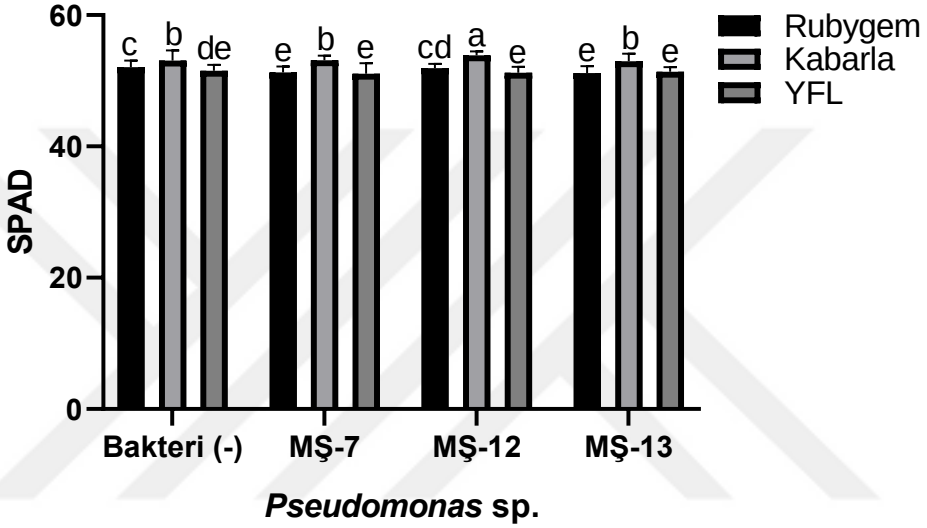
LSD Çeşit: 0,248 *** LSD Ç*B: 0,496 ** LSD Ç*B*D: 0,859 ***
LSD Bakteri: 0,287 *** LSD Ç*D: 0,430 ***
LSD Doz: 0,248 *** LSD B*D: 0,496 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

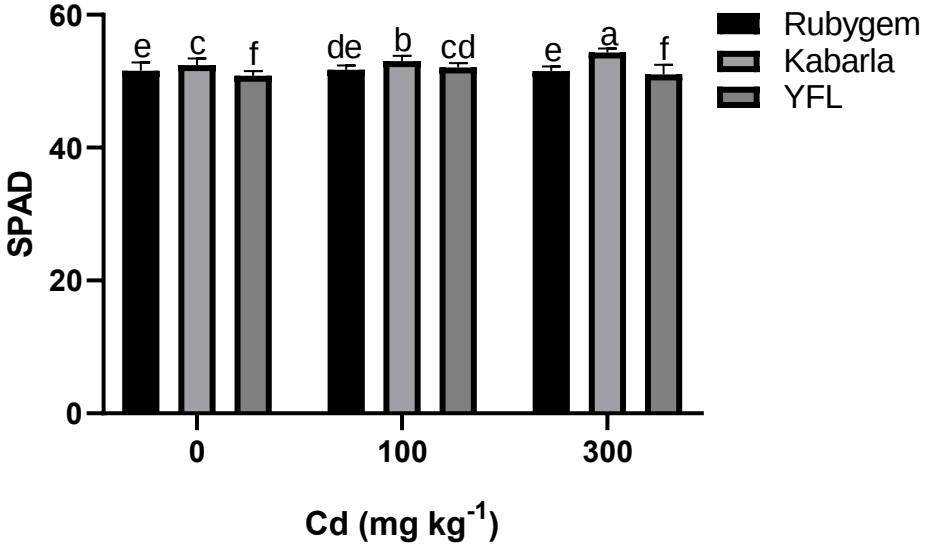
Yapılan çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem çeşidinde bakteri suşları B- uygulamasına göre SPAD değerini artırmamış olmasına karşın, YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları artırmıştır. Kabarla'da ise tüm suşlar B- uygulamasına göre SPAD değerini artırmıştır. Buna karşın, 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem ve YFL çeşitlerinde tüm suşlar B- uygulamasına göre SPAD'ı artırmıştır. Kabarla'da ise 0 mg kg^{-1} Cd dozunun aksine, sadece MŞ-12 suşu B- uygulamasına göre daha etkili bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise üç çeşitte de tüm suşlarda SPAD değeri B- uygulamasına göre daha düşük gerçekleşmiştir. En düşük değerler ise Kabarla ve YFL çeşitlerinde MŞ-7, Rubygem'de ise MŞ-13 bakteri uygulamasında bulunmuştur **(Tablo 33).**

SPAD değeri üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamalarından elde edilen SPAD değerleri B- uygulamasına göre düşük bulunmuştur **(Şekil 78).**

SPAD değeri üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak Kabarla'da SPAD değerinin arttığı görülmektedir. Diğer iki çeşitte ise önce yükselmiş, sonra düşmüştür. En yüksek SPAD değeri Kabarla'dan elde edilmiştir **(Şekil 79).**

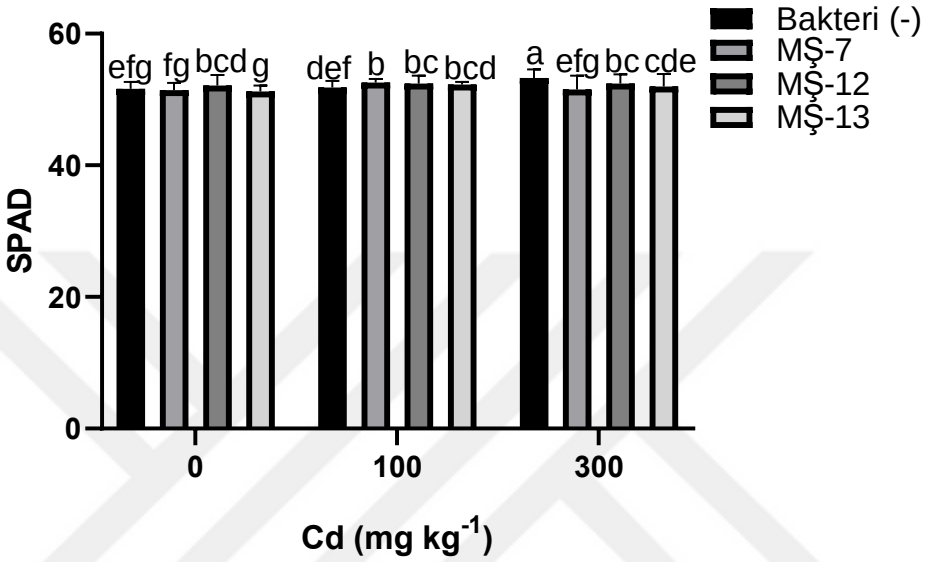


Şekil 78. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 79. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

SPAD değeri üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, bakteri uygulamaları arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Bakteri uygulamaları 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozlarında B- uygulamasına göre SPAD değerini artırmışken, yüksek dozda B- uygulamasından elde edilen değerler bakteri suşlarına göre daha yüksek bulunmuştur **(Şekil 80).**



Şekil 80. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde SPAD üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3.1.2. Yaprak oransal su içeriği (%)

Yaprak oransal su içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 34).**

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak oransal su içeriği 300 mg kg^{-1} Cd dozunda bir miktar artmıştır. Çeşitler arasında en yüksek değer Kabarla, en düşük değer ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları arasında MŞ-7 suşu diğerlerine göre yaprak oransal su içeriğini artırmış, MŞ-12 suşu azaltmıştır. Genel olarak, bakteri suşu uygulamalarında kadmiyum dozu arttıkça yaprak oransal su içeriği artmıştır **(Tablo 34).**

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem (MŞ-13) ve YFL (MŞ-7) çeşitlerindeki birer uygulama dışında tüm bakteri uygulamalarında B- uygulamasına göre daha düşük yaprak oransal su içeriği tespit edilmiştir. Kabarla'da en düşük değer MŞ-12

suşundan elde edilmiştir. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre, yaprak oransal su içeriğini artırmışken, Kabarla'da azaltmıştır. YFL'de ise sadece MŞ-7 suşundan elde edilen değer B- uygulamasından yüksektir. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda da, yine Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre yaprak oransal su içeriğini artırmıştır. YFL'de de benzer şekilde MŞ-7 suşundan elde edilen değer B- uygulamasından yüksektir. Ayrıca, Kabarla'da MŞ-12 suşunun sağladığı SPAD değeri B- uygulamasına göre yüksek bulunmuştur **(Tablo 34).**

Tablo 34. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine etkileri

Yaprak Oransal Su İçeriği		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**85,66^{B}**	
	0	82,50^{mn}	81,77^{n-p}	82,45^{mn}	88,31^{jk}		
	100	82,35^{mn}	87,17^{jk}	83,73^{mn}	88,05^{jk}		**0 mg/kg**
	300	84,22^{lm}	88,00^{jk}	88,78^{ij}	90,82^{hi}		**87,65^{B}**
Kabarla						**94,14^{A}**	
	0	96,81^{a}	93,72^{b-f}	92,37^{e-h}	95,97^{ab}		
	100	94,79^{a-d}	91,91^{f-h}	93,31^{c-g}	93,81^{b-f}		**100 mg/kg**
	300	94,59^{a-e}	92,71^{c-h}	95,07^{a-c}	94,64^{a-e}		**87,47^{B}**
YFL						**84,08^{C}**	
	0	87,23^{jk}	91,32^{gh}	79,80^{o-q}	79,52^{pq}		
	100	86,34^{kl}	88,52^{i-k}	77,70^{q}	81,99^{m-o}		**300 mg/kg**
	300	86,21^{kl}	92,66^{d-h}	77,68^{q}	79,93^{o-q}		**88,78^{A}**
Bakteri Ort.		**88,34^{B}**	**89,75^{A}**	**85,66^{C}**	**88,12^{B}**		

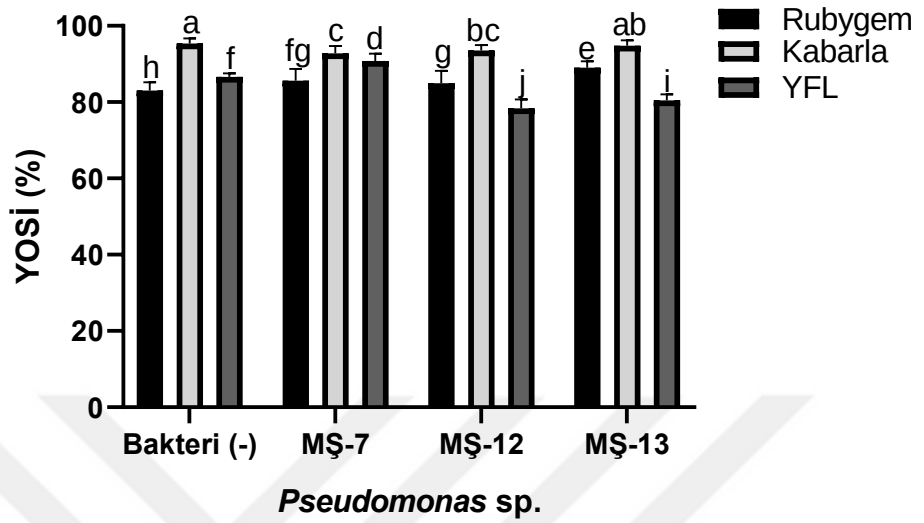
LSD Çeşit: 0,684 *** LSD Ç*B: 1,369 *** LSD Ç*B*D: 2,371 ***
LSD Bakteri: 0,790 *** LSD Ç*D: 1,186 ***
LSD Doz: 0,684 *** LSD B*D: Ö.D.

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

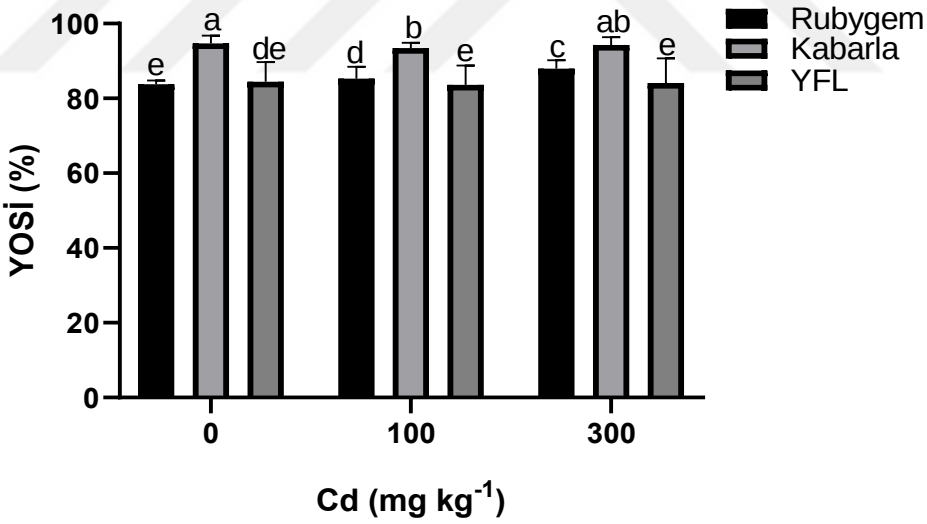
Yaprak oransal su içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler tüm bakteri uygulamalarında Kabarla'dan elde edilmiştir. En düşük değerler ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında Rubygem; MŞ-12 ve MŞ-13 uygulamalarında YFL'den elde edilmiştir. Yaprak oransal su içeriği üzerine bakteri uygulamalarının genel olarak olumlu bir etkisi olmamıştır. Bununla birlikte, MŞ-7 bakteri uygulamasında Rubygem ve YFL çeşitlerinde yaprak oransal su içeriği B- uygulamasına göre artmıştır. Bunun yanında, MŞ-12 ve MŞ-13 suşları uygulanmış YFL'de yaprak oransal su içeriği oldukça azalmıştır **(Şekil 81).**

Yaprak oransal su içeriği üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla'dan elde edilmişken, 0 mg kg^{-1} Cd dozu dışında en düşük değerler YFL'den elde edilmiştir. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda ise en düşük

değerlere sahip çeşit Rubygem olmuştur. Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak Rubygem'de yaprak oransal su içeriği artmış, YFL'de ise azalmıştır **(Şekil 82).**

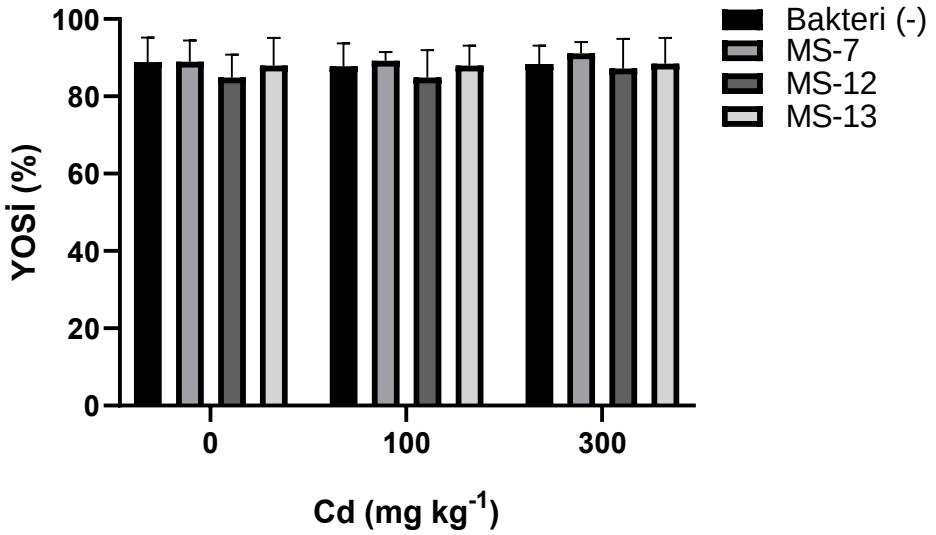


Şekil 81. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 82. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Yaprak oransal su içeriği üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemsizdir **(Şekil 83).**



Şekil 83. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3.1.3. İyon Sızıntısı (%)

İyon sızıntısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli (p<0,001) bulunmuştur **(Tablo 35).**

Tablo 35. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde iyon sızıntısı (%) üzerine etkileri

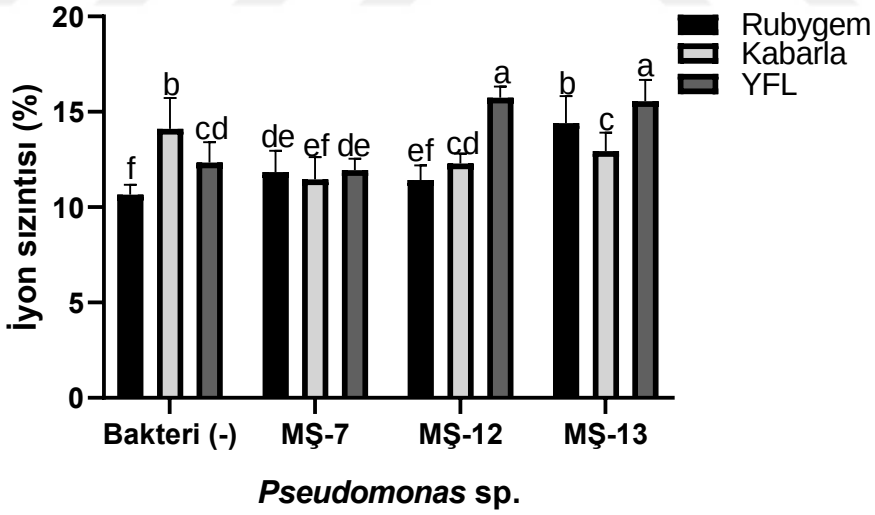
İyon Sızıntısı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**12,09^{C}**	
	0	10,50^{o}	10,56^{no}	11,65^{j-o}	15,56^{a-c}		
	100	10,54^{o}	12,44^{f-l}	11,24^{l-o}	14,20^{c-e}		**0 mg/kg**
	300	10,96^{m-o}	12,51^{f-l}	11,41^{k-o}	13,49^{d-h}		**12,99**
Kabarla						**12,70^{B}**	
	0	15,72^{ab}	11,68^{j-o}	11,94^{j-n}	11,83^{j-o}		
	100	12,80^{f-k}	11,85^{j-o}	12,71^{f-k}	13,36^{d-i}		**100 mg/kg**
	300	13,79^{d-f}	10,85^{m-o}	12,24^{g-m}	13,62^{d-g}		**12,84**
YFL						**13,90^{A}**	
	0	12,71^{f-k}	12,14^{h-m}	15,76^{ab}	15,87^{a}		
	100	12,86^{e-j}	11,66^{j-o}	15,98^{a}	14,41^{b-d}		**300 mg/kg**
	300	11,47^{k-o}	12,04^{i-m}	15,51^{a-c}	16,39^{a}		**12,86**
Bakteri Ort.		**12,37^{C}**	**11,75^{D}**	**13,16^{B}**	**14,30^{A}**		

LSD Çeşit: 0,402 *** LSD Ç*B: 0,805 *** LSD Ç*B*D: 1,394 ***
LSD Bakteri: 0,465 *** LSD Ç*D: Ö.D.
LSD Doz: Ö.D. LSD B*D: Ö.D.

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozları arasında iyon sızıntısı bakımından istatistiki açıdan bir fark olmamakla beraber çeşitler arasında en yüksek değer Kabarla, en düşük değer Rubygem'den elde edilmiştir. Bakteri uygulamalarında ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları hem B-, hem de MŞ-7 uygulamalarına göre daha yüksek iyon sızıntısı değerleri meydana gelmiştir. MŞ-7 suşu ise iyon sızıntısını azaltmıştır **(Tablo 35).**

Rubygem çeşidinde, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm bakteri suşlarında iyon sızıntısı B- uygulamasına göre yüksekken, Kabarla'da durum bunun tersidir. YFL'de sadece MŞ-7 suşu iyon sızıntısı değerini B- uygulamasına göre düşürmüştür. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem'de bakteri suşları 0 mg kg^{-1} Cd dozuna benzer şekilde iyon sızıntısı değerini B- uygulamasına göre artırmıştır. Kabarla'da ise MŞ-13 suşundan elde edilen değer 0 mg kg^{-1} Cd dozunun aksine B- uygulamasından yüksek bulunmuştur. YFL'de 0 mg kg^{-1} Cd dozuna benzer şekilde MŞ-7 suşundan alınan değer B- uygulamasından düşüktür. MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından alınan değer ise oldukça yüksektir. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem ve YFL çeşitlerinde tüm suşlardan alınan iyon sızıntısı değerleri B- uygulamasına göre daha yüksektir. Kabarla çeşidinde bakteri suşlarından alınan tüm değerler B- uygulamasından düşüktür **(Tablo 35).**

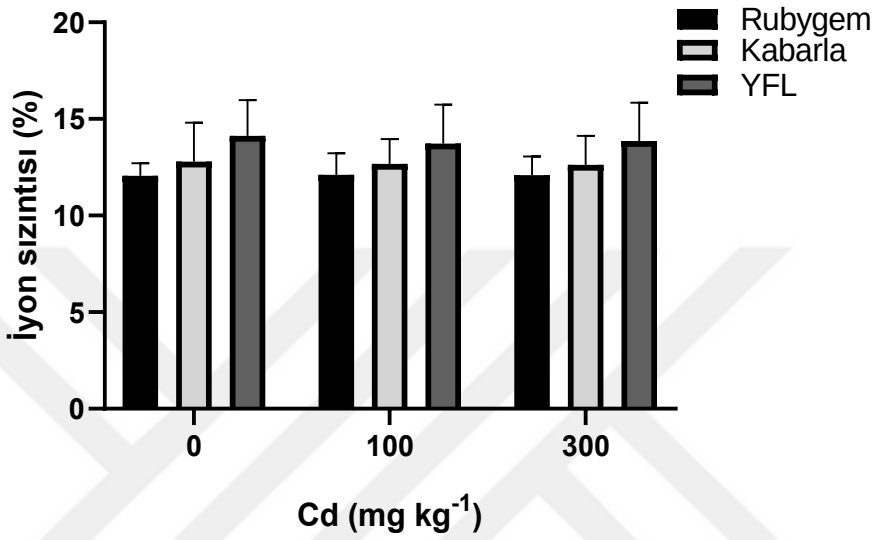


Şekil 84. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

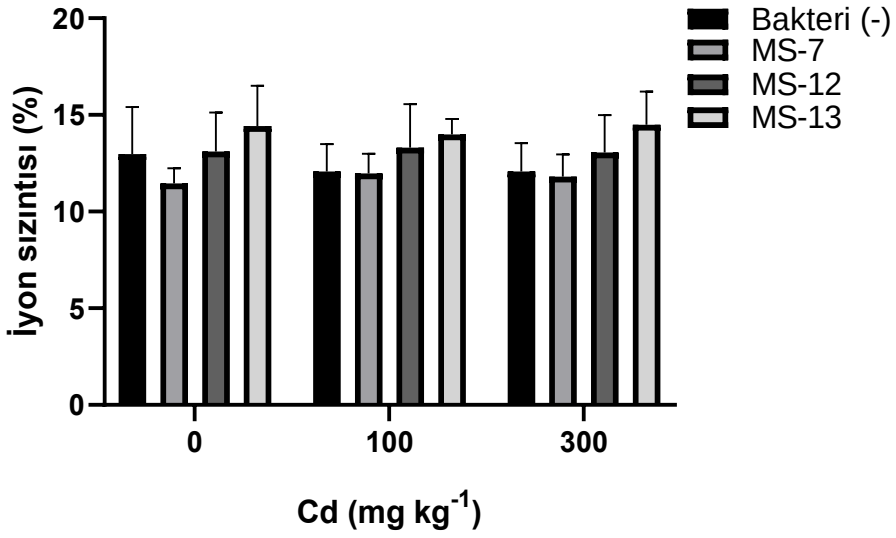
İyon sızıntısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler B- uygulamasında Kabarla; MŞ-12 ve MŞ-13 uygulamalarında ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. En düşük değerler B- ve MŞ-12 uygulamalarında Rubygem; MŞ-7 ve MŞ-13 uygulamalarında Kabarla'dan elde

edilmiştir. Rubygem'de bakteri suşları iyon sızıntısı değerini artırmışken, Kabarla'da azaltmıştır. YFL çeşidinde ise MŞ-7 bakteri suşu iyon sızıntısı değerini azaltmış, diğer iki bakteri suşu ise artırmıştır **(Şekil 84).**

İyon sızıntısı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu ile kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi istatistiki açıdan önemsizdir **(Şekil 85, 86).**



Şekil 85. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 86. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde iyon sızıntısı (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi

4.1.3.2.1. SPAD

SPAD değeri üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,05$), kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 36).**

Tablo 36. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde SPAD üzerine etkileri

SPAD		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**51,99^{B}**	
	0	53,47^{a-d}	51,09^{i-m}	53,51^{a-d}	52,08^{gh}		***0 mg/kg*** **52,75^{A}**
	500	51,17^{h-l}	52,13^{gh}	51,73^{g-j}	53,22^{c-e}		
	1500	51,37^{g-k}	50,19^{m-o}	51,95^{g-i}	51,98^{9-i}		
Kabarla						**53,94^{A}**	
	0	53,39^{b-d}	53,83^{a-d}	54,21^{ab}	54,12^{a-c}		***500mg/kg*** **52,65^{A}**
	500	54,17^{a-c}	53,96^{a-d}	54,27^{ab}	53,90^{a-d}		
	1500	54,37^{a}	53,95^{a-d}	53,46^{a-d}	53,66^{a-d}		
YFL						**51,34^{C}**	
	0	52,31^{e-g}	52,19^{fg}	51,50^{g-j}	51,35^{g-k}		***1500mg/kg*** **51,87^{B}**
	500	53,13^{d-f}	53,44^{a-d}	49,71^{n-o}	50,94^{j-m}		
	1500	51,17^{h-l}	50,53^{k-n}	50,30^{l-o}	49,49^{o}		
Bakteri Ort.		**52,73^{A}**	**52,37^{B}**	**52,30^{B}**	**52,31^{B}**		

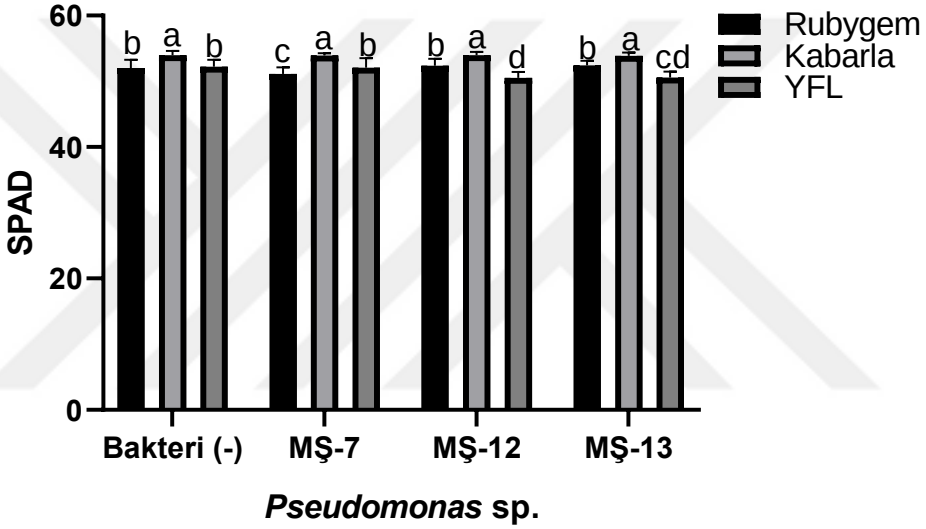
LSD Çeşit: 0,278 *** LSD Bakteri: 0,322 * LSD Doz: 0,278 ***
LSD Ç*B: 0,557 *** LSD Ç*D: 0,482 *** LSD B*D: 0,557 ***
LSD Ç*B*D: 0,965 ***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışına bağlı olarak SPAD değerinde azalma söz konusu olup bakteri suşları SPAD değerini azaltmıştır. En yüksek SPAD değeri Kabarla, en düşük ise YFL çeşidinden elde edilmiştir. Genel olarak kurşun dozu artışına bağlı olarak hafif bir azalma görülmüş olmasına karşın, bazı uygulamalarda (Rubygem-MŞ-7, Rubygem-MŞ-13, Kabarla-B-, Kabarla-MŞ-7) 500 mg kg^{-1} Pb dozunda artış görülmüş ve doz arttıkça azalmıştır. YFL'de ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında kurşun uygulanmamış olanlara göre artış görülmüştür **(Tablo 36).**

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem çeşidinde MŞ-12 ve MŞ-13,

Kabarla'da ise tüm suşlarda SPAD değeri B- uygulamasından yüksek bulunmuştur. Buna karşın, YFL'de tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, YFL çeşidinde değerler birbirine yakındır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem çeşidinde tüm suşlar SPAD değerini B- uygulamasına göre artırmışken, YFL'de MŞ-7 suşu dışındaki uygulamalarda azalma meydana gelmiştir. Kabarla'da ise MŞ-12 dışındaki suşlar B- uygulamasına göre daha düşük SPAD değeri ortaya çıkarmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'de MŞ-12 ve MŞ-13 suşları dışında tüm çeşitlerde bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından düşük çıkmıştır **(Tablo 36).**



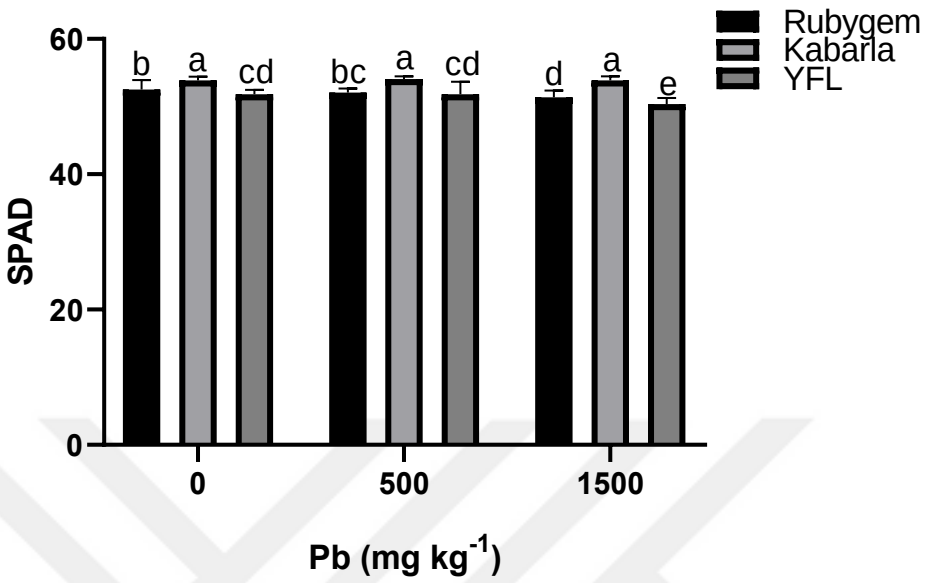
Şekil 87. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

SPAD değeri üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve YFL'nin değerleri birbirine yakın olmasına karşın, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamalarında YFL değeri azalmıştır. Bakteri uygulamalarının çilek çeşitlerinin SPAD değerleri üzerine etki etmediği görülmektedir **(Şekil 87).**

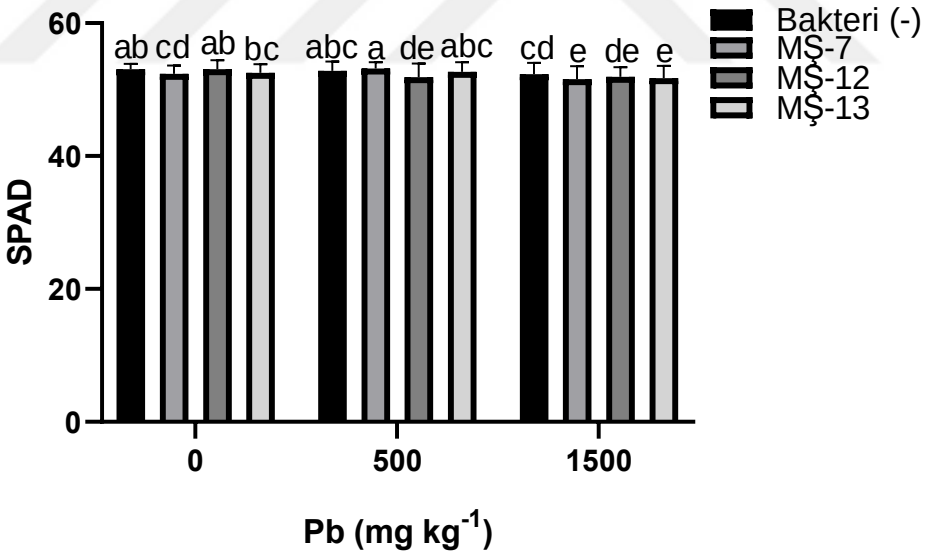
SPAD değeri üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla çeşidinden elde edilmiş olup, Rubygem ve YFL'de kurşun dozu artışına bağlı olarak SPAD değerinde azalma meydana gelmiştir. Buna karşın, Kabarla'da herhangi bir fark bulunmamıştır **(Şekil 88).**

SPAD değeri üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir. Doz artışına

bağlı olarak özellikle B- ve MŞ-12 uygulamalarında azalış, MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında önce artış, ardından azalış görülmüştür **(Şekil 89).**



Şekil 88. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin SPAD üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 89. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde SPAD üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3.2.2. Yaprak oransal su içeriği (%)

Yaprak oransal su içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,05$) ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp.

suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 37).**

Kurşun dozu artışına bağlı olarak yaprak oransal su içeriği önemli ölçüde azalmış olup, MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarında artmıştır. Çeşitler arasında en yüksek yaprak oransal su içeriği Kabarla'dan, en düşük değer Rubygem'den elde edilmiştir. Rubygem ve YFL'den kurşun dozu artışına karşı özellikle MŞ-7 ve MŞ-13 suşları yaprak oransal su içeriğindeki azalmayı hafifletmiş, yüksek dozlarda bu suşlardan B- uygulamasına göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kabarla'da ise sadece MŞ-13 suşu benzer etkiyi göstermiştir. Bakteri suşları özellikle 500 mg kg^{-1} Pb dozunda B- uygulamasına göre yaprak oransal su içeriğini artırmıştır **(Tablo 37).**

Tablo 37. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine etkileri

Yaprak Oransal Su İçeriği		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**85,38^{C}**	
	0	85,74^{ij}	89,04^{g}	90,69^{d-g}	88,68^{gh}		
	500	84,62^{i-l}	86,50^{hi}	83,24^{kl}	85,19^{i-k}		**0 mg/kg**
	1500	84,03^{j-l}	84,83^{i-l}	77,73^{m}	84,23^{j-l}		**90,80^{A}**
Kabarla						**92,16^{A}**	
	0	94,08^{ab}	93,75^{bc}	92,48^{b-d}	96,15^{a}		
	500	91,28^{d-f}	92,07^{b-d}	91,76^{c-e}	92,20^{b-d}		**500 mg/kg**
	1500	90,72^{d-g}	89,50^{fg}	90,66^{d-g}	91,35^{d-f}		**87,84^{B}**
YFL						**87,05^{B}**	
	0	89,72^{e-g}	89,23^{fg}	89,66^{e-g}	90,37^{d-g}		
	500	86,58^{hi}	88,68^{gh}	86,47^{i}	85,47^{ij}		**1500 mg/kg**
	1500	82,96^{l}	84,75^{i-l}	86,12^{ij}	84,61^{i-l}		**85,95^{C}**
Bakteri Ort.		**87,75^{B}**	**88,70^{A}**	**87,65^{B}**	**88,70^{A}**		

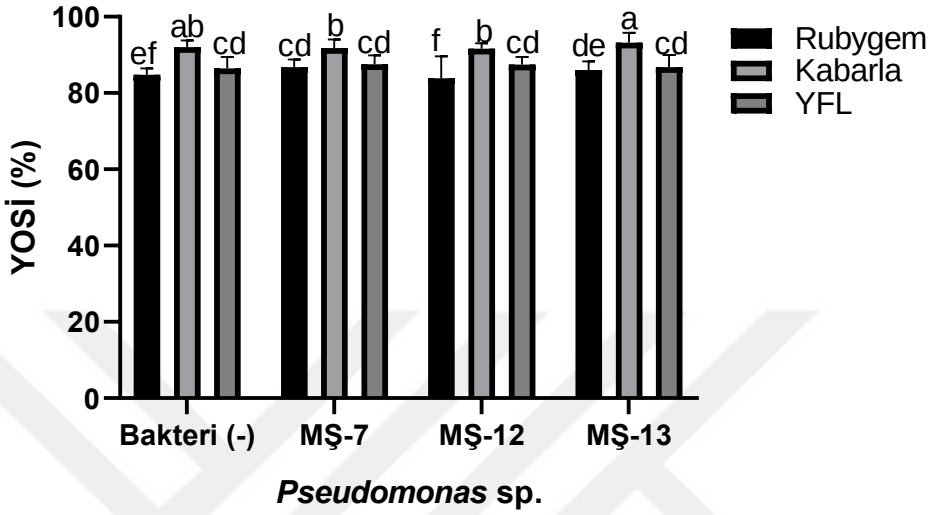
LSD Çeşit: 0,631 *** LSD Ç*B: 1,262 ** LSD Ç*B*D: 2,185 ***
LSD Bakteri:0,729 ** LSD Ç*D: Ö.D.
LSD Doz: 0,631 *** LSD B*D: 1,262 *

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

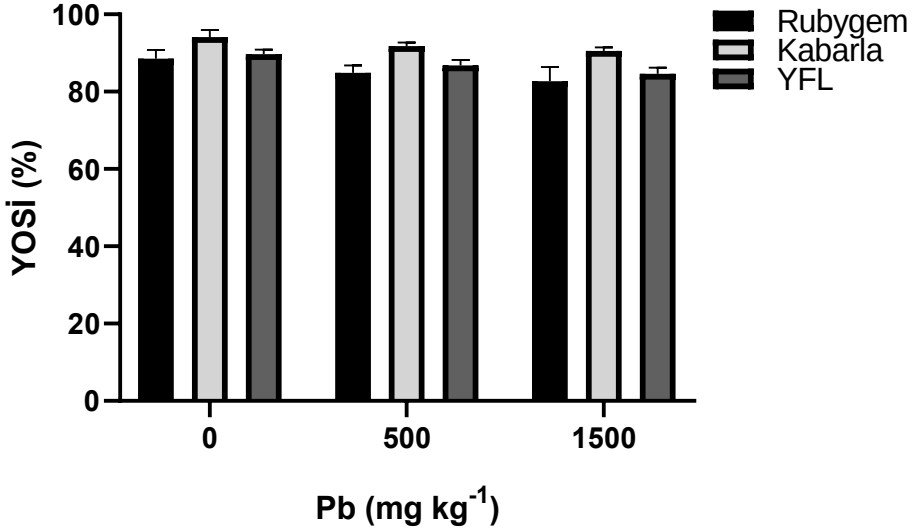
Yapılan çalışmada, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem çeşidinde tüm suşlar yaprak oransal su içeriğini B- uygulamasına göre artırmışken, Kabarla ve YFL'de MŞ-13 suşunda artış görülmüştür. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem'de MŞ-7 ve MŞ-13; YFL'de MŞ-7; Kabarla'da tüm suşlar B- uygulamasına göre yaprak oransal su içeriğini artırmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise Rubygem'de MŞ-7 ve MŞ-13, Kabarla'da ise MŞ-13 suşları B- uygulamasına göre yaprak oransal su içeriğini artırmıştır. YFL'de tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından yüksektir **(Tablo 37).**

Yaprak oransal su içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun

etkisi incelendiğinde en yüksek değerler tüm bakteri uygulamalarında Kabarla, en düşük değerler ise Rubygem'den elde edilmiştir. YFL üzerine bakteri suşlarının herhangi bir etkisi olmamıştır. Rubygem'de en etkili uygulama MŞ-7 suşu iken Kabarla'da MŞ-13 suşudur **(Şekil 90).**



Şekil 90. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

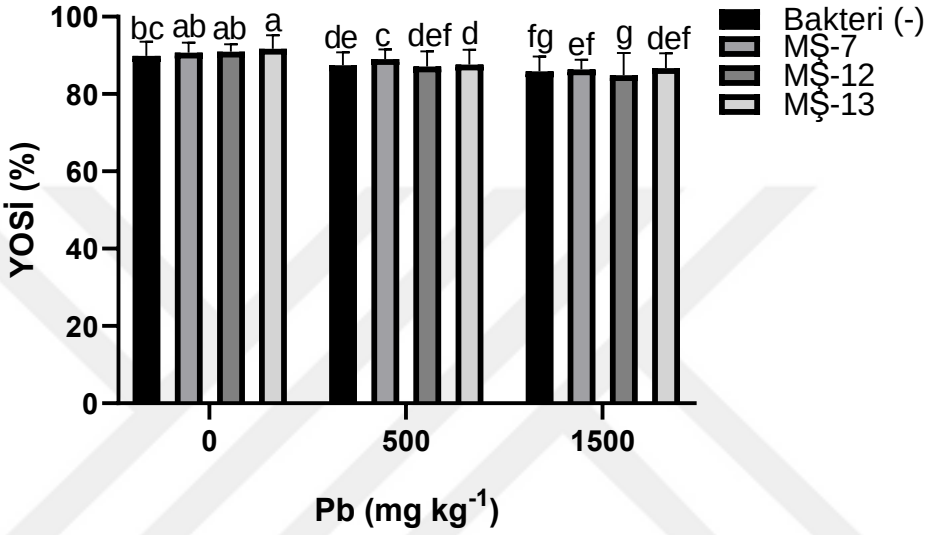


Şekil 91. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak oransal su içeriği (%) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Yaprak oransal su içeriği üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonu istatistiki olarak önemsizdir **(Şekil 91).**

Yaprak oransal su içeriği üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun

etkisi incelendiğinde kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri suşlarında azalma belirlenmiştir. En yüksek değerler MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiş olup, kurşun dozu artışına bağlı olarak azalma B- uygulamasına göre daha yüksektir. 0 mg kg^{-1} Pb dozunda B- uygulamasından daha yüksek yaprak oransal su içeriği değerine sahip olan MŞ-7 suşu ise 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda B- uygulamasına yakın bir değer ortaya çıkmıştır **(Şekil 92).**



Şekil 92. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak oransal su içeriği (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.3.2.3. İyon Sızıntısı (%)

İyon sızıntısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 38).**

Kurşun dozu artışına bağlı olarak bitkilerin iyon sızıntısı değerleri azalmış olmasına karşın, bakteri uygulamaları iyon sızıntısını önemli ölçüde artırmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek iyon sızıntısı değeri Rubygem, en düşük değer ise Kabarla çeşidinden elde edilmiştir **(Tablo 38).**

Çalışmada, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem çeşidinde, MŞ-7 uygulaması, B- uygulamasına göre iyon sızıntısını artırmıştır. Bununla birlikte, MŞ-13 iyon sızıntısını düşürmüş olmasına karşın, MŞ-12 uygulamasında iyon sızıntısı daha düşüktür. Kabarla'da, yalnızca MŞ-7 suşu B- uygulamasına göre iyon sızıntısını düşürmüştür. MŞ-

12 ve MŞ-13 suşları yüksek düzeyde artış sağlamıştır. YFL'de ise MŞ-13 suşu dışındaki bakteriler, iyon sızıntısını B- uygulamasına göre azaltmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem ve Kabarla'da tüm bakteri suşları iyon sızıntısını B- uygulamasına göre artırmıştır. Buna karşın, YFL'de yalnızca MŞ-13 suşunda B- uygulamasına göre iyon sızıntısı artmış, MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarında önemli ölçüde azalmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda da, 500 mg kg^{-1} dozuna benzer şekilde Rubygem ve Kabarla'ya uygulanan tüm suşlar B- uygulamasına göre iyon sızıntısını artırmıştır. YFL çilek çeşidinde de benzer şekilde, yalnızca MŞ-13 suşu B- uygulamasına göre iyon sızıntısını artırmış, MŞ-7 ve MŞ-12 suşları ise azaltmıştır **(Tablo 38).**

Tablo 38. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde iyon sızıntısı (%) üzerine etkileri

İyon Sızıntısı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit	Pb
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13	Ort.	Ort.
Rubygem						**13,40^{A}**	
	0	15,56^{ab}	15,85^{a}	12,91^{e-j}	15,34^{a-c}		
	500	11,76^{i-l}	12,14^{h-k}	13,21^{d-i}	13,49^{dh}		**0 mg/kg**
	1500	11,54^{j-l}	12,72^{f-j}	12,68^{f-j}	13,66^{d-g}		**13,36^{A}**
Kabarla						**12,23^{C}**	
	0	9,72^{mn}	9,67^{mn}	14,55^{a-d}	13,79^{d-g}		
	500	9,93^{mn}	13,49^{d-h}	12,73^{f-j}	14,52^{a-d}		**500 mg/kg**
	1500	8,78^{n}	13,20^{d-i}	12,42^{g-j}	13,96^{c-f}		**12,83^{B}**
YFL						**12,88^{B}**	
	0	13,38^{d-h}	13,35^{d-h}	10,88^{k-m}	15,31^{a-c}		
	500	13,33^{d-h}	12,67^{f-j}	10,91^{k-m}	15,83^{a}		**1500 mg/kg**
	1500	12,59^{f-j}	10,60^{lm}	11,44^{j-l}	14,26^{b-e}		**12,32^{C}**
Bakteri Ort.		**11,84^{C}**	**12,63^{B}**	**12,42^{B}**	**14,46^{A}**		

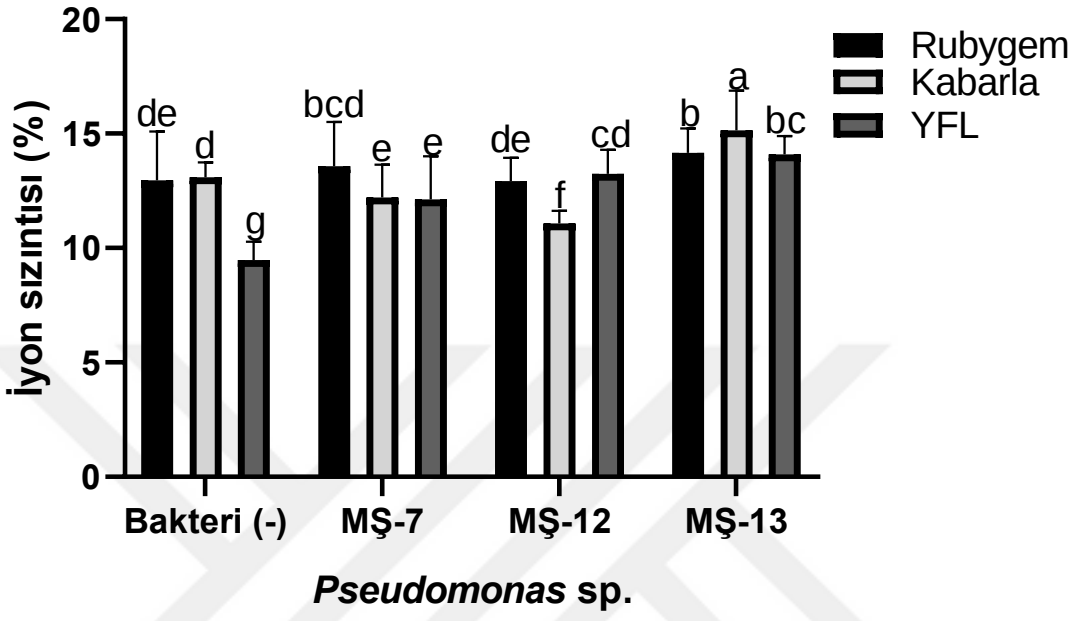
LSD Çeşit: 0,479 *** LSD Ç*B: 0,865 *** LSD Ç*B*D: 1,498 ***
LSD Bakteri:0,432 *** LSD Ç*D: 0,749 ***
LSD Doz: 0,479 *** LSD B*D: Ö.D.

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

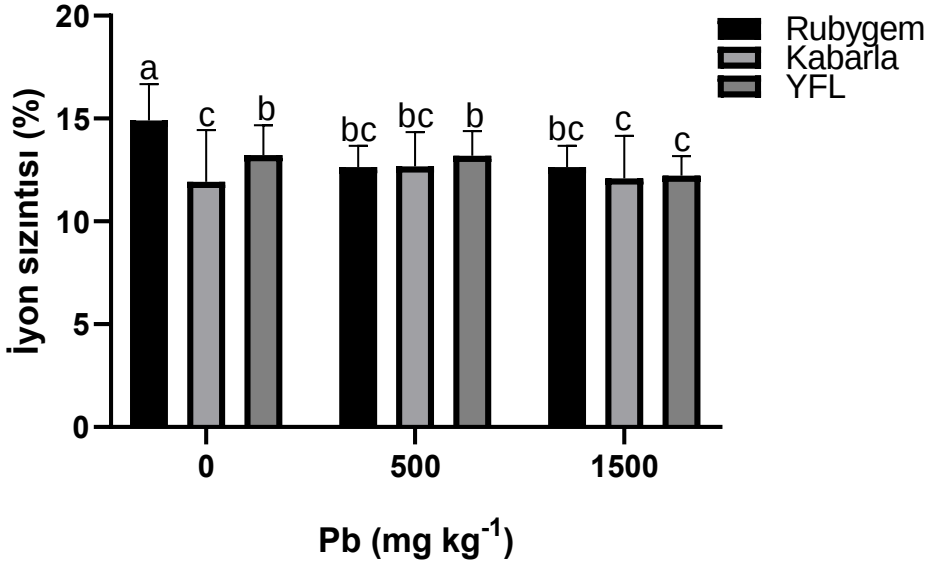
İyon sızıntısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler MŞ-13 suşundan elde edilmiştir. Rubygem'de en düşük iyon sızıntısı değerleri B- ve MŞ-12; Kabarla'da B-; YFL'de ise MŞ-12 suşundan elde edilmiş olup, bakteri uygulamalarının iyon sızıntısını azaltma konusunda önemli bir etkisi ortaya çıkmamıştır **(Şekil 93).**

İyon sızıntısı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun doz artışına bağlı olarak iyon sızıntısı azalmıştır. Çilek çeşitleri arasında 0 ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozlarında en yüksek iyon sızıntısı Rubygem, en düşük Kabarla'da belirlenmiştir. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise çeşitler birbirine benzer sonuçlar

meydana getirmiştir. Kabarla'da kurşun doz artışı ile iyon sızıntısı önce artmış, sonrasında azalmış; YFL'de sabit kalıp azalmış; Rubygem çeşidinde azalmış ve sonra sabit kalmıştır **(Şekil 94).**



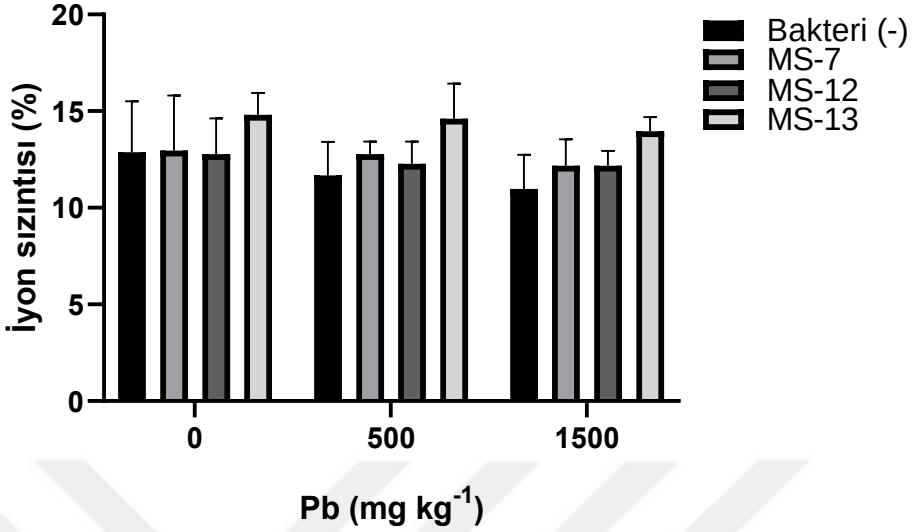
Şekil 93. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 94. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin iyon sızıntısı (%) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

İyon sızıntısı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonu istatistiki olarak

önemsizdir **(Şekil 95).**



Şekil 95. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde iyon sızıntısı (%) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.4. Anatomik özellikler

4.1.4.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi

4.1.4.1.1. Stoma boyu (µm)

Stoma boyu üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ($p<0,01$) ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 39).**

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak stoma boyu özellikle 300 mg kg^{-1} Cd dozunda önemli ölçüde azalmıştır. Bakteri suşları arasında MŞ-12 ve MŞ-13 stoma boyunu artırmış, MŞ-7 ise B- uygulamasına benzer sonuç ortaya çıkarmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek stoma boyu Rubygem, en düşük YFL'den elde edilmiştir. Rubygem'de MŞ-12 uygulaması dışında tüm çilek çeşitlerinde ve tüm bakteri uygulamalarında kadmiyum dozu artışı ile birlikte stoma boyu azalmıştır. Rubygem çilek çeşidine uygulanan MŞ-12 bakteri uygulamasında ise önce artmış, sonrasında azalmıştır.

Özellikle, Rubygem ve YFL'de kadmiyum dozu artışına karşı stoma boyu değerleri bakteri uygulamalarında B- uygulamasına göre daha yüksek bulunmuştur **(Tablo 39).**

Tablo 39. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma boyu (µm) üzerine etkileri

Stoma Boyu		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**13,03^{B}**	
	0	13,00^{h-j}	13,16^{g-i}	13,36^{f-h}	15,35^{a}		
	100	12,41^{kl}	12,84^{ij}	14,51^{c}	13,64^{d-f}		**0 mg/kg**
	300	11,37^{pq}	12,07^{l-o}	12,04^{l-o}	12,63^{jk}		**14,26^{A}**
Kabarla						**13,52^{A}**	
	0	14,75^{bc}	14,78^{bc}	14,92^{b}	14,54^{bc}		
	100	14,03^{d}	13,77^{de}	13,48^{e-g}	13,99^{d}		**100 mg/kg**
	300	12,10^{l-n}	11,68^{o-q}	12,21^{lm}	11,98^{m-o}		**13,31^{B}**
YFL						**12,87^{C}**	
	0	14,50^{c}	13,92^{d}	14,81^{bc}	14,03^{d}		
	100	13,25^{f-h}	11,76^{n-p}	12,83^{ij}	13,22^{g-i}		**300 mg/kg**
	300	11,31^{q}	11,67^{o-q}	11,45^{pq}	11,67^{o-q}		**11,85^{C}**
Bakteri Ort.		**12,97^{C}**	**12,85^{C}**	**13,29^{B}**	**13,45^{A}**		

LSD Çeşit: 0,118*** LSD Ç*B: 0,236*** LSD Ç*B*D: 0,408***
LSD Bakteri: 0,136*** LSD Ç*D: 0,204***
LSD Doz: 0,118*** LSD B*D: 0,236**

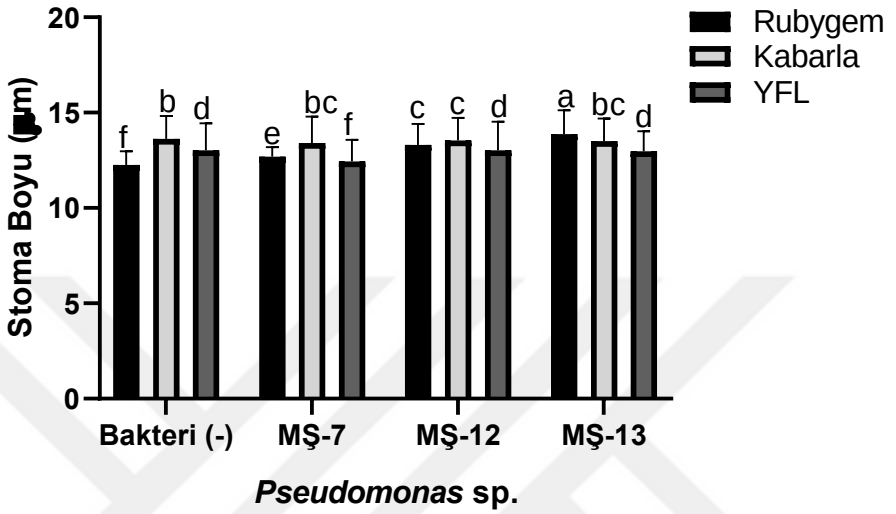
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Rubygem çeşidinde, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm bakteri suşları stoma boyunu B- uygulamasına göre artırmıştır. Bununla birlikte, Kabarla'da MŞ-7 ve MŞ-12, YFL'de MŞ-12 suşları stoma boyunu B- uygulamasına göre artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, sadece Rubygem'de bakteri suşlarından elde edilen stoma boyları B- uygulamasından yüksek bulunmuştur. Kabarla ve YFL çeşitlerinde ise tüm suşlar B- uygulamasına göre kadmiyum dozu artışında stoma boyunu azaltmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem ve YFL'de tüm suşlardan, Kabarla'da ise MŞ-12 suşundan elde edilen değer B- uygulamasından yüksek bulunmuştur **(Tablo 39).**

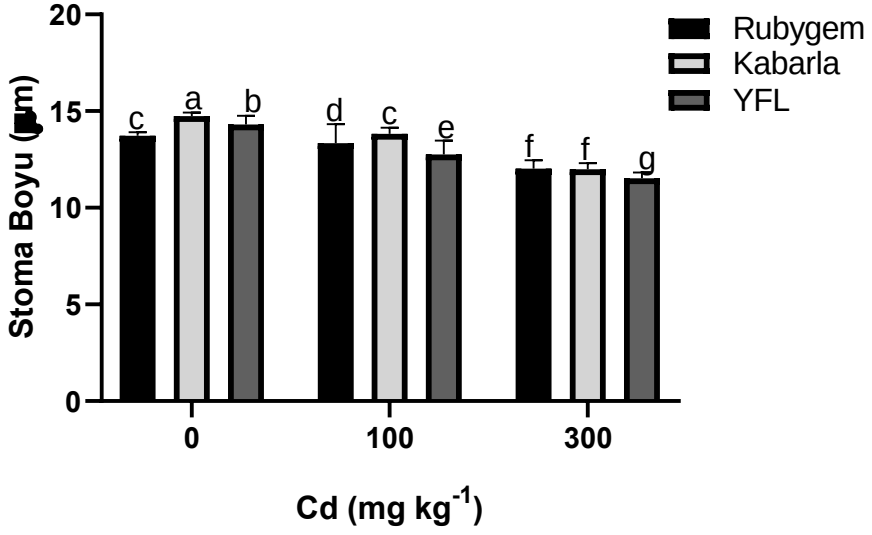
Stoma boyu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla (B-, MŞ-7 ve MŞ-12) ve Rubygem (MŞ-12 ve MŞ-13) çeşitlerinden elde edilmiştir. En düşük değerler ise B- uygulaması dışında YFL'den MŞ-7 suşunda elde edilmiştir. Rubygem'de tüm bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre stoma boyunu artırmışken, Kabarla'da yalnızca MŞ-13 artırmıştır. YFL'de ise MŞ-7 suşunda stoma boyu azalmış, diğer bakteri uygulamaları ile B- uygulaması aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 96).**

Stoma boyu üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi

incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak stoma boyu azalmıştır. En yüksek değerler Kabarla'da, en düşük değerler ise 0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem, diğer dozlarda YFL çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem'de doz artışına bağlı olarak stoma boyu azalması diğer çeşitlere göre daha düşüktür **(Şekil 97).**



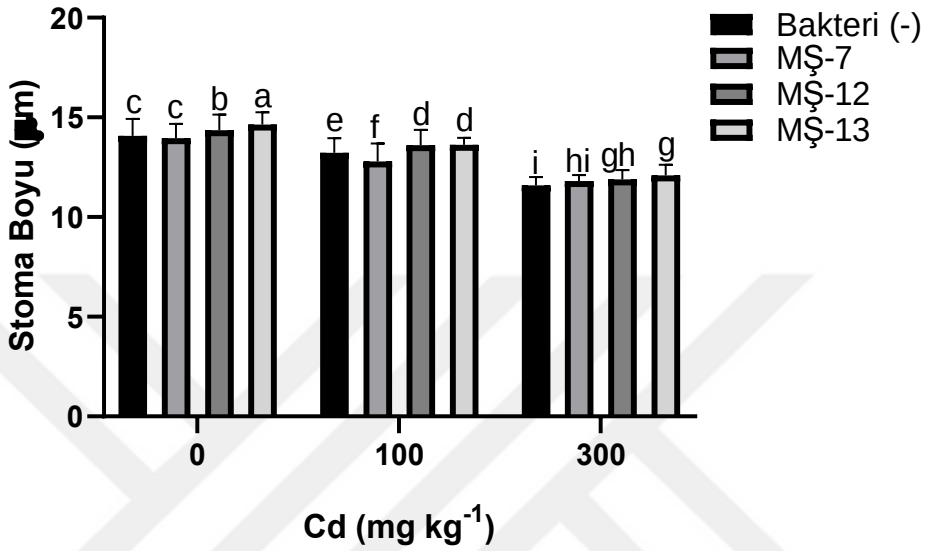
Şekil 96. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 97. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Stoma boyu üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde doz artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında stoma boyu

azalmıştır. En yüksek değerler tüm kadmiyum dozlarında MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiştir. Tüm bakteri uygulamalarında 300 mg kg^{-1} Cd dozunda düşüş görülmüştür. Kadmiyum dozu artışı ile diğer bakteri uygulamalarına göre MŞ-7 suşundaki azalma nispeten daha düşüktür **(Şekil 98).**



Şekil 98. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma boyu (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.4.1.2. Stoma eni (µm)

Stoma eni üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 40).**

Kadmiyum dozu artışı ile stoma eni azalmış olup, en geniş stomalar YFL, en dar stomalar ise Rubygem çeşidinde tespit edilmiştir. Bakteri suşları stoma genişliği üzerine etkisiz (MŞ-7) veya negatif etkili (MŞ-12 ve MŞ-13) olmuştur. Çilek çeşitlerinin kadmiyum dozu artışına verdiği tepkiler ise farklılık göstermektedir. Rubygem'de B- ve MŞ-7 uygulamalarında önce artmış, sonra azalmış; MŞ-12'de azalmış, MŞ-13'te ise önce azalmış, sonrasında artmıştır. Kabarla'da, B- ve MŞ-13 uygulamalarında önce artmış, sonrasında azalmış; MŞ-7 uygulamasında azalmış; MŞ-12 uygulamasında ise önce azalmış, sonrasında artmıştır. YFL'de ise B- uygulamasında azalmış; MŞ-7 uygulamasında önce azalmış, sonra artmış; MŞ-12 ve MŞ-13 uygulamalarında önce

artmış, sonrasında azalmıştır. Bakteri suşlarından MŞ-7 Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde, MŞ-12 YFL'de stoma enini en fazla artıran uygulamalar olmuştur **(Tablo 40).**

Tablo 40. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma eni (µm) üzerine etkileri

Stoma Eni		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**4,75^{B}**	
	0	4,71^{k-n}	5,24^{a-e}	5,26^{a-e}	4,37^{pq}		
	100	5,24^{a-e}	5,38^{a-c}	4,16^{p-r}	3,98^{r}		**0 mg/kg**
	300	5,18^{b-g}	5,19^{b-f}	4,15^{qr}	4,12^{r}		**5,03^{A}**
Kabarla						**4,81^{B}**	
	0	4,80^{j-n}	5,14^{c-h}	4,75^{-kn}	4,99^{f-j}		
	100	4,95^{g-k}	4,93^{h-l}	4,40^{op}	5,00^{f-j}		**100 mg/kg**
	300	4,73^{k-n}	4,63^{no}	4,65^{mn}	4,69^{l-n}		**4,89^{B}**
YFL						**5,18^{A}**	
	0	5,25^{a-e}	5,13^{d-h}	5,42^{ab}	5,36^{a-d}		
	100	5,07^{e-i}	4,67^{mn}	5,46^{a}	5,48^{a}		**300 mg/kg**
	300	4,88^{i-m}	4,81^{j-n}	5,35^{a-d}	5,29^{a-e}		**4,81^{C}**
Bakteri Ort.		**4,98^{A}**	**5,01^{A}**	**4,84^{B}**	**4,81^{B}**		

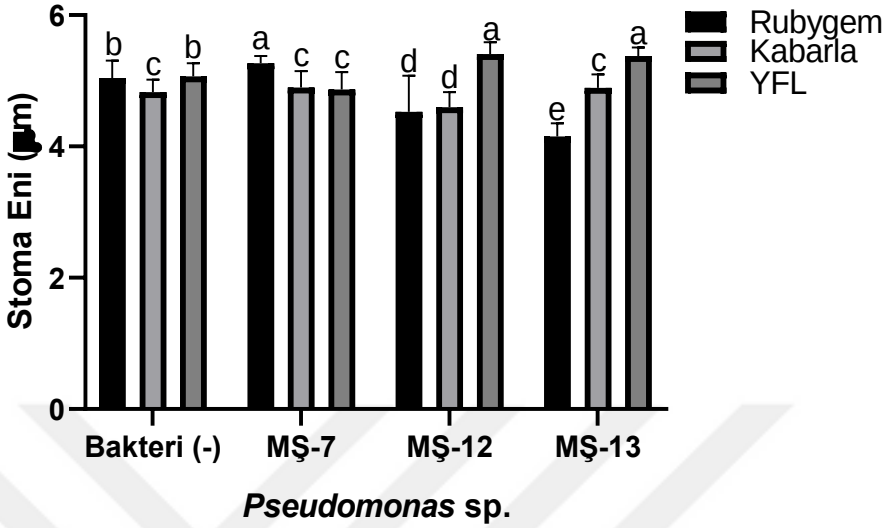
LSD Çeşit: 0,070*** LSD Ç*B: 0,139*** LSD Ç*B*D: 0,241***
LSD Bakteri: 0,080*** LSD Ç*D: Ö.D.
LSD Doz: 0,070*** LSD B*D: 0,139***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

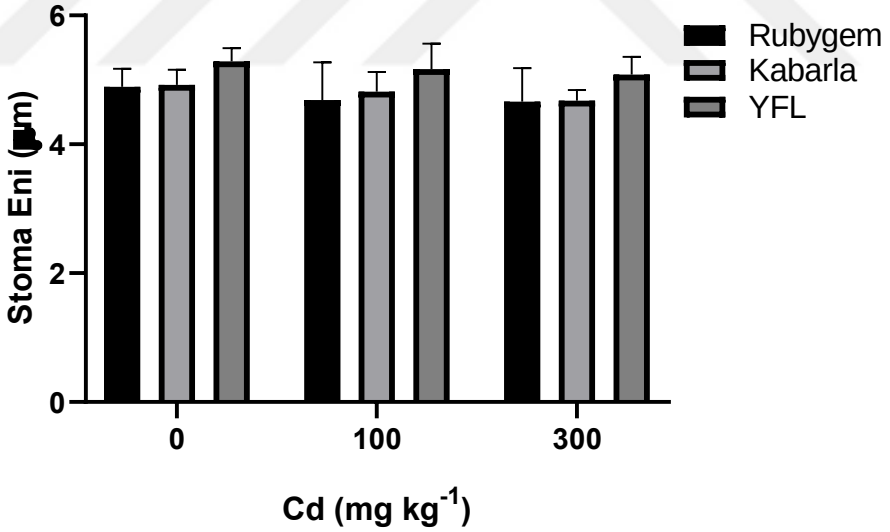
0 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem, Kabarla ve YFL çeşitlerinde bazı bakteri uygulamaları (Rubygem ve Kabarla-MŞ-7, YFL MŞ-12 ve MŞ-13) B- uygulamasına göre stoma enlerini artırmışken, bazıları (Rubygem MŞ-13, Kabarla MŞ-12 ve YFL MŞ-7) azaltmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem-MŞ-7, Kabarla-MŞ-13, YFL-MŞ-12 ve YFL-MŞ-13 bakteri uygulamaları dışındaki bakteri suşlarından alınan stoma eni değerleri B- uygulamasından elde edilen değerden daha düşük bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise Rubygem'de MŞ-7; YFL'de MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamaları dışındaki uygulamalardan elde edilen değerler B- uygulamasından elde edilenlerden daha düşük bulunmuştur **(Tablo 40).**

Stoma eni üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler B- ve MŞ-7 uygulamalarında Rubygem, MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında YFL'de belirlenmiştir. Kabarla çeşidinden alınan değerler ise MŞ-13 suşu dışında tüm bakteri uygulamalarında en düşük değer olarak ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, Kabarla'da MŞ-12 suşunda ortaya çıkan azalma dışında bakteri uygulamaları arasında istatistiki açıdan herhangi bir fark ortaya çıkmamıştır **(Şekil 99).**

Stoma eni üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonu istatistiki açıdan önemsizdir **(Şekil 100).**



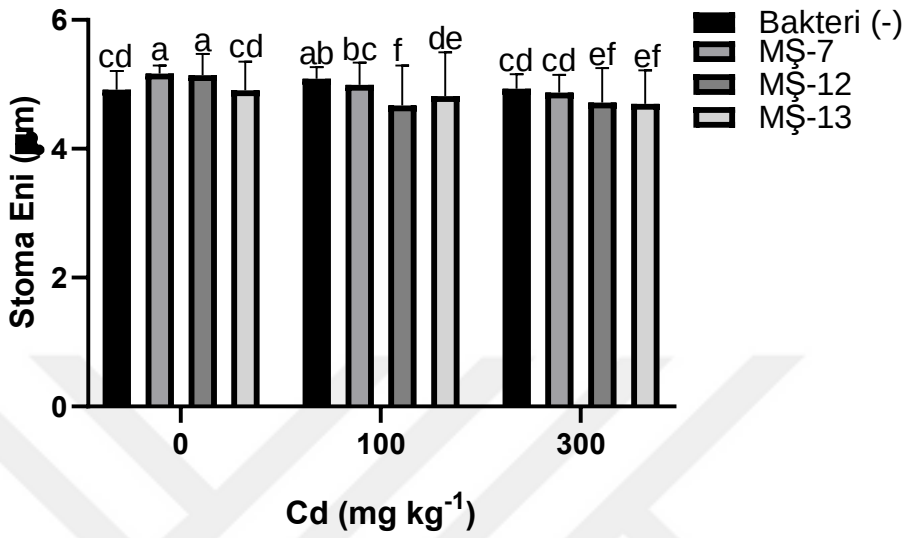
Şekil 99. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 100. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Stoma eni üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, bakteri uygulanan bitkilerde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak stoma eninde azalma görülmüştür. En yüksek değerler, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarından elde edilmişken, 100 mg kg^{-1} Cd dozunda B-, 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında elde edilmiştir. MŞ-12 suşunda doz artışına bağlı olarak

azalma görülmüştür. MŞ-7 ve MŞ-13 uygulamalarında azalma MŞ-12 suşuna göre daha azdır. B- uygulamasında ise stoma eni doz artışı ile önce artmış, ardından azalmıştır **(Şekil 101).**



Şekil 101. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma eni (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.4.1.3. Stoma sayısı (adet/mm^2)

Stoma sayısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 41).**

Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak stoma sayısı azalmıştır. En yüksek stoma sayısı YFL, en düşük stoma sayısı ise Kabarla'dan elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları da stoma sayısını B- uygulamasına göre azaltmıştır. En düşük değer MŞ-13 suşundan, en yüksek değer ise B- uygulamasından elde edilmiştir. Kabarla ve YFL çeşitlerinde tüm bakteri uygulamalarında doz artışı ile azalma görülmüştür. Rubygem'de B- uygulamasında doz artışına bağlı olarak artış görülürken, diğer çilek çeşitlerinde azalma meydana gelmiştir **(Tablo 41).**

Rubygem çeşidinde, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12; YFL'de MŞ-7 ve MŞ-13 suşları dışındaki tüm bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre milimetre karede daha az sayıda stoma oluşumuna sebep olmuştur. Kabarla'da ise tüm bakteri suşları B-

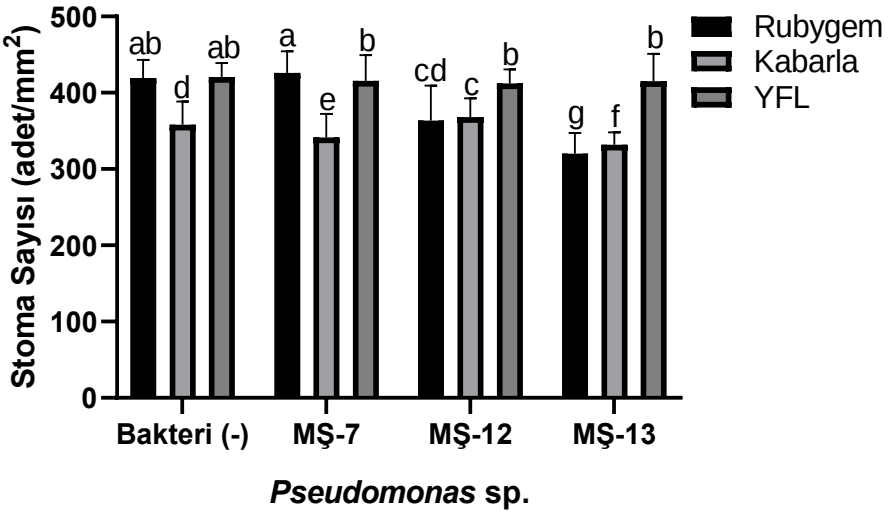
uygulamasına göre daha az sayıda stoma oluşmuştur. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem'de MŞ-7; Kabarla'da MŞ-12 ve MŞ-13; YFL'de MŞ-13 suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm suşlar B- uygulamasına göre daha düşük sayıda stoma oluşumuna sebep olmuştur. En düşük değerler tüm çilek çeşitlerinde MŞ-13 suşundan elde edilmiştir **(Tablo 41).**

Tablo 41. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine etkileri

Stoma Sayısı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**382,30^{B}**	
	0	394,46^{jk}	392,47^{jk}	418,56^{f-h}	346,98^{op}		
	100	430,36^{d-f}	452,25^{ab}	313,29^{r}	326,77^{qr}		**0 mg/kg**
	300	435,41^{c-e}	433,72^{c-e}	358,77^{no}	286,52^{s}		**403,23^{A}**
Kabarla						**349,86^{C}**	
	0	396,96^{ij}	377,26^{lm}	393,22^{jk}	344,18^{op}		
	100	338,29^{pq}	333,18^{pq}	372,09^{mn}	339,11^{pq}		**100 mg/kg**
	300	339,12^{pq}	313,75^{r}	339,10^{pq}	312,05^{r}		**381,54^{B}**
YFL						**415,905^{A}**	
	0	440,49^{b-d}	456,50^{a}	431,13^{d-f}	448,62^{a-c}		
	100	421,96^{e-h}	409,26^{hi}	414,60^{gh}	427,34^{d-g}		**300 mg/kg**
	300	399,23^{ij}	381,15^{k-m}	391,28^{j-l}	369,30^{mn}		**363,28^{C}**
Bakteri Ort.		**399,36^{A}**	**394,39^{B}**	**381,34^{C}**	**355,65^{D}**		

LSD Çeşit: 4,305*** LSD Ç*B: 8,610*** LSD Ç*B*D: 14,912***
LSD Bakteri: 4,971*** LSD Ç*D: 7,456***
LSD Doz: 4,305*** LSD B*D: 8,610***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

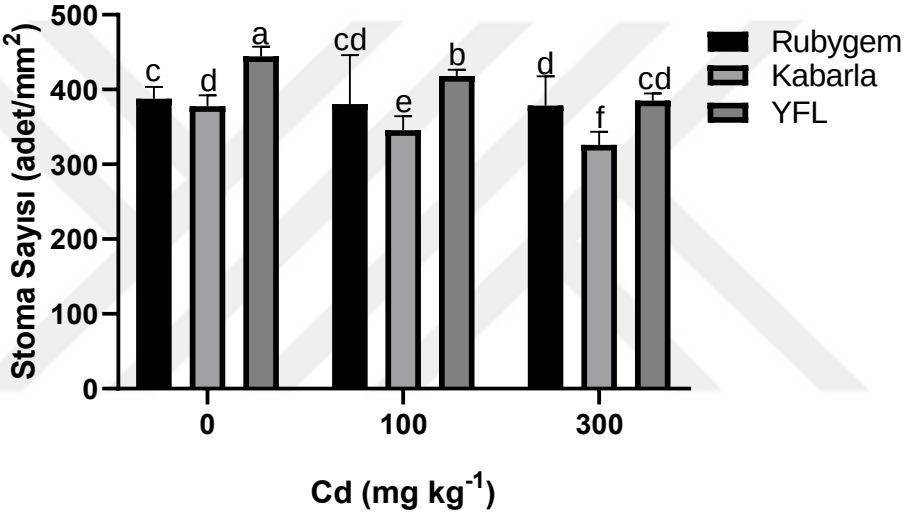


Şekil 102. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

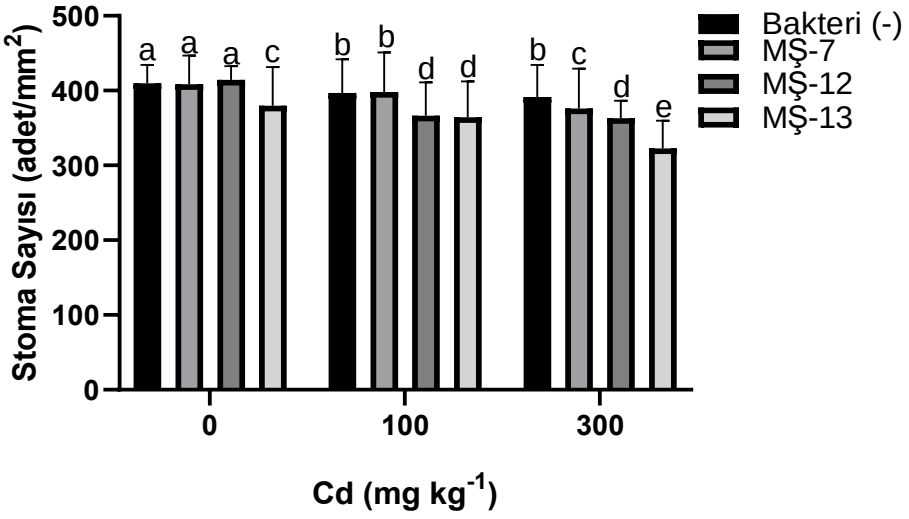
Stoma sayısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi

incelendiğinde, en yüksek değerler Rubygem ve YFL çeşitlerinde belirlenmiştir. En düşük değerler ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında Kabarla; MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri uygulamalarında ise Rubygem'den elde edilmiştir. MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında YFL çeşidi dışında stoma sayısı oldukça düşük bulunmuştur **(Şekil 102).**

Stoma sayısı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler YFL, en düşük değerler ise Kabarla çeşidinde bulunmuştur. Tüm çilek çeşitlerinde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak birim alandaki stoma sayısı azalmıştır. Bunun yanında, Kabarla ve YFL çeşitlerinde doz artışına bağlı olarak stoma sayısı azalması Rubygem'e göre daha yüksek bulunmuştur **(Şekil 103).**



Şekil 103. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 104. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Stoma sayısı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak stoma sayıları azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-12 dışındaki uygulamalar aynı istatistiki grupta yer almaktadır. B- uygulamasında doz artışı ile ortaya çıkan stoma sayısı azalması bakteri suşlarına göre daha azdır. Özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında bu azalma daha belirgindir **(Şekil 104).**

4.1.4.1.4. Yaprak kalınlığı (µm)

Yaprak kalınlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 42).**

Tablo 42. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kalınlığı (µm) üzerine etkileri

Yaprak Kalınlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**95,24^{C}**	
	0	98,08^{lm}	99,36^{k}	96,27^{no}	103,11^{j}		
	100	92,06^{rs}	92,39^{r}	93,97^{q}	97,13^{mn}		**0 mg/kg**
	300	90,94^{s-u}	91,56^{r-t}	93,55^{q}	94,44^{pq}		**110,35^{A}**
Kabarla						**121,74^{A}**	
	0	127,76^{a}	127,83^{a}	127,11^{a}	123,64^{b}		
	100	117,55^{f}	120,57^{c}	123,84^{b}	121,46^{c}		**100 mg/kg**
	300	114,64^{g}	119,39^{d}	119,09^{de}	117,99^{ef}		**103,74^{B}**
YFL						**97,96^{B}**	
	0	106,29^{h}	104,60^{i}	103,70^{ij}	106,39^{h}		
	100	95,94^{o}	96,25^{no}	95,37^{op}	98,40^{kl}		**300 mg/kg**
	300	89,88^{u}	90,86^{tu}	93,90^{q}	93,90^{q}		**100,85^{C}**
Bakteri Ort.		**103,68^{D}**	**104,76^{C}**	**105,20^{B}**	**106,27^{A}**		

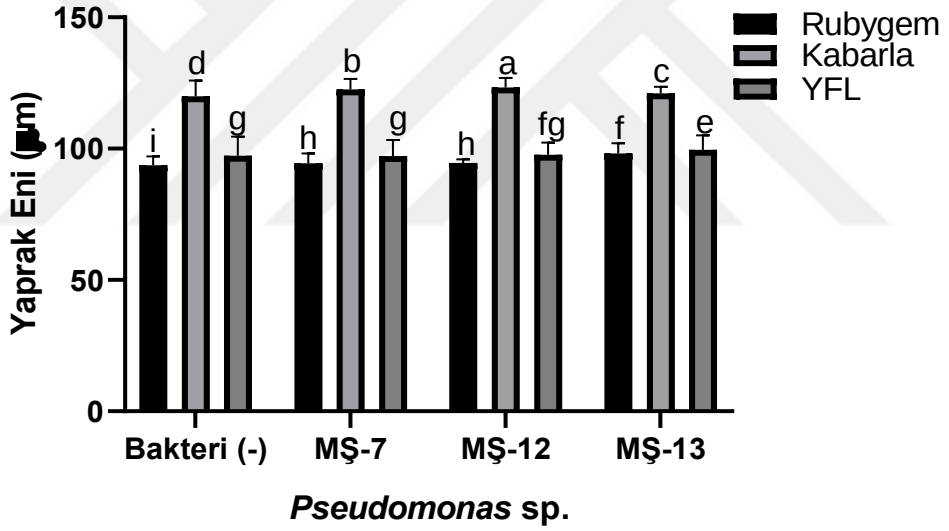
LSD Çeşit: 0,330*** LSD Ç*B: 0,660*** LSD Ç*B*D: 1,145***
LSD Bakteri: 0,381*** LSD Ç*D: 0,572***
LSD Doz: 0,330*** LSD B*D: 0,660***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kadmiyum dozu artışı ile yaprak kalınlığı önemli ölçüde azalmıştır. En kalın yapraklar Kabarla, en ince yapraklar ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları yaprak kalınlığı B- uygulamasına göre artırmıştır. En kalın yapraklar MŞ-

12 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiştir. Kadmiyum dozu artışına bağlı olarak B- uygulamasında yaprak kalınlığını önemli ölçüde azalmış, bakteri suşları ise yüksek dozlarda yaprak kalınlığını artırmıştır **(Tablo 42).**

0 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13, Kabarla'da MŞ-7 ve YFL'de MŞ-13 suşu dışındaki bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre yaprak kalınlığını azaltmıştır. Bu uygulamalardan da sadece Rubygem MŞ-13 suşu B- uygulamasına göre yaprak kalınlığını artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda, Rubygem, Kabarla ve YFL çeşitlerinde bakteri suşu uygulamaları (YFL-MŞ-12 dışındaki) B- uygulamasına göre yaprak kalınlığını artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ise tüm bakteri uygulamaları bakteri uygulanmamış bitkilere göre yaprak kalınlığını kadmiyum dozu artışına karşı önemli ölçüde korumuştur. En kalın yapraklar Rubygem'de MŞ-13, Kabarla'da MŞ-7 ve YFL'de MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiştir **(Tablo 42).**



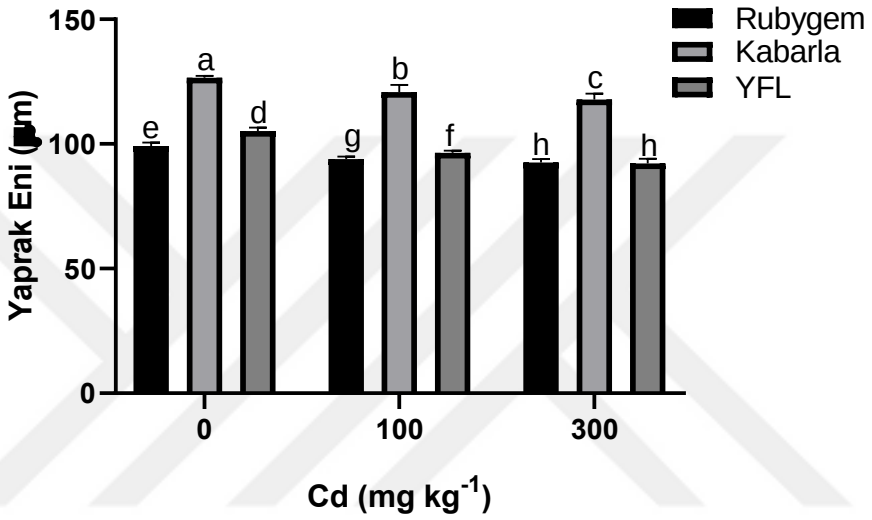
Şekil 105. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Yaprak kalınlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler Rubygem çeşidinde belirlenmiştir. Kabarla'da MŞ-7 dışında tüm bakteri suşu x çeşit interaksiyonlarından elde edilen değerler B- uygulamasına göre daha yüksektir **(Şekil 105).**

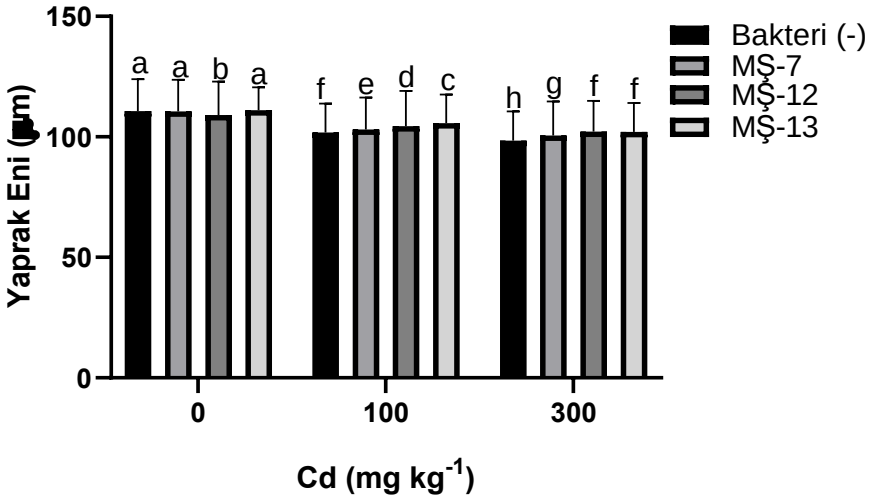
Yaprak kalınlığı üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak kalınlığı azalmıştır. En yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler Rubygem'den elde edilmiştir. Kabarla'da doz artışına bağlı olarak yaprak kalınlığı azalması YFL'ye göre daha düşük kalmıştır **(Şekil**

106).

Yaprak kalınlığı üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yaprak kalınlığı tüm bakteri uygulamalarında azalmıştır. 0 mg kg^{-1} Cd dozunda B- uygulaması en yüksek değerlerin arasında yer alırken, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak azalmıştır. Bakteri suşları ise kadmiyum dozu artışı ile yaprak kalınlığındaki azalmayı B- uygulamasına göre korumuş ve daha yüksek değerler ortaya çıkarmıştır **(Şekil 107).**



Şekil 106. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi



Şekil 107. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kalınlığı (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.4.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi

4.1.4.2.1. Stoma boyu (µm)

Stoma boyu üzerine; *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 43).**

Tablo 43. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma boyu (µm) üzerine etkileri

Stoma Boyu		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**13,61**	
	0	$14,73^{de}$	$14,40^{ef}$	$15,94^{a}$	$15,08^{b-d}$		
	500	$13,31^{i-k}$	$13,21^{i-k}$	$13,58^{hi}$	$13,60^{g-i}$		**0 mg/kg**
	1500	$11,88^{no}$	$12,36^{lm}$	$13,03^{k}$	$12,16^{l-o}$		**$15,07^{A}$**
Kabarla						**13,70**	
	0	$15,28^{bc}$	$15,54^{ab}$	$15,33^{bc}$	$14,79^{de}$		
	500	$13,08^{jk}$	$13,54^{h-j}$	$13,96^{f-h}$	$14,11^{f}$		**500 mg/kg**
	1500	$12,35^{l-n}$	$12,00^{m-o}$	$12,07^{l-o}$	$12,40^{lm}$		**$13,72^{B}$**
YFL						**13,71**	
	0	$14,96^{cd}$	$14,92^{cd}$	$14,91^{cd}$	$14,95^{cd}$		
	500	$14,06^{fg}$	$14,32^{ef}$	$13,95^{f-h}$	$13,93^{f-h}$		**1500 mg/kg**
	1500	$12,24^{l-o}$	$12,51^{l}$	$11,93^{m-o}$	$11,78^{o}$		**$12,23^{C}$**
Bakteri Ort.		**$13,54^{B}$**	**$13,64^{B}$**	**$13,85^{A}$**	**$13,65^{B}$**		

LSD Çeşit: Ö.D. LSD Bakteri: 0,158** LSD Doz: 0,136*** LSD Ç*B: 0,274*** LSD Ç*D: 0,237*** LSD B*D: Ö.D. LSD Ç*B*D: 0,474***

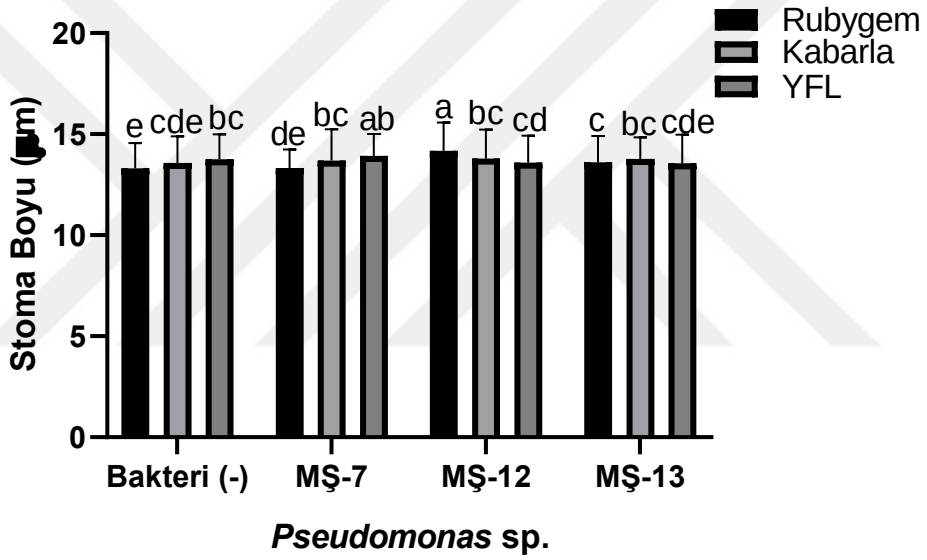
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Kurşun dozu artışı ile stoma boyu önemli ölçüde azalmıştır. Çilek çeşitleri arasında en yüksek değerler Kabarla ve YFL çeşitlerinde elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları arasında ise küçük farklar olmakla birlikte MŞ-12 suşu en uzun stomaların oluşmasını sağlamıştır. Tüm çeşitlerde kurşun dozu artışına bağlı olarak bütün bakteri uygulamalarında stoma boyu azalmıştır. Rubygem'de bakteri uygulamaları B-uygulamasına göre stoma boyunu artırmıştır **(Tablo 43).**

0 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde bakteri suşları B-uygulamasına göre stoma boyunu artırmışken, YFL'de en yüksek değerler B-uygulamasından elde edilmiş olup, tüm bakteri uygulamaları aynı istatistiki grupta yer

almıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem (MŞ-12 ve MŞ-13) ve YFL (MŞ-7) çeşitlerinde bazı, Kabarla'da ise tüm bakteri suşlarından elde edilen değerler B- uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda; Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre stoma boyunu artırmışken, Kabarla'da MŞ-13 ve YFL çilek çeşidinde MŞ-7 dışındaki bakteri uygulamaları B- uygulamasına göre daha kısa stomalar oluşturmuştur **(Tablo 43).**

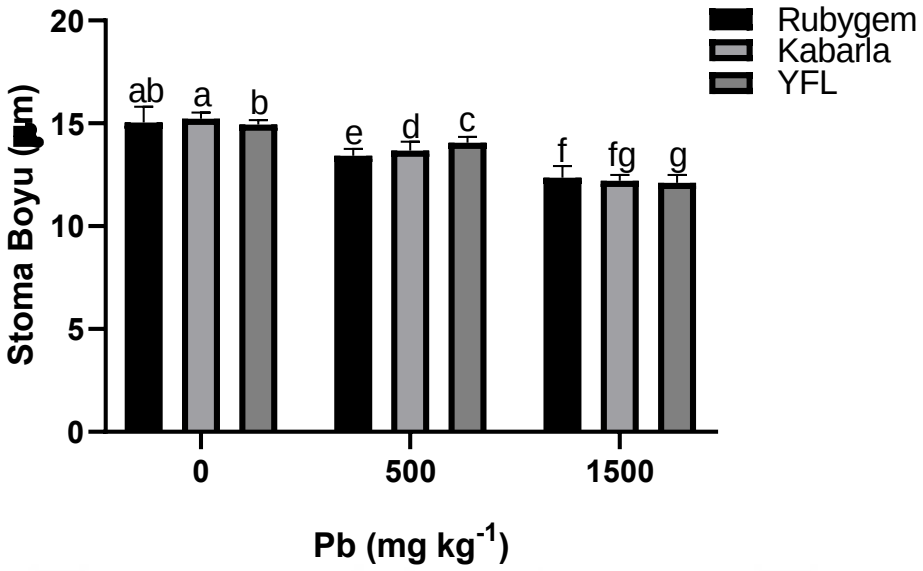
Stoma boyu üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, farklı çilek çeşitlerinde farklı bakteri uygulamaları etkili bulunmuştur. Rubygem üzerine en etkili bakteri uygulaması MŞ-12 iken, Kabarla'da tüm suşlar etkili bulunmuştur. YFL'de ise en yüksek değerler MŞ-7 suşundan elde edilmiştir **(Şekil 108).**



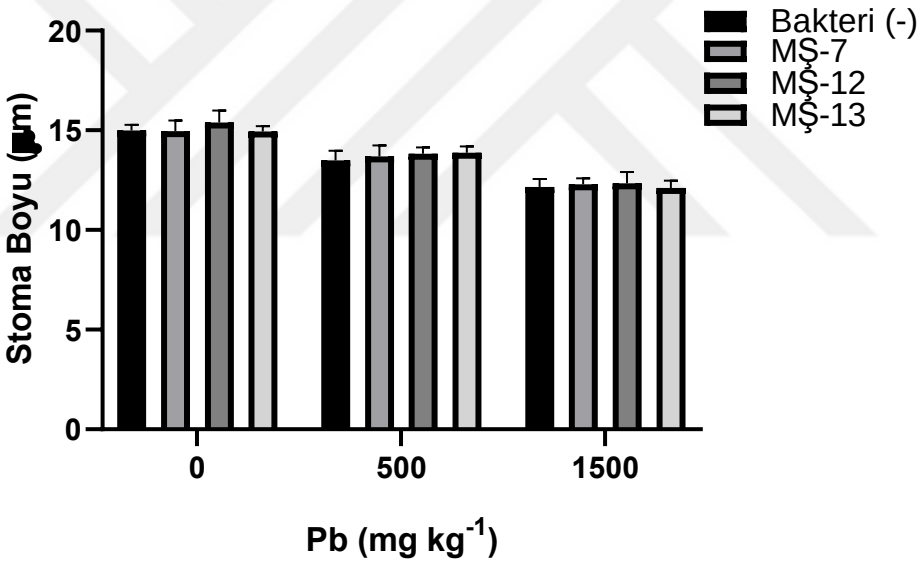
Şekil 108. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Stoma boyu üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm çilek çeşitlerinde stoma boyu kısalmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda bir miktar farklılık olsa da çilek çeşitlerinin kurşun dozlarına verdiği tepkiler birbirine benzerdir. 0 mg kg^{-1} Pb dozunda en uzun stomalara sahip olan Kabarla çeşidi diğer kurşun dozlarında çeşitler arasında ikinci sırada yer almaktadır **(Şekil 109).**

Stoma boyu üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur **(Şekil 110).**



Şekil 109. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma boyu (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 110. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma boyu (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.4.2.2. Stoma eni (µm)

Stoma eni üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları ($p<0,01$), *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ($p<0,01$) interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 44).**

Tablo 44. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma eni (µm) üzerine etkileri

Stoma Eni		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**5,10^{B}**	
	0	4,84^{k-p}	5,06^{g-k}	5,26^{e-h}	5,13^{f-j}		
	500	5,04^{h-l}	5,04^{h-m}	4,76^{n-r}	5,05^{h-l}		**0 mg/kg**
	1500	5,25^{e-h}	5,15^{e-j}	5,33^{d-f}	5,25^{e-h}		**5,08**
Kabarla						**5,39^{A}**	
	0	5,37^{d-f}	5,40^{c-e}	5,36^{d-f}	5,53^{b-d}		
	500	5,69^{ab}	5,17^{e-i}	4,99^{i-n}	5,85^{a}		**500 mg/kg**
	1500	5,14^{f-j}	5,22^{e-i}	5,31^{d-g}	5,66^{a-c}		**5,04**
YFL						**4,72^{C}**	
	0	4,89^{j-o}	4,72^{o-r}	4,53^{qr}	4,83^{k-p}		
	500	4,80^{l-p}	4,74^{n-r}	4,52^{r}	4,80^{l-p}		**1500 mg/kg**
	1500	4,79^{m-q}	4,60^{p-r}	4,78^{m-q}	4,66^{o-r}		**5,09**
Bakteri Ort.		**5,09^{B}**	**5,01^{BC}**	**4,98^{C}**	**5,20^{A}**		

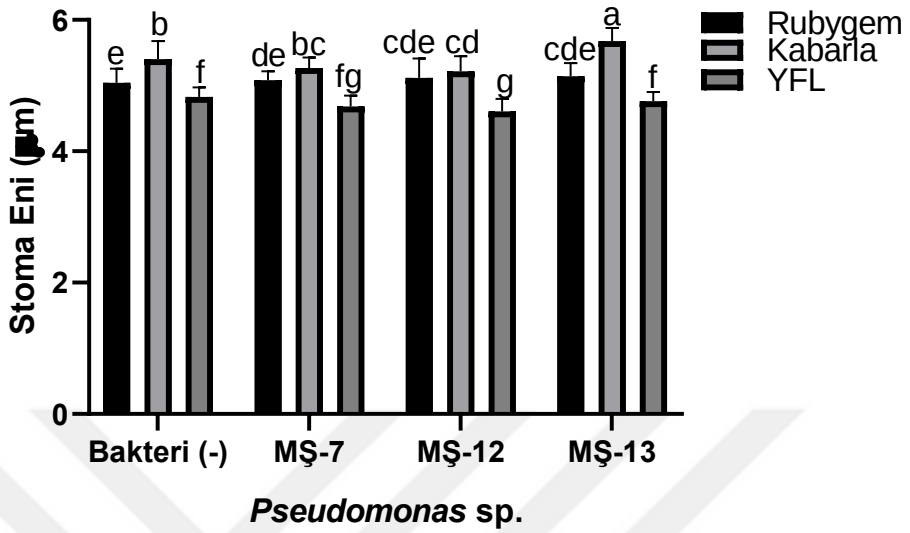
LSD Çeşit: 0,075*** LSD Ç*B: 0,149*** LSD Ç*B*D: 0,258**
LSD Bakteri: 0,086*** LSD Ç*D: 0,129**
LSD Doz: Ö.D. LSD B*D: 0,149***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

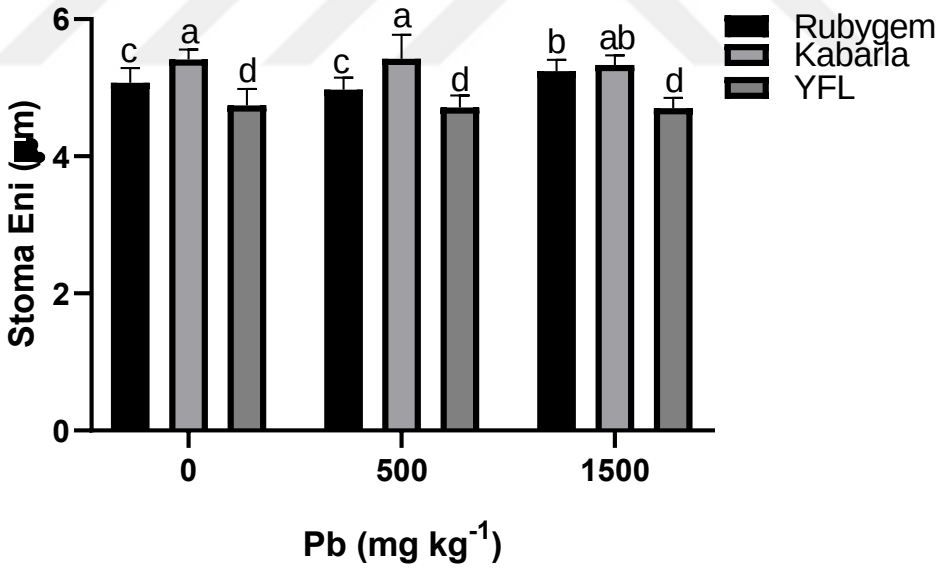
Kurşun uygulamalarının stoma eni üzerine etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En geniş stomalar Kabarla, en dar stomalar YFL çeşidinden elde edilmiştir. En geniş stomalar MŞ-13 suşundan elde edilmişken, diğer uygulamalarının değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Rubygem'de bakteri suşu uygulamalarında stoma eni kurşun dozu artışı ile önce azalmış, sonra artmış; B- uygulamasında doz artışı ile artmıştır. Kabarla'da B- ve MŞ-13 uygulamalarında stoma eni kurşun dozu artışı ile birlikte önce artıp sonra azalmasına karşın, diğer bakteri uygulamalarında Rubygem'e benzer şekilde önce azalmış, sonrasında artmıştır. YFL'de ise kurşun dozu artışı ile birlikte stoma genişliği azalmış olmasına karşın, MŞ-7 suşunda ilk olarak artış görülmüştür **(Tablo 44).**

0 mg kg^{-1} Pb dozunda, Kabarla çeşidinde MŞ-7 ile MŞ-13; Rubygem'de tüm bakteri suşları B- uygulamasına göre stoma enini artırmıştır. YFL'de ise suşları tamamı B- uygulamasına göre stoma enini artırmış olup, en düşük değer MŞ-12 suşundan elde edilmiştir. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem'de MŞ-12 dışındaki tüm bakteri suşu uygulamaları aynı istatistiki grupta yer almıştır. Kabarla'da MŞ-13 suşu stoma enini artırmış olup, diğer suşlar B- uygulamasına göre azaltmıştır. YFL'de ise B- uygulaması ile MŞ-13 suşu arasında stoma eni arasında fark görülmemiş, diğer uygulamalar ise stoma enini azaltmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'de MŞ-12 suşu en geniş stomaları meydana getirmişken, MŞ-13 suşu ile B- uygulaması aynı değer ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Buna karşın, Kabarla'da tüm suşlar B- uygulamasına stoma enini artırmış

olup, YFL'de en geniş stomalar B- ve MŞ-12 uygulamalarından elde edilmiştir **(Tablo 44).**



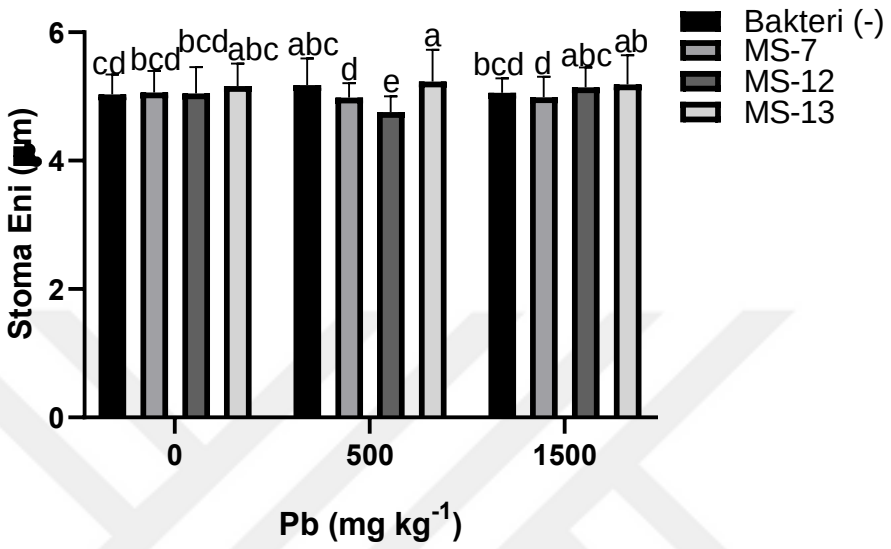
Şekil 111. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 112. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma eni (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Stoma eni üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler tüm bakteri uygulamalarında Kabarla, en düşük değerler ise YFL'den elde edilmiştir. Rubygem'de en yüksek değerler MŞ-12 ve MŞ-13; Kabarla'da MŞ-13; YFL'de B- ve MŞ-13 bakteri uygulamalarından elde edilmiştir. En düşük değer ise YFL'de MŞ-12 suşundan elde edilmiştir (**Şekil 111).**

Stoma eni üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler YFL'den elde edilmiştir. YFL'de kurşun dozu bakımından istatistiki bir fark görülmemiştir. Kabarla'da doz artışı ile stomaların eninin azalmasına rağmen, Rubygem'de doz artışı ile artmıştır **(Şekil 112).**



Şekil 113. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma eni (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Stoma eni üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile bakteri uygulamalarında stomalar daraldıktan sonra tekrar genişlemiştir. En yüksek değerler MŞ-13 suşundan, en düşük değerler ise 500 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarından elde edilmiştir. Kurşun dozu artışına bağlı olarak bakteri uygulamaları farklı tepkiler vermiştir. Bakteri yokluğunda doz artışı ile stoma eni önce artmış, sonra azalmış olup, MŞ-7 suşunda azalmıştır. MŞ-12 suşu uygulamasında ise önce azalıp, sonra artmıştır **(Şekil 113).**

4.1.4.2.3. Stoma sayısı (adet/mm^2)

Stoma sayısı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları ($p<0,01$), çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 45).**

Kurşun dozu artışı ile stoma sayısı önemli ölçüde azalmıştır. En fazla stoma

Rubygem'de, en az ise Kabarla'da belirlenmiştir. Bakteri uygulamaları stoma sayısını azaltmış olup, en düşük değer MŞ-12 bakteri uygulamasından elde edilmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile stoma sayıları azalmıştır. YFL'de bakteri suşları uygulanmış bitkilerde kurşun dozu artışı ile stoma sayıları önemli ölçüde düşmesine karşın, Rubygem'de düşüş daha azdır. Kabarla'da stoma sayıları kurşun dozu artışına bağlı olarak B- uygulamasında önce artmış, sonra azalmış; MŞ-7 suşunda önce azalmış, sonra artmış; MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarında azalmıştır **(Tablo 45).**

Tablo 45. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine etkileri

Stoma Sayısı		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Pb Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**413,24^{A}**	
	0	472,20^{a}	468,39^{a}	415,06^{d-f}	404,60^{e-i}		
	500	400,39^{f-i}	424,51^{cd}	411,57^{d-h}	447,60^{b}		**0 mg/kg**
	1500	364,27^{o-q}	362,05^{o-r}	389,77^{i-l}	397,87^{g-j}		**415,30^{A}**
Kabarla						**374,46^{C}**	
	0	383,28^{j-m}	395,97^{h-k}	374,82^{l-o}	405,27^{e-i}		
	500	412,89^{d-g}	365,51^{n-q}	355,36^{p-s}	362,97^{o-r}		**500 mg/kg**
	1500	368,04^{m-p}	383,28^{j-m}	350,28^{q-t}	335,89^{tu}		**390,13^{B}**
YFL						**379,36^{B}**	
	0	397,06^{g-k}	433,70^{bc}	414,64^{d-f}	418,56^{c-e}		
	500	381,28^{k-n}	372,76^{m-o}	372,24^{m-o}	373,93^{l-o}		**1500 mg/kg**
	1500	376,24^{l-o}	325,53^{u}	339,40^{s-u}	346,98^{r-t}		**361,63^{C}**
Bakteri Ort.		**395,14^{A}**	**392,41^{AB}**	**380,35^{C}**	**388,18^{B}**		

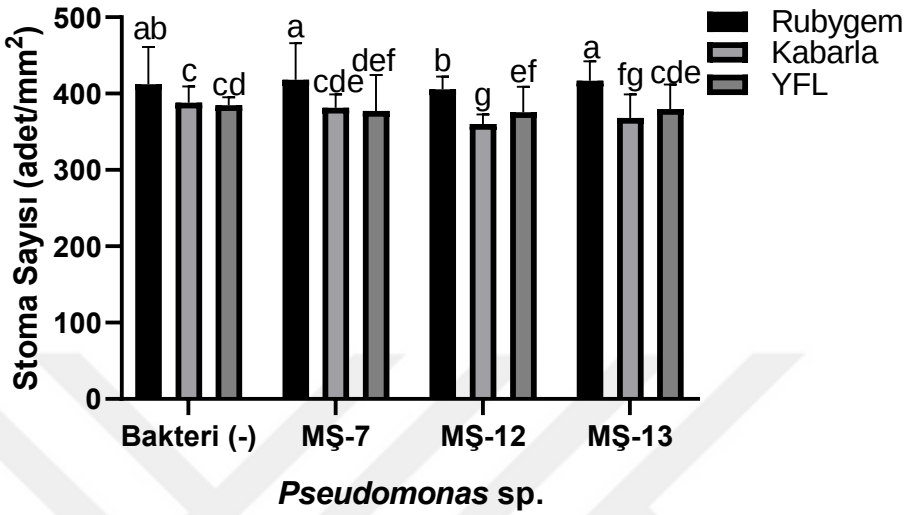
LSD Çeşit: 4,662*** LSD Ç*B: 9,324** LSD Ç*B*D: 16,149***
LSD Bakteri:5,383*** LSD Ç*D: 8,074***
LSD Doz: 4,662*** LSD B*D: 9,324***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

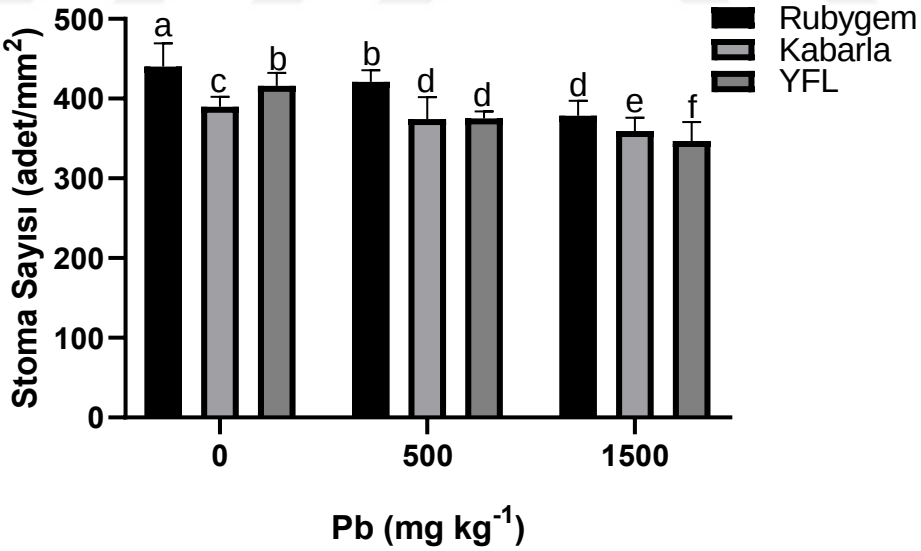
0 mg kg^{-1} Pb dozunda en fazla sayıda stoma, Rubygem'de B-, Kabarla'da MŞ-7 ve MŞ-13 suşlarından elde edilmiştir. YFL'de ise tüm suşlar B- uygulamasına göre daha yüksek sayıda stoma oluşmasını sağlamıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem'de tüm suşlar B- uygulamasına göre stoma sayısını artırmışken, Kabarla ve YFL'de azaltmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise Rubygem çilek çeşidinde MŞ-12 ve MŞ-13; Kabarla'da MŞ-7 suşları B- uygulamasına göre birim alanda daha fazla stoma oluşmasına katkı sağlamıştır. YFL'de ise tüm suşlar B- uygulamasına göre stoma sayısını azaltmıştır **(Tablo 45).**

Stoma sayısı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, tüm bakteri uygulamalarında en yüksek değerler Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. En düşük değerler ise B- ve MŞ-7 uygulamalarında YFL; MŞ-12 ve MŞ-

13 suşlarında Kabarla'dan elde edilmiştir. Bakteri uygulamaları arasında tüm çilek çeşitlerinde en az stomaya MŞ-12, Rubygem'de en yüksek değerler MŞ-7 ve MŞ-13, Kabarla ve YFL'de ise B- uygulamalarından elde edilmiştir **(Şekil 114).**



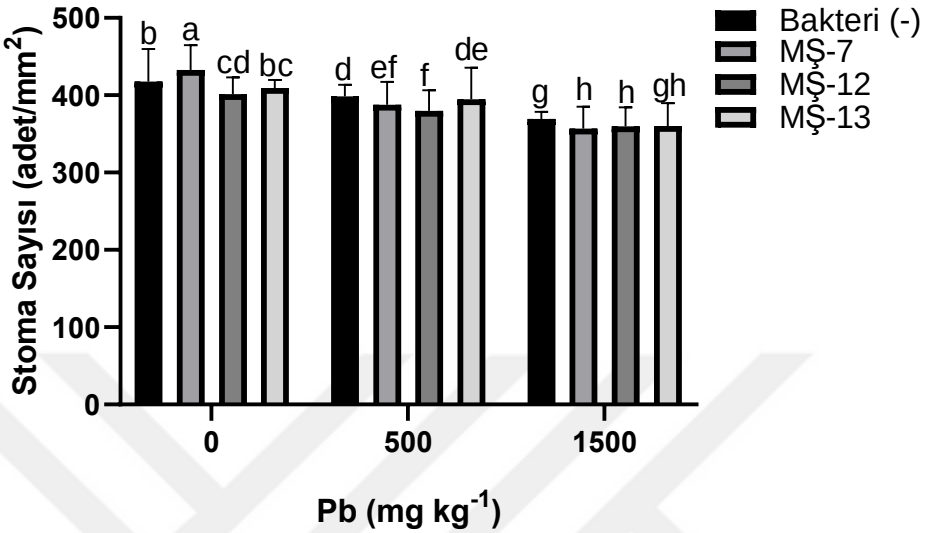
Şekil 114. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 115. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Stoma sayısı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm çilek çeşitlerinde stoma sayısı azalmıştır. Rubygem ve YFL çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile stoma sayısı önemli

ölçüde azalmış olmasına karşın, Kabarla'da ki azalma daha azdır. Tüm çilek çeşitlerinde en yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb, en düşük değerler 1.500 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiştir **(Şekil 115).**



Şekil 116. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde stoma sayısı (adet/mm^2) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Stoma sayısı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde doz artışına bağlı olarak stoma sayısı azalmıştır. En yüksek değerler 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7, 500 ve 1.500 mg kg^{-1}'Pb dozunda B- uygulamasından elde edilmiştir. Tüm kurşun dozlarında en düşük değerler MŞ-12 suşundan elde edilmiş olup, 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-7 ve MŞ-12 suşları aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 116).**

4.1.4.2.4. Yaprak kalınlığı (µm)

Yaprak kalınlığı üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 46).**

Kurşun dozu arttıkça yaprak kalınlığı azalmış olup, bakteri uygulamaları arasında yalnızca MŞ-12 suşu yaprak kalınlığını artırmıştır. Çeşitler arasında yaprak kalınlığı en fazla olan çeşit Kabarla, en düşük ise Rubygem'dir. Üç çilek çeşidinde de uygulanan bakteriler ile kurşun dozu artışına bağlı olarak çeşitli oranlarda yaprak kalınlığını

azalmıştır. YFL'de tüm suşlar yaprak kalınlığını B- uygulamasına göre artırmışken, Rubygem'de MŞ-12, Kabarla'da MŞ-7 ve MŞ-12 suşları benzer sonuçlara yol açmıştır **(Tablo 46).**

Tablo 46. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kalınlığı (µm) üzerine etkileri

Yaprak Kalınlığı		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**95,61^{C}**	
	0	100,40^{no}	101,57^{mn}	98,08^{q}	101,93^{lm}		
	500	99,55^{op}	94,57st	96,60^{r}	91,65^{u}		**0 mg/kg**
	1500	91,00^{uv}	88,23^{w}	93,81^{t}	89,96^{v}		**108,88^{A}**
Kabarla						**115,23^{A}**	
	0	124,35^{a}	120,91^{c}	124,86^{a}	122,72^{b}		
	500	115,26^{e}	112,08^{f}	117,66^{d}	110,97^{fg}		**500 mg/kg**
	1500	107,84^{i}	110,48^{g}	109,15^{h}	106,43^{j}		**102,99^{B}**
YFL						**98,73^{B}**	
	0	99,89^{op}	102,96^{kl}	105,51^{j}	103,44^{k}		
	500	96,83^{r}	99,08^{pq}	102,30^{k-m}	99,37^{op}		**1500 mg/kg**
	1500	90,33^{v}	96,50^{r}	95,10^{s}	93,45^{t}		**97,69^{C}**
Bakteri Ort.		**102,83^{B}**	**102,93^{B}**	**104,75^{A}**	**102,21^{C}**		

LSD Çeşit: 0,344*** LSD Ç*B: 0,688*** LSD Ç*B*D: 1,193***
LSD Bakteri:0,398*** LSD Ç*D: 0,596***
LSD Doz: 0,344*** LSD B*D: 0,688***

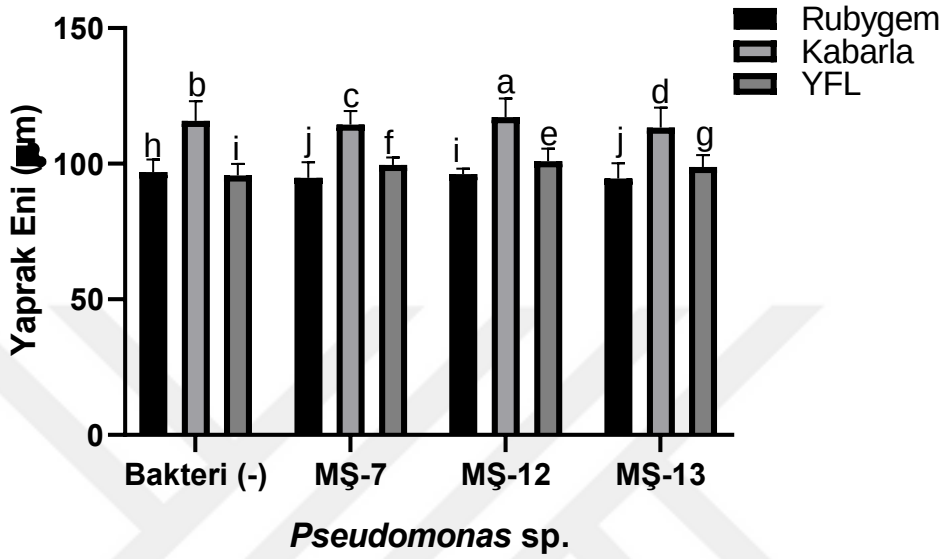
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Yapılan çalışmada, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-13; Kabarla'da ise MŞ-12 suşları B- uygulamasına göre, YFL'de tüm suşlar bakteri uygulanmamış bitkilere göre yaprak kalınlığını artırmıştır. 500 mg kg^{-1} Pb dozunda, Rubygem'de en yüksek değerler B- uygulamasından elde edilmiş olup, Kabarla'da MŞ-12 suşu, YFL'de ise tüm suşlar B- uygulamasına göre yaprak kalınlığını artırmıştır. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda Rubygem'de MŞ-12, Kabarla'da MŞ-7 ve MŞ-12 suşları B- uygulamasına göre yaprak kalınlığı artırmıştır. YFL'de ise tüm kurşun dozlarında olduğu gibi bakteri suşları yaprak kalınlığını artan kurşun dozlarında B- uygulamasına göre artırmıştır **(Tablo 46).**

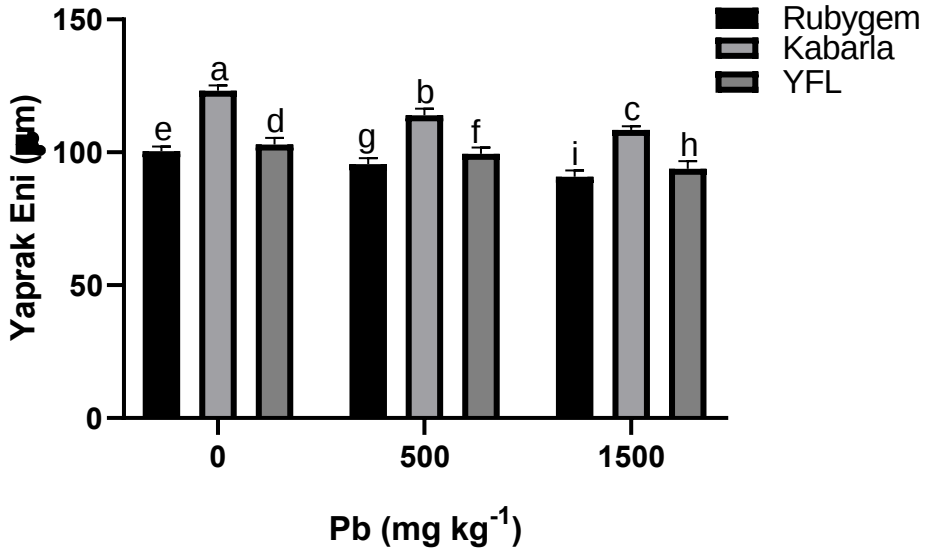
Yaprak kalınlığı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla'dan, en düşük değerler ise B- uygulaması dışında Rubygem'den elde edilmiştir. Kabarla ve YFL çeşitlerinden en kalın yapraklar MŞ-12 suşundan, Rubygem'de ise B- uygulamasından elde edilmiştir. MŞ-13 suşu ise B- uygulamasına göre yaprak kalınlığını azaltmıştır **(Şekil 117).**

Yaprak kalınlığı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi

incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm çilek çeşitlerinde yaprak kalınlığı azalmıştır. En yüksek değerler Kabarla, en düşük değerler ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde doz artışı ile yaprak kalınlığındaki azalma YFL'ye göre daha fazladır **(Şekil 118).**



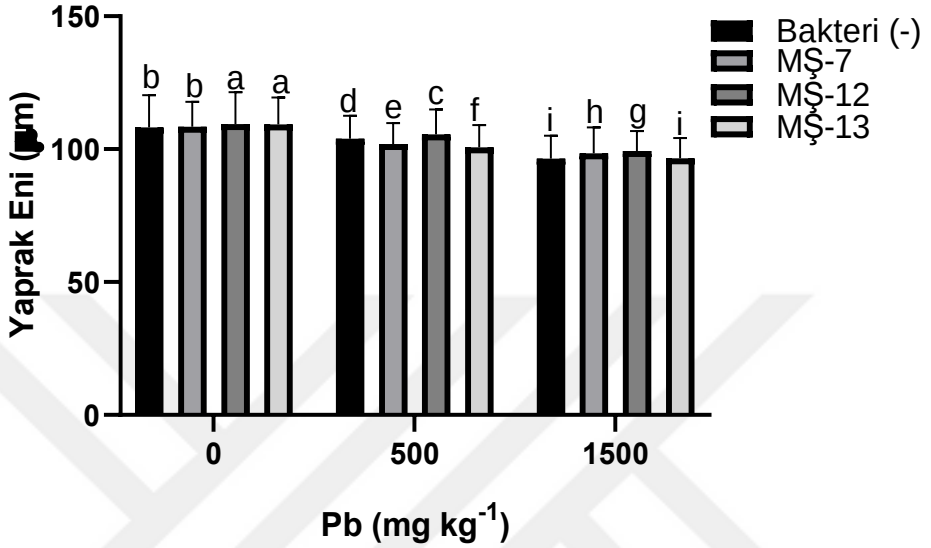
Şekil 117. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 118. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kalınlığı (µm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Yaprak kalınlığı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, kurşun dozu artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında yaprak

kalınlığı azalmıştır. Tüm kurşun dozlarında en yüksek değerler MŞ-12 suşundan elde edilmiş olup, 0 mg kg^{-1} Pb dozunda MŞ-13 ile aynı istatistiki grupta yer almaktadır. Uygulamalar arasında B- ve MŞ-13 uygulamaları kurşun dozu artışından diğer uygulamalara göre daha fazla etkilenmiştir **(Şekil 119).**



Şekil 119. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kalınlığı (µm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5. Ağır metal biriktirme özellikleri

4.1.5.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde kadmiyum biriktirme özellikleri üzerine etkisi

4.1.5.1.1. Primer köklerin kadmiyum içerikleri (ppm)

Primer kök kadmiyum içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 47).**

Kadmiyum dozu artışı ile birlikte primer köklerde bulunan kadmiyum içeriği önemli ölçüde artmış, bakteri uygulamaları primer köklerdeki kadmiyum birikimi azaltmıştır. Çeşitler arasında primer köklerde kadmiyum biriktirme arasında farklılıklar

tespit edilmiş ve en fazla kadmiyum biriktiren çeşit olarak YFL ortaya çıkmıştır. Kabarla ise diğer çeşitlere nazaran daha az miktarda kadmiyumu primer köklerde biriktirmiştir. Tüm çilek çeşitlerinde (YFL'de MŞ-13 dışında) tüm bakteri uygulamaları bakteri yokluğuna göre özellikle yüksek kadmiyum dozunda primer köklerde kadmiyum birikimini azaltmıştır **(Tablo 47).**

Tablo 47. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine etkisi

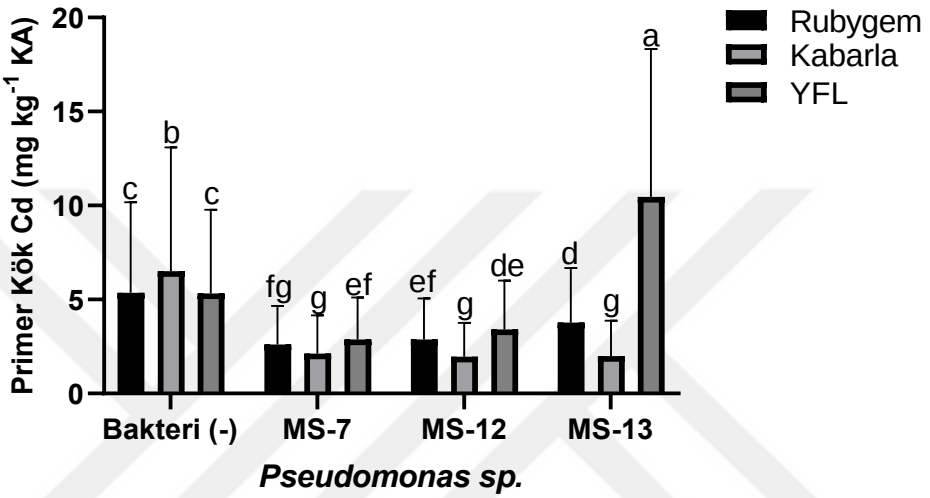
PKCdİ		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**3,65^{B}**	
	0	0,01^{g}	0,01^{g}	0,01^{g}	0,01^{g}		**0 mg/kg 0,01^{C}**
	100	5,10^{cd}	3,50^{e}	4,03^{de}	5,67^{c}		
	300	10,97^{b}	4,30^{de}	4,57^{c-e}	5,67^{c}		
Kabarla						**3,14^{C}**	
	0	0,01^{g}	0,01^{g}	0,01^{g}	0,01^{g}		**100 mg/kg 4,94^{B}**
	100	4,70^{c-e}	1,93^{f}	1,70^{f}	1,67^{f}		
	300	14,83^{a}	4,43^{de}	4,15^{de}	4,30^{de}		
YFL						**5,52^{A}**	
	0	0,10^{g}	0,01^{g}	0,01^{g}	0,07^{g}		**300 mg/kg 7,35^{A}**
	100	5,70^{c}	4,37^{de}	5,17^{cd}	15,80^{a}		
	300	10,17^{b}	4,27^{de}	5,07^{cd}	15,50^{a}		
Bakteri Ort.		**5,73^{A}**	**2,53^{B}**	**2,74^{B}**	**5,41^{A}**		

LSD Çeşit: 0,352*** LSD Ç*B: 0,703*** LSD Ç*B*D: 1,218***
LSD Bakteri: 0,406*** LSD Ç*D: 0,609***
LSD Doz: 0,352*** LSD B*D: 0,703***

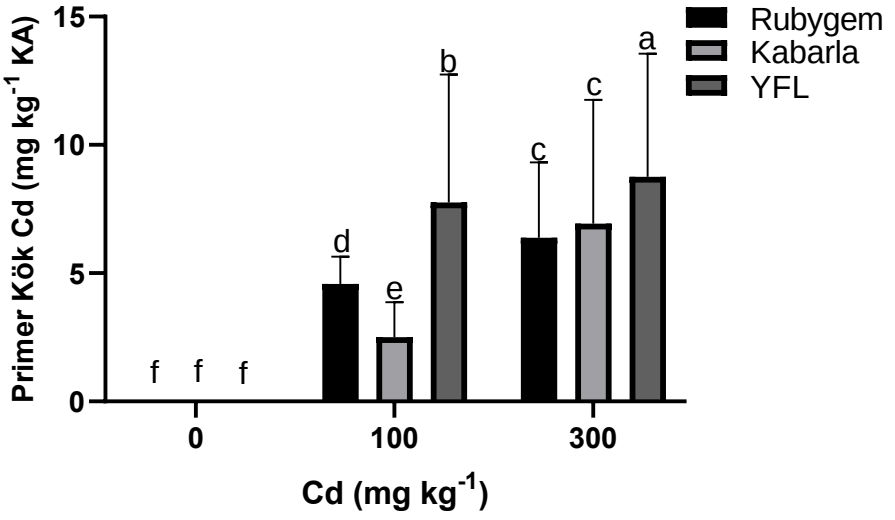
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Yapılan çalışmada, tüm çeşitlerde ve tüm bakteri uygulamalarında 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bitkilerin topraktan alıp primer köklerinde tuttuğu kadmiyum miktarı birbirine benzer bulunmuştur. YFL çeşidinde diğerlerine göre kadmiyum miktarı daha fazla olsa da istatistiki açıdan fark görülmemiştir. Bununla birlikte tüm çilek çeşitlerinde bakteri uygulanmamış bitkilerin primer köklerindeki kadmiyum içeriği uygulanan dozun artmasına bağlı olarak artmıştır. Düşük kadmiyum dozunda B- uygulamasında en düşük değerin tespit edildiği Kabarla çeşidinden yüksek dozda en yüksek değer elde edilmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamaları ile her iki dozda da (özellikle yüksek doz) primer köklerde kadmiyum içeriği önemli ölçüde azalmıştır. YFL'de ise MŞ-13 suşu uygulaması ile artan kadmiyum alımı diğer iki bakteri suşu uygulamasında diğer çeşitlerde olduğu gibi azalmıştır. Bununla birlikte, diğer çeşitlerden farklı olarak düşük kadmiyum dozunda YFL'de kadmiyum alımı daha yüksektir **(Tablo 47).**

Primer köklerin kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler YFL çeşidinde MŞ-13 suşunda elde edilmiştir. Bakteri yokluğunda önemli ölçüde kadmiyum biriktiren Kabarla, bakteri uygulamaları ile primer köklerinde en az miktarda kadmiyum biriktiren çeşit olmuştur. Bakteri suşları arasında MŞ-7 tüm çeşitlerde en düşük miktarda kadmiyum biriktirme etkisinin ortaya çıkmasını sağlamıştır **(Şekil 120)**.



Şekil 120. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

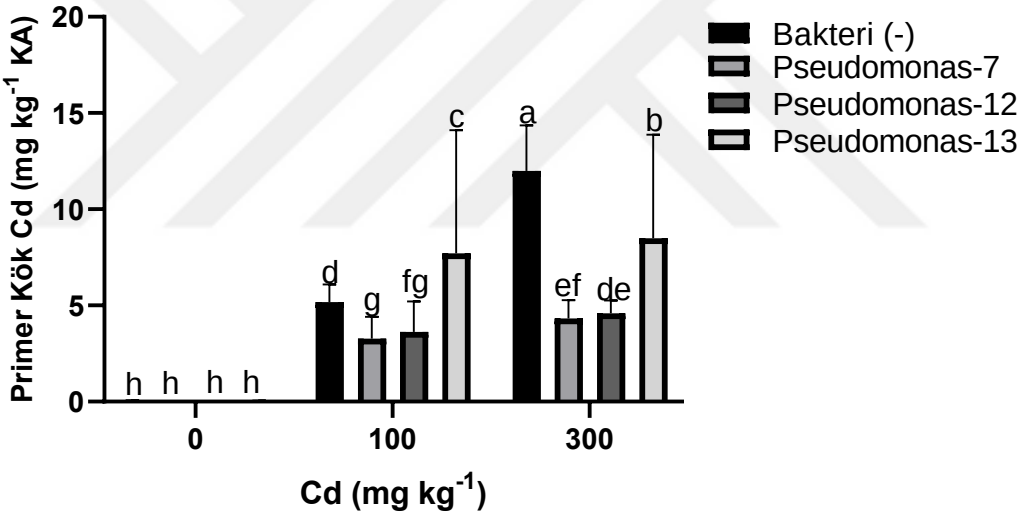


Şekil 121. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Primer köklerin kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak tüm çeşitlerin primer

köklerinde biriken kadmiyum miktarı artmıştır. Kabarla 100 mg kg^{-1} Cd dozunda çok az miktarda kadmiyum biriktirmişken, YFL'de bu miktar Kabarla'ya göre 2 kattan fazladır. Yüksek dozda ise Kabarla çeşidinin primer köklerinde biriken kadmiyum miktarı Rubygem'in üstüne çıkmıştır. Her iki dozda da en fazla kadmiyum YFL'nin primer köklerinde tespit edilmiştir **(Şekil 121)**.

Primer köklerin kadmiyum içeriği üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak kadmiyum birikimi artmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda en fazla kadmiyum birikimine yol açan bakteri suşu MŞ-13 iken, yüksek dozda bakteri uygulanmamış bitkilerin primer köklerinde biriken kadmiyum miktarı daha fazla olmuştur. Özellikle yüksek kadmiyum dozunda tüm suşlar B- uygulamasına göre primer köklerde kadmiyum birikimini azaltmıştır. Özellikle MŞ-7 ve MŞ-13 suşları oldukça etkili olmuştur **(Şekil 122)**.



Şekil 122. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök kadmiyum içeriği (PKCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5.1.2. Sekonder köklerin kadmiyum içerikleri (ppm)

Sekonder kök kadmiyum içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 48).**

Yapılan çalışmada, doz artışına bağlı olarak sekonder köklerde biriken kadmiyum miktarı artmıştır. Bununla birlikte, MŞ-12 ve özellikle MŞ-7 suşu bu birikmeyi azaltmıştır. Bununla birlikte, MŞ-13 suşu sekonder köklerde biriken kadmiyum miktarını önemli ölçüde artırmıştır. Çilek çeşitleri arasında sekonder köklerinde kadmiyumu en fazla biriktiren Kabarla olmuş, diğer iki çeşitten elde edilen değerler birbirine yakın bulunmuştur. Çeşitler arasında Rubygem diğerlerine göre bakteri uygulamalarına daha iyi tepki vermiş ve kadmiyum alımını yüksek dozlarda önemli ölçüde azaltmıştır **(Tablo 48).**

Tablo 48. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine etkisi

SKCdİ		**Bakteri Uygulamaları**				**Çeşit Ort.**	**Cd Ort.**
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**3,16^{B}**	
	0	0,02^{g}	0,02^{g}	0,03^{g}	0,02^{g}		**0 mg/kg 0,04^{C}**
	100	5,37^{e}	2,67^{f}	3,09^{f}	3,58^{f}		
	300	10,55^{b}	3,50^{f}	3,68^{f}	5,42^{e}		
Kabarla						**6,76^{A}**	
	0	0,04^{g}	0,02^{g}	0,05^{g}	0,05^{g}		**100 mg/kg 5,99^{B}**
	100	7,96^{c}	10,49^{b}	11,48^{ab}	12,58^{a}		
	300	9,91^{b}	6,90^{c-e}	10,32^{b}	11,30^{ab}		
YFL						**3,45^{B}**	
	0	0,09^{g}	0,06^{g}	0,03^{g}	0,08^{g}		**300 mg/kg 7,34^{A}**
	100	2,08^{f}	3,45^{f}	2,12^{f}	7,03^{cd}		
	300	6,55^{c-e}	2,71^{f}	6,25^{de}	11,01^{ab}		
Bakteri Ort.		**4,73^{B}**	**3,31^{D}**	**4,12^{C}**	**5,67^{A}**		

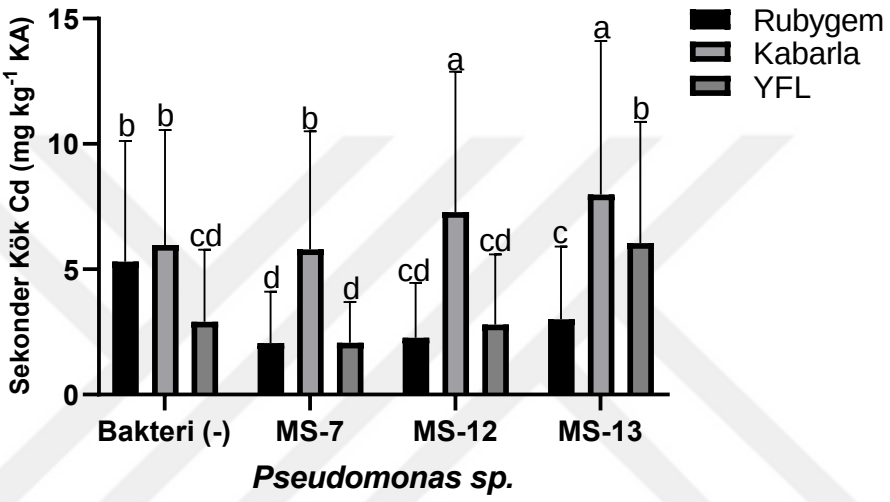
LSD Çeşit: 0,464*** LSD Ç*B: 0,927*** LSD Ç*B*D: 1,606***
LSD Bakteri: 0,535*** LSD Ç*D: 0,803***
LSD Doz: 0,464*** LSD B*D: 0,927***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

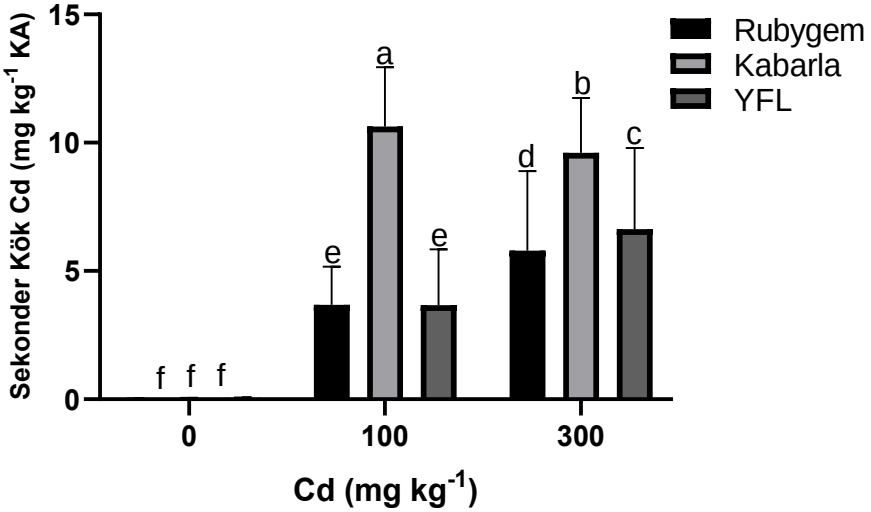
Yürütülmüş olan çalışmada, tüm bakteri uygulamalarında 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bitkilerin topraktan alarak sekonder köklerinde tuttuğu kadmiyum miktarı birbirine benzer bulunmuş ve aynı istatistiki grupta yer almıştır. YFL'de değerler diğer çeşitlere göre daha yüksek olsa da istatistiki açıdan herhangi bir fark bulunamamıştır. Doz artışına bağlı olarak tüm çilek çeşitlerinin sekonder köklerinde biriken kadmiyum miktarı önemli ölçüde artmıştır. 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarında en düşük birikme YFL'de belirlenmiştir. Rubygem'de her iki dozda da tüm bakteri uygulamaları bakteri yokluğuna göre sekonder köklerde biriken kadmiyum miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. YFL'de de MŞ-7 ve MŞ-12 suşları benzer etkiye yol açmıştır. Bununla birlikte, Kabarla'da MŞ-

7 dışındaki suşlar benzer etkiye yol açmamış, aksine MŞ-13 suşu sekonder köklerdeki kadmiyum miktarını az da olsa artırmıştır **(Tablo 48).**

Sekonder köklerin kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, en yüksek değerler Kabarla'da belirlenmiştir. Özellikle MŞ-13 suşu Kabarla ve YFL çeşitlerinin sekonder köklerinde kadmiyum birikimini artırmıştır. Rubygem'de ise tüm suşlar bakteri yokluğuna göre sekonder köklerdeki kadmiyum birikimini azaltmıştır **(Şekil 123).**

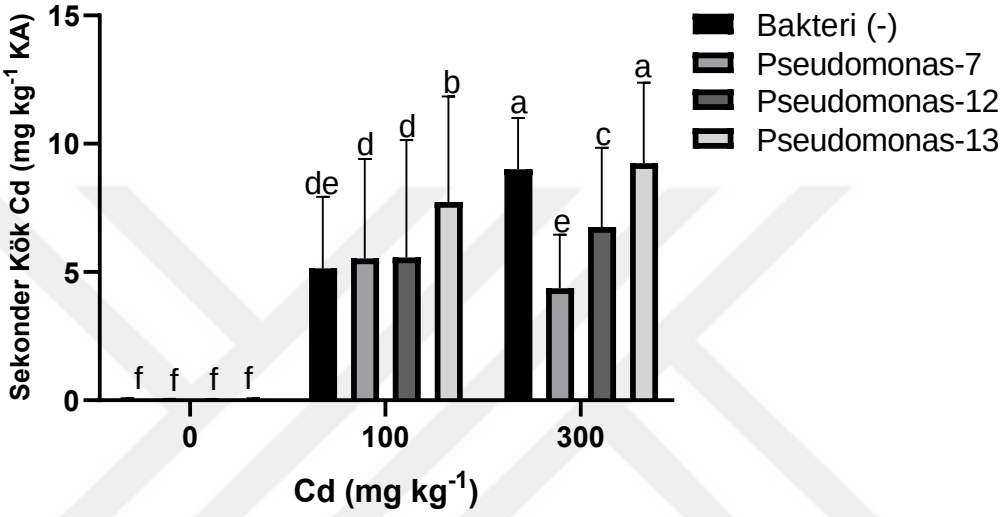


Şekil 123. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi



Şekil 124. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Sekonder köklerin kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşitleri x kadmiyum dozu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, Kabarla dışında doz artışına bağlı olarak kadmiyum içeriği artmıştır. Kabarla'da ise 100 mg kg^{-1} Cd dozunda oldukça yüksek miktarlara çıkan sekonder köklerin kadmiyum içeriği yüksek dozda bir miktar azalmıştır. Diğer iki çeşitte ise 100 mg kg^{-1} Cd dozunda aynı istatistiki grupta yer alan birikim miktarı yüksek dozda YFL'nin lehine değişmiş ve önemli ölçüde artış göstermiştir **(Şekil 124).**



Şekil 125. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde sekonder kök kadmiyum içeriği (SKCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Sekonder köklerin kadmiyum içeriği üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak MŞ-7 suşu dışında tüm uygulamalarda miktar artmıştır. Özellikle bakteri uygulanmamış bitkilerin sekonder köklerindeki kadmiyum miktarı yüksek dozda oldukça fazla artmıştır. Bunun aksine, MŞ-7 suşunda 100 mg kg^{-1} Cd dozuna göre azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki kadmiyum dozunda da en yüksek değerler MŞ-7 suşundan elde edilmiştir **(Şekil 125).**

4.1.5.1.3. Yaprakların kadmiyum içerikleri (ppm)

Yaprak kadmiyum içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 49).**

Bu çalışmada, doz artışı ile yapraklarda biriken kadmiyum miktarı önemli ölçüde artmıştır. Tüm bakteri suşları (özellikle MŞ-7 ve MŞ-13) yapraklarda biriken kadmiyum miktarını azaltmıştır. Çeşitler arasında yapraklarında en fazla kadmiyum biriktiren Rubygem, en düşük ise Kabarla olmuştur. MŞ-13 suşu uygulaması tüm çilek çeşitlerinin yapraklarında biriken kadmiyum miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Rubygem'de MŞ-12, YFL'de ise 100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 ve MŞ-13 suşları dışında tüm çeşit x bakteri kombinasyonları 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarında B- uygulamasına göre oldukça başarılı şekilde yapraklarda biriken kadmiyum miktarını azaltmıştır **(Tablo 49).**

Tablo 49. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine etkisi

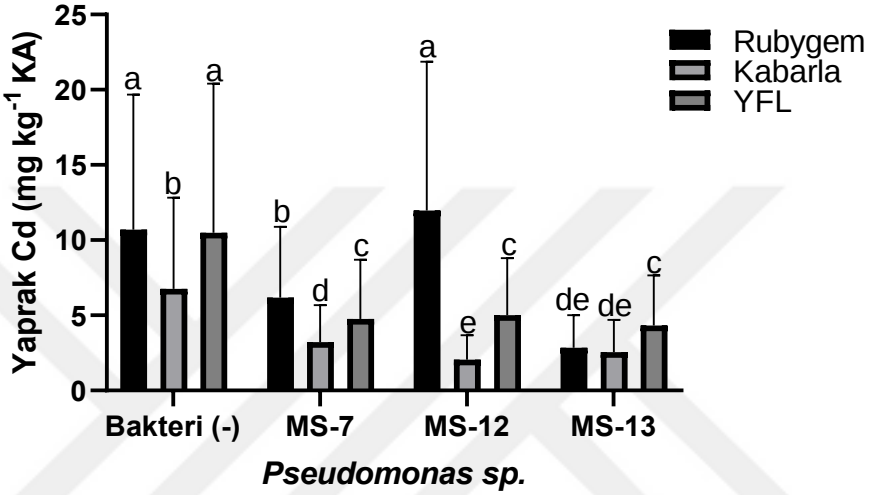
YCdİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**7,73^{A}**	
	0	0,06^{o}	0,08^{o}	0,09^{o}	0,03^{o}		**0 mg/kg 0,05^{C}**
	100	11,36^{d}	9,01^{fg}	11,24^{de}	4,10^{l-n}		
	300	20,68^{b}	9,46^{ef}	22,26^{ab}	4,42^{lm}		
Kabarla						**3,65^{C}**	
	0	0,05^{o}	0,03^{o}	0,03^{o}	0,02^{o}		**100 mg/kg 6,97^{B}**
	100	6,29^{i-k}	5,20^{kl}	2,45^{n}	4,10^{l-n}		
	300	13,93^{c}	4,42^{lm}	3,69^{l-n}	4,91^{kl}		
YFL						**6,15^{B}**	
	0	0,05^{o}	0,06^{o}	0,05^{o}	0,06^{o}		**300 mg/kg 10,58^{A}**
	100	8,82^{f-h}	8,95^{fg}	7,12^{h-j}	5,47^{j-l}		
	300	22,59^{a}	5,30^{kl}	7,90^{f-i}	7,43^{g-i}		
Bakteri Ort.		**9,32^{A}**	**4,72^{C}**	**6,09^{B}**	**3,24^{D}**		

LSD Çeşit: 0,524*** LSD Ç*B: 1,048*** LSD Ç*B*D: 1,816***
LSD Bakteri: 0,605*** LSD Ç*D: 0,908***
LSD Doz: 0,524*** LSD B*D: 1,048***

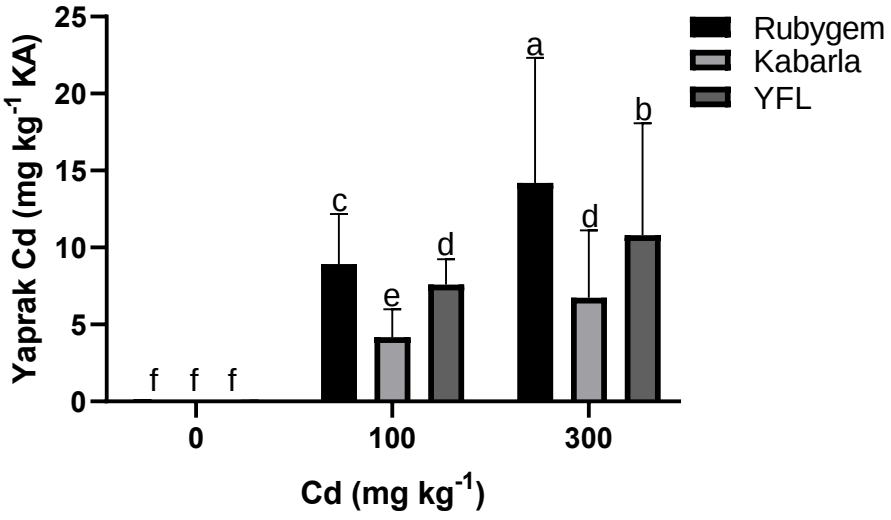
Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Yapılmış olan çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm çilek çeşitlerinde tüm bakteri uygulamalarından elde edilen değerler en düşük değerler olup aynı istatistiki grupta yer almıştır. Tüm çilek çeşitlerinde bakteri uygulanmamış bitkilerde kadmiyum dozu artışına bağlı olarak yapraklarda biriken kadmiyum miktarı önemli ölçüde artmıştır. Özellikle yüksek kadmiyum dozundan elde edilen değerler tüm çeşitlerde iki kattan fazla artmıştır (YFL'de yaklaşık 3 kat). Bununla birlikte, tüm çilek çeşitlerinde (Rubygem'de MŞ-12 dışında) yüksek kadmiyum dozunda bakteri uygulamaları yapraklarda biriken kadmiyum içeriğini B- uygulamasına göre önemli ölçüde azaltmıştır. Benzer etki 100 mg kg^{-1} Cd dozunda Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde de görülmüştür. YFL'de ise bu etki MŞ-13 suşunda belirlenmiştir **(Tablo 49).**

Yaprakların kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, Rubygem'de MŞ-12 suşu dışında tüm çeşit x bakteri suşu kombinasyonlarında yaprak kadmiyum içeriği B- uygulamasına göre önemli ölçüde azalmıştır. Özellikle Kabarla'da tüm bakteri suşları kadmiyum içeriğini azaltmıştır. MŞ-13 suşu tüm çilek çeşitlerinde yaprak kadmiyum içeriğini azaltmada oldukça etkili olmuştur **(Şekil 126).**



Şekil 126. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

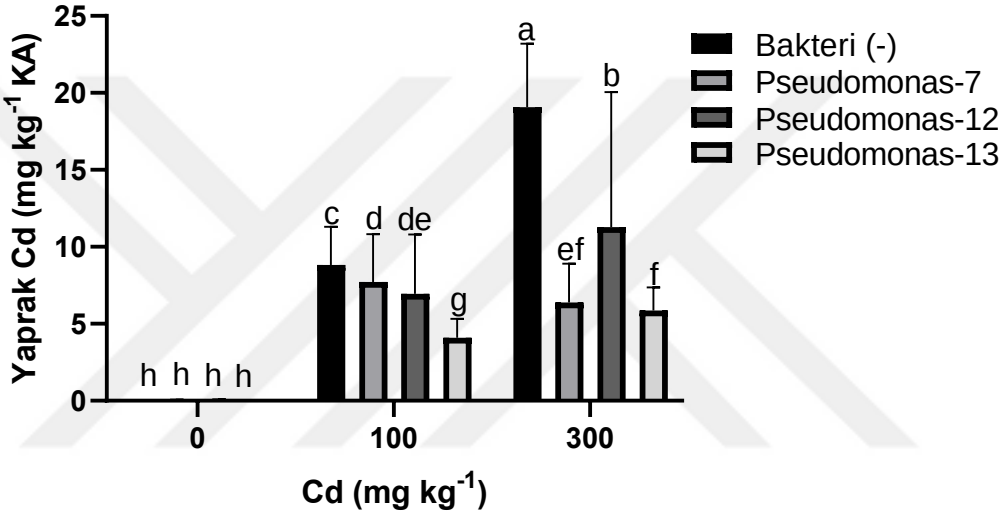


Şekil 127. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Yaprakların kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak tüm çeşitlerde yaprak

kadmiyum içeriği artmıştır. Her iki dozda da (100 ve 300 mg kg^{-1}) en yüksek değerler Rubygem'den en düşük değerler ise Kabarla'dan elde edilmiştir **(Şekil 127).**

Yaprakların kadmiyum içeriği üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile birlikte B- uygulamasında yaprak kadmiyum içeriği oldukça yüksek miktarda artmıştır. Benzer şekilde, MŞ-12 suşunda da yaprak kadmiyum içeriği artmıştır. Bununla birlikte, MŞ-7 suşu uygulanmış bitkilerin yüksek doza maruz kalanlarının yapraklarındaki kadmiyum içeriği 100 mg kg^{-1} dozuna maruz kalanlara göre önemli ölçüde azalmıştır **(Şekil 128).**



Şekil 128. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kadmiyum içeriği (YCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5.1.4. Yaprak saplarının kadmiyum içerikleri (ppm)

Yaprak sapı kadmiyum içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kadmiyum dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kadmiyum dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kadmiyum dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 50).**

Yapılan çalışmada, doz artışına bağlı olarak yaprak saplarında biriken kadmiyum miktarı artmasına karşın 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarından elde edilen değerler aynı istatistiki grupta yer almıştır. Uygulanan bakteri suşları (özellikle MŞ-12 ve MŞ-13) yaprak sapında biriken kadmiyum miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Çeşitler arasında en düşük kadmiyum birikimi görülen Kabarla iken en yüksek YFL'dir **(Tablo 50).**

Tablo 50. Kadmiyum stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine etkisi

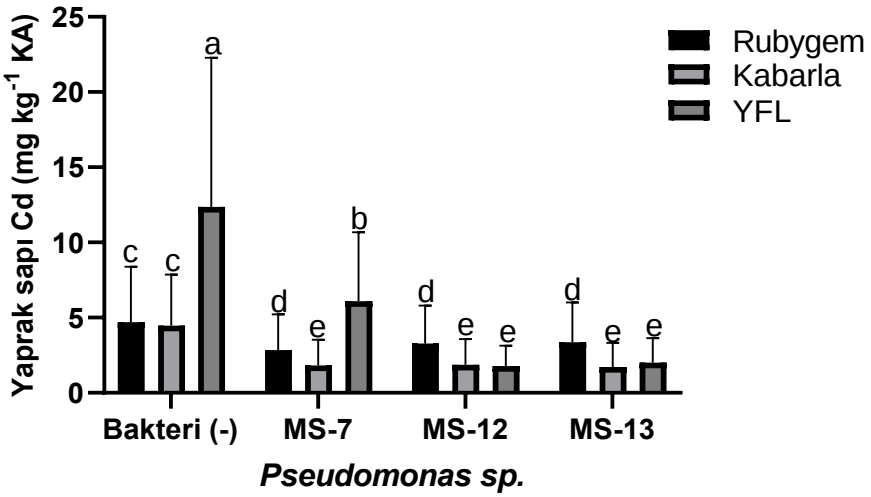
YSCdİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Cd Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**3,54^{B}**	
	0	0,02^{m}	0,03^{m}	0,05^{m}	0,02^{m}		**0 mg/kg 0,03^{B}**
	100	5,76^{f}	3,09^{h-j}	5,55^{fg}	5,81^{f}		
	300	8,29^{cd}	5,42^{fg}	4,24^{gh}	4,25^{gh}		
Kabarla						**2,47^{C}**	
	0	0,01^{m}	0,01^{m}	0,01^{m}	0,01^{m}		**100 mg/kg 5,82^{A}**
	100	7,27^{de}	3,82^{h}	3,85^{h}	3,60^{hi}		
	300	6,09^{ef}	1,66^{kl}	1,76^{j-l}	1,54^{l}		
YFL						**5,62^{A}**	
	0	0,09^{m}	0,10^{m}	0,01^{m}	0,02^{m}		**300 mg/kg 5,73^{A}**
	100	14,93^{b}	9,53^{c}	2,97^{h-k}	3,64^{hi}		
	300	22,10^{a}	8,65^{c}	2,35^{i-l}	2,36^{i-l}		
Bakteri Ort.		**7,17^{A}**	**3,59^{B}**	**2,31^{C}**	**2,36^{C}**		

LSD Çeşit: 0,397*** LSD Ç*B: 0,793*** LSD Ç*B*D: 1,374***
LSD Bakteri: 0,458*** LSD Ç*D: 0,687***
LSD Doz: 0,397*** LSD B*D: 0,793***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

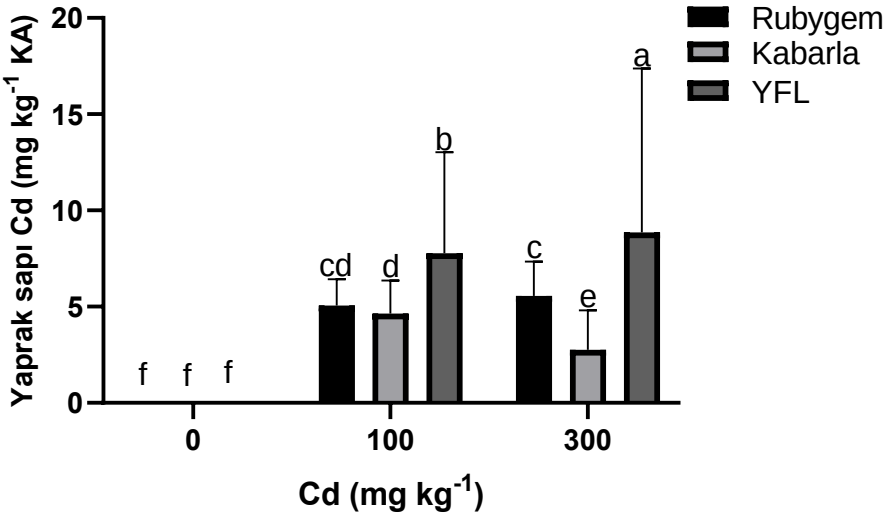
Yürütülmüş olan çalışmada, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda tüm çeşit ve bakteri suşları uygulamalarında yaprak saplarında biriken kadmiyum miktarı benzer olup aynı istatistiki grupta yer almıştır. Tüm çeşitlerde, bakteri uygulanmamış bitkilerde kadmiyum doz artışına bağlı olarak birikim artmıştır. En yüksek kadmiyum birikimi tüm dozlarda YFL çeşidinden elde edilmişken, diğer iki çeşitte doza bağlı değişim belirlenmiştir. Kabarla ve YFL çeşitlerinde 100 ve 300 mg kg^{-1} Cd dozlarında tüm suşlar B- uygulamasına göre yaprak saplarındaki kadmiyum birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Rubygem'de ise özellikle yüksek dozda bu etki görülmüştür. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda MŞ-7 suşu dışındakiler B- uygulamasına benzer sonuçlar meydana getirmiştir. Kabarla'da yüksek dozda suşlar oldukça etkili olmuş ve yaprak saplarında biriken kadmiyum miktarını yaklaşık ¾ oranında azaltmıştır. Benzer şekilde, YFL'de de MŞ-12 ve MŞ-13 suşları son derece etkili bir şekilde kadmiyum birikimini azaltmış ve B- uygulamasının hemen hemen 1/10'u kadar kadmiyum birikimine sebep olmuştur **(Tablo 50).**

Yaprak saplarının kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, tüm bakteri uygulamalarının bakteri yokluğuna göre kadmiyum birikimini azalttığı belirlenmiştir. Özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 suşları tüm çeşitlerde yaprak saplarındaki kadmiyum birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Bakteri yokluğunda oldukça fazla miktarda kadmiyum biriktiren YFL çeşidinde bu iki bakteri suşunun etkisiyle biriken miktar önemli ölçüde azalmıştır **(Şekil 129).**



Şekil 129. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

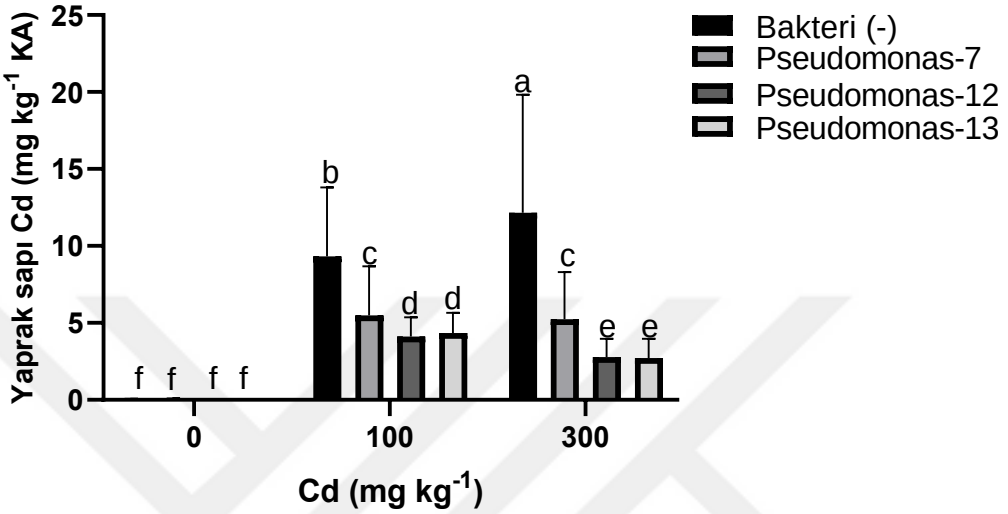
Yaprak saplarının kadmiyum içeriği üzerine çilek çeşitleri x kadmiyum dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile kadmiyum birikimi artmıştır. Bununla birlikte, Kabarla'da yüksek dozda, 100 mg kg^{-1} Cd dozuna göre azalma görülmüştür. Diğer iki çeşitte ise yüksek dozda ki artış daha düşük kalmıştır. En yüksek kadmiyum birikimi YFL'de belirlenmişken, en düşük Kabarla'da tespit edilmiştir **(Şekil 130).**



Şekil 130. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine kadmiyum dozlarının etkisi

Yaprak saplarının kadmiyum içeriği üzerine kadmiyum dozu x bakteri suşu interaksiyonun etkisi incelendiğinde, bakteri suşu uygulamalarında 100 mg kg^{-1} Cd

dozunda görülen artış 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ortaya çıkmamıştır. Yalnızca B-uygulamasında doz artışı ile görülen artış bakteri uygulamalarında görülmemiştir. Özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 suşları yüksek kadmiyum dozunda yaprak saplarındaki birikimi önemli ölçüde azaltmıştır **(Şekil 131).**



Şekil 131. Kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak sapı kadmiyum içeriği (YSCdİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde kurşun biriktirme özellikleri üzerine etkisi

4.1.5.2.1. Primer köklerin kurşun içeriği (ppm)

Primer kök kurşun içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 51).**

Bu çalışmada, doz artışına bağlı olarak primer köklerdeki kurşun miktarı önemli ölçüde artmıştır. Bakteri uygulamaları (özellikle MŞ-13) bakteri yokluğuna göre primer köklerdeki kurşun birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Çeşitler arasında en düşük kurşun birikimi Rubygem'de en yüksek ise YFL'de belirlenmiştir. Rubygem dışında yüksek dozda bakteri uygulamaları kurşun birikimini azaltmıştır. Özellikle MŞ-13 suşu tüm

çeşitlerde (Rubygem yüksek Pb dozu dışında) primer köklerdeki kurşun birikimini önemli ölçüde azaltmıştır **(Tablo 51).**

Tablo 51. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine etkisi

PKPbİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**9,45^{C}**	
	0	0,09^{n}	0,09^{n}	0,08^{n}	0,06^{n}		**0 mg/kg 0,09^{C}**
	500	10,39^{gh}	7,17^{h-j}	6,52^{h-k}	4,77^{i-m}		
	1500	12,64^{fg}	19,93^{e}	25,21^{d}	26,43^{d}		
Kabarla						**11,29^{B}**	
	0	0,03^{n}	0,03^{n}	0,03^{n}	0,07^{n}		**500 mg/kg 12,30^{B}**
	500	5,33^{i-l}	2,71^{j-n}	2,47^{k-n}	8,35^{g-i}		
	1500	42,93^{b}	17,16^{ef}	27,61^{cd}	28,74^{cd}		
YFL						**16,91^{A}**	
	0	0,15^{mn}	0,22^{mn}	0,20^{mn}	0,01^{n}		**1500 mg/kg 25,26^{A}**
	500	41,50^{b}	31,65^{c}	26,02^{d}	0,76^{l-n}		
	1500	54,65^{a}	40,17^{b}	3,06^{j-n}	4,54^{i-n}		
Bakteri Ort.		**18,63^{A}**	**13,24^{B}**	**10,13^{C}**	**8,19^{D}**		

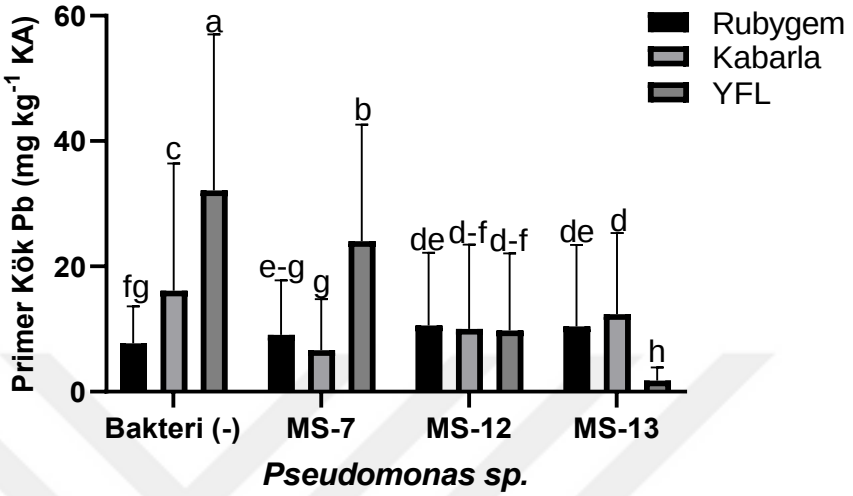
LSD Çeşit: 1,345*** LSD Ç*B: 2,690*** LSD Ç*B*D: 4,659***
LSD Bakteri: 1,553*** LSD Ç*D: 2,330***
LSD Doz: 1,345*** LSD B*D: 2,690***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

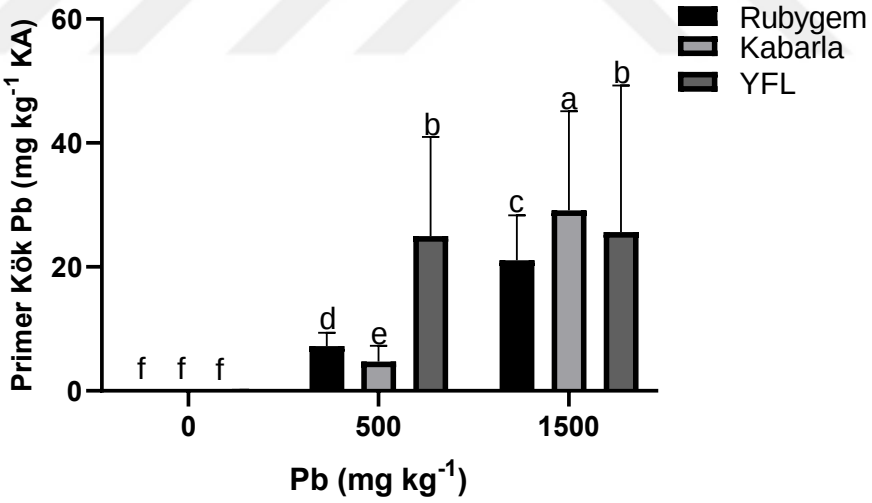
Yapılmış olan çalışmada, tüm çeşitlerde ve tüm bakteri uygulamalarında primer köklerdeki en düşük kurşun miktarları 0 mg kg^{-1} Pb dozunda elde edilmiş olup, Rubygem ve Kabarla'da bu değerlerin tamamı ve YFL'de MŞ-13 suşunun değeri aynı istatistiki grupta yer almıştır. YFL'ye uygulanan diğer suşlar ve B- uygulamasından elde edilen değerler ise bunlara göre daha yüksek olmuştur. Kurşun uygulamasında olduğu gibi YFL diğerlerine göre ağır metal uygulanmaması durumunda ortamda bulunan düşük miktardaki ağır metalleri en fazla alan çeşit olmuştur. Tüm çeşit ve bakteri uygulamalarında (YFL-MŞ-12 dışında) doz artışına bağlı olarak önemli miktarda kurşun primer köklerde birikmiştir. YFL'de 500 ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozlarında tüm suşlar B-uygulamasına göre kurşun birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Kabarla'da da benzer durum görülmüş ancak MŞ-13 suşu 500 mg kg^{-1} Pb dozunda kurşun birikimini bakteri yokluğuna göre artırmıştır. Rubygem'de ise diğerlerinden farklı olarak 500 mg kg^{-1} Pb dozunda bakteri suşları B- uygulamasına göre kurşun birikimin azaltmış ancak yüksek dozda artırmıştır **(Tablo 51).**

Primer köklerdeki kurşun birikimi üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, Kabarla ve YFL'de en yüksek değerler B-

uygulamasından, Rubygem'de ise bakteri suşlarından elde edilmiştir. Tüm çeşitler ve bakteri uygulamaları arasında en düşük kurşun birikimi YFL'de MŞ-13 suşunda tespit edilmiştir. Kabarla'da ise en düşük değeri MŞ-7 suşunda elde edilmiştir **(Şekil 132).**



Şekil 132. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

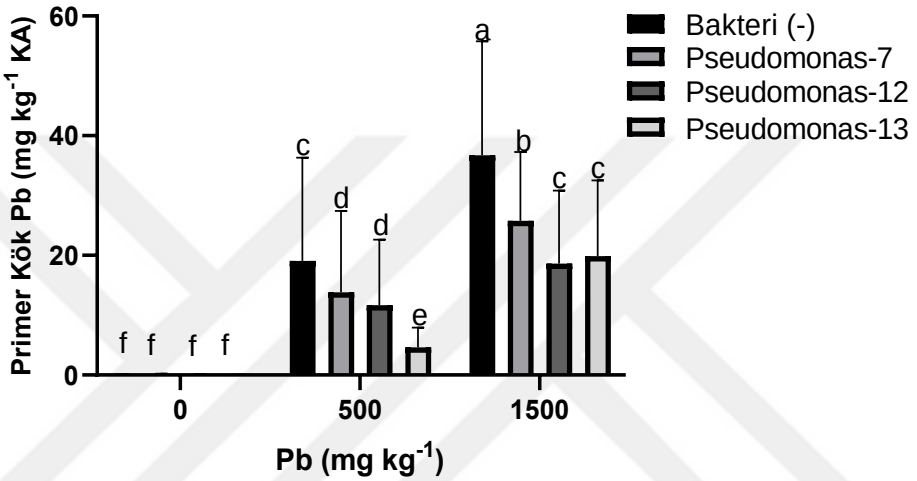


Şekil 133. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Primer köklerdeki kurşun birikimi üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak tüm çeşitlerde birikim artmıştır. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde 500 mg kg^{-1} Pb dozunda oldukça düşük olan primer köklerdeki kurşun birikimi yüksek doz ile birlikte hızla artmıştır. YFL'de ise 500

ve 1.500 mg kg^{-1} Pb dozlarında belirlenen kurşun birikimi aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 133).**

Primer köklerdeki kurşun birikimi üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile artan primer köklerdeki kurşun birikimi B- uygulamasına göre bakteri suşlarının etkisi ile azalmıştır. En düşük değerler tüm dozlarda MŞ-13 suşundan elde edilmiştir. 1.500 mg kg^{-1} Pb dozunda ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 134).**



Şekil 134. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde primer kök kurşun içeriği (PKPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5.2.2. Sekonder köklerin kurşun içerikleri (ppm)

Sekonder kök kurşun içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 52).**

Çalışmada, doz artışına bağlı olarak sekonder köklerde biriken kurşun miktarı artmıştır. Tüm bakteri suşları (özellikle MŞ-12 ve MŞ-13) kurşun birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Sekonder köklerinde en fazla kurşun biriktiren çeşit YFL iken, diğer iki çeşit daha az kurşun biriktirmiş ve aynı istatistiki grupta yer almıştır. Ayrıca, YFL çeşidinde B- ve MŞ-7 uygulamaları ile oldukça yüksek miktarlarda kurşunu sekonder köklerinde biriktirilmiştir **(Tablo 52).**

Tablo 52. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine etkisi

SKPbİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		**B-**	**MŞ-7**	**MŞ-12**	**MŞ-13**		
Rubygem						**2,11^{B}**	
	0	0,01^{f}	0,02^{f}	0,02^{f}	0,02^{f}		**0 mg/kg 0,08^{C}**
	500	3,96^{ef}	2,84^{ef}	2,80^{ef}	0,09^{f}		
	1500	9,05^{de}	2,44^{f}	3,36^{ef}	0,67^{f}		
Kabarla						**2,44^{B}**	
	0	0,01^{f}	0,01^{f}	0,01^{f}	0,07^{f}		**500 mg/kg 8,27^{B}**
	500	1,78^{f}	1,66^{f}	1,81^{f}	3,88^{ef}		
	1500	3,67^{ef}	1,37^{f}	2,06^{f}	12,89^{d}		
YFL						**21,45^{A}**	
	0	0,33^{f}	0,41^{f}	0,01^{f}	0,01^{f}		**1500 mg/kg 17,64^{A}**
	500	42,28^{c}	36,98^{c}	0,60^{f}	0,61^{f}		
	1500	112,13^{a}	53,54^{b}	5,58^{ef}	4,92^{ef}		
Bakteri Ort.		**19,25^{A}**	**11,03^{B}**	**1,80^{C}**	**2,57^{C}**		

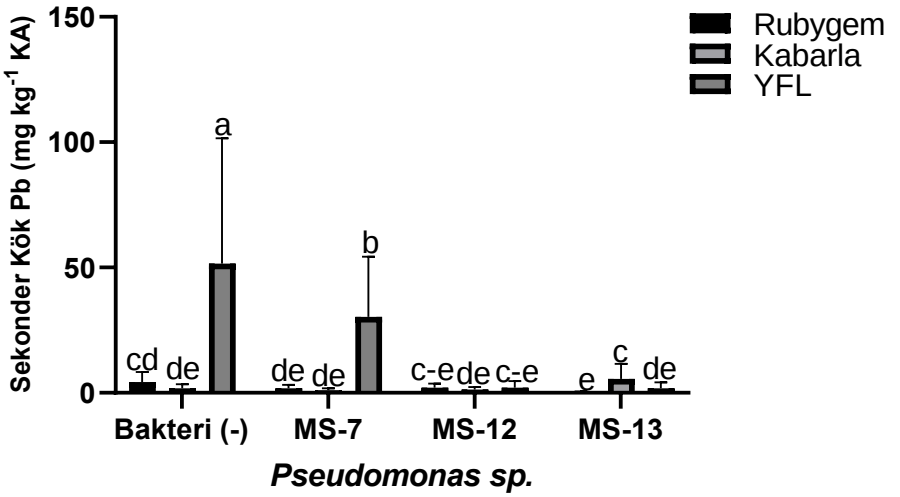
LSD Çeşit: 1,832*** LSD Ç*B: 3,335*** LSD Ç*B*D: 6,347***
LSD Bakteri: 2,116*** LSD Ç*D: 3,174***
LSD Doz: 1,832*** LSD B*D: 3,665***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Yapılan çalışmada, tüm çilek çeşitleri ve bakteri uygulamalarında 0 mg kg^{-1} Pb dozunda sekonder kök kurşun içeriği benzer olup aynı istatistiki grupta yer almıştır. Tüm çeşitlerde B- uygulamasında doz artışına bağlı olarak sekonder köklerin kurşun içeriği artmıştır. MŞ-7 suşu uygulanmış Rubygem ve Kabarla'da ise doz artışı ile artan kurşun içeriği yüksek dozda bir miktar azalmıştır. B- uygulamasına benzer şekilde diğer çeşit ve bakteri uygulamalarında da doz artışına bağlı olarak sekonder köklerin kurşun içeriği artmıştır. Rubygem ve YFL'de tüm suşlarda B- uygulamasına göre kurşun içerikleri daha düşük bulunmuştur. Kabarla'da ise MŞ-13 suşu uygulamasında tüm dozlardan elde edilen değerler B- uygulamasına göre daha yüksektir. Kabarla'nın aksine diğer çeşitlerde MŞ-13 suşu en düşük değerlerin meydana gelmesini sağlamıştır **(Tablo 52).**

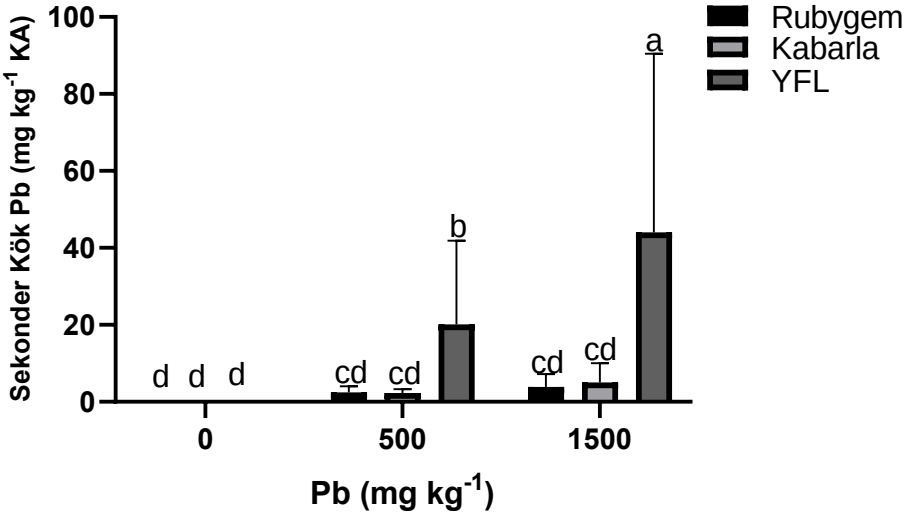
Sekonder köklerde kurşun birikimi üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, tüm bakteri uygulamalarında Rubygem ve Kabarla çeşitlerinden oldukça düşük değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte, YFL'de B- ve MŞ-7 uygulamalarında oldukça yüksek miktarda kurşun sekonder köklerde birikmiştir **(Şekil 135).**

Sekonder köklerde kurşun birikimi üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak tüm çeşitlerde kurşun içeriği artmıştır. Bununla birlikte, YFL'de görülen artış oldukça yüksektir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde ise önemli bir artış görülmemiştir **(Şekil 136).**

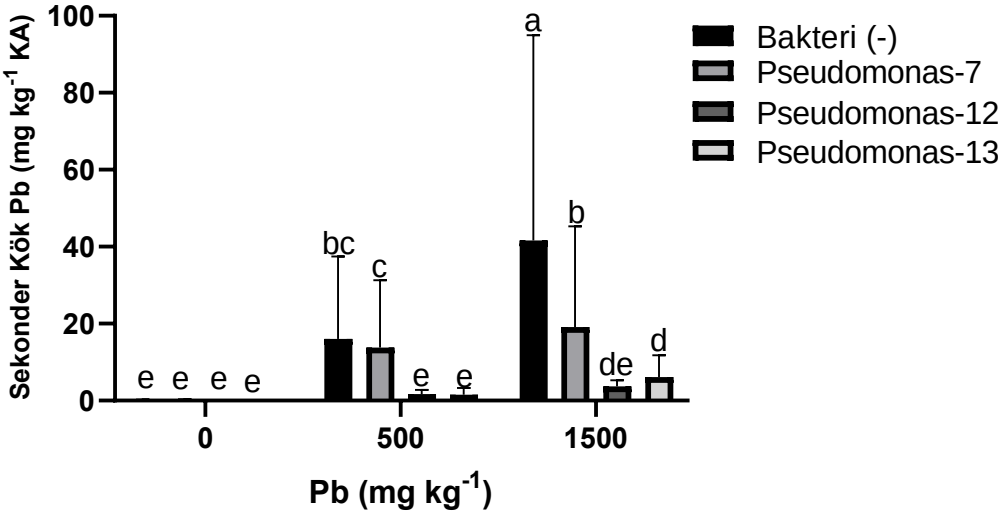


Şekil 135. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Sekonder köklerde kurşun birikimi üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışına bağlı olarak tüm bakteri uygulamalarında kurşun birikimi artmıştır. Özellikle B- ve MŞ-7 suşlarında bu yükselme oldukça fazladır. En düşük değerler MŞ-12 suşundan, en düşük değerler ise B-uygulamasından elde edilmiştir **(Şekil 137).**



Şekil 136. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 137. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde sekonder kök kurşun içeriği (SKPbİ, ppm üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.1.5.2.3. Yaprakların kurşun içerikleri (ppm)

Yaprak kurşun içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 53).**

Çalışmada doz artışına bağlı olarak yapraklardaki kurşun miktarı önemli ölçüde artmış ancak yüksek dozda 500 mg kg^{-1} Pb dozuna göre azalmıştır. Tüm bakteri suşları bakteri yokluğuna göre yapraklarda biriken kurşun miktarını azaltmıştır. Çeşitler arasında en yüksek kurşun birikimi Rubygem, en düşük ise YFL'de tespit edilmiştir. MŞ-7 ve MŞ-12 suşları yapraklarda kurşun birikimini özellikle yüksek dozda önemli ölçüde azaltmıştır. MŞ-13 suşu ise Rubygem ve YFL çeşitlerinde etkili olmuştur **(Tablo 53).**

Yapılmış olan çalışmada, yaprakların kurşun içerikleri tüm çeşit ve bakteri uygulamalarında 0 mg kg^{-1} Pb dozunda en düşük olarak tespit edilmiş ve hepsi aynı istatistiki grupta yer almıştır. Rubygem ve YFL çeşitlerinde doz artışına bağlı olarak yaprakların kurşun içeriği artmış olmasına rağmen, Kabarla'da yüksek dozda, 500 mg kg^{-1} Pb dozuna göre azalma görülmüştür. Rubygem ve YFL çeşitlerinde tüm bakteri suşları 500 ve 1500 mg kg^{-1} Pb dozunda (YFL-MŞ-12-500 mg kg^{-1} Pb dışında) bakteri yokluğuna göre yapraklarda birikmiş kurşun miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Kabarla'da ise MŞ-13 her iki dozda da biriken kurşun miktarını artırmışken, diğer iki

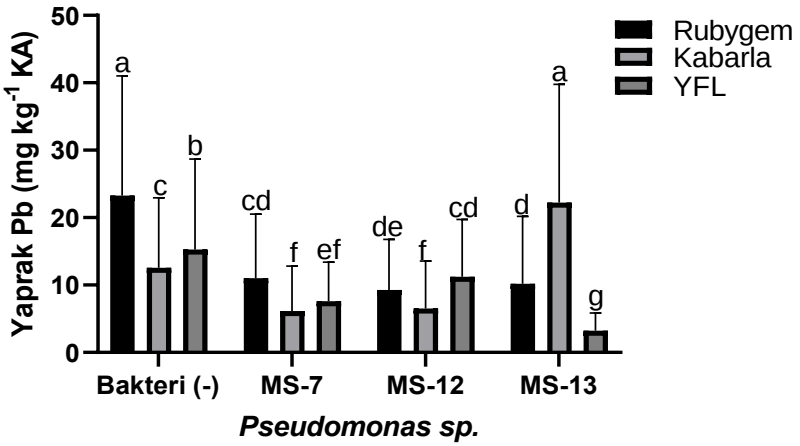
bakteri suşu önemli ölçüde azaltmıştır. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde (Kabarla-MŞ-13 dışında) tüm suşlarda yüksek dozda yapraklarda biriken kurşun miktarı 500 mg kg^{-1} Pb dozuna göre önemli ölçüde düşük bulunmuştur **(Tablo 53).**

Tablo 53. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine etkisi

YPbİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**13,43^{A}**	
	0	0,07^{o}	0,05^{o}	0,06^{o}	0,05^{o}		**0 mg/kg 0,06^{C}**
	500	33,90^{b}	20,96^{de}	17,00^{fg}	22,57^{d}		
	1500	35,82^{b}	12,01^{i-k}	10,75^{j-l}	7,88^{lm}		
Kabarla						**11,86^{B}**	
	0	0,03^{o}	0,02^{o}	0,02^{o}	0,02^{o}		**500 mg/kg 18,36^{A}**
	500	23,48^{d}	14,62^{f-i}	15,55^{f-i}	27,16^{c}		
	1500	14,14^{g-j}	3,82^{n}	3,93^{n}	39,55^{a}		
YFL						**9,33^{C}**	
	0	0,05^{o}	0,09^{o}	0,10^{o}	0,13^{o}		**1500 mg/kg 16,20^{B}**
	500	15,57^{f-i}	10,29^{kl}	15,71^{f-h}	3,49^{no}		
	1500	30,19^{c}	12,43^{h-k}	17,86^{ef}	6,07^{mn}		
Bakteri Ort.		**17,03^{A}**	**8,26^{C}**	**9,00^{C}**	**11,88^{B}**		

LSD Çeşit: 1,030*** LSD Ç*B: 2,061*** LSD Ç*B*D: 3,570***
LSD Bakteri: 1,190*** LSD Ç*D: 1,785***
LSD Doz: 1,030*** LSD B*D: 2,061***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

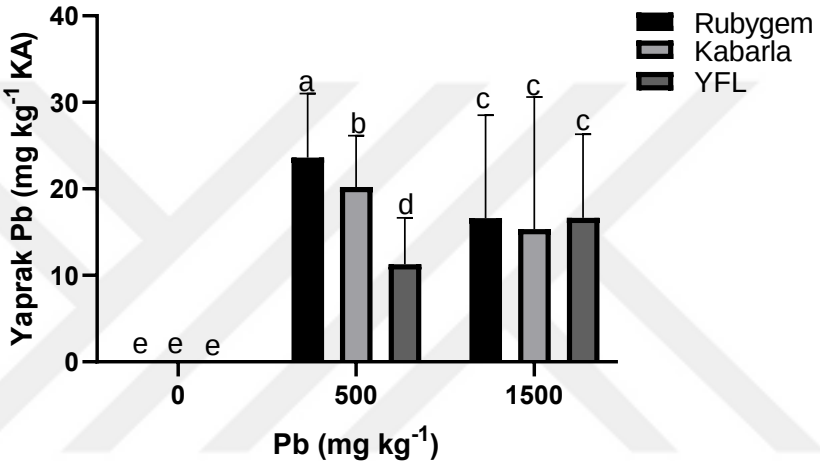


Şekil 138. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

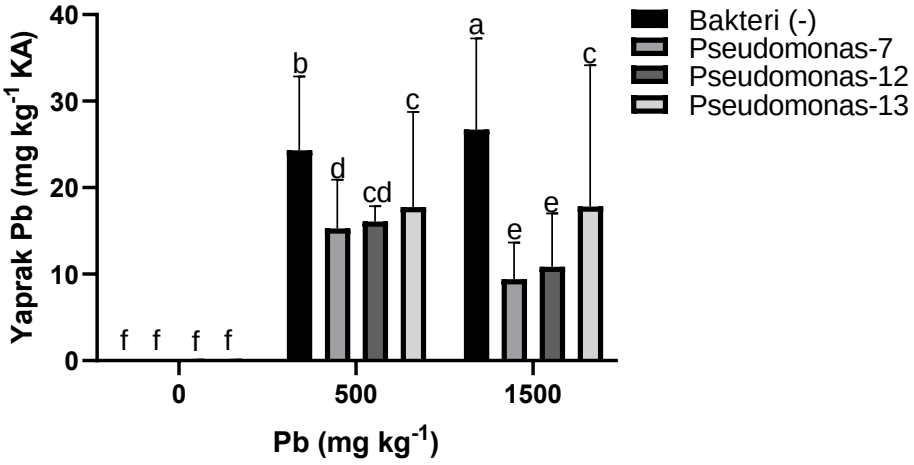
Yaprakların kurşun içeriği üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, Kabarla'da MŞ-13 suşu dışında tüm çeşitlerde suşlar bakteri yokluğuna göre birikimi azaltmıştır. MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarına olumlu tepki vererek yaprak kurşun içeriğini azaltan Kabarla, MŞ-13 ile birlikte yapraklarında önemli miktarda

kurşun biriktirmiştir. Diğer iki çeşit ise tüm suşlar ile muamele edildiğinde bakteri yokluğuna göre yaprak kurşun içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır **(Şekil 138).**

Yaprakların kurşun içeriği üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile artan birikim Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde yüksek dozda azalmıştır. Bununla birlikte YFL'de doz artışı ile artış devam etmiştir. En yüksek değerler her iki Pb dozunda da Rubygem'den elde edilmiştir. Yüksek dozda ise tüm çeşitler aynı istatistiki grupta yer alıp en düşük rakamsal değer Kabarla'dan elde edilmiştir **(Şekil 139).**



Şekil 139. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi



Şekil 140. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak kurşun içeriği (YPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

Yaprakların kurşun içeriği üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, bakteri yokluğunda doz artışı ile yaprak kurşun içeriği önemli ölçüde artmıştır. MŞ-7 ve MŞ-12 suşları uygulanan bitkilerin kurşun içerikleri ise 500 mg

kg^{-1} Pb dozunda önemli miktarda artmış ve yüksek dozda tekrar azalmıştır. MŞ-13 suşundan elde edilen değerler ise aynı istatistiki grupta yer almıştır **(Şekil 140).**

4.1.5.2.4. Yaprak saplarının kurşun içerikleri (ppm)

Yaprak sapı kurşun içeriği üzerine; çilek çeşitleri, *Pseudomonas* sp. suşları, kurşun dozları, çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları, çilek çeşitleri x kurşun dozları, *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları ve çilek çeşitleri x *Pseudomonas* sp. suşları x kurşun dozları interaksiyonlarının etkileri istatistiki açıdan önemli ($p<0,001$) bulunmuştur **(Tablo 54).**

Tablo 54. Kurşun stresinin bakteri uygulamaları ile çileklerde yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine etkisi

YSPbİ		Bakteri Uygulamaları				Çeşit Ort.	Pb Ort.
Çeşitler		B-	MŞ-7	MŞ-12	MŞ-13		
Rubygem						**2,20^{C}**	
	0	0,02^{ij}	0,02^{ij}	0,02^{ij}	0,01^{j}		**0 mg/kg 0,03^{C}**
	500	5,19^{d}	2,91^{e-g}	3,48^{d-f}	0,11^{ij}		
	1500	9,36^{c}	2,92^{e-g}	1,09^{g-j}	1,30^{f-j}		
Kabarla						**3,29^{B}**	
	0	0,01^{j}	0,01^{j}	0,01^{j}	0,08^{ij}		**500 mg/kg 4,50^{B}**
	500	2,24^{e-i}	1,61^{f-j}	9,31^{c}	5,40^{d}		
	1500	5,67^{d}	1,87^{e-j}	4,03^{de}	9,25^{c}		
YFL						**5,31^{A}**	
	0	0,07^{ij}	0,11^{ij}	0,01^{j}	0,01^{j}		**1500 mg/kg 6,28^{A}**
	500	22,78^{b}	0,15^{ij}	0,20^{ij}	0,58^{h-j}		
	1500	33,73^{a}	1,14^{ij}	2,53^{e-h}	2,43^{e-h}		
Bakteri Ort.		**8,79^{A}**	**1,19^{C}**	**2,30^{B}**	**2,13^{B}**		

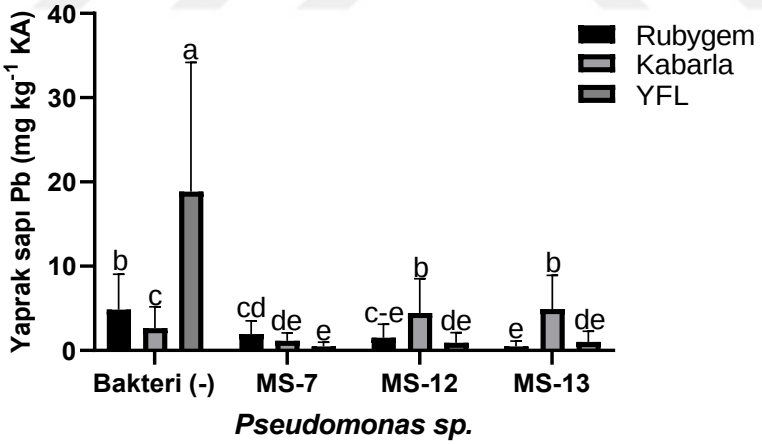
LSD Çeşit: 0,738*** LSD Ç*B: 1,476*** LSD Ç*B*D: 2,558***
LSD Bakteri: 0,852*** LSD Ç*D: 1,278***
LSD Doz: 0,738*** LSD B*D: 1,476***

Ö.D.: Önemli değil, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

Çalışmada, doz artışına bağlı olarak yaprak saplarında biriken kurşun miktarı önemli ölçüde artmıştır. Tüm bakteri suşları biriken kurşun miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Özellikle MŞ-7 suşu biriken kurşun miktarını 1/8 oranına kadar azaltmıştır. Çilek çeşitleri arasında en fazla kurşun birikimi YFL'de, en düşük ise Rubygem'de görülmüştür. Bakteri uygulamalarından elde edilen değerler Rubygem ve YFL'de birbirine yakın iken bakteri yokluğunda YFL çeşidinin yaprak saplarında biriken yüksek miktarda kurşun bu durumun ortaya çıkmasına sebep olmuştur **(Tablo 54).**

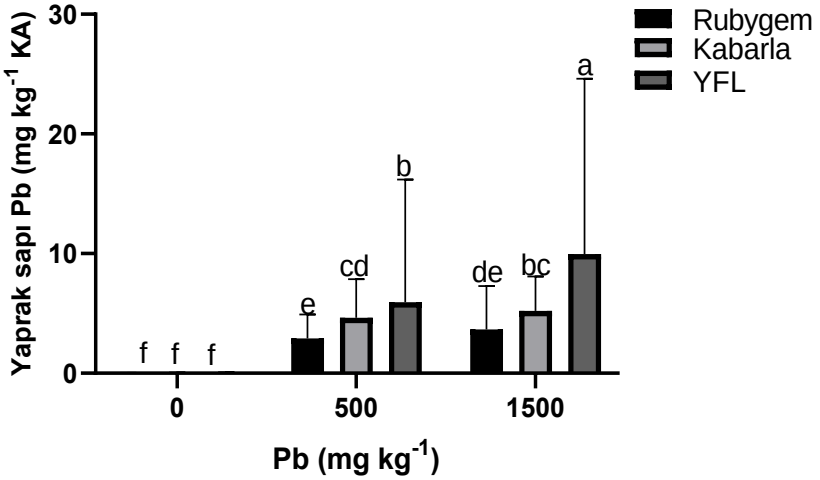
Yapılan çalışmada, tüm çilek çeşidi ve bakteri suşlarında en düşük yaprak sapında kurşun birikimi 0 mg kg^{-1} Pb dozundan elde edilmiş olup YFL'de bu değerler daha yüksektir. Bununla birlikte, Rubygem'de MŞ-13, YFL'de ise tüm suşlarda 500 mg kg^{-1} Pb dozunda da oldukça düşük kurşun birikimi tespit edilmiştir. YFL başta olmak üzere tüm çilek çeşitlerinde doz artışına bağlı olarak bakteri yokluğunda yaprak saplarında önemli miktarlarda kurşun birikmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde tüm bakteri suşları bakteri yokluğuna göre bu birikimi azaltmıştır. Kabarla'da ise MŞ-7 suşu benzer etkinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Rubygem çeşidinde MŞ-12 suşunda yüksek dozda belirlenen yaprak sapında kurşun birikimi 500 mg kg^{-1} Pb dozunun da altındadır **(Tablo 54).**

Yaprak sapında biriken kurşun miktarı üzerine çilek çeşidi x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamaları ile birikimin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Kabarla'da MŞ-12 ve MŞ-13 suşları ile muamele sonucunda yaprak saplarında biriken kurşun miktarı bakteri yokluğuna göre artmıştır. Rubygem'de en düşük değerler MŞ-13, Kabarla ve YFL'de ise MŞ-7 suşunda elde edilmiştir **(Şekil 141).**



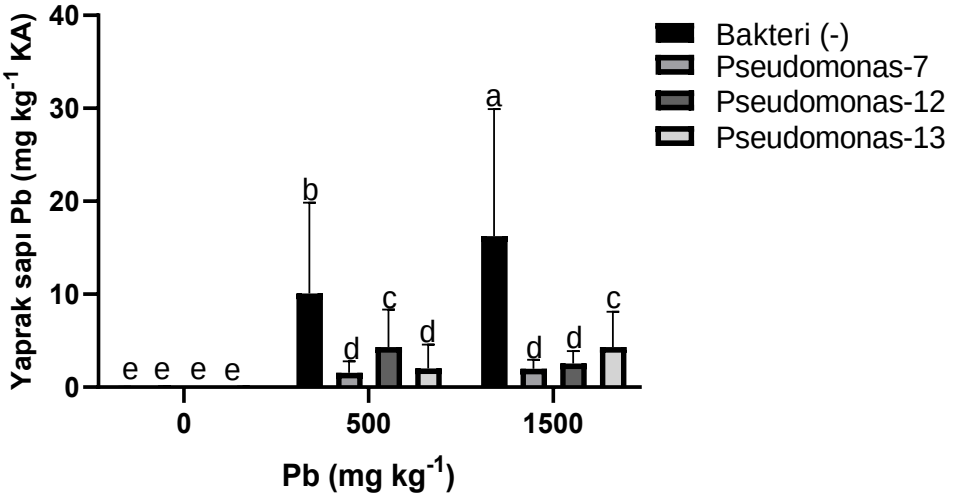
Şekil 141. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine *Pseudomonas* sp. MŞ-7, MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının etkisi

Yaprak sapında biriken kurşun miktarı üzerine çilek çeşidi x kurşun dozu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile birlikte biriken kurşunun önemli ölçüde arttığı görülmüştür. En yüksek birikim tüm dozlarda YFL, en düşük ise Rubygem'de belirlenmiştir **(Şekil 142).**



Şekil 142. Rubygem, Kabarla ve YFL çilek çeşitlerinin yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine kurşun dozlarının etkisi

Yaprak sapında biriken kurşun miktarı üzerine kurşun dozu x bakteri suşu interaksiyonunun etkisi incelendiğinde, doz artışı ile artan birikimin yüksek dozda 500 mg kg^{-1} Pb dozuna göre çok fazla değişmediği, aksine MŞ-12 suşu uygulamasında azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bakteri yokluğu ve MŞ-13 suşu uygulamasında biriken miktar doz artışı ile artmıştır. En yüksek birikim tüm dozlarda bakteri yokluğunda, en düşük birikim ise MŞ-7 suşu uygulamasında belirlenmiştir **(Şekil 143).**



Şekil 143. Kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde yaprak sapı kurşun içeriği (YSPbİ, ppm) üzerine bakteri uygulamalarının etkisi

4.2. Tartışma

4.2.1. Morfolojik özellikler

4.2.1.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkileri

4.2.1.1.1. Kök özellikleri

Ağır metallerin, özellikle besin elementi olarak eser miktarda dahi kullanılmayan üyelerinden olan kadmiyumun (Verkleij ve Schat, 1990; Salt ve ark., 1997; Lane ve Morel, 2000; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011; Pagani ve ark., 2012) düşük (Aery ve Rana, 2003; Aibibu ve ark., 2010; Yuan ve ark., 2014) veya sadece yüksek dozlarda (Lockwood, 1976; Salt ve ark., 1997; Liu ve ark., 2003; Popova ve ark., 2009) toksik olduğunu belirten çalışmalar vardır. Bitkiler, hayvanlar ve insanlar için son derece toksik olan kadmiyum (Kabata-Pendias ve Dudka, 1990; Rascio ve ark., 1993; Nies, 2003; Banjerdkij ve ark., 2005; Benavides ve ark., 2005), suda yüksek çözünme kabiliyeti sebebiyle oldukça önemli bir kirleticidir (Lockwood, 1976; Pinto ve ark., 2003; Pinto ve ark., 2004; Groppa ve ark., 2012). Uzun yarılanma ömrü sebebiyle (Satarug ve ark., 2010; Ramos-Peralonso, 2014), toprakta çok uzun süreler kalır ve yeni eklemeler ile birikir (Ernst, 1972; Woolhouse, 1983; Benavides ve ark., 2005).

Kadmiyum kirliliği toprak kaynaklı olduğu için doğal olarak bu ağır metal ile karşılaşan ilk bitki organı da köklerdir (Prasad, 1995; Cuypers ve ark., 2002; An, 2004; Andresen ve Kupper, 2013; Hassan ve Mansoor, 2014) ve kadmiyumun ilk olumsuz etkisi de kökler üzerinedir (Lux ve ark., 2011; Shah ve ark., 2011; Souguir ve ark., 2011; Tripathi ve ark., 2012). Kadmiyum, kök boğazı çapı (Zhang ve ark., 2010; Farouk ve ark., 2011; Shah ve ark., 2011; Elobeid ve ark., 2012; Şahin ve ark., 2017; Balcı, 2018; Mahdavi ve Khermandar, 2018), kök uzunluğu (Jiang ve ark., 2001; Shah ve ark., 2011; Şahin ve ark., 2017; Mahdavi ve Khermandar, 2018), kök yaş ağırlığı (Malan ve Farrant, 1998; Shah ve ark., 2011; Mahdavi ve Khermandar, 2018), kök kuru ağırlığı (Cieślińska ve ark., 1996; Malan ve Farrant, 1998; Mahdavi ve Khermandar, 2018) ve morfolojisi (Lux ve ark., 2011; Souguir ve ark., 2011; Tripathi ve ark., 2012) üzerinde genellikle olumsuz etkilere yol açar.

Çalışmamızda, çilek bitkilerinde kadmiyum dozu artışı ile kök boğazı çapı

azalmıştır. Çilekte benzer sonuçlar, Balcı (2018) tarafından da elde edilmiştir. Benzer şekilde, vişne (Şahin ve ark., 2017), çöl palmiyesi (Mahdavi ve Khermandar, 2018) ve okaliptüste (Shah ve ark., 2011) de kök boğazı çapı artan kadmiyum dozları ile önemli ölçüde azalmıştır. Kadmiyum stresi altında bitkilerin gövde ve kök boğazı çaplarının azalması araştırıcılar tarafından 3 şekilde açıklanmıştır. Bunlar; 1) kadmiyumun hücre duvarı bileşenlerinin üretimini azaltması ve polisakkarit metabolizmasını bozması (Punz ve Sieghardt, 1993), 2) kadmiyumun su ve besin elementi alımını azaltması (Sheoran ve ark., 1990; Salt ve ark., 1995) ve 3) kadmiyum stresi altında hücre turgor potansiyeli ve hücre duvarı elastikiyetinin azalması sonucu küçük hücreler ve dar hücreler arası boşluk oluşumudur (Barcelo ve ark., 1988). Bu çalışmada, kadmiyum stresine karşı kullanılan bakteri suşları kök boğazı çapını artırmış olup, bitki büyümesini artırıcı rizobakterilerin kök boğazı çapını artırdığı domates (Moustaine ve ark., 2017), fındık (Rostamikia ve ark., 2016) ve çam fidanlarında da (Chanway ve ark., 1991) rapor edilmiştir. Bakteriler bu etkiyi, ağır metal alımını azaltarak (Burd ve ark., 2000; Vivas ve ark., 2003; Dell'Amico ve ark., 2008; Sinha ve Mukherjee, 2008) ve/veya bitki büyüme ve gelişimini artırarak sağlamış olabilir (Ibiene ve ark., 2012; Pii ve ark., 2018; Ipek ve ark., 2021).

Çalışmamızda kök yaş ağırlığı kadmiyum dozu artışı ile azalmış olup, *Vigna ambacensis* (Al-Yemeni, 2001), sarımsak (Jiang ve ark., 2001), domates (Hashem ve ark., 2016a), köpek üzümü (Wang ve ark., 2020) ve hardalda (Ahmad ve ark., 2011) da benzer sonuçlar alındığı bildirilmiştir. Kadmiyum stresine karşı uygulanan suşlardan MŞ-12 ve MŞ-13 kök yaş ağırlığını artırmış olup, elde edilen sonuç, domateste mikoriza (Hashem ve ark., 2016a), hardalda salisilik asit (Ahmad ve ark., 2011), köpek üzümünde mikoriza ve toprak solucanının (Wang ve ark., 2020) kadmiyum stresi altında kök yaş ağırlığını artırması ile benzerlik göstermektedir.

Kök kuru ağırlığı kadmiyum dozu artışı ile azalmış, önceki çalışmalarda sarımsak (Jiang ve ark., 2001), çilek (Cieśliński ve ark., 1996), soya (Malan ve Farrant, 1998), mısır (Ekmekci ve ark., 2008) ve diğer birçok bitkide de (Wu ve ark., 2006; Rajkumar ve Freitas, 2008; Gao ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2015; Hashem ve ark., 2016a; Gunathilakae ve ark., 2018) benzer sonuçlar alınmıştır. Buna karşılık, düşük kadmiyum dozlarında kök kuru ağırlığının arttığını belirten çalışmalar da (Wu ve ark., 2006; Jiang ve ark., 2016; Balcı, 2018; Gunathilakae ve ark., 2018) olmakla birlikte genel kanı kadmiyum stresi altında kök kuru ağırlığının azaldığı yönündedir. Bitkileri kadmiyum stresine karşı korumak için, brassinosteroid (Balcı, 2018), sitrik asit (Gao ve ark., 2010), silisyum (Treder ve Cieslinski, 2005), selenyum (Khan ve ark., 2015), hidrojen sülfid

(Kaya ve Aslan, 2020), mikoriza (Hashem ve ark., 2016a; Jiang ve ark., 2016) ve bakteri (Prapagdee ve ark., 2013; Guo ve Chi, 2014b) gibi birçok farklı uygulama denenmiştir. Bu uygulamaların birçoğu kadmiyum stresi altında kök kuru ağırlığını artırmıştır. Bu çalışmada uygulanan bakteri suşları kök kuru ağırlığını Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde artırmış olmasına karşın, YFL'de artırmamıştır. Benzer şekilde, bakteri uygulamalarının da kadmiyum stresi altında kök kuru ağırlığını artırdığı ve farklı bakteri suşlarının farklı tepkiler verdiği önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Sheng ve Xia, 2006; Rajkumar ve Freitas, 2008; Prapagdee ve ark., 2013; Guo ve Chi, 2014b).

Kök uzunluğu kadmiyum dozu artışından istatistiki açıdan etkilenmemiştir. Önceki çalışmalar incelendiğinde ise kadmiyum dozu artışı ile kök uzunluğu azalmış (Ahmad ve ark., 2012; Bhaduri ve Fulekar, 2012; Kamran ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2015; Rojjanateeranaj ve ark., 2017; Mahdavi ve Khermandar, 2018), bazı çalışmalarda düşük kadmiyum dozlarında kök uzunluğu artmış, doz artışı ile birlikte azalmıştır (Jiang ve ark., 2001; Liu ve ark., 2003; Wang ve ark., 2007b; Balcı, 2018). Ayrıca, kadmiyum uygulamalarının kök uzunluğunu artırdığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Jiang ve ark., 2001; Chen ve ark., 2014). Bakteri uygulamalarının bitkilerde kök uzunluğunu artırdığı (Ibiene ve ark., 2012; Moustaine ve ark., 2017; Nawaz ve Bano, 2020), azalttığı (Kaymak ve ark., 2008) veya etki etmediği (Sharafzadeh, 2012) önceki çalışmalarda bildirilmiştir. Bu çalışmada, Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde, 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri uygulamaları kök uzunluğunu etkilememiş veya azaltmış, YFL'de ise artırmıştır. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri uygulamaları kök uzunluğunu Rubygem'de azaltmış, YFL'de etkilememiş ve Kabarla'da ise artırmıştır. En yüksek kadmiyum dozu olan 300 mg kg^{-1}'da ise YFL'de tüm suşlar, Kabarla'da MŞ-13 suşu, Rubygem'de ise MŞ-12 suşu kök uzunluğunu artırmış diğerleri etkilememiştir. Önceki çalışmalarda ise mevcut çalışma ile benzer şekilde kadmiyum stresi altında kök uzunluğunu artıran (Tripathi ve ark., 2005; Sinha ve Mukherjee, 2008; Prapagdee ve ark., 2013; Kamran ve ark., 2015), etkilemeyen (Sheng ve Xia, 2006) ve azaltan (Rojjanateeranaj ve ark., 2017) bakteri uygulamaları vardır. Bununla birlikte, çalışmaların önemli bir çoğunluğunda kadmiyum stresine karşı uygulanan bakteriler stres altında kök uzunluğunu artırmıştır (Prapagdee ve ark., 2012; Kamran ve ark., 2015; Ahmad ve ark., 2016; Pal ve ark., 2019; Zafar-Ul-Hye ve ark., 2020; Tanwir ve ark., 2021). Bu açıdan, YFL çeşidinden alınan sonuçlar literatür ile örtüşürken, diğer iki çilek çeşidinde yalnızca birer bakteri suşundan alınan sonuçlar örtüşmektedir.

Primer kök sayısı kadmiyum dozu artışı ile azalmış olmasına karşın, kadmiyum

stresine karşı uygulanan bakteri suşları kök sayısını artırmıştır. Kadmiyum yokluğunda, Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamaları arasında fark görülmezken, Kabarla'da artış görülmüştür. 100 mg kg^{-1} Cd dozunda ise YFL'de azalma görülmesine karşın, Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde bakteri uygulamaları kadmiyum stresine karşı kontrole göre primer kök sayısını artırmıştır. 300 mg kg^{-1} Cd dozunda da YFL'de bakteri uygulamaları kontrole göre primer kök sayısını azaltmışken, Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde önemli ölçüde artmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, kadmiyum dozu artışı ile primer kök sayısı azalmıştır (Lunáčková ve ark., 2003; Ci ve ark., 2009; Lu ve ark., 2013). Bakteri uygulamaları ise primer kök sayısını artırmıştır (Raj ve ark., 2003; Erturk ve ark., 2010). Bununla birlikte, kadmiyum stresi altındaki bitkilere bakteri uygulanmasının primer kök sayısı üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamakla birlikte, Chen ve ark. (2014) kadmiyum stresi altındaki bitkilere uygulanan bakterilerin kök tüyü sayısını ve uzunluğunu artırdığını, düşük dozlarda köklerin dallanmasına yol açtığı belirtmiştir. Ayrıca, Xiong ve ark. (2009) ve Hassan ve ark. (2005) kadmiyum stresi altındaki çeltik bitkilerinin kök sayısının azaldığını, uygulanan sodyum nitropürisid ve kükürt ile kök sayısının arttığını bildirmişlerdir.

4.2.1.1.2. Toprak üstü aksam özellikleri

Kadmiyumun ilk olumsuz etkileri köklerde görülmesine karşın, bazı bitkilerde yeşil aksam kadmiyum toksisitesinden daha fazla etkilenmektedir (Cieśliński ve ark., 1996; Ahmad ve ark., 2012; Hashem ve ark., 2016a; Rojjanateeranaj ve ark., 2017; Wang ve ark., 2020). Kadmiyum, besin elementi alımına (Siedlecka ve Krupa, 1999; Yoshihara ve ark., 2006; Mendoza-Cozatl ve ark., 2008; Küpper ve Kochian, 2010), sürgün ve yaprakların su ihtiyacını karşılamasına (Perfus-Barbeoch ve ark., 2002), sürgünleri besleyen köklerin gelişmesine engel olarak (Wu ve ark., 2006; Zhang ve ark., 2015; Rojjanateeranaj ve ark., 2017) ve bazı bitkilerde sürgünlere ulaşıp toksik etki meydana getirerek (Küpper ve ark., 1996; Haag-Kerwer ve ark., 1999; Baryla ve ark., 2001; Gao ve ark., 2010; Perreault ve ark., 2011; Tripathi ve ark., 2012; Hashem ve ark., 2016a) sürgün gelişimini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmada, yeşil aksam yaş ağırlığı kadmiyum dozu artışı ile önce artmış, yüksek dozda ise kontrole göre azalmıştır. Konu hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde, kadmiyum uygulamalarının yeşil aksam yaş ağırlığını azalttığı (Sinha ve Mukherjee, 2008; Tripathi ve ark., 2012; Wan ve ark., 2012; Kamran ve ark., 2015;

Hashem ve ark., 2016a; Awan ve ark., 2020) ancak düşük dozlarda artırdığı bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Moral ve ark., 1994; Jiang ve ark., 2001). Kadmiyum toksisitesini azaltmak için yapılan bazı uygulamaların yeşil aksam yaş ağırlığını artırdığı (Hayat ve ark., 2012; Wan ve ark., 2012; Pan ve ark., 2017; Wang ve ark., 2020; Tanwir ve ark., 2021), koruduğu (Aloui ve ark., 2011; Kamran ve ark., 2015; Hashem ve ark., 2016a; Pal ve ark., 2018; Pal ve ark., 2019) veya etkisiz kaldığı (Balcı, 2018) önceki çalışmalarda tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bakteri suşları ile özellikle düşük dozda tüm çeşitlerde yeşil aksam yaş ağırlığı B- uygulamasına göre yüksek bulunmuş, yüksek dozda ise Kabarla ve YFL çeşitlerinde B- uygulamasına göre yeşil aksam yaş ağırlığı artmıştır. Bakteri uygulamalarının yeşil aksam yaş ağırlığını artırdığı çalışmaların genelinde görülmüş olup (Sharafzadeh, 2012; Shen ve ark., 2012; Abdelkrim ve ark., 2020; Abdollahi ve ark., 2020), kadmiyum toksisitesine karşı bitkiyi koruduğu da ayrıca belirtilmiştir (Sinha ve Mukherjee, 2008; Kamran ve ark., 2015; Pan ve ark., 2017).

Önceki çalışmalar incelendiğinde, düşük kadmiyum dozlarında yeşil aksam kuru ağırlığının arttığı saptanan çalışmalar bulunmasına karşın (Jiang ve ark., 2001; Gunathilakae ve ark., 2018), genel kanı kadmiyum toksisitesinin yeşil aksam yaş ağırlığını azalttığı yönündedir (Cieśliński ve ark., 1996; Wu ve ark., 2006; Sinha ve Mukherjee, 2008; Gao ve ark., 2010; Bhaduri ve Fulekar, 2012; Garg ve Chandel, 2012; Khan ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2015; Hashem ve ark., 2016a; Balcı, 2018; Kaya ve Aslan, 2020; Zhang ve ark., 2020). Bu çalışmada, Kabarla çeşidinde kadmiyum dozu artışı ile yeşil aksam yaş ağırlığı artmış, diğer iki çeşitte azalmıştır. Bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının bitkilerin sürgün ve yaprak kuru ağırlıkları üzerine olumlu etkisi olduğuna dair birçok çalışma mevcuttur (Burd ve ark., 2000; Tripathi ve ark., 2005; Wani ve ark., 2007; Rajkumar ve Freitas, 2008; Sinha ve Mukherjee, 2008; Prapagdee ve ark., 2012; Prapagdee ve ark., 2013). Bununla birlikte, bu çalışmada Rubygem ve YFL çeşitlerinde 0 mg kg^{-1} Cd dozunda bakteri uygulamaları yeşil aksam kuru ağırlığını azaltmıştır. Yürütülen çalışmada, kadmiyum yokluğunda B- uygulamasına benzer veya daha düşük değerler meydana getiren bakteri uygulamaları doz artışı ile yeşil aksam kuru ağırlığını artırmıştır. Bakteri suşları arasında MŞ-7 ve MŞ-13 diğer uygulamalara göre daha etkili bulunmuştur. Kadmiyum toksisitesine karşı kullanılan bakterilerin yeşil aksam kuru ağırlığını doz artışına rağmen bakteri uygulanmamışlara göre artırdığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Burd ve ark., 2000; Tripathi ve ark., 2005; Sheng ve Xia, 2006; Wu ve ark., 2006; Wani ve ark., 2007; Jiang ve ark., 2008; Rajkumar ve Freitas, 2008; Sinha ve Mukherjee, 2008; Prapagdee ve ark., 2013; Kamran ve ark.,

2015; Liu ve ark., 2015; Pan ve ark., 2017; Rojjanateeranaj ve ark., 2017) Bu yönüyle, çalışmamızdan elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.

Bu çalışmada, kadmiyum uygulamaları yaprak alanını önemli ölçüde azaltmıştır. Benzer şekilde, konu hakkında daha önce yapılan çalışmalarda da kadmiyum toksisitesinin yaprak alanını azalttığı belirlenmiştir (Haag-Kerwer ve ark., 1999; Chaffei ve ark., 2004; Khan ve ark., 2015; Şahin ve ark., 2017). Yapılan çalışmada, MŞ-7 suşu yaprak alanını B- uygulamasına göre artırmışken, MŞ-13 suşu azaltmıştır. Bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının yaprak alanını artırdığı bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Gholami ve ark., 2009; Karakurt ve Aslantas, 2010). Bu çalışmada ise Rubygem çeşidinde MŞ-12 ve YFL'de MŞ-7 suşları dışındaki bakteri uygulamaları yaprak alanını artırmamış, özellikle MŞ-13 suşu tüm çilek çeşitlerinde yaprak alanını azaltmıştır. Kadmiyum toksisitesine karşı uygulanan bakteri uygulamalarının yaprak alanını artırdığı (Awan ve ark., 2020) ancak bakteri suşları arasında farkların olduğu önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Karakurt ve Aslantas, 2010; Ipek ve ark., 2021).

Bu çalışmada, kadmiyum uygulamaları bitki başına yaprak sayısını azaltmıştır. Önceki çalışmalarda da, kadmiyum toksisitesinin yaprak oluşumunu azalttığına dair bilgiler mevcuttur (Dong ve ark., 2005; Rehman ve ark., 2011; Elobeid ve ark., 2012). Rubygem'de kadmiyum uygulamaları yaprak sayısını etkilememişken, Kabarla ve YFL'de azalma söz konusudur. Bazı türlerde, çeşitler arasında kadmiyum toksisitesine karşı farklı tepkilerin görüldüğü önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Cieśliński ve ark., 1996; Ahmad ve ark., 2012). Bakteri uygulamalarının bazı türlerde yaprak sayısını artırdığı belirtilmiş olmasına karşın (Sen ve Chandrasekhar, 2014; Rehman ve ark., 2019; Tahiri ve ark., 2022), bu çalışmada Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde bakteri uygulamaları yaprak sayısını etkilememiş, YFL'de ise MŞ-13 suşu tüm dozlarda, diğer bakteri suşları ise yüksek dozlarda yaprak sayısını bir miktar artırmıştır. Literatürde, kadmiyum toksisitesine karşı kullanılan bakteri uygulamalarının bitkilerin yaprak sayısını artırdığına dair bilgiler mevcuttur (Pal ve ark., 2018; Pal ve ark., 2019). Bu yönüyle, mevcut çalışma ile literatür örtüşmemektedir. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda bakteri uygulamalarının bazı tür ve çeşitlerin yaprak özellikleri üzerine olumlu etki etmediği görülmüştür (Karakurt ve Aslantas, 2010; Ipek ve ark., 2014).

4.2.1.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde morfolojik özellikler üzerine etkisi

4.2.1.2.1. Kök özellikleri

Çok düşük dozlarda dahi toksik bir ağır metal olan kurşun (Johnson ve Eaton, 1980; Chaney ve Ryan, 1994) bitkiler için gerekli olmayan ve farklı bitki dokularında biriken bir elementtir (Sharma ve Dubey, 2005; Gichner ve ark., 2008; Arias ve ark., 2010). Özellikle 1920'lerden itibaren benzin katkısı olarak ve birçok sanayi dalında kullanılmasından ötürü dünyanın hemen hemen her yerinde ve özellikle sık kullanılan otoyol ve şehir çevrelerinde önemli miktarda birikmiştir (Eick ve ark., 1999; Päivöke, 2002; Farooq ve ark., 2008). Bitkiler için önemli ölçüde toksik elementlerden biri olan kurşun diğer birçok ağır metal gibi ilk olarak köklere zarar vermekte (Islam ve ark., 2008b; Arias ve ark., 2010; Jiang ve Liu, 2010) ve en fazla etkilenen organlar da kökler olmaktadır (Liu ve ark., 2008). Bunun sonucunda da bol miktarda yan kök oluşup kısa ve dallı kökler meydana gelmektedir (Kopittke ve ark., 2007). Bununla birlikte, birçok çalışmada köklerin yüksek miktarda kurşun alabildiği ve bunların çok önemli kısmını bünyesinde tuttuğu belirtilmiştir (Lane ve Martin, 1977; Seregin ve Ivanov, 2001; Sharma ve Dubey, 2005; Brunet ve ark., 2009; Uzu ve ark., 2009; Yan ve ark., 2010). Araştırıcılar, topraktan alınan kurşunun köklere alınmasından sonra hücre duvarında yer alan negatif yüklü pektinlerin, hücreler arası boşlukta çözünemez kurşun tuzlarının oluşmasının ve hücre zarı/organellerinde birikmenin buna sebep olduğunu belirtmişlerdir (Kopittke ve ark., 2007; Islam ve ark., 2008b; Małecka ve ark., 2008; Meyers ve ark., 2008; Arias ve ark., 2010). Yapılan çalışmalar, bazı bitkilerin toprakta sıkı şekilde bağlı olan kurşunu çözünebilir hale getirdiğini ve bu kurşunun önemli bir kısmını da sürgün ve yapraklara taşıdığını göstermiştir (Xiong ve ark., 2006; Arshad ve ark., 2008; Liu ve ark., 2008; Maestri ve ark., 2010).

Bu çalışmada, kurşun uygulaması ile kök boğazı kalınlaşmış ancak yüksek dozda kontrolden daha ince kök boğazları elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda ise kurşun stresi altında bitki büyümesinin gerilemesi sebebiyle bitki gövde çaplarının azaldığı belirtilmiştir (Islam ve ark., 2008b; Liu ve ark., 2008). Bununla birlikte, düşük kurşun dozlarının bitki büyüme ve gelişimine çok fazla etki etmediğini belirten araştırıcılar da vardır (Garland ve Wilkins, 1981; Arias ve ark., 2010). Bu yönleriyle mevcut çalışma literatür ile benzerlikler göstermektedir. Imtiyaz ve ark. (2014)'a göre, kurşuna maruz

kalan köklerin kısalıp kalınlaştığı belirtilmiştir. Çilek bitkilerinin kök boğazları kalın bir gövdeden daha çok yaprak ve köklerin birleşme noktası olduğundan kurşun stresi ile kalınlaşan kökler gibi benzer tepki vermiş olabilir. Çilek çeşitlerine uygulanan bakteri suşlarının bu çalışmada kök boğazını kalınlaştırdığı görülmüştür. Araştırıcılar, bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının bitkilerin gövde kalınlığını artırdığını, bunun da bitki büyüme ve gelişimini artırmadan ileri geldiğini belirtmişlerdir (Aslantaş ve ark., 2007; Rostamikia ve ark., 2016; İpek ve ark., 2021; Ipek ve ark., 2021; Acar ve ark., 2022). Çalışmada kullanılan bakteri suşları özellikle düşük kurşun dozunda ve kurşun yokluğunda kök boğazı çapını B- uygulamasına göre artırmıştır. Yüksek dozda ise bu kadar etkili olmamıştır. Ağır metal stresine karşı uygulanan bakterilerin kök özelliklerini iyileştirdiğini belirten çalışmalar mevcuttur. (Pal ve ark., 2018; Pal ve ark., 2019; Awan ve ark., 2020). Bu çalışmada ise ağır metal stresi ile artan kök boğazı MŞ-7 ve MŞ-12 suşları ile azalmıştır. Bununla birlikte, özellikle MŞ-13 suşu tüm dozlarda kök boğazı çapını artırmıştır. Bakteri kullanılan birçok çalışmada bakteri türleri ve suşları arasında etki yönünden farklılıklar olabileceği belirtilmiştir (Karakurt ve Aslantas, 2010; Ipek ve ark., 2021; Tahiri ve ark., 2022).

Yapılan çalışmada, yüksek dozda kurşun uygulaması ile kök yaş ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde, yüksek kurşun dozlarının bitkilerde kök yaş ağırlığını azalttığı araştırıcılar tarafından belirtilmiştir (Kopittke ve ark., 2007; Islam ve ark., 2008b; Liu ve ark., 2008). Bu çalışmada, yüksek kurşun içeren ortamda yetişen çilek bitkilerinde bakteri uygulamaları ile kök yaş ağırlığında artış meydana gelmiştir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar da elde edilen sonucu destekler mahiyettedir (Chanway ve ark., 1991; Nawaz ve Bano, 2020). Genel kanı kurşun uygulamaları ile kök yaş ağırlığının azaldığı yönündedir. Öyle ki, dayanıklı tür ve çeşitlerin dahi kök yaş ağırlıkları kurşun dozu artışı ile azalmıştır (Verma ve Dubey, 2003; Gupta ve ark., 2009; Hussain ve ark., 2013; Imtiyaz ve ark., 2014). Bununla birlikte, bu çalışmada Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulamaları ile artan kök yaş ağırlığının kurşun uygulamaları sonucunda bakteri uygulanmamışlara göre yüksek kaldığı görülmüştür. Bu da birçok çalışmaya benzer şekilde bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamaları sonucunda artan kök aktivitesinden ileri gelmiş olabilir (Sharafzadeh, 2012; Pii ve ark., 2018; Nawaz ve Bano, 2020).

Çalışmada, artan kurşun dozları ile kök kuru ağırlığı azalmış ancak bakteri uygulamaları ile B- uygulamasına göre artmıştır. Benzer şekilde önceki çalışmalar incelendiğinde, kurşun dozu artışı ile bitkilerin kök kuru ağırlığının azaldığı

görülmektedir (Kabir ve ark., 2010; Yan ve ark., 2010; Aiyesanmi ve ark., 2012). Bununla birlikte, bakteri uygulamaları ile bitkilerin kök kuru ağırlığının arttığı da birçok araştırıcı tarafından belirtilmiştir (Dobbelaere ve ark., 2002; Erturk ve ark., 2010; Rostamikia ve ark., 2016; Tahiri ve ark., 2022). Literatürde düşük kurşun dozlarında kök kuru ağırlığının arttığına dair çalışmalar mevcuttur. Özellikle kurşun toksisitesine nispeten daha dayanıklı olan tür ve çeşitlerde bu durum daha da belirgindir (Mishra ve Choudhuri, 1998; Gupta ve ark., 2009). Çalışmada kullanılan bakteri suşlarından MŞ-12 kurşun uygulanmamış bitkilerde kök kuru ağırlığını kontrole göre önemli ölçüde artırmış olmasına karşın, yüksek kurşun dozunda kontrol ile benzer sonuç ortaya koymuştur. Çeşit bazında değerlendirildiğinde Rubygem ve Kabarla'da bakteri suşları artan kurşun dozlarında kök kuru ağırlığını artırmamışken, YFL'de önemli ölçüde artırmıştır. Önceki çalışmalarda, bakteri uygulamalarının kurşun stresine maruz kalmış bitkilerin kök kuru ağırlığını bakteri yokluğuna göre artırdığını belirten birçok çalışma olduğu gibi (Burd ve ark., 2000; Abdelkrim ve ark., 2020; He ve ark., 2020), bazı bakteri suşlarının bazı tür ve çeşitlerde etkisiz kaldığını bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Guo ve Chi, 2014b; Ahmad ve ark., 2016; Abdelkrim ve ark., 2020; Hamidpour ve ark., 2020).

Çalışmada kullanılan kurşun dozlarının kök uzunluğu üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir. Bununla birlikte, literatür incelendiğinde kurşun uygulamalarının kökleri kısalttığı ve yüzeysel kök oluşumuna yol açtığı görülmektedir (Hassett ve ark., 1976; Rascio ve ark., 1993; Liu ve ark., 1994; Imtiyaz ve ark., 2014). Yürütülen çalışmada bakteri suşlarının da kök uzunluğu üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, literatürde bakteri uygulamalarının kök uzunluğunu artırdığı belirtilmiştir (Dey ve ark., 2004; Egamberdiyeva, 2005; Kaymak ve ark., 2008; Erturk ve ark., 2010; Sen ve Chandrasekhar, 2014). Yapılmış olan çalışma, kurşun stresi altında kök uzunluğu açısından literatür ile uyuşmamaktadır.

Çalışmada, kurşun doz artışına bağlı olarak primer kök sayısı azalmıştır. Bakteri uygulamaları da genel olarak primer kök sayısını azaltmıştır. Literatür incelendiğinde primer kök sayısının kurşun (Obroucheva ve ark., 2001; Imtiyaz ve ark., 2014) ve diğer ağır metal uygulamaları ile azaldığı (Lunáčková ve ark., 2003; Ci ve ark., 2009) ve bakteri uygulamalarının bunu artırdığı görülmüştür (Chanway ve ark., 1991; Raj ve ark., 2003; Erturk ve ark., 2010). Bu yönleri ile mevcut çalışma bakteri etkisi dışında literatür ile uyumludur. Rubygem ve YFL çeşitlerinde düşük kurşun dozunda primer kök sayısı artmıştır. Bu artış kurşun toksisitesi altında ölen köklerin yerine yeni köklerin oluşumu ile açıklanabilir. Çalışmada MŞ-12 suşu, kurşun uygulanmamış bitkilerin primer kök

sayısını artırmıştır. Bununla birlikte, kurşun stresi altındaki bitkilere uygulanmış bakteriler B- uygulamasına göre primer kök sayısını azaltmıştır. Önceki çalışmalarda, kurşun stresi altındaki bitkilere uygulanan bakterilerin bitkilerin kök kütlesini artırdığı belirtilmiştir (Burd ve ark., 2000; Abdelkrim ve ark., 2020; He ve ark., 2020). Bu artışın bir kısmının da artan kök sayısı ile ilgili olduğu düşünülebilir.

4.2.1.2.2. Toprak üstü aksam özellikleri

Kurşun toksisitesi altında yetişen bitkilerin kökleri kurşunun doğrudan etkisi ile zararlanırken, toprak üstü aksam çoğunlukla ikincil etki ile zarar görmektedir. Topraktaki suda çözünmüş kurşunu alarak dokularında biriktiren köklerin zarar görmesi sonrasında; su (Brunet ve ark., 2009; Shabaan ve ark., 2021) ve besin elementi alımındaki azalma (Chatterjee ve ark., 2004; Seregin ve ark., 2004; Kopittke ve ark., 2007) gibi sebeplerle bitkilerin toprak üstü aksamları da zarar görmeye başlar. Kurşun toksisitesi altında toprak üstü aksamda klorozda artış, yeşil aksam yaş ağırlığı, yeşil aksam kuru ağırlığı, bitki başına yaprak sayısı ve yaprak alanının azalması gibi zararlanmalar ortaya çıkar (Gupta ve ark., 2009; Kabir ve ark., 2010; Opeolu ve ark., 2010; Aiyesanmi ve ark., 2012; Hussain ve ark., 2013). Bununla birlikte, ikincil etkinin yanı sıra sürgünlere taşınan az miktarda kurşun sebebiyle bazı hassas bitkilerde birincil zarar da görülebilir. Bu zararların başında solunum ve fotosentetik sistemlerin hasarı ile kalıtım materyaline verilen zararlar sayılabilir (Van Assche ve Clijsters, 1990; Wierzbicka, 1999; Seregin ve Ivanov, 2001; Romanowska ve ark., 2002).

Bu çalışmada, kurşun uygulaması ile yeşil aksam yaş ağırlığının azaldığı görülmüştür. Düşük kurşun dozlarında yeşil aksam yaş ağırlığının azalmadığını belirten çalışmalar olsa da (Gupta ve ark., 2009; Mahdavi ve Khermandar, 2018), kurşun toksisitesi altında yetişen bitkilerin toprak üstü biyokütlesi genel olarak azalmaktadır (Islam ve ark., 2008a; Hussain ve ark., 2013; Imtiyaz ve ark., 2014). Bununla birlikte birçok araştırıcı, bakteri uygulamaları ile bitkilerin yeşil aksam yaş ağırlığının arttığını beyan etmişlerdir (Sharafzadeh, 2012; Shen ve ark., 2012; Abdelkrim ve ark., 2020; Abdollahi ve ark., 2020). Bu çalışma da, literatür ile benzerlik göstermiş ve tüm bakteri suşu uygulamaları yeşil aksam yaş ağırlığını artırmıştır. Çalışmada, bakteri suşlarının kurşun dozlarına verdiği tepki birbirinden farklı olmuştur. Bakteri suşları tüm kurşun dozlarında kontrole göre daha yüksek yeşil aksam yaş ağırlığı oluştursa da, özellikle MŞ-7 suşu kurşun dozu artışı ile azalmayı hafifletmiştir. Bununla birlikte 0 mg kg^{-1} kurşun

dozunda MŞ-12 suşu diğer tüm bakteri uygulamalarına göre daha yüksek yeşil aksam yaş ağırlığı ortaya koymuştur. Çeşit bazında incelendiğinde, Rubygem ve YFL çeşitlerinde bakteri uygulanmamış bitkilerde kurşun doz artışı ile yeşil aksam yaş ağırlığı azalmış iken, Kabarla'da düşük dozda artış görülmüştür. Bununla birlikte, Rubygem'de kurşun dozlarında bakteri suşları kontrole göre yeşil aksam yaş ağırlığındaki azalmayı engelleyememişken, diğer iki çilek çeşidinde (özellikle 1.500 mg kg $^{-1}$ Pb dozunda) tüm suşlar yeşil aksam yaş ağırlığını B- uygulamasına göre artırmıştır. İncelenen birçok çalışmada kurşun toksisitesine karşı uygulanan yöntemlerin önemli bir kısmının yeşil aksam yaş ağırlığını koruduğu (Burd ve ark., 2000; Abdelkrim ve ark., 2020; Abdollahi ve ark., 2020; Shabaan ve ark., 2021; Faiz ve ark., 2022) ve uygulanan yöntemlerin hepsinden aynı sonucun alınmadığı, farklılıklar görüldüğü belirtilmiştir (Ghorbanli ve ark., 1999; Piotrowska ve ark., 2009; Sinhal ve ark., 2010).

Kurşun dozu artışı ile bitkilerin yeşil aksam kuru ağırlığı yüksek dozda azalmış olsa da, 0 ve 500 mg kg^{-1} Pb uygulamaları aynı istatistiki grupta yer almıştır. Çalışmada kullanılan bakteri suşları da bitkilerin yeşil aksam kuru ağırlığını kontrole göre artırmıştır. Literatür incelendiğinde, kurşun toksisitesinin bunu azalttığı (Mishra ve Choudhuri, 1998; Małkowski ve ark., 2002; Yan ve ark., 2010) ve bakteri uygulamalarının ise arttığı belirtilmiştir (Raj ve ark., 2003; Gholami ve ark., 2009; Kanchana ve ark., 2014). Çalışmada kullanılan MŞ-7 ve MŞ-12 suşlarının bitkilerin yeşil aksam kuru ağırlığını önemli ölçüde artırdığı, özellikle Rubygem ve YFL çeşitlerinin bakteri suşlarına daha iyi tepki verdiği görülmüştür. Literatürde bakteri uygulamalarının çeşitler arasında farklı etkilere yol açabileceği birçok araştırıcı tarafından belirtilmiştir (Sharafzadeh, 2012; Rostamikia ve ark., 2016; Tahiri ve ark., 2022). Çalışmada, kurşun doz artışı ile Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde yeşil aksam kuru ağırlığı azalmışken, YFL'de düşük dozda önemli bir artış görülmüştür. Bazı çalışmalarda, düşük kurşun dozlarının bitkilerin büyüme ve gelişimini olumlu etkilediği belirtilmektedir (Garland ve Wilkins, 1981; Mishra ve Choudhuri, 1998; Gupta ve ark., 2009; Arias ve ark., 2010). Çalışmada, bakteri suşları özellikle 0 mg kg^{-1} Pb dozunda ve tüm suşlar özellikle yüksek kurşun dozunda yeşil aksam kuru ağırlığını B- uygulamasına göre artırmıştır. Araştırıcılar, kurşun ve diğer ağır metal streslerine karşı uygulanan bakteri suşlarının bitkilerin toprak üstü kuru ağırlığını bakteri yokluğuna göre artırdığını belirtmişlerdir (Burd ve ark., 2000; Abdollahi ve ark., 2020; He ve ark., 2020). Çeşit bazında değerlendirildiğinde, Rubygem ve YFL çeşitlerinde kurşun dozu artışı ile kontrol bitkilerinin yeşil aksam kuru ağırlığı azalmıştır. Kabarla'da ise düşük kurşun dozunda artış görülmüştür. Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde

kurşun yokluğunda bakteri uygulamaları bitkilerin yeşil aksam kuru ağırlığı değerini artışmış olsa da, Rubygem'de kurşun dozu artışı ile bu etki ortadan kaybolmuştur. Bununla birlikte, diğer iki çilek çeşidinde de kurşun mevcudiyetinde (özellikle yüksek doz) bakteri suşları yeşil aksam kuru ağırlığını kontrol bitkilerine karşı önemli ölçüde azalmaya karşı korumuştur. Literatürde, ağır metal yokluğunda kontrolden farklı sonuç ortaya koymayan bakteri suşlarının stres altındaki bitkilerin morfolojik özelliklerini koruduğunu (Wani ve ark., 2007; Tanwir ve ark., 2021) ve/veya ağır metal varlığı veya yokluğu fark etmeksizin bakteri uygulamalarının bakteri uygulanmamış bitkilere göre daha yüksek yeşil aksam kuru ağırlığı değeri ortaya koyduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Zhou, 1999; Wu ve ark., 2006; Zaidi ve ark., 2006; Yuan ve ark., 2014).

Yapılan çalışmada, en büyük yapraklar Rubygem, en küçük yapraklar YFL çeşidinden elde edilmiştir. Birçok çalışmada, farklı çeşitlerin yaprak alanının farklı olabileceği (Klamkowski ve Treder, 2008; Karakurt ve Aslantas, 2010; Özok, 2021) ve kurşun dahil (Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005; Gichner ve ark., 2008; Islam ve ark., 2008a; Kabir ve ark., 2010) ağır metal uygulamaları (Barcelo ve ark., 1988; Chaffei ve ark., 2004; El-Beltagi ve ark., 2010) ile yaprak alanının azalacağı belirtilmiştir. Çalışmada, ağır metal toksisitesine karşı kullanılan bakteri suşları bitkilerin yaprak alanını artırmıştır. Önceki birçok çalışmada, bitkilere uygulanan bitki büyümesini artırıcı rizobakterilerin farklı tür ve çeşitlerde yaprak alanını artırdığı (Gholami ve ark., 2009; Karakurt ve ark., 2011; Kurokura ve ark., 2017; Khan ve ark., 2018), bazı nadir durumlarda etkisiz kaldığı belirtilmiştir (Karakurt ve Aslantas, 2010; Arıkan ve ark., 2020). Çalışmada kullanılan tüm bakteri suşları bütün çeşitlerin yaprak alanını az veya çok artırmıştır. Bununla birlikte, kurşun doz artışı ile çeşitlerin yaprak alanı kademeli olarak azalmış ancak Kabarla çeşidinde düşük kurşun dozunda artış görülmüştür. Yapılan bazı çalışmalarda düşük kurşun dozlarının bitkilerin morfolojik özellikleri üzerine olumsuz etki ettiği veya bazı araştırıcılara göre herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Breckle ve Kahle, 1992; Gichner ve ark., 2008; Pal ve ark., 2018). Bu çalışmada, kurşun yokluğunda bakteri suşları yaprak alanını önemli ölçüde artırmışken, kurşun doz artışı ile birlikte bu etkinin ortadan kalktığı görülmüştür. Bu konuda yapılmış olan çalışmalarda ise kurşun (Pal ve ark., 2018; Pal ve ark., 2019) ve diğer bazı ağır metallere (Awan ve ark., 2020; Tanwir ve ark., 2021) karşı kullanılmış olan bakteri uygulamaları ile ağır metal dozu artışında bakteri suşlarının yaprak alanını kontrole göre artırdığı görülmüştür. Bu yönüyle mevcut çalışma ile literatür uyuşmamaktadır. Çeşit bazlı değerlendirildiğinde (Kabarla ve YFL) mevcut çalışmada, özellikle düşük kurşun

dozunda bakteri suşlarının kontrole göre yaprak alanını artırdığı görülmektedir. Yüksek dozda ise bakteri suşları yalnızca YFL çeşidinde kontrole göre başarı sağlamıştır. Daha önce yapılmış birçok çalışmada, bakteri suşlarının tür ve çeşitlere göre farklı etkileri olduğu bildirilmiştir (Dobbelaere ve ark., 2002; Egamberdiyeva, 2005; Arıkan ve ark., 2020).

Yapılan çalışmada, kurşun toksisitesi ile bitki başına düşen yaprak sayısı azalmıştır. Kurşun toksisitesine karşı kullanılan MŞ-7 ve MŞ-12 suşları yaprak sayısını B- ve MŞ-13 uygulamalarına göre artırmıştır. Ağır metal toksisitesinin bitkilerin toprak üstü aksam gelişimini olumsuz etkilediği (Gupta ve ark., 2009; Hussain ve ark., 2013; Imtiyaz ve ark., 2014) ve bitkilerin yaprak sayısını azalttığı (Dong ve ark., 2005; Elobeid ve ark., 2012; Loi ve ark., 2018), bu durumun kurşun için de farklı olmadığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Uzu ve ark., 2009; Kabir ve ark., 2010; Opeolu ve ark., 2010). Konu hakkında daha önce yapılmış birçok çalışmada bakteri suşlarının farklı çeşitlerde farklı etki ortaya koyduğu (Aslantaş ve ark., 2007; Karakurt ve Aslantas, 2010) ve bazı yaprak özelliklerini kurşun stresi altında koruduğu görülmüştür (Burd ve ark., 2000; Pal ve ark., 2018; Pal ve ark., 2019; Abdelkrim ve ark., 2020; Abdollahi ve ark., 2020). Bu yönleriyle mevcut çalışma literatür ile benzerlik göstermektedir.

4.2.2. Pomolojik özellikler

4.2.2.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi

Birçok ağır metal gibi kadmiyum da bitkilerin meyve verimini ve her bir meyvenin ağırlığını azalttığı (Moral ve ark., 1994; Cieśliński ve ark., 1996) ve bakteri uygulamalarının genel olarak ortalama meyve ağırlığını artırdığı görülmektedir (Kurokura ve ark., 2017; Seema ve ark., 2018; Arıkan ve ark., 2020; Acar ve ark., 2022). Bu çalışmada da, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak ortalama meyve ağırlığı önemli ölçüde azalmış, üç çilek çeşidinde de benzer durum görülmüştür. Bakteri uygulamaları, su ve suda çözünmüş besin maddesi alımını artırarak, bitkileri çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı koruyarak ve ürettikleri metabolitlerle bitki büyüme ve gelişmesini artırarak bu etkiye sebep olmaktadır (Wani ve Khan, 2010; Zahir ve ark., 2010; Ahemad ve Khan, 2012). Yapılan çalışmada ise Rubygem çeşidinde kadmiyum stresine karşı etki göstermeyen bakteri suşları, Kabarla'da 0 ve 100 mg kg^{-1} Cd dozunda (MŞ-12 ve MŞ-

13) olumlu etki göstermiştir. YFL çeşidinde ise tüm kadmiyum dozlarında bakteri suşları ortalama meyve ağırlığını artırmıştır. Özellikle MŞ-13 suşu 300 mg kg^{-1} Cd dozunda ortalama meyve ağırlığını B- uygulamasına göre artırmıştır. Önceki çalışmalarda da bakteri uygulamalarının bitki tür ve çeşidine ve bakteri suşuna göre farklı etki gösterdiği belirtilmiştir (Aslantaş ve ark., 2007; Karakurt ve Aslantas, 2010).

Bu çalışmada, kadmiyum doz artışı ile azalan ortalama meyve boyunu, MŞ-7 ve MŞ-12 suşları artırmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde, kadmiyum toksisitesi ile meyve özelliklerinin olumsuz etkilendiği (Moral ve ark., 1994; Cieśliński ve ark., 1996) ve bakteri uygulamalarının meyve özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir (Karakurt ve ark., 2011; Seema ve ark., 2018; Acar ve ark., 2022). Bu çalışmada da, önceki çalışmalara benzer şekilde özellikle köklerin zarar görmesi sebebiyle meyve özellikleri zarar görmüş olabilir. Bununla birlikte, bakteri uygulamalarının bitkilerin meyve özelliklerini iyileştirdiği (Ipek ve ark., 2014; Arıkan ve ark., 2020) ve meyve boyunu artırdığı (Şahin ve ark., 2019; Acar ve ark., 2022) önceki çalışmalarda da bildirilmiştir. Bu çalışmada ise MŞ-7 ve MŞ-12 suşları kadmiyum yokluğunda meyve boyunu artırmış, varlığında ise etki edememiştir. Literatürde de belirtildiği üzere, bakteri uygulamalarının meyve özellikleri üzerine etkisi bitki tür ve çeşidi ile bakteri türüne göre değişiklik gösterebilmektedir (Aslantaş ve ark., 2007; Karakurt ve Aslantas, 2010). Bu çalışmada kullanılan bakteri suşları çilekte meyve boyu üzerine kadmiyum stresi altında etki etmemiştir.

Çalışmada artan kadmiyum dozları ile ortalama meyve eni azalmış, önceki çalışmalarda da kadmiyum dozu artışı ile meyve özelliklerinin zararlandığı (Cieśliński ve ark., 1996; Moral ve ark., 1996) ve bakteri suşlarının bitkilerin meyve özellikleri üzerine olumlu etki ettiği belirtilmiştir (Raj ve ark., 2003; Gholami ve ark., 2009; Kanchana ve ark., 2014). Bu çalışmada, ortalama meyve eni üzerine kadmiyum uygulamalarının etkisi olumsuz olmuştur. Çilek çeşitlerinde yapılan çalışmalarda uygulanan bakteri suşları meyve özelliklerini ve meyve enini artırmıştır (Arıkan ve ark., 2020; İpek ve ark., 2021). Yürütülmüş olan çalışmada ise Rubygem çeşidinde bakterilerin herhangi bir etkisi belirlenmemiş olmasına karşın, Kabarla ve YFL'de artış görülmüştür. Arıkan ve ark. (2020) çileğe uygulanan bazı bakteri suşlarının meyve özelliklerini olumsuz etkilediğini, bazı bakterilerin ise herhangi bir etkiye yol açmadığını belirtmiştir. Bu yönüyle mevcut çalışma ile benzerlik göstermektedir. Ağır metal stresi altındaki bitkilere uygulanan bakteri suşlarının ve diğer uygulamaların (Pal ve ark., 2019; Shabaan ve ark., 2021) meyve özelliklerini iyileştirdiği, meyve ölçülerini artırdığı birçok

çalışmada belirtilmiştir (Cieśliński ve ark., 1996; Moral ve ark., 1996; Zhang ve ark., 2020). Mevcut çalışmadan alınan sonuçlar ise literatür ile örtüşmemiş, kadmiyum toksisitesi altında kullanılan bakteri suşları meyve eni üzerine etkisiz kalmıştır.

4.2.2.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde pomolojik özellikler üzerine etkisi

Yapılan çalışmada kurşun dozları ortalama meyve ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır. Birçok çalışmada kurşun (Chatterjee ve ark., 2004; Opeolu ve ark., 2010; Ashraf ve ark., 2017; Shabaan ve ark., 2021) ve diğer ağır metal uygulamalarının (Moral ve ark., 1994; Cieśliński ve ark., 1996) meyve ve tohum ağırlıklarını azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada, kurşun stresine karşı kullanılan bakteri suşlarından yalnızca MŞ-13 ortalama meyve ağırlığını artırmakla birlikte, daha önce yapılmış çalışmalarda bakteri uygulamalarının genel olarak meyveleri irileştirdiği belirlenmiştir (Gholami ve ark., 2009; Shen ve ark., 2012; Acar ve ark., 2022). Bu çalışmada, tüm çilek çeşitlerinde doz artışına bağlı olarak ortalama meyve ağırlığı azalmış, tüm bakteri suşlarında da benzer durum görülmüştür. Önceki çalışmalarda da görülebileceği üzere ağır metal yokluğunda meyve ağırlığını artıran bakteri uygulamaları, ağır metal varlığında da aynı etkiyi sürdürmüştür (Raza Altaf ve ark., 2020; Shabaan ve ark., 2021). Bu çalışmada da, MŞ-13 suşu tüm çeşitlerde ve tüm dozlarda ortalama meyve ağırlığını bakteri yokluğuna göre önemli ölçüde artırmıştır. Rubygem çeşidinde ise tüm bakteri suşları, tüm kurşun dozlarında kontrole göre daha ağır meyveler meydana getirmiştir. Literatür ile benzer şekilde bakteri suşları çeşit spesifik (bazı çeşitler ile bazı bakteri suşları daha iyi uyumlu) davranmıştır.

Bu çalışmada, kurşun dozları ile ortalama meyve boyu önemli ölçüde azalmıştır. Kurşun stresine karşı kullanılan bakterilerin ortalama meyve boyu üzerine etkisi olmamıştır. Ağır metal stresinin meyve özelliklerini azalttığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Moral ve ark., 1994; Chatterjee ve ark., 2004; Opeolu ve ark., 2010; Ashraf ve ark., 2017). Konu ile alakalı çalışmaların önemli bir kısmında bakteri uygulamaları ile ağır metal stresi altındaki bitkilerin meyve iriliklerinin arttığı veya en azından azalmadığı belirtilmiştir (Raza Altaf ve ark., 2020; Shabaan ve ark., 2021). Bu yönüyle mevcut çalışma literatür ile uyumsuzluk içindedir. Çeşit bazlı değerlendirildiğinde, tüm çilek çeşitlerinde bakteri uygulamalarında ortalama meyve boyu kurşun doz artışı ile azalmıştır. Çalışmada, bazı uygulamalar dışında (MŞ-7 bakteri suşu uygulamasında tüm

çeşitlerde 500 mg kg^{-1} ve Kabarla'da 1.500 mg kg^{-1}) ve hiçbir bakteri x çilek çeşidi kombinasyonu kurşun dozu artışı karşısında ortalama meyve boyunu kontrole göre artırmamıştır.

Çalışmada kullanılan kurşun dozu artışı ile meyvelerin eni azalmıştır. Kurşun stresine karşı kullanılan bakteri suşlarından MŞ-7 ve MŞ-12 ortalama meyve enini kontrol ve diğer suşlara göre artırmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, ağır metal stresinin meyve ve tohum boyutlarını azalttığı (Cieśliński ve ark., 1996; Opeolu ve ark., 2010; Ashraf ve ark., 2017) ve bakteri suşlarının meyve boyutlarını artırdığı bildirilmiştir (Karakurt ve ark., 2011; Seema ve ark., 2018; Acar ve ark., 2022). Literatürde de benzer sonuçlarla karşılaşılmış, bakteri uygulamalarının kurşun ve diğer ağır metal stresi altındaki bitkilerde meyve özelliklerini bakteri yokluğuna göre artırdığı bazı çalışmada görülmüştür (Pal ve ark., 2019; Shabaan ve ark., 2021). Bu yönüyle yürütülmüş olan çalışma literatür ile uyumludur.

4.2.3. Fizyolojik özellikler

4.2.3.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi

Bu çalışmada, kadmiyum uygulamaları ile SPAD değeri artmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde SPAD değeri ve klorofil miktarlarının kadmiyum uygulamaları ile değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bazı araştırıcılara göre, düşük kadmiyum dozları klorofil miktarını artırıp yüksek doz azaltırken (Rascio ve ark., 1993; Yoshihara ve ark., 2006; Aibibu ve ark., 2010; Shah ve ark., 2011; Loi ve ark., 2018), bazı araştırıcılara göre tüm kadmiyum dozlarında bu değerler azalmıştır (Czuba ve Ormrod, 1974; Root ve ark., 1975; Sheoran ve ark., 1990; Salt ve ark., 1995; Chugh ve Sawhney, 1999; Dong ve ark., 2005; Hassan ve ark., 2005; Ekmekci ve ark., 2008; Muradoglu ve ark., 2015a; Şahin ve ark., 2017). Bununla birlikte bazı araştırıcılar, çalışmamıza benzer şekilde kadmiyum uygulanması ile bitkilerin klorofil miktarının arttığını belirtmişlerdir (Barcelo ve ark., 1988; Lunáčková ve ark., 2003; Monteiro ve ark., 2009; Rehman ve ark., 2011). Ayrıca, bakteri uygulamalarının bitki büyümesini, gelişimini ve klorofil miktarını artırdığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Rostamikia ve ark., 2016; Moustaine ve ark., 2017; Khan ve ark., 2018; Nawaz ve Bano, 2020; İpek ve ark., 2021). Bununla birlikte, bazı araştırıcılar farklı bakteri suşlarının klorofil miktarı üzerine farklı etkilerde

bulunduğunu, bazı bakterilerin klorofil miktarı üzerine etkisiz kaldığını belirtmişlerdir (Seema ve ark., 2018; Ipek ve ark., 2021). Kadmiyum toksisitesi altında bakteri uygulamalarının bitkilerin SPAD değerini ve klorofil miktarını artırdığı veya en azından olumsuz etki etmediği birçok çalışmada belirlenmiştir (Burd ve ark., 2000; Guo ve Chi, 2014b; Pan ve ark., 2017; Wu ve ark., 2018; Awan ve ark., 2020; Zafar-Ul-Hye ve ark., 2020). Bu çalışmada, kullanılan suşlar bakteri yokluğuna göre SPAD değerini azaltmış (MŞ-7 ve MŞ-13) veya etkilememiştir (MŞ-7).

Kadmiyum uygulamaları ile yaprak oransal su içeriği özellikle yüksek dozda artmıştır. Bakteri uygulamalarından yalnızca MŞ-7 yaprak oransal su içeriğini artırmıştır. Yaprak oransal su içeriğinin kadmiyum uygulamaları ile azaldığı (Vijendra ve ark., 2016; Şahin ve ark., 2017) ancak düşük dozda değişmediği (Aibibu ve ark., 2010; Ahmad ve ark., 2011) ve bakteri uygulamalarının su dengesini koruduğu görülmektedir (Karlidag ve ark., 2011; Turan ve ark., 2012; Abbasi ve ark., 2013; Gou ve ark., 2015). Kadmiyum toksisitesine karşı uygulanan bakterilerin yaprak oransal su içeriğini toksisiteye karşı koruduğu birçok çalışmada saptanmıştır (Chen ve ark., 2014; Pal ve ark., 2019; Awan ve ark., 2020; Shabaan ve ark., 2021). Bu çalışmada da, Rubygem çeşidinde yaprak oransal su içeriğinin artan kadmiyum dozlar ile azalmasını engelleyen bakteri suşları diğer çeşitlerde aynı etkiyi ortaya koyamamıştır. Benzer sonuçlar, önceki bazı çalışmalarda da elde edilmiştir (Wan ve ark., 2012; Ahmad ve ark., 2016).

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum uygulamalarının iyon sızıntısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Buna karşın, önceki çalışmalar incelendiğinde, kadmiyum dozu artışına bağlı olarak membran geçirgenliğinin arttığı görülmektedir (Ekmekci ve ark., 2008; Monteiro ve ark., 2009; Garg ve Chandel, 2012). Bununla birlikte, Ahmad ve ark. (2011) düşük kadmiyum dozlarında membran geçirgenliğinin azaldığını belirtmiştir. Konu ile ilgili çalışmalarda, genel kanı bakteri uygulamalarının stres altındaki bitkilerin membran geçirgenliğini azalttığı yönündedir (Turan ve ark., 2012; Karlidag ve ark., 2013; Koç ve ark., 2016). Bu çalışmada, MŞ-7 dışındaki suşlar iyon sızıntısını artırmıştır. Bu yönüyle mevcut çalışma literatür ile çelişmektedir. Bazı diğer çalışmalarda, bakteri uygulamaları ile stres şartlarında azalan membran geçirgenliğinin (Karlidag ve ark., 2011; Turan ve ark., 2012; Karlidag ve ark., 2013), ağır metal (Gontia-Mishra ve ark., 2016; Ali ve ark., 2021) ve kadmiyum stresi altındaki bitkilerde de (Ahmad ve ark., 2016; Tanwir ve ark., 2021) benzer sonuç verdiği bildirilmiştir. Rubygem ve YFL çeşitlerinde kullanılan bakteri suşları iyon sızıntısını artırmış, YFL'de ise MŞ-7 suşu azaltmış diğerleri etki etmemiştir. Bu çalışma, hem

kadmiyum, hem bakteri, hem de bu iki unsurun bir arada uygulandığı durumlarda (YFL çeşidi dışında) literatür ile uyumsuz gözükmektedir.

4.2.3.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde fizyolojik özellikler üzerine etkisi

Ağır metaller bitkilerin klorofillerine çeşitli yollarla zarar vererek bitkilerin fotosentez kapasiteni azaltmaktadır (Ghorbanli ve ark., 1999; Ekmekci ve ark., 2008; El-Beltagi ve ark., 2010). Yapılan çalışmada, kurşunun düşük dozlarında SPAD değeri azalmamış ancak yüksek dozda azalma görülmüştür. Macfarlane ve Burchett (2001) ile Xiong ve ark. (2006) kurşun uygulamalarının klorofil miktarı üzerine etkisinin olmadığını, Chatterjee ve ark. (2004) ile Liu ve ark. (2008) düşük dozda kurşun uygulandığında klorofil miktarı üzerine etki etmediğini ancak doz artışı ile klorofil miktarının azaldığını, Gupta ve ark. (2009) kurşun dozu fark etmeksizin uygulamanın ilk günlerinde klorofil miktarını artıran dozların yedinci günden itibaren yüksek dozda azaltmaya başladığını bildirmişlerdir. Muradoğlu ve ark. (2016) ise kurşun dozlarının çilekte klorofil miktarını azalttığını belirtmiştir. Buradan hareketle bu çalışmanın, kurşun dozlarının klorofil miktarı üzerine etkisi yönünden literatürün çoğu ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan bakteri suşları klorofil miktarını azaltmış olsa da, birçok araştırıcı bakteri uygulamalarının klorofil miktarını artırdığını belirtmişlerdir (Rostamikia ve ark., 2016; Khan ve ark., 2018; Nawaz ve Bano, 2020; İpek ve ark., 2021). Literatürde, kurşun ve diğer ağır metallerin stresi altındaki bitkilere uygulanan bakterilerin klorofil miktarını ağır metal stresi altında bakteri yokluğuna göre artırdığını belirten birçok çalışma mevcuttur (Burd ve ark., 2000; Guo ve Chi, 2014b; Pal ve ark., 2018; Awan ve ark., 2020; Raza Altaf ve ark., 2020; Zafar-Ul-Hye ve ark., 2020). Bu çalışmada ise literatürün aksine kurşun stresi altında bitkilerin klorofil miktarı bakteri uygulamaları ile azalmış olmakla birlikte, Rubygem çeşidinde düşük kurşun dozunda (500 mg kg^{-1}) tüm bakteri suşlarında SPAD değeri B- uygulamasına göre yüksek kalmıştır.

Yapılan çalışmada, en yüksek yaprak oransal su içeriği değeri Kabarla, en düşük ise Rubygem çeşidinden elde edilmiştir. Ghaderi ve Siosemardeh (2011) ve Brunet ve ark. (2009) çilek ve mürdümük çeşitleri arasında yaprak oransal su içeriğinin değişiklik gösterebildiğini bildirmiştir. Bu çalışmada, kurşun doz artışı ile azalan yaprak oransal su içeriğinin birçok eski çalışmada da kurşun ve diğer ağır metal streslerinde doz artışı ile

azaldığı belirtilmiştir (Kastori ve ark., 1992; Brunet ve ark., 2009; Şahin ve ark., 2017). Çalışmada, bakteri uygulamaları yaprak oransal su içeriğini artırmış olup elde edilen sonuçlar literatür ile örtüşmektedir (Karlidag ve ark., 2011; Turan ve ark., 2012; Tahiri ve ark., 2022). Yürütülmüş olan çalışmada, MŞ-7 ve MŞ-13 suşları Rubygem ve Kabarla çeşitlerinde yaprak oransal su içeriğini bir miktar artırmışken, YFL'de bakteri suşlarının herhangi bir etkisi olmamıştır. Literatürde de farklı bakteri suşlarının bitkilerin özellikleri üzerine farklı etkiler meydana getirebildiğini bildiren çalışmalar mevcuttur (Aslantaş ve ark., 2007; Karakurt ve Aslantas, 2010; Karakurt ve ark., 2011).

Çalışmada, artan kurşun dozları ile iyon sızıntısının azalmış olmasına karşın, önceki birçok çalışmada kurşun stresine maruz kalmış bitkilerin membran geçirgenliği ve iyon sızıntısı artmıştır (Bharwana ve ark., 2013; Bharwana ve ark., 2014; Ashraf ve ark., 2017; Lopez-Orenes ve ark., 2018; Kaya ve ark., 2019). Ek olarak, bu çalışmada kurşun toksisitesine karşı uygulanan bakteri suşları iyon sızıntısını, literatürün aksine iki çilek çeşidinde artırmıştır (Turan ve ark., 2012; Karlidag ve ark., 2013; Koç ve ark., 2016). Bununla birlikte, YFL çeşidinde MŞ-7 ve MŞ-12 suşları tüm dozlarda diğer uygulamalara göre iyon sızıntısını azaltmıştır. Balcı (2018) tarafından çilekte yapılan bir çalışmada kadmiyum dozu artışı ile membran geçirgenliği yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Liu ve ark. (2014)'a göre ise düşük kurşun dozlarında membran geçirgenliği çok fazla değişmemekte, hatta bir miktar azalmaktadır. Doz arttıkça membran geçirgenliği önemli ölçüde artmaktadır. Buna karşın, yukarıda da belirtildiği üzere genel kanı ağır metal stresi altında membran geçirgenliğinin arttığı yönündedir. Özellikle kurşun stresi altındaki bitkilerin membran geçirgenliği üzerine yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir.

4.2.4. Anatomik özellikler

4.2.4.1. Bakteri uygulamalarının kadmiyum uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi

Yapılan çalışmada, kadmiyum uygulamaları ile bitkilerin stoma uzunluğunun önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda da, kadmiyum toksisitesine maruz kalmış bitkilerin stoma uzunluğunun azaldığı bildirilmiştir (Kastori ve ark., 1992; Shi ve Cai, 2009; Tran ve ark., 2013). Çalışmada, kadmiyum stresi altında bakteri uygulamalarının stoma uzunluğunu artırdığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, stoma özellikleri üzerine bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının etkisinin

genellikle olumlu yönde olduğu araştırıcılar tarafından bildirilmiştir (del Rosario Cappellari ve ark., 2015; Suryanti ve Umami, 2020; Liu ve ark., 2022).

Yapılan çalışmada, stoma eninin kadmiyum dozu artışı ile azaldığı belirlenmiş, literatürde de kadmiyum dahil ağır metal uygulamaları ile stoma eninin azaldığı bildirilmiştir (Bazzaz ve ark., 1974; Kastori ve ark., 1992; Perfus-Barbeoch ve ark., 2002; Zarinkamar ve ark., 2013b). Çalışmada, kadmiyum stresine karşı uygulanan bakterilerden MŞ-7 suşunun stoma eni üzerine etkisi olmamışken, MŞ-12 ve MŞ-13 suşlarının stoma enini azalttığı görülmüştür. Önceki çalışmalar, bakteri suşlarının stoma eni üzerine etkilerinin farklılık gösterdiği görülmüştür. Bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamasının stoma enin artırdığı (Suryanti ve Umami, 2020) ve kuraklık stresi altındaki bitkilere uygulanan bakteri suşlarının stoma enini azalttığına (Agami ve ark., 2016) dair çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada, bakteri suşlarının (özellikle MŞ-13) kadmiyum dozu artışı ile stoma eninin azalmasına yol açtığı görülmüştür. Bu etki, kadmiyum stresi altındaki bitkilerin su kaybını azaltmak için bitki tarafından alınmış bir önlem olabilir. Bakteri uygulanmamış bitkilerde kadmiyum dozu artışı ile stoma eninin düşük dozda artması ve yüksek dozda kadmiyum yokluğu ile benzer seviyeye inmesi bu düşünceyi destekler niteliktedir. Önceki çalışmalarda ise bakteri uygulamalarının bitkileri su ve tuz stresinden uzak tuttuğu, yaprak oransal su içeriğini artırdığı ve stomaları su stresine karşı kapattığı bildirilmiştir (Karlidag ve ark., 2011; Agami ve ark., 2016; Liu ve ark., 2022). Bir diğer olası açıklama ise bakteri uygulanması ile bitkilerin topraktan daha fazla kadmiyum alması sonucu bitkilerin strese girmesi ve stomalarını kapatması olabilir. Birçok çalışmada, bakteri uygulamalarının bitkilerin ağır metal içeriğini artırdığı belirtilmiştir (Rajkumar ve Freitas, 2008; Pan ve ark., 2017; Abdelkrim ve ark., 2020). Bu çalışmada, çeşit bazlı değerlendirildiğinde kadmiyum dozu artışı ile B-uygulamasında stoma eni artmış ancak bakteri uygulamaları ile doz artışına bağlı stoma eni artışı tersine dönerek azalmıştır. Benzer etki, Kabarla çeşidinde de görülmüş, YFL'de ise tüm bakteri uygulamalarında doz artışı ile stoma eni azalmıştır. Buradan hareketle, kadmiyum dozu artışı ile stoma eninde meydana gelen değişimin çeşitlere göre değişebildiği ve bakteri uygulamaları ile stoma eninin stres altında azaldığı söylenebilir.

Çalışmada uygulanan artan kadmiyum dozları ile birim alana düşen stoma sayısı önemli ölçüde azalmıştır. Önceki çalışmalarda, mevcut çalışmaya benzer sonuçlar elde edenler olduğu gibi (Baryla ve ark., 2001; Perfus-Barbeoch ve ark., 2002; Rehman ve ark., 2011), ağır metal doz artışı ile birim alandaki stoma sayısının arttığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Kastori ve ark., 1992; Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005).

Bununla birlikte, bu durumda bitkinin yaprakları da küçüldüğü için yaprak başına düşen stoma sayısı da doz artışı ile azalmaktadır. Mevcut çalışmada da, kadmiyum stresi altında birim alana düşen stoma sayısı önemli ölçüde azalmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, bakteri uygulamalarının genellikle stoma sayısını artırdığı görülmektedir (del Rosario Cappellari ve ark., 2015; Suryanti ve Umami, 2020; Liu ve ark., 2022). Buna karşın, bazı çalışmalarda bakteri uygulamalarının stoma sayısını azalttığı da bildirilmiştir (Agami ve ark., 2016). Literatürde ağır metal stresine karşı yapılan uygulamaların birim alana düşen stoma sayısını koruduğunu (Tripathi ve ark., 2012) veya aksine azalttığını (Tran ve ark., 2013) belirten araştırıcılar olsa da mevcut çalışmanın kıyaslanabileceği çok fazla çalışma yoktur. Yapılan çalışmada kullanılan bakteri suşları birim alana düşen stoma sayısını azaltmıştır. Özellikle yüksek kadmiyum dozunda (Rubygem-MŞ-7 ve Kabarla MŞ-12 dışında) tüm bakteri uygulamalarında birim alana düşen stoma sayısı azalmıştır.

Yapılan çalışmada, artan kadmiyum dozları ile birlikte yaprak kalınlığının önemli ölçüde azaldığı ve bunun da literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür (Tran ve ark., 2013; Chaca ve ark., 2014). Buna karşılık, Shi ve Cai (2009) kadmiyum uygulaması ile yaprak kalınlığının arttığını belirtmiştir. Çalışmada, kadmiyum stresine karşı kullanılan bakteri suşlarının yaprak kalınlığını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Literatürde de benzer şekilde bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının yaprak kalınlığını artırdığını tespit eden araştırıcılar vardır (Tran ve ark., 2013; Agami ve ark., 2016; Aini ve ark., 2019).

4.2.4.2. Bakteri uygulamalarının kurşun uygulanmış çilek çeşitlerinde anatomik özellikler üzerine etkisi

Çalışmada kullanılan kurşun dozu artışına bağlı olarak stoma boyunda azalma görülmüştür. Önceki çalışmalar incelendiğinde kurşun stresi altında bitkilerin stoma boyunun azaldığı belirlenmiştir (Kastori ve ark., 1992; Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005; Yilmaz ve ark., 2009; Pereira ve ark., 2016). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda da kurşun stresi altındaki bitkilerin stoma boylarının arttığı belirtilmiştir (Zarinkamar ve ark., 2013b; Pereira ve ark., 2014). Çalışmada kullanılan bakteri suşlarından MŞ-12 diğer suşlara ve bakteri yokluğuna göre stoma boyunu artırmıştır. Agami ve ark. (2016) ise bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamasının stres yokluğunda stoma boyunu etkilemediğini ancak stres varlığında bitki büyümesini artırıcı

rizobakteri uygulamalarının stoma boyundaki azalmayı engellediğini belirtmişlerdir. Önceki çalışmalarda ağır metal veya diğer tip streslere maruz kalan bitkilere uygulanan bakteri veya benzeri uygulamaların stoma boyundaki azalmaya engel olduğu belirtilmiştir (Fanourakis ve ark., 2009; Tran ve ark., 2013; Agami ve ark., 2016). Bu çalışmada ise Rubygem dışındaki çeşitlerde yalnızca birer bakteri suşu (Kabarla-MŞ-13 ve YFL-MŞ-7) stoma boyunu bakteri yokluğuna göre artırmıştır.

Bu çalışmada kullanılan kurşun dozlarının stoma eni üzerinde istatistiki açıdan önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bazzaz ve ark. (1974) ile Kastori ve ark. (1992) ağır metal dozu artışı ile stoma eninin azaldığını ve stomaların kapandığını belirtmiştir. Çalışmada, kurşun toksisitesine karşı uygulanan bakteri suşlarından MŞ-13 stoma enini artırmış, MŞ-12 azaltmıştır. Agami ve ark. (2016)'da bu çalışmada ki MŞ-12 suşunun etkisine benzer şekilde bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamasının stomaları kapattığını ve stoma enini azalttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, stres şartlarında bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının stomaların açılmasına yol açtığını ve stoma iletkenliğinin arttığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Liu ve ark., 2013; Liu ve ark., 2019). Bu çalışmada bu yönde bir etki yalnızca YFL çeşidinde belirgin şekilde görülmüştür.

Çalışmada kullanılan kurşun dozları birim alana düşen stoma sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Literatürde kurşun ve diğer ağır metal toksisitesine maruz kalmış bitkilerin birim alandaki stoma sayısının azaldığını belirten çalışma olduğu kadar (Kambhampati ve ark., 2005; Yilmaz ve ark., 2009; Agami ve ark., 2016), arttığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Gomes ve ark., 2011; Pereira ve ark., 2014; Pereira ve ark., 2016). Bunun yanında, mevcut çalışmada kurşun stresine karşı kullanılan bakteri suşlarından MŞ-12 başta olmak üzere birim alandaki stoma sayısını azaltıcı etki yapmıştır. Önceki çalışmalar arasında, bitki büyümesini artırıcı rizobakteri (Agami ve ark., 2016) ve nitrik oksit (Tran ve ark., 2013) gibi stres şartlarına karşı yapılan uygulamaların birim alandaki stoma sayısını azalttığını belirten çalışmalar olduğu gibi, bitki büyümesini artırıcı rizobakteri ve EDTA uygulamalarının stres şartlarında olsun olmasın birim alandaki stoma sayısını artırdığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Kambhampati ve ark., 2005; del Rosario Cappellari ve ark., 2015; Suryanti ve Umami, 2020; Liu ve ark., 2022). Bu konuda farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalarda ise genel olarak bitki büyümesini artırıcı rizobakteri uygulamalarının stoma sayısını artırdığı belirtilmiştir (Kambhampati ve ark., 2005; del Rosario Cappellari ve ark., 2015; Suryanti ve Umami, 2020; Liu ve ark., 2022).

Çalışmada kullanılan kurşun dozları yaprak kalınlığını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu sonuç, konu hakkında yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir Kurşun, kadmiyum ve diğer stres şartlarında birçok çalışmada yaprak kalınlığı azalmıştır (Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005; Gomes ve ark., 2011; Tran ve ark., 2013; Chaca ve ark., 2014; Agami ve ark., 2016). Zarinkamar ve ark. (2013a)'a göre ise düşük kurşun dozlarında artan yaprak kalınlığı kurşun dozu arttıkça azalmaktadır. Önceki çalışmalarda, bitkilere uygulanan bitki büyümesini artırıcı rizobakteri, mikoriza ve prolin ile yaprak kalınlığının arttığı belirtilmiş olup (Weryszko-Chmielewska ve Chwil, 2005; Tran ve ark., 2013; Chaca ve ark., 2014; Agami ve ark., 2016; Aini ve ark., 2019; Santos ve ark., 2022), bu çalışmada yalnızca MŞ-12 bakteri suşu bu etkiyi göstermiştir. Buna karşın, YFL çeşidinde tüm dozlarda tüm suşlar bakteri yokluğuna göre yaprak kalınlığını artırmıştır.

4.2.5. Ağır metal depolama özellikleri

4.2.5.1. Kadmiyum depolama özellikleri

Toprakta bulunan kadmiyuma bitkilerin verdiği tepkiler alım ve taşıma özelliklerine bağlı olarak farklı olmakla birlikte toprağın pH'sı, toprakta bulunan kadmiyum miktarı, toprak/hava sıcaklığı, redoks potansiyeli ve diğer elementlerin topraktaki miktarı da bu tepkileri etkilemektedir. Fakat taşınması oldukça karmaşıktır (Clemens ve ark., 2002; Epstein ve Bloom, 2005; Hasan ve ark., 2009; Zeng ve ark., 2011; Pan ve ark., 2016). Kadmiyumun, kök uçlarından bitkiye girişi oldukça kolaydır ve aynı transmembran taşıyıcılarını kullanarak besin elementleri ile rekabet eder (Clarkson ve Lüttge, 1989; Rivetta ve ark., 1997). Kadmiyum, diğer besin elementleri ile etkin rekabeti sebebiyle topraktan düşük konsantrasyonlarda bile rahatlıkla alınarak köklerde apoplastik yol boyunca taşınmaktadır. Bununla birlikte, kadmiyumun taşınması sırasındaki ilk bariyer hücre duvarıdır. Apoplastik yol köklerin olgunlaşması ile kapandıktan sonra taşınma simplastik yoldan devam etmektedir (Costa ve Morel, 1993; Salt ve Rauser, 1995; Tester ve Leigh, 2001). Bu süreçte, kadmiyum kök hücrelerine alınır, simplastik yoldan iletim demetlerine taşınır ve ksileme yüklenir (Salt ve Rauser, 1995; Clemens ve ark., 2002). Daha sonra ksilem yoluyla toprak üstü kısımlara taşınan (Yang ve ark., 1998) kadmiyumun önemli kısmı daha çok köklerde tutulmaktadır (Cataldo ve ark., 1983; Ramos ve ark., 2002). Kadmiyumun ksilem yoluyla taşınması

floem ile taşınmasına göre daha yüksek olsa da (ksilemin floeme göre daha asidik olması ve ksilemde daha fazla kadmiyum taşıyan bileşik bulunması gibi sebeplerle), apoplastik yolun kapanmasından sonra simplastik yol ile daha az kadmiyum taşınmasıyla birlikte bitki organları arasında kök>sürgün>yaprak>meyve şeklinde kadmiyum konsantrasyonunda azalma söz konusudur (Mori ve ark., 1991; Blum, 1997; Sarma ve ark., 2006). Bunun sebepleri arasında kadmiyumun köklerden girişinden itibaren hücre dışı karbonhidratlar (Verkleij ve Schat, 1990; Wagner, 1993), hücre duvarındaki bileşikler (Nishizono ve ark., 1989; Leita ve ark., 1996) ve hücre içi bölmelerde (vakuol vb.) (Prasad, 1995) tutulması vardır. Bununla birlikte, sürgün boğumları ve yapraklarda floeme yüklenen kadmiyum bu yolla tüm bitkiye yayılabilmekte ve oransal olarak az da olsa bitki içinde yeniden konumlandırılabilmektedir (Tanaka ve ark., 2007; Rodda ve ark., 2011; Uraguchi ve ark., 2011; Wu ve ark., 2015).

Bitkiler kadmiyumu çoğunlukla köklerinde tutma eğilimindedirler (Tyler ve ark., 1989; Kabata-Pendias ve Pendias, 2011). Bitkiler bunu, hücrelere ilk giriş esnasında hücre duvarında ve devamında vakuollerde tutma ile başarırlar (Wang ve ark., 2008; Qiu ve ark., 2011). Bu çalışmada, kullanılan çilek bitkileri ise topraktan aldığı kadmiyumu önemli ölçüde toprak üstü aksamına taşımıştır. Çalışmada, kök ve sürgünlerin kadmiyum konsantrasyonları birbirine yakın bulunmuştur. Kaya ve Aslan (2020) tarafından Camarosa çilek çeşidinde yapılan bir çalışmada, yaprakların kadmiyum içeriği yaklaşık 15 ppm olarak bu çalışmadan elde edilenin de üstündedir. Treder ve Cieslinski (2005) çilek yapraklarındaki kadmiyum konsantrasyonunun kumlu toprakta sürgündekine göre (muhtemelen yaprak sapından bahsediliyor) daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Buna karşın, sürgünlerdeki kadmiyum konsantrasyonun da köklerden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Killi toprakta ise köklerdeki konsantrasyonun sürgünlerden ve her ikisinin yapraklardan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Rainier, Selva ve Totem çilek çeşitlerinin ise köklerindeki kadmiyum konsantrasyonunun yapraktaki konsantrasyondan yaklaşık 30 kat daha fazla olduğunu bildiren bir çalışmada mevcuttur (Cieśliński ve ark., 1996). Diğer çalışmalarla ortaya çıkan bu fark uygulanan doz ve çeşit farklılığından kaynaklanmış olabilir. Bu çalışmada, önceki çalışmaların aksine yaprakların ve yaprak saplarının kadmiyum içerikleri köklere benzer bulunmuştur. Çilek dışındaki bitkilerde yapılan birçok çalışmada da yaprakların kadmiyum konsantrasyonu sürgün ve köklere göre oldukça düşük bulunmuştur. Wan ve ark. (2012) tarafından köpek üzümü bitkisinde yapılan bir çalışmada yaprakların kadmiyum konsantrasyonu köklerin yaklaşık yarısı kadar bulunmuştur. Soğanda yapılan bir çalışmada ise topraktan alınan kadmiyumun

önemli bir kısmı köklerde tutulmuş, köklerin kadmiyum konsantrasyonları yaprakların 9 katı kadar belirlenmiştir (Jiang ve ark., 2001). Benzer şekilde mısır (Wang ve ark., 2007b), japon hanımeli (Jiang ve ark., 2016), köpek üzümü (Wang ve ark., 2020), *Lotus japonicus* (Zhang ve ark., 2015) ve kamışta (Jin ve ark., 2019) yapılan çalışmalarda da kök kadmiyum konsantrasyonu yaprak ve sürgünlere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, *Salix viminalis* (sepetçi söğüdü) ve *Populus x generosa* bitkilerinde yaprak konsantrasyonları daha fazla (Bissonnette ve ark., 2010), su sümbülünde ise (Gunathilakae ve ark., 2018) birbirine yakın bulunmuştur.

Yapılmış olan çalışmada uygulanan kadmiyum dozunun artması ile birlikte bitki dokularında konsantrasyon artmıştır. Köklerdeki artış, uygulanan doz 100 mg kg^{-1} Cd'dan 300 mg kg^{-1} Cd'a çıkınca oransal olarak düşükken yapraklarda bu oran daha yüksektir. Bununla birlikte, aynı doz artışında yaprak sapındaki kadmiyum artmamış, aynı istatistiki grupta yer almıştır. Önceki çalışmalarda da uygulanan dozun artmasıyla köklerdeki kadmiyum içeriği artmıştır (Jalil ve ark., 1994; Moral ve ark., 1996; Jiang ve ark., 2001; Wang ve ark., 2007b; El-Beltagi ve ark., 2010; Wang ve ark., 2020). Bununla birlikte, çilekte yapılan bazı çalışmalarda özellikle yüksek dozlarda yaprakların kadmiyum konsantrasyonundaki artış daha düşüktür. Bu çalışmalardan Muradoglu ve ark. (2015)'nın çilekte yaptığında, en yüksek üç dozda doz artışı ile köklerin kadmiyum konsantrasyonu artmışken, yaprakların konsantrasyonları aynı istatistiki grupta yer almıştır. Benzer şekilde, Cieśliński ve ark. (1996)'nın çilekte yaptığı çalışmada, üç çeşitte de doz artışı ile köklerin kadmiyum konsantrasyonu önemli ölçüde artmışken, yapraklarda çeşide bağlı olarak artış olmamış veya çok az olmuştur. Buna karşın, Elsanta çilek çeşidi ile yapılmış bir çalışmada ise köklerden meyvelere kadar tüm bitki dokularında, uygulanan doz artışı ile kadmiyum konsantrasyonu artmıştır (Treder ve Cieslinski, 2005). Bu çalışma, kök ve yaprak saplarının kadmiyum konsantrasyonları dikkate alındığında literatür ile benzeşmekteyken, yaprak kadmiyum konsantrasyonu dikkate alındığında ağır metal akümülatör bitkilerle benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tür ve çeşide bağlı olarak bitkiler topraktan farklı miktarlarda ağır metal almaktadır. Bazı bitki türleri diğerlerine göre daha fazla ağır metal alabilmektedir (Bissonnette ve ark., 2010; Guo ve Chi, 2014a). Bunun yanında, tür içindeki varyete ve çeşitler de bünyelerine farklı miktarlarda ağır metal alabilmektedir (Cieśliński ve ark., 1996; Jauert ve ark., 2002; Wang ve ark., 2007b; Ekmekci ve ark., 2008). Yapılan çalışmada da, çeşitlerin kadmiyum varlığına tepkileri oldukça farklı olmuştur. Primer ve sekonder köklerinde nispeten daha düşük kadmiyum konsantrasyonlarına sahip olan

Rubygem'in aksine, Kabarla sekonder, YFL primer köklerinde daha fazla kadmiyum biriktirmiştir. Bununla birlikte, Rubygem'in yapraklarında diğer iki çeşide göre çok daha yüksek kadmiyum konsantrasyonu tespit edilmiştir. YFL'nin ise primer köklerinin yanı sıra yaprak ve yaprak saplarında da konsantrasyon yüksek bulunmuştur. Sekonder köklerindeki kadmiyum konsantrasyonu daha yüksek olan Kabarla ise yaprak ve yaprak saplarında en düşük konsantrasyonda kadmiyum bulunduran çeşit olmuştur. Üç çilek çeşidi kullanılarak yapılmış olan bir çalışmada ise bu çalışmaya benzer şekilde köklerdeki kadmiyum konsantrasyonları birbirinden oldukça farklı iken yapraklarındaki konsantrasyonlar oldukça benzer bulunmuştur (Cieśliński ve ark., 1996). Yapılan çalışmada, aldığı kadmiyumu toprak üstü aksamına daha düşük oranda taşıyan Kabarla diğer iki çeşitten farklılaşmıştır. Ayrıca, Kabarla'da sekonder kök ve yaprak sapı kadmiyum konsantrasyonları yüksek dozda 100 mg kg^{-1} Cd dozuna göre azalmıştır. Benzer tepkiler bazı diğer bitki türlerinde de tespit edilmiş, bu bitkiler doz artışı ile birlikte toprak üstü aksamlarına daha az kadmiyum taşımıştır (Cieśliński ve ark., 1996; Jiang ve ark., 2001; Muradoglu ve ark., 2015).

Kadmiyum toksisitesinin etkisini azaltmak ve bitkilerin bünyelerine aldıkları kadmiyum miktarını azaltmak için birçok farklı materyal kullanılmıştır. Bunlardan bir kısmı başarılı olmuş ve bitkilerin dokularına aldıkları kadmiyum miktarını/konsantrasyonunu azaltmıştır (Vivas ve ark., 2003; Treder ve Cieslinski, 2005; Guibaud ve ark., 2006; Wu ve ark., 2006; Bissonnette ve ark., 2010; Guo ve Chi, 2014b; Zhang ve ark., 2015; Jiang ve ark., 2016; Kaya ve Aslan, 2020; Wang ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2020). Treder ve Cieslinski (2005), toprak ve yapraktan birlikte uygulanan silisyumun killi-kumlu toprakta yüksek Cd dozunda kadmiyum alımını artırdığını ancak kumlu toprakta çoğu dozda azalttığını belirtmişlerdir. Kaya ve Aslan (2020) tiamin ve hidrosülfit uygulamalarının yaprak kadmiyum içeriğini yaklaşık %50 oranında azalttığını bildirmişlerdir. Zhang ve ark. (2020) sodyum selenit uygulamalarının çilek bitkilerinin yaprak ve meyvelerinde kadmiyum konsantrasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2020a) ise toprak solucanı ve mikorizanın ayrı ayrı ve birlikte uygulanması ile yüksek dozlarda kök ve sürgün kadmiyum içeriğinin arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bakteri uygulaması ile maş fasulyesi (Tripathi ve ark., 2005), mikoriza uygulanması ile japon hanımeli (Jiang ve ark., 2016), bakteri ve mikorizanın birlikte uygulanması ile üçgülde ağır metal alımının azaldığını (Vivas ve ark., 2003), mikoriza uygulaması ile *Cassia italica* kadmiyum konsantrasyonunun köklerde artarak sürgünde azaldığını (Hashem ve ark., 2016b) belirten çalışmalar da mevcuttur Bu çalışmada ise

diğerlerinden farklı olarak kadmiyum toksisitesinin etkisini azaltmak için kullanılan bakteri suşları bitki dokularındaki kadmiyum konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır. MŞ-7 ve MŞ-12 suşları köklerde, her üç bakteri suşu ise yaprak ve yaprak saplarında kadmiyum konsantrasyonunu bakteri yokluğuna göre önemli ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte, önceki çalışmaların birçoğunda bitkilerin topraktan kaldırdıkları kadmiyum miktarını artırmak için kullanılan bakteri suşları kök ve sürgünlerde birikimi artırmıştır (Jiang ve ark., 2008; Prapagdee ve ark., 2013; Kamran ve ark., 2015; Pan ve ark., 2017; Rojjanateeranaj ve ark., 2017).

4.2.5.2. Kurşun depolama özellikleri

Çoğunlukla insan faaliyetleri sonucunda toprağa karışan kurşun toprak yapısı, toprak pH'sı, toprağın organik madde içeriği, topraktaki kurşun miktarı/formu, toprak/hava sıcaklığı, bitki türü/çeşidi, toprakta bulunan mikroorganizmalar vb. birçok etmene bağlı olarak bitkiler tarafından kökleri vasıtasıyla alınmaktadır (Albrecht-Gary ve Crumbliss, 1998; Sharma ve Dubey, 2005; Tripathi ve ark., 2005; Uzu ve ark., 2009). Birçok ağır metalde olduğu gibi bitkilerin büyük çoğunluğu kurşunu köklerinde tutma eğilimindedir (Kastori ve ark., 1992; Burd ve ark., 2000; Bissonnette ve ark., 2010; Jin ve ark., 2019). Buna karşın, özellikle akümülatör ve hiperakümülatörler başta olmak üzere birçok bitki de topraktan aldığı kurşunu yaprakları başta olmak üzere toprak üstü aksamına taşımaktadır (Tripathi ve ark., 2005; Jiang ve ark., 2008). Toprak çözeltisinde karboksil grupları veya rizoderm hücrelerinin yüzeyindeki polisakkaritlere bağlanan kurşun (Seregin ve Ivanov, 2001) hücre içine pasif taşınma ile girip apoplastik yoldan su akıntısı ile damarsı dokulara taşınır. Kurşun daha çok, duvarları ince olan genç hücrelerden oluşan kök apeksinden girer. Bunun bir diğer nedeni de kök ucu salgıları sebebiyle bu bölgede pH'nın düşük olmasıdır (Tung ve Temple, 1996; Seregin ve ark., 2004). Bitkilerin büyük çoğunluğu topraktan aldığı kurşunun yaklaşık %95'ini köklerinde depolar (Piechalak ve ark., 2002; Kopittke ve ark., 2007; Gupta ve ark., 2009; Pourrut ve ark., 2011). Köklerde tutulmanın sebepleri arasında, hücre duvarlarında yer alan negatif yüklü pektinlerin kurşunu bağlaması (Islam ve ark., 2008b; Kopittke ve ark., 2007; Arias ve ark., 2010), hücreler arası boşlukta çözünemez kurşun tuzlarına dönüştürülmesi (Kopittke ve ark., 2007; Małecka ve ark., 2008; Meyers ve ark., 2008), plazma membranında depolanması (Seregin ve ark., 2004; Islam ve ark., 2008b; Jiang ve Liu, 2010) ve hücre içinde vakuollerde tecrit edilmesi (Seregin ve ark., 2004; Kopittke ve ark.,

2007) sayılabilir. Bununla birlikte, esas sebep kökler olgunlaştığında kasparian şeridi ile kapatılan apoplastik yolun kullanılamayışı olabilir (Pourrut ve ark., 2011).

Birçok bitki türünün aksine çalışmamızda kullandığımız çilek çeşitleri topraktan aldığı kurşunun önemli bir kısmını yapraklarına taşımıştır (Burd ve ark., 2000; Bissonnette ve ark., 2010; Jin ve ark., 2019). Bu çalışmada en fazla kurşun konsantrasyonu, primer köklerde, daha sonra yapraklarda ve diğer organlarda belirlenmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi bitkilerin önemli bir kısmı topraktan aldığı kurşunun büyük kısmını köklerinde depolamaktadır (Piechalak ve ark., 2002; Kopittke ve ark., 2007; Gupta ve ark., 2009). YFL çeşidinde en fazla kurşun konsantrasyonu sekonder köklerde iken, Rubygem'de yapraklardadır. Kabarla'da ise bu iki dokudaki konsantrasyon birbirine yakındır. Ayrıca, YFL çeşidinin primer köklerindeki kurşun konsantrasyonu çeşitler arasında en yüksek değerdedir. Diğer iki çeşidin sekonder köklerinde ve yapraklarında ki kurşun konsantrasyonu ise oldukça düşüktür. Önceki çalışmalarda da, türler, çeşitler ve varyeteler arasında kurşun konsantrasyonu ve kurşunun tutulduğu organlar arasında farklılıklar görülmüştür (Burd ve ark., 2000; Jiang ve ark., 2008; Bissonnette ve ark., 2010).

Kurşun ve diğer birçok ağır metalin kullanıldığı çalışmalarda doz artışı ile birlikte bitki dokularında ki konsantrasyonun arttığı araştırıcılar tarafından bildirilmiştir (Jalil ve ark., 1994; Wu ve ark., 2006; Wani ve ark., 2007; El-Beltagi ve ark., 2010). Yapılmış olan çalışmada da, kurşun dozu artışı ile primer kökler ile yaprak saplarında kurşun konsantrasyonu büyük ölçüde artmıştır. Buna karşın, yapraklardaki konsantrasyon en yüksek dozda 500 mg kg^{-1} Pb dozuna göre azalmıştır. Bazı çalışmalarda artan ağır metal (Cieśliński ve ark., 1996; Jiang ve ark., 2001; Muradoglu ve ark., 2015) ve kurşun dozları ile (Kopittke ve ark., 2007; Islam ve ark., 2008a) bitkilerin toprak üstü aksamlarına taşıdığı miktarın azaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, yaprak saplarının kurşun konsantrasyonu da 500 ve 1500 mg kg^{-1} Pb dozları arasında yüksek oranda artmamıştır. Çalışmada kullanılan çeşitlerden Rubygem ve Kabarla sekonder köklerindeki ve yaprak saplarındaki kurşun konsantrasyonunu yüksek dozda 500 mg kg^{-1}'a göre artırmamış, yapraklarındakini azaltmış ve primer köklerindekini önemli ölçüde artırmıştır. YFL ise primer köklerindeki konsantrasyonu artırmayarak topraktan aldığı kurşunun önemli bir kısmını toprak üstü aksama taşımış, yaprak ve yaprak saplarındaki konsantrasyonu önemli ölçüde artırmıştır. Rubygem ve Kabarla çeşitleri kurşun dozu artışına karşı köklerindeki konsantrasyonu artırarak toprak üstü aksamlarını korurken YFL aldığı kurşunu üst akşamlara taşımaya devam etmiştir. Literatürde de çeşit ve varyeteler

arasında bu gibi farkların görüldüğü ağır metal çalışmaları mevcuttur (Burd ve ark., 2000; Bissonnette ve ark., 2010).

Bitkiler türe ve çeşide bağlı olarak topraktan farklı miktarlarda kurşun almaktadır. Bazı bitkiler topraktan topladıkları ve sürgünlerine taşıdıkları kurşun ve diğer ağır metaller sebebiyle hiperakümülatör olarak adlandırılırken bazı bitkiler oldukça az miktarda kurşun alabilmektedir (Islam ve ark., 2008a; Liu ve ark., 2008; Arias ve ark., 2010; Bissonnette ve ark., 2010; Guo ve Chi, 2014b). Yapılmış olan çalışmada, YFL çeşidi topraktan aldığı kurşunun büyük kısmını köklerinde tutmuşken, Rubygem ve Kabarla çeşitleri primer köklerinde ve yapraklarında biriktirmiştir. Daha önce yapılmış çalışmalarda da, uygulanan doz artışı ile aldığı kurşunun önemli bir kısmını yapraklarına taşıyan bitkiler olduğu gibi (Sharma ve Dubey, 2005; Arias ve ark., 2010) köklerinde tutanlar da vardır (Seregin ve ark., 2004; Kopittke ve ark., 2007). Islam ve ark. (2008a) iki *Elsholtzia argyi* ekotipi ile yaptıkları çalışmada artan kurşun toksisitesi ile ekotiplerden birisi sürgünlerine daha az miktarda kurşun göndermeye başlamıştır.

Çalışmada, bitkilerin kurşun toksisitesine dayanımını ve topraktan alacağı kurşun miktarını azaltmak için kullanılan bakteri suşları tüm bitki dokularında kurşun miktarını azaltmıştır. Özellikle MŞ-12 ve MŞ-13 suşları köklerde, MŞ-7 suşu ise yaprak ve yaprak saplarında kurşun içeriğini azaltmıştır. Bitkilerin kurşun toksisitesine karşı dayanımını artırmak için yapılmış çalışmalarda nadiren kurşun alımının azaldığına dair bilgi vardır (Shabaan ve ark., 2021). Ancak, uygulanan bakteri ve mikorizalar ile topraktan alınan kurşun (Abdollahi ve ark., 2020; Konkolewska ve ark., 2020) ve diğer ağır metallerin (Sheng ve Xia, 2006; de Andrade ve ark., 2008; Pourrut ve ark., 2011) arttığını belirten çok sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmada kullanılan üç bakteri suşu da yüksek dozda Rubygem çilek çeşidinde primer köklerde kurşun konsantrasyonunu artırmış ancak diğer tüm bitki dokularında önemli ölçüde azaltmıştır. Kabarla'da MŞ-13 suşu yaprak, yaprak sapı ve sekonder kökte bakteri yokluğuna göre kurşun konsantrasyonunu artırmış, diğer suşlar tüm dokularda azaltmıştır. YFL'de ise MŞ-12 ve MŞ-13 suşları köklerde, tüm suşlar yaprak ve yaprak saplarında konsantrasyonu önemli ölçüde azaltmıştır. Yapılan çalışmanın bu açıdan kıyaslanabileceği çok fazla çalışma yoktur. Bu yönde yeni ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bazı çilek çeşitlerinde ağır metal stresine karşı bitki büyümesini artırıcı bazı bakterilerin etkilerinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, kadmiyum uygulamaları neticesinde çilek çeşitlerinin kök boğazı çapı, kök yaş/kuru ağırlığı, ana kök sayısı, yaprak alanı ve yaprak sayısı gibi birçok morfolojik özellik doz artışına bağlı olarak azalmıştır. Buna karşın, yeşil aksam yaş/kuru ağırlığı ve kök uzunluğu düşük kadmiyum dozunda artmış, yüksek dozda azalmıştır. Çilek çeşitlerinde kurşun uygulamaları ile kök yaş/kuru ağırlığı, yeşil aksam yaş/kuru ağırlığı, ana kök sayısı, yaprak alanı ve yaprak sayısı gibi morfolojik özellikler azalmış; kök boğazı çapı düşük kurşun dozunda artmış ve doz artışı ile azalmış, kök uzunluğu ise kurşun varlığından etkilenmemiştir. Kadmiyum varlığında çilek çeşitlerinin meyve özellikleri olumsuz etkilenmiş, ortalama meyve ağırlığı ile meyve boyu ve eni azalmıştır. Benzer şekilde, kurşun varlığında da tüm meyve özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Kadmiyum stresi altında çilek çeşitlerinin SPAD değerleri ve yaprak oransal su içerikleri artmış, iyon sızıntısı değerleri değişmemiştir. Kurşun varlığında ise SPAD değeri, yaprak oransal su içeriği ve iyon sızıntısı değerleri azalmıştır. Kadmiyum uygulamaları bitkilerin stoma boyu, stoma eni, stoma sayısı ve yaprak kalınlığını önemli ölçüde azaltmış, aynı etki stoma eni dışında kurşun uygulamalarında da meydana gelmiştir.

Ağır metal stresine karşı kullanılan bakteriler kadmiyum uygulamalarında genel olarak kök boğazı çapı, kök yaş/kuru ağırlığı, yeşil aksam yaş ağırlığı, yeşil aksam kuru ağırlığı gibi morfolojik özelliklerini artırmıştır. Bununla birlikte, kök uzunluğu ve yaprak sayısı üzerinde etkisiz kalmıştır. Kurşun uygulamalarında ise bakteri uygulamaları kök boğazı çapı, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yeşil aksam yaş/kuru ağırlığı, yaprak alanı ve yaprak sayısı gibi morfolojik özellikleri artırmıştır. Kök uzunluğu üzerine etkisiz kalan bakteri uygulamaları ana kök sayısını ise azaltmıştır. Kadmiyum uygulamalarında bakteri suşları meyve ağırlıkları üzerine olumlu etkiye yol açmamışken kurşun uygulamalarında özellikle MŞ-7 meyve özelliklerini iyileştirmiştir. Kadmiyum uygulamalarında bakteri suşları SPAD ve yaprak oransal su içeriğini genellikle azaltmışken, iyon sızıntısını artırmıştır. Kurşun uygulamalarında ise bakteri uygulamaları SPAD değerini azaltmış, iyon sızıntısı ve yaprak oransal su içeriğini B- uygulamasına göre artırmıştır. Anatomik

özellikler üzerine bakteri uygulamalarının etkisi farklılık göstermiştir. Kadmiyum uygulamalarında stoma boyunu artıran MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşları, MŞ-7 bakteri suşunun aksine stoma enini azaltmıştır. Bu muhtemelen stoma açıklığı ile ilgilidir. Bakteri uygulamaları birim alana düşen stoma sayısını ise azaltmıştır. Yaprak kalınlığı ise tüm bakteri uygulamalarında artmıştır. Kurşun uygulanmış bitkilerde de kadmiyum uygulamalarına benzer şekilde stomaların uzamasına yol açan bakteri suşları stoma enini azaltmıştır. Stoma sayısı üzerine etki kadmiyum uygulaması ile benzer olmuştur. Buna karşın, kurşun uygulamalarında yalnızca MŞ-12 bakteri suşu yaprak kalınlığını artırmıştır.

Bu çalışmada kullanılan çilek çeşitlerinden YFL primer köklerinde ve yaprak saplarında en fazla kadmiyum; primer ve sekonder kökleri ile yaprak saplarında en fazla kurşun konsantrasyonuna sahip çeşit olmuştur. Kabarla yalnızca sekonder köklerinde en fazla kadmiyum konsantrasyonuna sahip çeşit olmuştur. Rubygem ise yapraklarında en fazla kadmiyum ve kurşun konsantrasyonuna ulaşan çeşittir. Çeşitler arasında kadmiyum ve kurşun stresi altında toprak üstü aksamına en az ağır metal taşıyan Kabarla olmuş, YFL'de toprak üstü aksamına en az kurşun taşıyan çeşit olmasına karşın köklerinde çok fazla miktarda kurşun bulundurmuştur. Çalışmada, Kabarla'nın yaprak sapında kadmiyum, YFL'nin primer köklerinde, Rubygem ve Kabarla'nın sekonder kök ve yapraklarında kurşun konsantrasyonu dışında tüm bitki dokularında ağır metal doz artışı ile kadmiyum konsantrasyonu artmıştır. Uygulanan bakteri suşlarından MŞ-7 ve MŞ-12 köklerde, tüm suşlar yaprak ve yaprak saplarında kadmiyum; MŞ-13 başta olmak üzere tüm suşlar köklerde, MŞ-7 başta olmak üzere tüm suşlar toprak üstü aksamda kurşun konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır.

Çalışmamızda kullanılan çilek çeşitleri arasında, kadmiyum toksisitesi altında morfolojik özellikler bakımından en hassası YFL'dir. Diğer iki çilek çeşidi ise nispeten daha dayanıklı bulunmuştur. Kurşun uygulamasında ise bunun aksine, YFL doz artışına daha dayanıklı bulunmuşken, en hassas çeşit Rubygem olmuştur. Meyve özellikleri konusunda kadmiyum uygulamasında tüm çeşitler benzer şekillerde etkilenmiş, kurşun uygulamasında YFL nispeten daha dayanıklı olarak belirlenmiştir. Fizyolojik özellikler dikkate alındığında her iki ağır metal uygulamasında da Kabarla diğer çeşitlere göre daha az etkilenmiştir. Anatomik özelliklerde ise her iki ağır metal uygulamasında çeşitler arasında farklı parametrelerde farklı tepkiler meydana gelmiştir.

Genel olarak ele alındığında ağır metal dozu artışı ile hemen hemen tüm bitkisel özellikler olumsuz etkilenmiştir. Rubygem ve Kabarla çilek çeşitleri ağır metal stresi

altında ve bakteri suşlarına verdikleri tepki açısından YFL çilek çeşidine göre daha başarılı bulunmuştur. Bununla birlikte, bakteri suşları arasında MŞ-12 ve MŞ-13 bakteri suşlarının daha etkin olduğu ve bitkilerin birçok özelliği üzerine olumlu etki ettiği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan çilek çeşitleri arasında Kabarla kadmiyum, YFL ise kurşun toksisitesine dayanım açısından etkili bulunmuştur. Özellikle topraktan aldıkları ağır metali toprak üstü organlarına daha az miktarda taşımaları yönüyle bu ağır metallerin bulundukları ortamlarda yetiştirilebilecek çeşitler olarak ortaya çıkmışlardır. Çalışmada kullanılan bakteri suşların çeşitlere ve ağır metal türüne göre farklı etkiler göstermiş olmakla birlikte genel olarak ağır metallerin topraktan alınmasını ve toprak üstü aksama taşınmasını önemli ölçüde engellemiştir.

Yürütülen çalışmada, bakteri suşlarının ağır metal stresi altındaki bitkilerin morfolojik, pomolojik ve fizyolojik özellikleri üzerine bir miktar olumlu etki gösterdiği görülmüş olsa da, esas etki ağır metal alımının azaltılması ve toprak üstü aksama taşınmasının engellenmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.

Çalışmamızda kullanılan yetiştirme ortamı olarak kullanılan torf, toprak ve dere kumu karışımı ağır metal denemeleri için ideal ortam değildir. Yukarıda birçok defa belirtildiği üzere organik madde varlığında kurşun başta olmak üzere ağır metaller etkisiz kalmaktadır. Ayrıca, kil varlığının da ağır metallerin toprak çözeltisi içinde hareketini azaltacağı çalışmalarda belirtilmiştir (%50'den fazla kil içeren toprak yetiştirme ortamına %25 oranında eklenmiştir). Buna ek olarak uygulanan bakterilerin ürettiği organik metabolitler sebebiyle ağır metaller çözünmez bileşikler oluşturmuş olabilir. Ayrıca, kök bölgesinde çoğalan bakteri hücreleri de bünyelerine aldıkları ağır metalleri serbest kalmayacak formlara dönüştürmüş olabilir. Böylece bakteri uygulamaları ile bitkilerin topraktan aldığı ağır metal miktarı azalmış olabilir.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ağır metal stresi aynı türe ait çeşitler arasında farklı etkilere yol açabilmektedir. Özellikle çilek gibi şehirlere ve otoyollara yakın bölgelerde yetiştirilen meyveler başta olmak üzere ağır metal toksisitesine dayanıklı çeşitler ile yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir. Özellikle topraktan ağır metal alıp insanlar ve hayvanlar tarafından yenilen organlarına ağır metal taşımayan çeşitler tespit edilmelidir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bakteri uygulamalarına ek olarak toprak çözeltisinde bulunan ağır metalleri bünyesinde depolayabilen ve çözünmez bileşikler oluşturabilen mikorizaların da kullanılması ve hatta bu iki toprak mikroorganizmasının birlikte kullanılması önem arz etmektedir. Yapılacak çalışmalarda, mikroorganizmaların etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için bünyesinde ağır metal tutma yeteneği zayıf olan yetiştirme ortamları kullanılmalıdır.

Bitkilerin topraktan aldığı ağır metal miktarını azaltan bakteri suşlarının bu etkiyi artıracak yöntemler ile (organik madde, mikoriza vb.) birlikte kullanılması ile bitkilerin topraktan alacağı ağır metal miktarları azaltılabilir.

Tarım ile uğraşan ve özellikle ağır metal bulundurma ihtimali yüksek olan bölgelerde bulunan çiftçilerin topraklarında bulunan organik madde miktarını artırması ve bakteri başta olmak üzere toprak mikroorganizmalarını kullanması önem arz etmektedir. Böylece, toprakta bulunan veya sonradan toprağa karışabilecek ağır metallerin bu organik maddeler tarafından tutularak bitkilerin alamayacağı formlara dönüştürülmesi sağlanabilir.

Literatür incelendiğinde, Türkiye içinde toprakların ağır metal içerikleri hakkında çok fazla çalışma yapılmadığı görülmüştür. Hem envanter çıkarılması, hem de sonraki çalışmalara destek olması ve daha da önemlisi insan ve çevre sağlığı açısından bu tür çalışmaların yapılması oldukça önemlidir.

Son olarak, tarım topraklarına ağır metal girişini önlemek amacıyla yapılacak çalışmalara ek olarak mevcutta topraklarda yer alan ağır metal miktarını azaltacak fitoremedasyon ve/veya fitoremedasyon etkinliğini artırmak amacıyla bitkilerin ağır metal alımını artıran mikroorganizmaların kullanıldığı çalışmalar da geleceğe güvenle bakmak adına son derece önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Abbasi, S., Zahedi, H., Sadeghipour, O. ve Akbari, R., 2013, Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on physiological parameters and nitrogen content of soybean grown under different irrigation regimes, *Research on Crops*, 14 (3), 798-803.

Abbaszadeh-Dahaji, P., Baniasad-Asgari, A. ve Hamidpour, M., 2019, The effect of Cu-resistant plant growth-promoting rhizobacteria and EDTA on phytoremediation efficiency of plants in a Cu-contaminated soil, *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (31), 31822-31833.

Abdelatey, L. M., Khalil, W. K. B., Ali, T. H. ve Mahrous, K. F., 2011, Heavy metal resistance and gene expression analysis of metal resistance genes in gram-positive and gram-negative bacteria present in Egyptian soils, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 6 (2), 201-211.

Abdelkrim, S., Jebara, S. H., Saadani, O., Abid, G., Taamalli, W., Zemni, H., Mannai, K., Louati, F. ve Jebara, M., 2020, In situ effects of *Lathyrus sativus* PGPR to remediate and restore quality and fertility of Pb and Cd polluted soils, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192, 110260.

Abdollahi, S., Golchin, A., Shahryari, F. ve Alamdari, P., 2020, PGPR inoculation of a contaminated soil affects plant growth and phytoavailability of Cd and Pb, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68 (5), 579-596.

Abrahams, P. W. ve Thornton, I., 1987, Distribution and extent of land contaminated by arsenic and associated metals in mining regions of southwest England, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section B-Applied Earth Science*, 96, 1-8.

Acar, O., Pırlak, L. ve Dönmez, M. F., 2022, Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on growth, yield and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.), *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36 (2), 247-252.

Adriano, D. C., 2001, Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals, *New York*, Springer, p. 867.

Aery, N. C. ve Rana, D. K., 2003, Growth and cadmium uptake in barley under cadmium stress, *Journal of Environmental Biology*, 24 (2), 117-123.

Agami, R. A., Medani, R. A., Abd El-Mola, I. A. ve Taha, R. S., 2016, Exogenous application with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) or proline induces stress tolerance in basil plants (*Ocimum basilicum* L.) exposed to water stress, *Intenational Journal of Environmental and Agricultural Research*, 2 (5), 78-92.

Ağaoğlu, Y. S., 1986, Üzümsü meyveler, *Ankara*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, p. 290.

Ahemad, M. ve Khan, M. S., 2012, Productivity of greengram in tebuconazole-stressed soil, by using a tolerant and plant growth-promoting *Bradyrhizobium* sp. MRM6 strain, *Acta Physiologiae Plantarum*, 34 (1), 245-254.

Ahmad, I., Akhtar, M. J., Zahir, Z. A. ve Jamil, A., 2012, Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars, *Pakistan Journal of Botany*, 44 (5), 1569-1574.

Ahmad, I., Akhtar, M. J., Asghar, H. N., Ghafoor, U. ve Shahid, M., 2016, Differential effects of plant growth-promoting rhizobacteria on maize growth and cadmium uptake, *Journal of Plant Growth Regulation*, 35 (2), 303-315.

Ahmad, P., Nabi, G. ve Ashraf, M., 2011, Cadmium-induced oxidative damage in mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.) plants can be alleviated by salicylic acid, *South African Journal of Botany*, 77 (1), 36-44.

Aibibu, N., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Chen, B., Song, H. ve Xu, L., 2010, Cadmium accumulation in vetiveria zizanioides and its effects on growth, physiological and biochemical characters, *Bioresource Technology*, 101 (16), 6297-6303.

Aini, N., Yamika, W. S. D. ve Ulum, B., 2019, Effect of nutrient concentration, PGPR and AMF on plant growth, yield, and nutrient uptake of hydroponic lettuce, *International Journal of Agriculture and Biology*, 21 (1), 175-183.

Aiyesanmi, A. F., Okoronkwo, A. E. ve Sunday, O. M., 2012, Lead accumulation in siam weed (*Chromolaena odorata*), nodeweed (*Synedrella nodiflora*) and water leaf (*Talinum triangulare*): Potential phytoremediators, *Archives of Applied Science Research*, 4 (1), 360-371.

Al-Yemeni, M. N., 2001, Effect of cadmium, mercury and lead on seed germination and early seedling growth of *Vigna ambacensis* L., *Indian Journal of Plant Physiology*, 6 (2), 147-151.

Albrecht-Gary, A. M. ve Crumbliss, A. L., 1998, Coordination chemistry of siderophores: Thermodynamics and kinetics of iron chelation and release, In: Iron Transport and Storage in Microorganisms, Plants, and Animals, Eds: Sigel, A. ve Sigel, H., *New York, Basel*: Marcel Dekker, p. 239-328.

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R. ve Wang, M. Q., 2021, Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications, *Toxics*, 9 (3), 42.

Alexander, P. D., Alloway, B. J. ve Dourado, A. M., 2006, Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables, *Environmental Pollution*, 144 (3), 736-745.

Ali, J., Ali, F., Ahmad, I., Rafique, M., Munis, M. F. H., Hassan, S. W., Sultan, T., Iftikhar, M. ve Chaudhary, H. J., 2021, Mechanistic elucidation of germination potential and growth of *Sesbania sesban* seedlings with *Bacillus anthracis* PM21 under heavy metals stress: An in vitro study, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111769.

Alloway, B. J., 1995, Heavy metals in soils *London*, Chapman and Hall, p. 597.

Alloway, B. J. ve Steinnes, E., 1999, Anthropogenic additions of cadmium to soils, In: Cadmium in soils and plants, Eds: McLaughlin, M. J. ve Singh, B. R., *Trondheim*: Kluwer Academic Publishing, p. 97-123.

Alloway, B. J., Zhang, P., Mott, C., Chambers, B. J., Nicholson, F. A., Smith, S., Carlton-Smith, C. ve Andrews, A. J., 2000, The vulnerability of soils to pollution by heavy metals, *MAFF SP0127*, *London*.

Alloway, B. J., 2013, Sources of heavy metals and metalloids in soils, In: Heavy metals in soils, Eds: Alloway, B. J., *Dordrecht*: Springer, p. 11-50.

Aloui, A., Recorbet, G., Robert, F., Schoefs, B., Bertrand, M., Henry, C., Gianinazzi-Pearson, V., Dumas-Gaudot, E. ve Aschi-Smiti, S., 2011, Arbuscular mycorrhizal symbiosis elicits shoot proteome changes that are modified during cadmium stress alleviation in *Medicago truncatula*, *BMC Plant Biology*, 11 (1), 1-17.

Alumaa, P., Kirso, U., Petersell, V. ve Steinnes, E., 2002, Sorption of toxic heavy metals to soil: Short communication, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 204 (5-6), 375-376.

An, Y. J., 2004, Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants, *Environmental Pollution*, 127 (1), 21-26.

Andersson, A. ve Nilsson, K., 1976, Influence on the levels of heavy metals in soil and plants from sewage sludge used as fertilizer, *Swedish Journal of Agricultural Research*, 6 (2), 151-159.

Andra, S. S., Datta, R., Sarkar, D., Saminathan, S. K. M., Mullens, C. P. ve Bach, S. B. H., 2009, Analysis of phytochelatin complexes in the lead tolerant vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.)) using liquid chromatography and mass spectrometry, *Environmental Pollution*, 157 (7), 2173-2183.

Andresen, E. ve Kupper, H., 2013, Cadmium toxicity in plants, In: Cadmium: from toxicity to essentiality, Eds: Siegel, A., Sigel, H. ve Sigel, R. K. O., *Dordrecht*: Springer, p. 395-413.

Anonim, 2022a, Çilek meyvelerinin besin değeri [online], Washington, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı, Gıda Data Merkezi, https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2263887/nutrients: [Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2022].

Anonim, 2022b, Lead [online], Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Lead: [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2022].

Anonim, 2022c, Cadmium [online], Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium: [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2022].

Antonovics, J., Bradshaw, A. D. ve Turner, R. G., 1971, Heavy metal tolerance in plants, *Advances in Ecological Research*, 7, 1-85.

Arias, J. A., Peralta-Videa, J. R., Ellzey, J. T., Ren, M. H., Viveros, M. N. ve Gardea-Torresdey, J. L., 2010, Effects of *Glomus deserticola* inoculation on prosopis: Enhancing chromium and lead uptake and translocation as confirmed by X-ray mapping, ICP-OES and TEM techniques, *Environmental and Experimental Botany*, 68 (2), 139-148.

Arıkan, Ş., İpek, M., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M. F. ve Turan, M., 2020, Plant growth promoting rhizobacteria mitigate deleterious combined effects of salinity and lime in soil in strawberry plants, *Journal of Plant Nutrition*, 43 (13), 2028-2039.

Arnon, D. I. ve Stout, P. R., 1939, Molybdenum as an essential element for higher plants, *Plant Physiology*, 14 (3), 599-602.

Arora, R., Pitchay, D. S. ve Bearce, B. C., 1998, Water-stress-induced heat tolerance in geranium leaf tissues: A possible linkage through stress proteins?, *Physiologia Plantarum*, 103 (1), 24-34.

Arpacı, S., Kafkas, S., Kafkas, N. E., Gündeşli, M. A., Aslan, N., Çoban, N., Eti, S., Karabıyık, Ş., Zarifikhosroshani, M. ve Kalay, N., 2017, Antepfıstığında çiçek gözü dökümlerinin neden olduğu periyodisite mekanizmasının histolojik ve moleküler olarak belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi 114O234*, *Adana*, 92.

Arshad, M., Silvestre, J., Pinelli, E., Kallerhoff, J., Kaemmerer, M., Tarigo, A., Shahid, A., Guiresse, M., Pradere, P. ve Dumat, C., 2008, A field study of lead phytoextraction by various scented *Pelargonium* cultivars, *Chemosphere*, 71 (11), 2187-2192.

Asami, T., 1984, Pollution of soils by cadmium, In: Changing Metal Cycles and Human Health, Eds: Nriagu, J. O., *Berlin*: Springer-Verlag, p. 95-111.

Asami, T., 1988, Soil pollution by metals from mining and smelting activities, In: Chemistry and biology of solid waste, Eds: Salamons, W. ve Förstner, U., *Berlin*: Springer-Verlag, p. 143-169.

Asati, A., Pichhode, M. ve Nikhil, K., 2016, Effect of heavy metals on plants: An overview, *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, 5 (3), 56-66.

Ashraf, U., Kanu, A. S., Deng, Q., Mo, Z., Pan, S., Tian, H. ve Tang, X., 2017, Lead (Pb) toxicity; Physio-biochemical mechanisms, grain yield, quality, and Pb distribution proportions in scented rice, *Frontiers in Plant Science*, 8, 259.

Aslantaş, R., Cakmakçi, R. ve Şahin, F., 2007, Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions, *Scientia Horticulturae*, 111 (4), 371-377.

Åström, H., Metsovuori, E., Saarinen, T., Lundell, R. ve Hänninen, H., 2015, Morphological characteristics and photosynthetic capacity of *Fragaria vesca* L. winter and summer leaves, *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 215, 33-39.

Atkinson, D., 2000, Root characteristics: Why and what to measure, In: Root Methods, Eds: Smit, A. L., Bengough, A. G., Engels, C., Noordwijk, M., Pellerin, S. ve Geijin, S. C., *Berlin*: Springer, p. 1-32.

Aubert, H. ve Pinta, M., 1980, Trace elements in soils, *Amsterdam*, Elsevier, p. 395.

Awan, S. A., Ilyas, N., Khan, I., Raza, M. A., Rehman, A. U., Rizwan, M., Rastogi, A., Tariq, R. ve Brestic, M., 2020, *Bacillus siamensis* reduces cadmium accumulation and improves

growth and antioxidant defense system in two wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties, *Plants* 9(7), 878.

Awang, Y. B., Atherton, J. G. ve Taylor, A. J., 1993, Salinity effects on strawberry plants grown in rockwool. I. Growth and leaf water relations, *Journal of Horticultural Science*, 68 (5), 783-790.

Azevedo, H., Pinto, C. G. G. ve Santos, C., 2005, Cadmium effects in sunflower: Membrane permeability and changes in catalase and peroxidase activity in leaves and calluses, *Journal of Plant Nutrition*, 28 (12), 2233-2241.

Baize, D., Deslais, W. ve Gaiffe, M., 1999, Anomalies naturelles en cadmium dans les sols de France, *Étude et Gestion des Sols*, 6 (2), 85-104.

Bak, J., Jensen, J., Larsen, M. M., Pritzl, G. ve Scott-Fordsmand, J., 1997, A heavy metal monitoring-programme in Denmark, *Science of the Total Environment*, 207 (2-3), 179-186.

Baki, M. A., Hossain, M. M., Akter, J., Quraishi, S. B., Haque Shojib, M. F., Atique Ullah, A. K. M. ve Khan, M. F., 2018, Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 153-163.

Bakkaus, E., Gouget, B., Gallien, J. P., Khodja, H., Carrot, F., Morel, J. L. ve Collins, R., 2005, Concentration and distribution of cobalt in higher plants: The use of micro-PIXE spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 231 (1-4), 350-356.

Bakker, J., Bridle, P. ve Bellworthy, S. J., 1994, Strawberry juice color - A study of the quantitative and qualitative pigment composition of juices from 39 genotypes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64 (1), 31-37.

Balcı, G., 2018, 24–Epibrassinosteroidin kadmiyum stresi koşullarında çilek fidelerinin vejetatif büyüme kriterleri üzerine etkisi, *Bahçe*, 47 (2), 33-38.

Banjerdkij, P., Vattanaviboon, P. ve Mongkolsuk, S., 2005, Exposure to cadmium elevates expression of genes in the OxyR and OhrR regulons and induces cross-resistance to peroxide killing treatment in *Xanthomonas campestris*, *Applied Environmental Microbiology*, 71 (4), 1843-1849.

Barcelo, J., Poschenrieder, C., Andreu, I. ve Gunse, B., 1986, Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender) I. Effects of Cd on water potential, relative water content, and cell wall elasticity, *Journal of Plant Physiology*, 125 (1-2), 17-25.

Barcelo, J., Vazquez, M. D. ve Poschenrieder, C., 1988, Structural and ultrastructural disorders in cadmium-treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.), *New Phytologist*, 108 (1), 37-49.

Baron, S., Carignan, J. ve Ploquin, A., 2006, Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France), *Environmental Science and Technology*, 40 (17), 5319-5326.

Baryla, A., Carrier, P., Franck, F., Coulomb, C., Sahut, C. ve Havaux, M., 2001, Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: Causes and consequences for photosynthesis and growth, *Planta*, 212 (5-6), 696-709.

Basta, N. T., Ryan, J. A. ve Chaney, R. L., 2005, Trace element chemistry in residual-treated soil: key concepts and metal bioavailability, *Journal of Environmental Quality*, 34 (1), 49-63.

Bazzaz, F. A., Carlson, R. W. ve Rolfe, G. L., 1974, The effect of heavy metals on plants: Part I. Inhibition of gas exchange in sunflower by Pb, Cd, Ni and Tl, *Environmental Pollution*, 7 (4), 241-246.

Benavides, M. P., Gallego, S. M. ve Tomaro, M. L., 2005, Cadmium toxicity in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), 21-34.

Berg, T. ve Steinnes, E., 1997, Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey, *Science of the Total Environment*, 208 (3), 197-206.

Bhaduri, A. M. ve Fulekar, M. H., 2012, Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi on the phytoremediation potential of *Ipomoea aquatica* on cadmium uptake, *3 Biotech*, 2 (3), 193-198.

Bharwana, S. A., Ali, S., Farooq, M. A., Iqbal, N., Abbas, F. ve Ahmad, M. S. A., 2013, Alleviation of lead toxicity by silicon is related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes suppressed lead uptake and oxidative stress in cotton, *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 4 (4), 1000187.

Bharwana, S. A., Ali, S., Farooq, M. A., Iqbal, N., Hameed, A., Abbas, F. ve Ahmad, M. S. A., 2014, Glycine betaine-induced lead toxicity tolerance related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes suppressed lead uptake and oxidative stress in cotton, *Turkish Journal of Botany*, 38 (2), 281-292.

Biernacka, E., 1985, Trace elements in soils around battery and gum factories in Piastow, *3rd National Conferance Effects of Trace Pollution on Agriccultural Environmental Qualification*, Pulawy, 38.

Birke, M. ve Rauch, U., 1999, Trace metals in the Berlin metropolitan area, *5th International Conferance Biogeochemistry Trace Elements*, Vienna, 628.

Bissonnette, L., St-Arnaud, M. ve Labrecque, M., 2010a, Phytoextraction of heavy metals by two Salicaceae clones in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi during the second year of a field trial, *Plant and Soil*, 332 (1), 55-67.

Bizarro, V. G., Meurer, E. J. ve Tatsch, F. R. P., 2008, Cadmium contents of phosphate fertilizers marketed in Brazil, *Ciência Rural*, 38 (1), 247-250.

Blum, W. E. H., Brandstetter, A. ve Wenzel, W. W., 1997, Trace element distribution in soils as affected by land use, In: Biogeochemistry of Trace Metals, Eds: Adriano, D. C., 2, *Middlesex*: Science Reviews, p. 1-42.

Blum, W. H., 1997, Cadmium uptake by higher plants, *Fourth International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Berkeley, 109-110.

Bolton, K. A. ve Thorose, E., 1997, The effect of soil organic matter on cadmium bioavailability in barley, *4th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Berkeley, 103-104.

Boutron, C. F., Hong, S. ve Candelon, J. P., 1995, History of the large scale atmospheric pollution of the northern hemisphere for heavy metals as documented in Greenland snow and ice, In: Heavy metals in the environment, Eds: Wilken, R. D., Förstner, U. ve Knöchel, A., *New York*: CEP Consultants, p. 28-33.

Bowen, H. J. M., 1979, Environmental chemistry of the elements, *London*, Academic Press, p. 333.

Boyer, J. N., Duba, S. E. ve South, D. B., 1987, Emergence timing affects root-collar diameter and mortality in loblolly pine seedbeds, *New Forests*, 1 (2), 135-140.

Breckle, S. W. ve Kahle, H., 1992, Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus Sylvatica* L), *Vegetatio*, 101 (1), 43-53.

Brezniak, N., Goren, S., Zoizner, R., Dinbar, A., Arad, A., Wasserstein, A. ve Heller, M., 2004, A comparison of three methods to accurately measure root length, *The Angle Orthodontist*, 74 (6), 786-791.

Broyer, T. C., Johnson, C. M. ve Paull, R. E., 1972, Some aspects of lead in plant nutrition, *Plant and Soil*, 36 (1), 301-313.

Brundin, N. H., Ek, J. I. ve Selinus, O. C., 1987, Biogeochemical studies of plants from stream banks in Northern Sweden, *Journal of Geochemical Exploration*, 27 (1-2), 157-188.

Brunet, J., Varrault, G., Zuily-Fodil, Y. ve Repellin, A., 2009, Accumulation of lead in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) plants triggers systemic variation in gene expression in the shoots, *Chemosphere*, 77 (8), 1113-1120.

Brus, D. J., Lame, F. P. ve Nieuwenhuis, R. H., 2009, National baseline survey of soil quality in The Netherlands, *Environmental Pollution*, 157 (7), 2043-2052.

Brümmer, G. ve Herms, U., 1983, Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils, In: Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems, Eds: Ulrich, B. ve Pankrath, J., *Dordrecht*: Springer, p. 233-243.

Buat-Ménard, P. E., 1984, Fluxes of metals through the atmosphere and oceans, In: Changing metal cycles and human health, Eds: Nriagu, J. O., *Berlin*: Springer-Verlag, p. 43-69.

Buchauer, M. J., 1973, Contamination of soil and vegetation near a zinc smelter by zinc, cadmium, copper, and lead, *Environmental Science and Technology*, 7 (2), 131-135.

Burd, G. I., Dixon, D. G. ve Glick, B. R., 2000, Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants, *Canadian Journal of Microbiology*, 46 (3), 237-245.

Burt, R., Wilson, M. A., Mays, M. D. ve Lee, C. W., 2003, Major and trace elements of selected pedons in the USA, *Journal of Environental Quality*, 32 (6), 2109-2121.

Bystricka, J., Musilova, J., Trebichalsky, P., Tomas, J., Stanovic, R., Bajcan, D. ve Kavalcova, P., 2016, The relationships between content of heavy metals in soil and in strawberries, *International Journal of Phytoremediation*, 18 (6), 553-558.

Bytyqi, A. ve Sherifi, E., 2010, Cadmium and lead accumulation in alfalfa (*Medicago sativa* L.) and their influence on the number of stomata, *Materiali in Tehnologije*, 44 (5), 277-282.

Cairney, T., 1987, Reclaiming contaminated land, *Glasgow, London*, Blackie, p. 260.

Camargo, F. A., Bento, F. M., Okeke, B. C. ve Frankenberger, W. T., 2003, Chromate reduction by chromium-resistant bacteria isolated from soils contaminated with dichromate, *Journal of Environmental Quality*, 32 (4), 1228-1233.

Camp, A. F., 1945, Zinc as a nutrient in plant growth, *Soil Science*, 60 (2), 157-164.

Cannon, H. L., 1976, Lead in the atmosphere, natural and artificially occurring lead, and the effects of lead on health, In: Lead in the Environment Eds: Lovering, T. G., *Washington*: U.S. Government Printing Office, p. 73-79.

Cataldo, D. A., Garland, T. R. ve Wildung, R. E., 1983, Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants, *Plant Physiology*, 73 (3), 844-848.

Chaca, M. V. P., Vigliocco, A., Reinoso, H., Molina, A., Abdala, G., Zirulnik, F. ve Pedranzani, H., 2014, Effects of cadmium stress on growth, anatomy and hormone contents in *Glycine max* (L.) Merr., *Acta Physiologiae Plantarum*, 36 (10), 2815-2826.

Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M. H. ve Masclaux-Daubresse, C., 2004, Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy, *Plant and Cell Physiology*, 45 (11), 1681-1693.

Chaney, R. L., 1980, Sludge management: Risk assessment for plant and animal life, *Spring Seminar on Sludge Management*, Washington DC, 19-32.

Chaney, R. L. ve Ryan, J. A., 1994, Risk based standards for arsenic, lead and cadmium in urban soils. Summary of information and methods developed to estimate standards for Cd, Pb and As in urban soils, *Deutsche Gesellschaft fuer Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)*, *Frankfurt*, 136.

Chanway, C. P., Radley, R. A. ve Holl, F. B., 1991, Inoculation of conifer seed with plant growth-promoting *Bacillus* strains causes increased seedling emergence and biomass, *Soil Biology and Biochemistry*, 23 (6), 575-580.

Chatterjee, C., Dube, B. K., Sinha, P. ve Srivastava, P., 2004, Detrimental effects of lead phytotoxicity on growth, yield, and metabolism of rice, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35 (1-2), 255-265.

Chaudhry, F. M., Wallace, A. ve Mueller, R. T., 1977, Barium toxicity in plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8 (9), 795-797.

Chen, B., Zhang, Y., Rafiq, M. T., Khan, K. Y., Pan, F., Yang, X. ve Feng, Y., 2014, Improvement of cadmium uptake and accumulation in *Sedum alfredii* by endophytic bacteria

Sphingomonas SaMR12: Effects on plant growth and root exudates, *Chemosphere*, 117, 367-373.

Chen, J., Zhu, C., Li, L. P., Sun, Z. Y. ve Pan, X. B., 2007, Effects of exogenous salicylic acid on growth and H_2O_2-metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stress, *Journal of Environmental Science*, 19 (1), 44-49.

Chlopecka, A., 1993, Forms of trace metals from inorganic sources in soils and amountsfound in spring barley, *Water Air and Soil Pollution*, 69 (1-2), 127-134.

Christensen, T. H., 1991, Sustainable management of heavy metals in agriculture. Example: Cadmium, In: Heavy metals in the environment, Eds: Lindberg, S. E. ve Hutchinson, T. C., *Edinburg*: CEP Consultants, p. 40-49.

Chugh, L. K. ve Sawhney, S. K., 1999, Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium, *Plant Physiology and Biochemistry*, 37 (4), 297-303.

Ci, D., Jiang, D., Dai, T., Jing, Q. ve Cao, W., 2009, Effects of cadmium on plant growth and physiological traits in contrast wheat recombinant inbred lines differing in cadmium tolerance, *Chemosphere*, 77 (11), 1620-1625.

Cieśliński, G. ve Mercik, S., 1993, Lead uptake and accumulation by strawberry plants, *II. International Strawberry Symposium* Beltsville, 278-286.

Cieśliński , G., Neilsen, G. H. ve Hogue, E. J., 1996, Effect of soil cadmium application and pH on growth and cadmium accumulation in roots, leaves and fruit of strawberry plants (*Fragaria× ananassa* Duch.), *Plant and Soil*, 180 (2), 267-276.

Clarkson, D. T. ve Lüttge, U., 1989, Mineral nutrition: Divalent cations, transport and compartmentation, In: Progress in botany, Eds, *Berlin, Heidelberg*: Springer-Verlag, p. 93-112.

Clemens, S., Palmgren, M. G. ve Krämer, U., 2002, A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation, *Trends in Plant Science*, 7 (7), 309-315.

Coenen, M., 2004, Chlorine, In: Elements and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance, Eds: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. ve Stoeppler, M., *Weinheim*: Wiley-VCH Verlag, p. 1423-1443.

Costa, G. ve Morel, J. L., 1993, Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): Cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance, *Journal of Plant Nutrition*, 16 (10), 1921-1929.

Cotter-Howells, J. ve Caporn, S., 1996, Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates, *Applied Geochemistry*, 11 (1-2), 335-342.

Crompton, T. R., 1998, Occurrence and analysis of organometallic compounds in the environment, *Chichester*, John Wiley and Sons, p. 250.

Culbard, E. B., Thornton, I., Watt, J., Wheatley, M., Moorcroft, S. ve Thompson, M., 1988, Metal contamination in British urban dusts and soils, *Journal of Environental Quality*, 17 (2), 226-234.

Čurlík, I. ve Forgac, J., 1996, Acid sulfate weathering and its impact on soil acidification and pollution in area of Banska Stavnica, *Soil Fertility Research Institute - Proceedings*, *Bratislava*, 103.

Čurlík, J. ve Šefčík, P., 1999, Geochemical atlas of the Slovak Republic. Part V: Soils, *Bratislava*, Ministry of the Environment of the Slovak Republic, p. 99.

Cuypers, A., Vangronsveld, J. ve Clijsters, H., 2002, Peroxidases in roots and primary leaves of *Phaseolus vulgaris* copper and zinc phytotoxicity: A comparison, *Journal of Plant Physiology*, 159 (8), 869-876.

Czarnowska, K., 1982, Heavy metal contents of surface soils and of plants in urban gardens, *Symposium on Environmental Pollution*, Plock.

Czarnowska, K., 1999, Heavy metals in lawn soils of Warsaw, *Soil Science Annual Poland*, 50, 31-39.

Czuba, M. ve Ormrod, D. P., 1974, Effects of cadmium and zinc on ozone-induced phytotoxicity in cress and lettuce, *Canadian Journal of Botany*, 52 (3), 645-649.

Dahl, O., Poykio, R. ve Nurmesniemi, H., 2008, Concentrations of heavy metals in fly ash from a coal-fired power plant with respect to the new finnish limit values, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 10 (1), 87-92.

Dai, X., Chai, C., Mao, X. ve Ouyang, H., 1998, Sorption and desorption of iridium in marine sedimentseawater system, , *1st International Conferance on Trace Metal Speciation in Biomedical, Nutritional and Environmental Sciences*, München, 66.

Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H. ve Back, H., 1987, Contaminated food and uptake of heavy metals by fish - A review and a proposal for further research, *Oecologia*, 73 (1), 91-98.

Darrow, G. M., 1966, The strawberry - History, breeding and physiology, *New York*, Holt, Rinehart and Winston, p. 447.

Das, P., Samantaray, S. ve Rout, G. R., 1997, Studies on cadmium toxicity in plants: A review, *Environmental Pollution*, 98 (1), 29-36.

Davidson, C. M., 2013, Methods for the determination of heavy metals and metalloids in soils, In: Heavy metals in soils, Eds: Alloway, B. J.: Springer, p. 97-140.

Davies, B. E., 1977, Heavy metal pollution of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining, *Proceedings of the International Seminar on Soil-Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*, Tokyo, 395.

Davies, B. E., 1980, Applied soil trace elements, *New York*, Wiley, p. 482.

Davies, B. E., 1995, Lead In: Heavy metals in soils, Eds: Alloway, B. J., *London*: Blackie Academic Puplishing, p. 206-223.

Davies, B. E., Vaughan, J., Lalor, G. C. ve Vutchkov, M., 2003, Cadmium and zinc adsorption maxima of geochemically anomalous soils (Oxisols) in Jamaica, *Chemical Speciation and Bioavailability*, 15 (3), 59-66.

de Andrade, S. A., da Silveira, A. P., Jorge, R. A. ve de Abreu, M. F., 2008, Cadmium accumulation in sunflower plants influenced by arbuscular mycorrhiza, *International Jorunal of Phytoremediation*, 10 (1), 1-13.

de Miguel, E., Llamas, J. F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O. ve Vadset, M., 1997, Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead, *Atmospheric Environment*, 31 (17), 2733-2740.

del Rosario Cappellari, L., Santoro, M. V., Reinoso, H., Travaglia, C., Giordano, W. ve Banchio, E., 2015, Anatomical, morphological, and phytochemical effects of inoculation with plant growth- promoting rhizobacteria on peppermint (*Mentha piperita*), *Jornal of Chemical Ecology*, 41 (2), 149-158.

Dell'Amico, E., Cavalca, L. ve Andreoni, V., 2008, Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium-resistant rhizobacteria, *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (1), 74-84.

Demiral, T. ve Türkan, İ., 2005, Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, *Environmental and Experimental Botany*, 53 (3), 247-257.

Detreville, R. T., 1964, Natural occurrence of lead, *Archives of Environmental Health*, 8 (2), 212-221.

Dey, R., Pal, K. K., Bhatt, D. M. ve Chauhan, S. M., 2004, Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria, *Microbiological Research*, 159 (4), 371-394.

Ding, D., Song, X., Wei, C. ve LaChance, J., 2019, A review on the sustainability of thermal treatment for contaminated soils, *Environmental Pollution*, 253, 449-463.

Ding, S. M., Liang, T., Zhang, C. S., Wang, L. J. ve Sun, Q., 2006, Accumulation and fractionation of rare earth elements in a soil-wheat system[1], *Pedosphere*, 16 (1), 82-90.

Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y. ve Vanderleyden, J., 2002, Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize, *Biology and Fertility of Soils*, 36 (4), 284-297.

Doelman, P. ve Haanstra, L., 1979, Effect of lead on soil respiration and dehydrogenase activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 11 (5), 475-479.

Dong, J., Wu, F. B. ve Zhang, G. P., 2005, Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings, *Journal of Zhejiang University Science B*, 6 (10), 974-980.

Dossis, P. ve Warren, L. J., 1980, Distribution of heavy metals between the minerals and organic debris in a contaminated marine sediment, In: Contaminants and Sediments, Eds: Baker, R. A., *Ann Arbor*: Ann Arbor Science Publishers, p. 119-139.

Eckel, H., Doehler, H. ve Roth, U., 2005, Assessment and reduction of heavy metal input agro-ecosystems, *KTBL-Schrift Final report of the EU-concerted action AROMIS*, *Darmstadt*, 232.

Egamberdiyeva, D., 2005, Plant growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168 (1), 94-99.

Eick, M. J., Peak, J. D., Brady, P. V. ve Pesek, J. D., 1999, Kinetics of lead adsorption/desorption on goethite: Residence time effect, *Soil Science*, 164 (1), 28-39.

Ekmekci, Y., Tanyolac, D. ve Ayhan, B., 2008, Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars, *Journal of Plant Physiology*, 165 (6), 600-611.

El-Beltagi, H. S., Mohamed, A. A. ve Rashed, M. M., 2010, Response of antioxidative enzymes to cadmium stress in leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.), *Notulae Scientia Biologicae*, 2 (4), 76-82.

El-Meihy, R. M., Abou-Aly, H. E., Youssef, A. M., Tewfike, T. A. ve El-Alkshar, E. A., 2019, Efficiency of heavy metals-tolerant plant growth promoting bacteria for alleviating heavy metals toxicity on sorghum, *Environmental and Experimental Botany*, 162, 295-301.

Elfving, D. C., Haschek, W. M., Stehn, R. A., Bache, C. A. ve Lisk, D. J., 1978, Heavy metal residues in plants cultivated on and in small mammals indigenous to old orchard soils, *Archives of Environmental Health*, 33 (2), 95-99.

Ellis, R. H. ve Alloway, B. J., 1983, Factors affecting the availability of cadmium, lead and nickel in soils amended with sewage sludge, *International Conference Heavy Metals in the Environment*, Edinburgh, 358-361.

Elobeid, M., Gobel, C., Feussner, I. ve Polle, A., 2012, Cadmium interferes with auxin physiology and lignification in poplar, *Journal of Experimental Botany*, 63 (3), 1413-1421.

Epstein, E., 1972, Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives, *New York*, Wiley, p. 412.

Epstein, E. ve Bloom, A. J., 2005, Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives, *Massachusetts*, Sinauer Associates, p. 380.

Eriksson, J., 2001, Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertiliser, precipitation and in oil and crops, *Swedish Environmental Protection Agency*, *Stockholm*, 69.

Ernst, W., 1972, Zink und cadmium immissionen auf böden und pflanzen in der umgebung einer zinkhütte, *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 85 (7-9), 295-300.

Ernst, W. H. O., 1998, The origin and ecology ofecontaminated, stabilized and non-pristine soils, In: Metal-Contaminated Soils: In Situ Inactivation and Phytorestoration, Eds: Vangronsveld, J. ve Cunningham, S., *Berlin*: Springer-Verlag, p. 17-29.

Erturk, Y., Ercisli, S., Haznedar, A. ve Cakmakci, R., 2010, Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on rooting and root growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) stem cuttings, *Biological Research*, 43 (1), 91-98.

Escrig, I. ve Morell, I., 1998, Effect of calcium on the soil adsorption of cadmium and zinc in some Spanish sandy soils, *Water Air and Soil Pollution*, 105 (3-4), 507-520.

Eti, S., 1987, Über das pollenschlauchwachstum und die entwicklung der samenanlagen in beziehung zum fruchtansatz und zur fruchtqualiät bei der mandarinensorte Clementine (*Citrus reticulata* Blanco), *University of Hohenheim*, Hohenheim, 127.

Faber, A. ve Niezgoda, J., 1982, Contamination of soils and plants in the vicinity of the zinc and lead smelter. Part I. Soils, *Soil Science Annual*, 33 (1-2), 93-107.

Faiz, S., Yasin, N. A., Khan, W. U., Shah, A. A., Akram, W., Ahmad, A., Ali, A., Naveed, N. H. ve Riaz, L., 2022, Role of magnesium oxide nanoparticles in the mitigation of lead-induced stress in *Daucus carota*: modulation in polyamines and antioxidant enzymes, *International Journal of Phytoremediation*, 24 (4), 364-372.

Fanourakis, D., Tapia, A., Heuvelink, E. ve Carvalho, S. M. P., 2009, Cultivar differences in the stomatal characteristics of cut roses grown at high relative humidity, *IX International Symposium on Postharvest Quality of Ornamental Plants*, Odense, 251-258.

FAO, 2022a, Strawberry production [online], Food and Agriculture Organization of the United Nations, https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL: [Ziyaret Tarihi: 29 August 2022].

FAO, 2022b, Strawberry trade in the world [online], Food and Agriculture Organization of the United Nations, https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL: [Ziyaret Tarihi: 27 August 2022].

Farooq, Y., Hussain, M. M., Aleem, S. B. ve Farooq, M. A., 2008, Lead intoxication: The extent of problem and its management, *Pakistan Journal of Physiology*, 4 (2), 36-41.

Farouk, S., Mosa, A., Taha, A. ve El-Gahmery, A., 2011, Protective effect of humic acid and chitosan on radish (*Raphanus sativus*, L. var. sativus) plants subjected to cadmium stress, *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7 (2), 99-116.

Filipinski, M., 1989, Pflanzenaufnahme und lösbarkeit von schwermetallen aus böden hoher geogener anreicherung und zusätzlicher belastung, *University of Göttingen*, Göttingen.

Fleischer, M., Sarofim, A. F., Fassett, D. W., Hammond, P., Shacklette, H. T., Nisbet, I. C. ve Epstein, S., 1974, Environmental impact of cadmium: a review by the panel on hazardous trace substances, *Environmental Health Perspectives*, 7, 253-323.

Fletcher, K. ve Brink, V. C., 1969, Content of certain trace elements in range forages from south central British Columbia, *Canadian Journal of Plant Science*, 49 (4), 517-520.

Forney, C. F. ve Breen, P. J., 1985, Dry matter partitioning and sssimilation in fruiting and deblossomed strawberry, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110 (2), 181-185.

Frank, R., Ishida, K. ve Suda, P., 1976, Metals in agricultural soils of Ontario, *Canadian Journal of Soil Science*, 56 (3), 181-196.

Fu, Z. ve Xi, S., 2020, The effects of heavy metals on human metabolism, *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30 (3), 167-176.

Gadd, G. M. ve Griffiths, A. J., 1977, Microorganisms and heavy metal toxicity, *Microbial Ecology*, 4 (4), 303-317.

Gadd, G. M., 1990, Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms, *Experientia*, 46 (8), 834-840.

Gao, Y., Miao, C., Mao, L., Zhou, P., Jin, Z. ve Shi, W., 2010a, Improvement of phytoextraction and antioxidative defense in *Solanum nigrum* L. under cadmium stress by application of cadmium-resistant strain and citric acid, *Journal of Hazardous Materials*, 181 (1-3), 771-777.

Garg, N. ve Chandel, S., 2012, Role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, cadmium uptake, osmolyte, and phytochelatin synthesis in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. under NaCl and Cd stresses, *Journal of Plant Growth Regulation*, 31 (3), 292-308.

Garland, C. J. ve Wilkins, D. A., 1981, Effect of calcium on the uptake and toxicity of lead in *Hordeum vulgare* L. and *Festuca ovina* L., *New Phytologist*, 87 (3), 581-593.

Garrido, M. L., Munoz-Olivas, R. ve Camara, C., 1998, Interference removal for cadmium determination in waste water and sewage sludge by flow injection cold vapour generation atomic absorption spectrometry, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 13 (10), 1145-1149.

Geagea, M. L., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F. ve Millet, M., 2008, Tracing of industrial aerosol sources in an urban environment using Pb, Sr, and Nd isotopes, *Environmental Science and Technology*, 42 (3), 692-698.

Gendebien, A., Carlton-Smith, C. ve Izzo, M., 1999, UK sewage sludge survey: National presentation, *Environment Agency*, *Swindon*, p. 66

Ghaderi, N. ve Siosemardeh, A., 2011, Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva), *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52 (1), 6-12.

Gholami, A., Shahsavani, S. ve Nezarat, S., 2009, The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize, *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 3 (1), 9-14.

Ghorbanli, M., Kaveh, S. H. ve Sepehr, M. F., 1999, Effects of cadmium and gibberellin on growth and photosynthesis of *Glycine max*, *Photosynthetica*, 37 (4), 627-631.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B. ve Battino, M., 2012, The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health, *Nutrition*, 28 (1), 9-19.

Gichner, T., Znidar, I. ve Szakova, J., 2008, Evaluation of DNA damage and mutagenicity induced by lead in tobacco plants, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 652 (2), 186-190.

Godbold, D. á. ve Hüttermann, A., 1985, Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back, *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 38 (4), 375-381.

Goldhaber, M. B., Morrison, J. M., Holloway, J. M., Wanty, R. B., Helsel, D. R. ve Smith, D. B., 2009, A regional soil and sediment geochemical study in northern California, *Applied Geochemistry*, 24 (8), 1482-1499.

Gomes, M. P., Marques, T. C. L. L. D. M., Nogueira, M. D. G., de Castro, E. M. ve Soares, A. M., 2011, Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*, *Scientia Agricola*, 68 (5), 566-573.

Gontia-Mishra, I., Sapre, S., Sharma, A. ve Tiwari, S., 2016, Alleviation of mercury toxicity in wheat by the interaction of mercury-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria, *Journal of Plant Growth Regulation*, 35 (4), 1000-1012.

Goodroad, L. L. ve Caldwell, A. C., 1979, Effects of phosphorus fertilizer and lime on the As, Cr, Pb, and V content of soils and plants, *Journal of Environmental Quality*, 8 (4), 493-496.

Gothberg, A., Greger, M., Holm, K. ve Bengtsson, B. E., 2004, Influence of nutrient levels on uptake and effects of mercury, cadmium, and lead in water spinach, *Journal of Environmental Quality*, 33 (4), 1247-1255.

Gou, W., Tian, L., Ruan, Z., Zheng, P., Chen, F. C., Zhang, L., Cui, Z. Y., Zheng, P. F., Li, Z., Gao, M., Shi, W., Zhang, L. X., Liu, J. C. ve Hu, J. J., 2015, Accumulation of choline and glycinebetaine and drought stress tolerance induced in maize (*Zea Mays*) by three plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) strains, *Pakistan Journal of Botany*, 47 (2), 581-586.

Gough, L. P., Severson, R. C. ve Shacklette, H. T., 1988, Element concentrations in soils and other surficial materials of Alaska, *Washington*, US Government Printing Office Washington, p. 57.

Gourdon, R., Bhende, S., Rus, E. ve Sofer, S. S., 1990, Comparison of cadmium biosorption by gram-positive and gram-negative bacteria from activated-sludge, *Biotechnology Letters*, 12 (11), 839-842.

Govindaraju, K., 1994, Compilation of working values and sample description for 383 geostandards, *Geostandards Newsletter*, 18, 1-156.

Gray, C. W., McLaren, R. G. ve Roberts, A. H. C., 2003, Atmospheric accessions of heavy metals to some New Zealand pastoral soils, *Science of the Total Environment*, 305 (1-3), 105-115.

Green, A., 1971, Soft fruits, In: The Biochemistry of Fruits and Their Products Eds: Hulme, A., *New York*: Academic Press, p. 375-410.

Gregory, P. J., Bengough, A. G., Grinev, D., Schmidt, S., Thomas, W. B. T., Wojciechowski, T. ve Young, I. M., 2009, Root phenomics of crops: Opportunities and challenges, *Functional Plant Biology*, 36 (11), 922-929.

Greszta, J., Braniewski, S. ve Chrzanowska, E., 1985, Heavy metals in soils and plants around a zinc smelter, *3rd National Conference on Effects of Trace Metal pol lution on Agricultural and Environmental Quality*, Pulawny, 58-61.

Grodzinska, K., Godzik, B. ve Szarek, G., 1987, Vegetables and soil contamination by heavy metals in allotment gardens in Krakow agglomeration (S Poland), *Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Biological Sciences*, 35 (4-6), 111-112.

Groppa, M. D., Ianuzzo, M. P., Rosales, E. P., Vazquez, S. C. ve Benavides, M. P., 2012, Cadmium modulates NADPH oxidase activity and expression in sunflower leaves, *Biologia Plantarum*, 56 (1), 167-171.

Grupe, M. ve Kuntze, H., 1987, Zur Ni-mobilität einer geflogen belasteten braunerde, *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges*, 55, 333-338.

Grupe, M. ve Kuntze, H., 1988, Zur ermittlung der schwermetallverfügbarkeit lithogen und anthropogen belasteter standorte. 1. Cd und Cu, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 151 (5), 319-324.

Guibaud, G., van Hullebusch, E. ve Bordas, F., 2006, Lead and cadmium biosorption by extracellular polymeric substances (EPS) extracted from activated sludges: pH-sorption edge tests and mathematical equilibrium modelling, *Chemosphere*, 64 (11), 1955-1962.

Gunathilakae, N., Yapa, N. ve Hettiarachchi, R., 2018, Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the cadmium phytoremediation potential of *Eichhornia crassipe*s (Mart.) Solms, *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 477-482.

Gunnarsson, O., 1980, The relative role of fertilizers for the cadmium levels in the food chain under Swedish circumstances, *Cadmium Seminar*, Rosslyn, 115-140.

Guo, J. ve Chi, J., 2014a, Effect of Cd-tolerant plant growth-promoting rhizobium on plant growth and Cd uptake by Lolium multiflorum Lam. and Glycine max (L.) Merr. in Cd-contaminated soil, *Plant and Soil*, 375 (1), 205-214.

Guo, J. K. ve Chi, J., 2014b, Effect of Cd-tolerant plant growth-promoting rhizobium on plant growth and Cd uptake by *Lolium multiflorum* Lam. and *Glycine max* (L.) Merr. in Cd-contaminated soil, *Plant and Soil*, 375 (1-2), 205-214.

Gupta, D. K., Nicoloso, F. T., Schetinger, M. R., Rossato, L. V., Pereira, L. B., Castro, G. Y., Srivastava, S. ve Tripathi, R. D., 2009, Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown *Zea mays* seedlings under moderate lead stress, *Journal of Hazardous Materials*, 172 (1), 479-484.

Gupta, U. C. ve Gupta, S. C., 2005, Future trends and requirements in micronutrient research, *Communications in Soil Science and Plant analysis*, 36 (1-3), 33-45.

Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö. ve Çobanoğlu, D., 2004, Ağır metal iyonlarının (Cu^{++}, Pb^{++}, Hg^{++}, Cd^{++}) *Clivia* sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 177-182.

Haag-Kerwer, A., Schafer, H. J., Heiss, S., Walter, C. ve Rausch, T., 1999, Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis, *Journal of Experimental Botany*, 50 (341), 1827-1835.

Haghiri, F., 1973, Cadmium uptake by plants, *Journal of environmental quality*, 2 (1), 93-96.

Hamidpour, M., Nemati, H., Abbaszadeh Dahaji, P. ve Roosta, H. R., 2020, Effects of plant growth-promoting bacteria on EDTA-assisted phytostabilization of heavy metals in a contaminated calcareous soil, *Environmental Geochemistry and Health*, 42 (8), 2535-2545.

Hancock, J. F., 2008, Strawberries, In: Temperate Fruit Crops in Warm Climates, Eds: Erez, A., *Dordrecht*: Springer, p. 445-455.

Hansch, R. ve Mendel, R. R., 2009, Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl), *Current Opinion in Plant Biology*, 12 (3), 259-266.

Hansen, J. A. ve Tjell, J. C., 1978, Guidelines and sludge utilization practice in Scandinavia, *Conferance on Utilization of Sewage Sludge on Land,* Oxford, 24.

Harmsen, K., 1977, Behaviour of heavy metals in soils, *Wageningen*, Wageningen University and Research Centre for Agriculture Publications and Documents, p. 171.

Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S. ve Ahmad, A., 2009, Cadmium: toxicity and tolerance in plants, *Journal of Environmental Biology*, 30 (2), 165-174.

Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al Huqail, A. A., Egamberdieva, D. ve Wirth, S., 2016a, Alleviation of cadmium stress in *Solanum lycopersicum* L. by arbuscular mycorrhizal fungi *via* induction of acquired systemic tolerance, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23 (2), 272-281.

Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A. ve Egamberdieva, D., 2016b, Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on *Cassia italica* Mill by arbuscular mycorrhizal fungi, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23 (1), 39-47.

Hassan, M. ve Mansoor, S., 2014, Oxidative stress and antioxidant defense mechanism in mung bean seedlings after lead and cadmium treatments, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38 (1), 55-61.

Hassan, M. J., Wang, Z. Q. ve Zhang, G. P., 2005, Sulfur alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium toxicity in rice, *Journal of Plant Nutrition*, 28 (10), 1785-1800.

Hassett, J. J., Miller, J. E. ve Koeppe, D. E., 1976, Interaction of lead and cadmium on maize root growth and uptake of lead and cadmium by roots, *Environmental Pollution*, 11 (4), 297-302.

Hayat, S., Alyemeni, M. N. ve Hasan, S. A., 2012, Foliar spray of brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19 (3), 325-335.

He, X., Xu, M., Wei, Q., Tang, M., Guan, L., Lou, L., Xu, X., Hu, Z., Chen, Y., Shen, Z. ve Xia, Y., 2020, Promotion of growth and phytoextraction of cadmium and lead in *Solanum nigrum* L. mediated by plant-growth-promoting rhizobacteria, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111333.

Hedrick, J. B., 1995, The global rare earth cycle, *Journal of Alloys and Compounds*, 225 (1-2), 609-618.

Hemkes, O. J., Kemp, A. ve Vanbroekhoven, L. W., 1980, Accumulation of heavy metals in the soil due to annual dressings with sewage-sludge, *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 28 (4), 228-237.

Hemphill, R. ve Martin, L. W., 1992, Microwave oven-drying method for determining total solids of strawberries, *HortScience*, 27 (12), 1326-1326.

Herms, U., Bartels, A., Scheffer, B. R. ve Pluquet, E., 1986, Untersuchungen zur landbaulichen nutzbarkeit ehemaliger spülfelder aus hafenschlick in raum Hamburg, *Hamburg*, University of Hamburg, p. 432.

Herrington, M., 1995, 'Kabarla', *Plant Varieties Journal*, 8 (3), 50-51.

Herrington, M. E. ve Chandler, C. K., 2006, Strawberry Breeding in a subtropikal environment, *V. International Strawberry Symposium,*, Leuven, 441-448.

Herrington, M. E., Chandler, C. K., Moisander, J. A. ve Reid, C. E., 2007, 'Rubygem' strawberry, *HortScience*, 42 (6), 1482-1483.

Herselman, J. E., Steyn, C. E. ve Fey, M. V., 2005, Baseline concentration of Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn in surface soils of South Africa: research in action, *South African journal of science*, 101 (11), 509-512.

Herter, U. ve Külling, D., 2001, Risikoanalyse zur abfalldüngerverwertung in der landwirtschaft forchungsanstalt fur agrarökologie und landbau, *Bericht der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agroökologie und Landbau FAL*, *Zurich*.

Hettiarachchi, G. M., Pierzynski, G. M., Zwonitzer, J. ve Lambert, M., 1997, Phosphorus source and rate effects on cadmium, lead, and zinc bioavailabilities in a metal-contaminated soil, *4th International Conferance on the Biogeochemical Trace Elements (ICOBTE)*, Berkeley, 463-464.

Hettiarachchi, G. M., Pierzynski, G. M. ve Ransom, M. D., 2001, In situ stabilization of soil lead using phosphorus, *Journal of Environmental Quality*, 30 (4), 1214-1221.

Hinesly, T. D., Redborg, K. E., Pietz, R. I. ve Ziegler, E. L., 1984, Cadmium and zinc uptake by corn (*Zea Mays* L) with repeated applications of sewage-sludge, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32 (1), 155-163.

Hirvi, T. ve Honkanen, E., 1982, The volatiles of two new strawberry cultivars,“Annelie” and "Alaska Pioneer”, obtained by backcrossing of cultivated strawberries with wild strawberries, *Fragaria vesca*, rügen and *Fragaria virginiana*, *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 175 (2), 113-116.

Hirvi, T., 1983, Mass fragmentographic and sensory analyses in the evaluation of the aroma of some strawberry varieties, *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 16 (3), 157-161.

Hoch, M., 2001, Organotin compounds in the environment - An overview, *Applied Geochemistry*, 16 (7-8), 719-743.

Holleman, A. F. ve Wieberg, E., 1985, Lehrbuch der anorganischen chemie,, *Berlin und New York*, Walter de Gruyter, p. 1343.

Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Chaney, R. L. ve Daniels, R. B., 1993, Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America, *Journal of Environmental Quality*, 22 (2), 335-348.

Hornburg, V. ve Brümmer, G. W., 1986, Cadmium availability in soils and content of wheat grain, *5th Spurenelement Symposium on Iodine and Other Trace Elements*, Jena, 916.

Horner, J. M., 1996, Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires, *Reviews on Environmental Health*, 11 (4), 175-178.

Huang, S. S., Tu, J., Liu, H. Y., Hua, M., Liao, Q. L., Feng, J. S., Weng, Z. H. ve Huang, G. M., 2009, Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze River Delta, East China, *Atmospheric Environment*, 43 (36), 5781-5790.

Huang, S. W. ve Jin, J. Y., 2008, Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use, *Environmental monitoring and assessment*, 139 (1-3), 317-327.

Huff, L. C., 1976, Migration of lead during oxidation and weathering of lead deposits, In: Lead in the Environment, Eds: Lovering, T. G., *Washington*: United States Goverment Printing Office, p. 21-24.

Hughes, M. K., Lepp, N. W. ve Phipps, D. A., 1980, Aerial heavy metal pollution and terrestrial ecosystems, In: Advances in Ecological Research, Eds: MacFadyen, A., *London, New York, Toronto, Sydney, and San Francisco*: Elsevier, p. 217-327.

Hummer, K. E. ve Hancock, J., 2009, Strawberry genomics: Botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies, In: Genetics and Genomics of Rosaceae, Eds: Folta, K. M. ve Gardiner, S. E., *New York*: Springer, p. 413-435.

Hussain, A., Abbas, N., Arshad, F., Akram, M., Khan, Z. I., Ahmad, K., Mansha, M. ve Mirzaei, F., 2013a, Effects of diverse doses of lead (Pb) on different growth attributes of *Zea Mays* L., *Agricultural Sciences*, 4 (5), 262-265.

Hussein, H., Farag, S., Kandil, K. ve Moawad, H., 2005, Tolerance and uptake of heavy metals by *Pseudomonads*, *Process Biochemistry*, 40 (2), 955-961.

Ibekwe, A. M., Angle, J. S., Chaney, R. L. ve Van Berkum, P., 1996, Zinc and cadmium toxicity to alfalfa and its microsymbiont, *Journal of Environmental Quality*, 25 (5), 1032-1040.

Ibiene, A. A., Agogbua, J. U., Okonko, I. O. ve Nwachi, G. N., 2012, Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as bio-fertilizer: Effect on growth of *Lycopersicum esculentus*, *Journal of American Science*, 8 (2), 318-324.

Ikem, A., Campbell, M., Nyirakabibi, I. ve Garth, J., 2008, Baseline concentrations of trace elements in residential soils from Southeastern Missouri, *Environmental Monitoring and Assessment*, 140 (1-3), 69-81.

Ilyin, V., 1997, Monitoring of heavy metals in big industrial cities, *Agrochimia*, 4, 81-86.

Imtiyaz, S., Agnihotri, R. K., Ahmad, S. ve Sharma, R., 2014, Effect of cobalt and lead induced heavy metal stress on some physiological parameters in *Glycine max*, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7 (1), 26-34.

Ipek, M., Pirlak, L., Esitken, A., Donmez, M. F., Turan, M. ve Sahin, F., 2014, Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 37 (7), 990-1001.

Ipek, M., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Turan, M. ve Dönmez, M. F., 2021, Effects of some plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on growth and nutrition of apple cv."Braeburn" under high lime soil condition, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52 (5), 432-442.

İpek, M., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M. F. ve Turan, M., 2021, Influence of bacterial inoculation on growth and plant nutrition of peach grafted in different rootstocks in calcareous soil, *Sains Malaysiana*, 50 (9), 2615-2624.

Islam, E., Liu, D., Li, T., Yang, X., Jin, X., Mahmood, Q., Tian, S. ve Li, J., 2008a, Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*, *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1-3), 914-926.

Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X. ve Meng, F., 2008b, Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*, *Journal of Hazardous Materials*, 147 (3), 806-816.

Itoh, S., Tokunaga, Y. ve Yumura, Y., 1979, Studies on the contamination of vegetable crops by the excessive absorption of heavy metals. I. concentration of heavy metals contained in the soil solution and the contamination of vegetable crops by the excessive absorption of heavy metals, *Bulletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station. Series A (Irregular Journal)*, 6a, 145-166.

Jalil, A., Selles, F. ve Clarke, J. M., 1994, Effect of cadmium on growth and the uptake of cadmium and other elements by Durum wheat, *Journal of Plant Nutrition*, 17 (11), 1839-1858.

Jankiewicz, B. ve Adamczyk, D., 2007, Assessing heavy metal content in soils surrounding the Lodz EC4 power plant, Poland, *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (6), 933-938.

Jansson, G. ve Oborn, I., 2000, Cadmium content of Swedish carrots and the influence of soil factors, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 50 (2), 49-56.

Jauert, P., Schumacher, T. E., Boe, A. ve Reese, R. N., 2002, Rhizosphere acidification and cadmium uptake by strawberry clover, *Journal of Environmental Quality*, 31 (2), 627-633.

Jiang, C. Y., Sheng, X. F., Qian, M. ve Wang, Q. Y., 2008, Isolation and characterization of a heavy metal-resistant *Burkholderia* sp. from heavy metal-contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metal-polluted soil, *Chemosphere*, 72 (2), 157-164.

Jiang, Q.-Y., Zhuo, F., Long, S.-H., Zhao, H.-D., Yang, D.-J., Ye, Z.-H., Li, S.-S. ve Jing, Y.-X., 2016, Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils?, *Scientific Reports*, 6 (1), 1-9.

Jiang, W., Liu, D. ve Hou, W., 2001, Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (Allium sativum L.), *Bioresource Technology*, 76 (1), 9-13.

Jiang, W. ve Liu, D., 2010, Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum* L., *BMC Plant Biology*, 10 (1), 40.

Jin, C. W., Zheng, S. J., He, Y. F., Zhou, G. D. ve Zhou, Z. X., 2005, Lead contamination in tea garden soils and factors affecting its bioavailability, *Chemosphere*, 59 (8), 1151-1159.

Jin, Z., Deng, S., Wen, Y., Jin, Y., Pan, L., Zhang, Y., Black, T., Jones, K. C., Zhang, H. ve Zhang, D., 2019, Application of *Simplicillium chinense* for Cd and Pb biosorption and enhancing heavy metal phytoremediation of soils, *Science of the Total Environment*, 697, 134148.

John, M. K., VanLaerhoven, C. J. ve Cross, C. H., 1975, Cadmium, lead and zinc accumulation in soils near a smelter complex, *Environmental Letters*, 10 (1), 25-35.

Johnson, A. H., Lalor, G. C., Preston, J., Robotham, H., Thompson, C. ve Vutchkov, M. K., 1996, Heavy metals in Jamaican surface soils, *Environmental and Geochemistry and Health*, 18 (3), 113-121.

Johnson, M. S. ve Eaton, J. W., 1980, Environmental contamination through residual trace metal dispersal from a derelict lead-zinc mine, *Journal of Environmental Quality*, 9 (2), 175-179.

Jones, K. C., 1987, Long-term changes in soil and cereal grain cadmium: Studies at Rothamsted Experimental Station, *Trace Substances Environmental Health*, Columbia, 450-461.

Jones, L. H. P. ve Clement, C. R., 1972, Lead uptake by plants and its significance for animals, In: Lead in the Environment, Eds: Hepple, P., *London*: Institute of Petroleum, p. 29-33.

Jørgensen, S. E., 1993, Removal of heavy metals from compost and soil by ecotechnological methods, *Ecological Engineering*, 2 (2), 89-100.

Ju, X. T., Kou, C. L., Christie, P., Dou, Z. X. ve Zhang, F. S., 2007, Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain, *Environmental Pollution*, 145 (2), 497-506.

Kabata-Pendias, A. ve Gondek, B., 1978, Bioavailability of heavy metals in the vicinity of a copper smelter, *Trace Substances in Environmental Health*, Columbia, 523.

Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H., 1979, Trace elements in the biological environment, *Warsaw*, Wyd. Geological Incorporated, p. 300.

Kabata-Pendias, A. ve Wiacek, K., 1985, Excessive uptake of heavy metals by plants from contaminated soil, *Soil Science Annual*, 36 (4), 33-42.

Kabata-Pendias, A. ve Dudka, S., 1990, Evaluating baseline data for cadmium in soils and plants in Poland, In: Element concentration cadasters in ecosystems, Eds: Leith, H. ve Markert, B., *Weinheim*: VCH, p. 265-280.

Kabata-Pendias, A., 1991, Trace metals of soils of Poland - Occurrence and behavior, In: Trace Substainable Environment Health, Eds: Beck, B. D., *Columbia*: Science Reviews Limited, p. 53-70.

Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H., 1999, Biogeochemistry of trace elements, *Warsaw*, Wyd. Nauk PWN, p. 400.

Kabata-Pendias, A., 2000, Trace elements in soils and plants, *Boca Raton*, CRC press, p. 432.

Kabata-Pendias, A. ve Sadurski, W., 2004, Trace elements and compounds in soil, In: Elements and Their Compounds in the Environment, Eds: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. ve Stoeppler, M., 2, *Weinheim*: Wiley-VCH, p. 79-99.

Kabata-Pendias, A. ve Terelak, H., 2004, Regional variation of trace elements (Pb, Cu, Ni, Pb, Zn) contents of native grassland grasses in Poland, *3rd International Conferance on Heavy Metals Radionucludes And Elements-Biofills İn The Environment*, Semipalatinsk, 28-33.

Kabata-Pendias, A. ve Mukherjee, A. B., 2007, Trace elements from soil to human, *Berlin*, Springer, p. 550.

Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H., 2011, Trace elements in soils and plants, *Boca Raton*, CRC press, p. 432.

Kabir, M., Iqbal, M. Z., Shafiq, M. ve Farooqi, Z. R., 2010, Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L., *Plant Soil and Environment*, 56 (4), 194-199.

Kacar, B. ve İnal, A., 2010, Bitki analizleri, *Ankara*, Nobel Yayın Dağıtım, p. 892.

Kader, A. A., 1991, Quality and its maintenance in relation to the posharvest physiology of strawberry, In: The strawberry into the 21st century, Eds: Luby, J. J. ve Dale, A., *Portland*: Timber Press, p. 145-152.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003, Metallerin çevresel etkileri-1, *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.

Kalt, W., Prange, R. K. ve Lidster, P. D., 1993, Postharvest color development of strawberries: Influence of maturity, temperature and light, *Canadian Journal of Plant Science*, 73 (2), 541-548.

Kamaruzzaman, M. A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Hassan, M., Othman, A. R. ve Idris, M., 2020, Characterisation of Pb-resistant plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) from *Scirpus grossus*, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101456.

Kambhampati, M. S., Begonia, G. B., Begonia, M. F. ve Bufford, Y., 2005, Morphological and physiological responses of morning glory (*Ipomoea lacunosa* L.) grown in a lead- and chelate- amended soil, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2 (2), 299-303.

Kamran, M. A., Syed, J. H., Eqani, S. A., Munis, M. F. ve Chaudhary, H. J., 2015, Effect of plant growth-promoting rhizobacteria inoculation on cadmium (Cd) uptake by *Eruca sativa*, *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (12), 9275-9283.

Kanchana, D., Jayanthi, M., Usharani, G., Saranraj, P. ve Sujitha, D., 2014, Interaction effect of combined inoculation of PGPR on growth and yield parameters of chilli var k1 (*Capsicum annuum* L.), *International Journal of Microbiological Research*, 5 (3), 144-151.

Karakurt, H. ve Aslantas, R., 2010, Effects of some plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple, *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18 (1), 101-110.

Karakurt, H., Kotan, R., Dadasoglu, F., Aslantas, R. ve Sahin, F., 2011, Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on fruit set, pomological and chemical characteristics, color values, and vegetative growth of sour cherry (*Prunus cerasus* cv. Kutahya), *Turkish Journal of Biology*, 35 (3), 283-291.

Karaman, M. R., 2012, Bitki Besin Elementleri ve Bitkilerde Beslenme Fizyolojisi, In: Bitki Besleme, Eds: Karaman, M. R., *Ankara*: Dumat Ofset, p. 1-92.

Karatas, M., Dursun, S., Guler, E., Ozdemir, C. ve Argun, M. E., 2006, Heavy metal accumulation in wheat plants irrigated by waste water, *Cellulose Chemistry and Technology*, 40 (7), 575-579.

Karataş, M., Güler, E., Dursun, Ş., Özdemir, C. ve Argun, M. E., 2007, Konya ana tahliye kanalının Çengilli Bölgesi tarım topraklarında ve buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb derişimlerinin belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 29, 91-99.

Karlidag, H., Esitken, A., Yildirim, E., Donmez, M. F. ve Turan, M., 2011, Effects of plant growth-promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 34 (1), 34-45.

Karlidag, H., Yildirim, E., Pehluvan, M., Donmez, M. F. ve Turan, M., 2013, Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (*Fragaria x ananassa*), *HortScience*, 48 (5), 563-567.

Kastori, R., Petrovic, M. ve Petrovic, N., 1992, Effect of excess lead, cadmium, copper, and zinc on water relations in sunflower, *Journal of Plant Nutrition*, 15 (11), 2427-2439.

Kawada, T. ve Suzuki, S., 1998, A review on the cadmium content of rice, daily cadmium intake, and accumulation in the kidneys, *Journal of Occupational Health*, 40 (4), 264-269.

Kaya, C., Akram, N. A., Sürücü, A. ve Ashraf, M., 2019, Alleviating effect of nitric oxide on oxidative stress and antioxidant defence system in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants exposed to cadmium and lead toxicity applied separately or in combination, *Scientia Horticulturae*, 255, 52-60.

Kaya, C. ve Aslan, M., 2020, Hydrogen sulphide partly involves in thiamine-induced tolerance to cadmium toxicity in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) plants, *Environmental Science Pollution and Research*, 27 (1), 941-953.

Kaymak, H. C., Yarali, F., Guvenc, I. ve Donmez, M. F., 2008, The effect of inoculation with plant growth rhizobacteria (PGPR) on root formation of mint (*Mentha piperita* L.) cuttings, *African Journal of Biotechnology*, 7 (24), 4479-4483.

Khan, A. N., Qureshi, R. H. ve Ahmad, N., 2004, Salt tolerance of cotton cultivars in relation to relative growth rate in saline environments, *International Journal of Agriculture and Biology*, 6 (5), 786-787.

Khan, M. I., Nazir, F., Asgher, M., Per, T. S. ve Khan, N. A., 2015, Selenium and sulfur influence ethylene formation and alleviate cadmium-induced oxidative stress by improving proline and glutathione production in wheat, *Journal of Plant Physiology*, 173, 9-18.

Khan, N., Bano, A. ve Zandi, P., 2018, Effects of exogenously applied plant growth regulators in combination with PGPR on the physiology and root growth of chickpea (*Cicer arietinum*) and their role in drought tolerance, *Journal of Plant İnteractions*, 13 (1), 239-247.

Khanna, K., Jamwal, V. L., Gandhi, S. G., Ohri, P. ve Bhardwaj, R., 2019, Metal resistant PGPR lowered Cd uptake and expression of metal transporter genes with improved growth and photosynthetic pigments in *Lycopersicon esculentum* under metal toxicity, *Scientific Reports*, 9 (1), 5855.

Kick, H., Bürger, H. ve Sommer, K., 1980, Gesamthalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr, und Co in landwirtsschaftlich und gaerterisch genutzten Böden Nordrhein-Wesfalens *Landwirtschchaft Forschung*, 33 (1), 12-22.

Kim, K. T., Eo, M. Y., Nguyen, T. T. H. ve Kim, S. M., 2019, General review of titanium toxicity, *International Journal of İmplant Dentistry*, 5 (1), 1-12.

Kitagishi, K. ve Yamane, I., 1981, Heavy metal pollution in soils of Japan, *Tokyo*, Japan Science Society Press, p. 302.

Klamkowski, K. ve Treder, W., 2008, Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions, *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 179-188.

Kloke, A., 1974, Blei–zink–cadmium: Anreicherung in böden und pflanzen, *Staub-Reinhaltung der Luft*, 34 (1), 18-21.

Kobayashi, F., Maki, T., Nakamura, Y. ve Ueda, K., 2005, Determination of Cu, Pb, Fe, and Zn in plant component polymers of a hyperaccumulating plant, *Analytical Sciences*, 21 (12), 1553-1556.

Kobayashi, J., 1971, Air and water pollution by cadmium lead and zinc attributed to the largest zinc refinery in Japan, *Trace Substances Environmental Health*, Columbia, 117-128.

Koç, A., Balcı, G., Ertürk, Y., Keleş, H., Bakoğlu, N. ve Ercişli, S., 2016, Influence of arbuscular mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria on proline content, membrane permeability and growth of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) under salt stress, *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 89-97.

Komarek, M., Chrastny, V. ve Stichova, J., 2007, Metal/metalloid contamination and isotopic composition of lead in edible mushrooms and forest soils originating from a smelting area, *Environment İnternational*, 33 (5), 677-684.

Konkolewska, A., Piechalak, A., Ciszewska, L., Antos-Krzeminska, N., Skrzypczak, T., Hanc, A., Sitko, K., Malkowski, E., Baralkiewicz, D. ve Malecka, A., 2020, Combined use of companion planting and PGPR for the assisted phytoextraction of trace metals (Zn, Pb, Cd), *Environmental Science Pollution and Research*, 27 (12), 13809-13825.

Kopittke, P. M., Asher, C. J., Kopittke, R. A. ve Menzies, N. W., 2007, Toxic effects of Pb^{2+} on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*), *Environmental Pollution*, 150 (2), 280-287.

Krupa, Z., 1988, Cadmium-induced changes in the composition and structure of the light-harvesting chlorophyll a/b protein complex-Ii in radish cotyledons, *Physiologia Plantarum*, 73 (4), 518-524.

Kumar, P., Lucini, L., RouphaeI, Y., Cardarelli, M., Kalunke, R. M. ve Colla, G., 2015, Insight into the role of grafting and arbuscular mycorrhiza on cadmium stress tolerance in tomato, *Frontiers in Plant Science*, 6, 477.

Kurokura, T., Hiraide, S., Shimamura, Y. ve Yamane, K., 2017, PGPR improves yield of strawberry species under less-fertilized conditions, *Environmental Control in Biology*, 55 (3), 121-128.

Küpper, H., Küpper, F. ve Spiller, M., 1996, Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants, *Journal of Experimental Botany*, 47 (2), 259-266.

Küpper, H. ve Kochian, L. V., 2010, Transcriptional regulation of metal transport genes and mineral nutrition during acclimatization to cadmium and zinc in the Cd/Zn hyperaccumulator, *Thlaspi caerulescens* (Ganges population), *New Phytologist*, 185 (1), 114-129.

Lagerwerff, J. V., 1971, Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air, *Soil Science*, 111 (2), 129-133.

Lane, S. D. ve Martin, E. S., 1977, A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*, *New Phytologist*, 79 (2), 281-286.

Lane, T. W. ve Morel, F. M. M., 2000, A biological function for cadmium in marine diatoms, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (9), 4627-4631.

Larsson, E. H., Bornman, J. F. ve Asp, H., 1998, Influence of UV-B radiation and Cd^{2+} on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*, *Journal of Experimental Botany*, 49 (323), 1031-1039.

Ledin, M., 2000, Accumulation of metals by microorganisms - Processes and importance for soil systems, *Earth-Science Reviews*, 51 (1-4), 1-31.

Lehndorff, E. ve Schwark, L., 2008, Accumulation histories of major and trace elements on pine needles in the cologne conurbation as function of air quality, *Atmospheric Environment*, 42 (5), 833-845.

Leita, L., De Nobili, M., Cesco, S. ve Mondini, C., 1996, Analysis of intercellular cadmium forms in roots and leaves of bush bean, *Journal of Plant Nutrition*, 19 (3-4), 527-533.

Lepp, N. W. ve Dickinson, N. M., 2002, Natural bioremediation of metal polluted soils–A case history from the UK, *4. WG2 Workshop, Risk Assessment and Sustainable Land Management Using Plants in Trace Element-Contaminated Soils*, Bordeaux, 119-122.

Lewin, V. H. ve Beckett, P. H. T., 1980, Monitoring heavy metal accumulation in agricultural soils treated with sewage sludge. Conclusion, *Effluent and Water Treatment Journal*, 20 (5), 217-221.

Li, Y., Zeng, J., Wang, S., Lin, Q., Ruan, D., Chi, H., Zheng, M., Chao, Y., Qiu, R. ve Yang, Y., 2020, Effects of cadmium-resistant plant growth-promoting rhizobacteria and *Funneliformis mosseae* on the cadmium tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.), *International Journal of Phytoremediation*, 22 (5), 451-458.

Li, Z. B. ve Shuman, L. M., 1996, Heavy metal movement in metal-contaminated soil profiles, *Soil Science*, 161 (10), 656-666.

Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T. ve Sager, M., 2008, Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au-Ag mine in Korea, *Journal of Geochemical Exploration*, 96 (2-3), 223-230.

Lim, J. H., Sabin, L. D., Schiff, K. C. ve Stolzenbach, K. D., 2006, Concentration, size distribution, and dry deposition rate of particle-associated metals in the Los Angeles region, *Atmospheric Environment*, 40 (40), 7810-7823.

Lin, H., Wang, Z., Liu, C. ve Dong, Y., 2022, Technologies for removing heavy metal from contaminated soils on farmland: A review, *Chemosphere*, 305, 135457.

Liu, D., Jiang, W., Wang, W., Zhao, F. ve Lu, C., 1994, Effects of lead on root growth, cell division, and nucleolus of *Allium cepa*, *Environmental Pollution*, 86 (1), 1-4.

Liu, D., Jiang, W. ve Gao, X., 2003, Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic, *Biologia Plantarum*, 47 (1), 79-83.

Liu, D., Li, T. Q., Jin, X. F., Yang, X. E., Islam, E. ve Mahmood, Q., 2008, Lead induced changes in the growth and antioxidant metabolism of the lead accumulating and non-accumulating ecotypes of *Sedum alfredii*, *Journal of İntegrative Plant Biology*, 50 (2), 129-140.

Liu, F., Ma, H., Peng, L., Du, Z., Ma, B. ve Liu, X., 2019, Effect of the inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on the photosynthetic characteristics of *Sambucus williamsii* Hance container seedlings under drought stress, *AMB Express*, 9 (1), 1-9.

Liu, F. C., Xing, S. J., Ma, H. L., Du, Z. Y. ve Ma, B. Y., 2013, Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings, *Applied Microbiology and biotechnology*, 97 (20), 9155-9164.

Liu, J., Zhang, J. R., Zhu, M. Y., Wan, H., Chen, Z. Y., Yang, N., Duan, J. W., Wei, Z. H., Hu, T. T. ve Liu, F. L., 2022, Effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) strain *Bacillus iicheniformis* with biochar amendment on potato growth and water use efficiency under reduced irrigation regime, *Agronomy*, 12 (5), 1031.

Liu, J. J., Wei, Z. ve Li, J. H., 2014, Effects of copper on leaf membrane structure and root activity of maize seedling, *Botanical Studies*, 55 (1), 1-6.

Liu, W. X., Wang, Q. L., Wang, B. B., Hou, J. Y., Luo, Y. M., Tang, C. X. ve Franks, A. E., 2015, Plant growth-promoting rhizobacteria enhance the growth and Cd uptake of *Sedum plumbizincicola* in a Cd-contaminated soil, *Journal of Soils and Sediments*, 15 (5), 1191-1199.

Lockwood, A. P. M., 1976, Effects of pollutants on aquatic organisms, *London, New York, and Melbourne*, Cambridge University Press, p. 186.

Logan, T. J. ve Cassler, D. E., 1988, Case study for correction of a widespread cadmium soil contamination problem using local funds, *22. Annual Conferance on Trace Substances Environmental Health*, Columbia, 337.

Loi, N. N., Sanzharova, N. I., Shchagina, N. I. ve Mironova, M. P., 2018, The effect of cadmium toxicity on the development of lettuce plants on contaminated sod-podzolic soil, *Russian Agricultural Sciences*, 44 (1), 49-52.

Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J. ve McGrath, S. P., 2000, Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*, *New Phytologist*, 145 (1), 11-20.

Lopez-Orenes, A., Dias, M. C., Ferrer, M. A., Calderon, A., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. ve Santos, C., 2018, Different mechanisms of the metalliferous *Zygophyllum fabago* shoots and roots to cope with Pb toxicity, *Environmental Science Pollution and Research*, 25 (2), 1319-1330.

Louekari, K., Mäkelä-Kurtto, R., Pasanen, J., Virtanen, V., Sippola, J. ve Malm, J., 2000, Cadmium in fertilizers. Risk to human health and the environment, *Helsinki*, Ministry of Agriculture and Forestry in Finland, p. 120.

Lu, Z., Zhang, Z., Su, Y., Liu, C. ve Shi, G., 2013, Cultivar variation in morphological response of peanut roots to cadmium stress and its relation to cadmium accumulation, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 91, 147-155.

Lunáčková, L., Šottníková, A., Masarovičová, E., Lux, A. ve Streško, V. J. B. P., 2003, Comparison of cadmium effect on willow and poplar in response to different cultivation conditions, *Biologia Plantarum*, 47 (3), 403-411.

Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D. ve Zhu, Y. G., 2009, An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China, *Journal of Environmental Management*, 90 (8), 2524-2530.

Lutts, S., Kinet, J. M. ve Bouharmont, J., 1996, NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Annals of Botany*, 78 (3), 389-398.

Lux, A., Vaculik, M., Martinka, M., Liskova, D., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A. ve Van Staden, J., 2011, Cadmium induces hypodermal periderm formation in the roots of the monocotyledonous medicinal plant *Merwilla plumbea*, *Annals of Botany*, 107 (2), 285-292.

Lux, W., Hintze, B. ve Piening, H., 1988, Heavy metals in the soils of Hamburg, In: Contaminated Soil'88, Eds: Wolf, K., Brink, W. J. ve J, C. F., *Dordrecht*: Kluwer Academic Publishers, p. 265-267.

Ma, W. C., 1996, Lead in mammals, In: Environmental contaminants in wildlife: interpreting tissue concentrations, Eds: Beyer, W. N., Heinz, G. H. ve Redmon-Norwood, A. W., *Boca Raton, London, New York, and Washington* Lewis Publishers, p. 281-296.

Maas, J. L., Galletta, G. J. ve Stoner, G. D., 1991, Ellagic acid, an anticarcinogen in fruits, especially in strawberries - A review, *HortScience*, 26 (1), 10-14.

Maas, J. L., Wang, S. Y. ve Galletta, G. J., 1996, Health enchancing properties of strawberry fruit, *IV. N. American Strawberry Conferance*, Orlando, 11-18.

Macfarlane, G. R. ve Burchett, M. D., 2001, Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., *Marine Pollution Bulletin*, 42 (3), 233-240.

Maclean, D. C. ve Schneider, R. E., 1981, Effects of gaseous-hydrogen fluoride on the yield of field-grown wheat, *Environmental Pollution Series A-Ecological and Biological*, 24 (1), 39-44.

Macnicol, R. D. ve Beckett, P. H. T., 1985, Critical tissue concentrations of potentially toxic elements, *Plant and Soil*, 85 (1), 107-129.

Madline, A., Benidire, L. ve Boularbah, A., 2021, Alleviation of salinity and metal stress using plant growth-promoting rhizobacteria isolated from semiarid Moroccan copper-mine soils, *Environmental Science Pollution and Research*, 28 (47), 67185-67202.

Madrid, L., Diaz-Barrientos, E., Ruiz-Cortes, E., Reinoso, R., Biasioli, M., Davidson, C. M., Duarte, A. C., Grcman, H., Hossack, I., Hursthouse, A. S., Kralj, T., Ljung, K., Otabbong, E., Rodrigues, S., Urquhart, G. J. ve Ajmone-Marsan, F., 2006, Variability in concentrations of potentially toxic elements in urban parks from six European cities, *Journal of Environmental Monitoring*, 8 (11), 1158-1165.

Maestri, E., Marmiroli, M., Visioli, G. ve Marmiroli, N., 2010, Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment, *Environmental and Experimental Botany*, 68 (1), 1-13.

Mahdavi, A. ve Khermandar, K., 2018, Potential of lead and cadmium accumulation in *Washingtonia filifera*, *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A-Science*, 42 (1), 273-282.

Mahohi, A. ve Raiesi, F., 2019, Functionally dissimilar soil organisms improve growth and Pb/Zn uptake by *Stachys inflata* grown in a calcareous soil highly polluted with mining activities, *Journal of Environmental Management*, 247, 780-789.

Mahohi, A. ve Raiesi, F., 2021, The performance of mycorrhizae, rhizobacteria, and earthworms to improve Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) growth and Pb uptake in a Pb-contaminated soil, *Environmental Science Pollution and Research*, 28 (3), 3019-3034.

Malan, H. L. ve Farrant, J. M., 1998, Effects of the metal pollutants cadmium and nickel on soybean seed development, *Seed Science Research*, 8 (4), 445-453.

Małecka, A., Piechalak, A., Morkunas, I. ve Tomaszewska, B., 2008, Accumulation of lead in root cells of *Pisum sativum*, *Acta Physiologiae Plantarum*, 30 (5), 629-637.

Małkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W. ve Kuperberg, J. M., 2002, Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium, *Plant Growth Regulation*, 37 (1), 69-76.

Malone, C., Koeppe, D. E. ve Miller, R. J., 1974, Localization of lead accumulated by corn plants, *Plant Physiology*, 53 (3), 388-394.

Manning, K., 1998, Genes for fruit quality in strawberry, In: Genetic and Environmental Manipulation of Horticultural Crops, Eds: Cockshull, K. E., Gray, D., Seymour, G. B. ve Thomas, B., *Wallingford*: CAB International, p. 51-61.

Martinelli, A., 1992, Micropropagation of strawberry (*Fragaria* spp.), In: High-Tech and Micropropagation II, Eds: Bajaj, Y. P. S., *Berlin*: Springer-Verlag, p. 354-370.

Matschullat, J., 2000, Arsenic in the geosphere-A review, *Science of the Total Environment*, 249 (1-3), 297-312.

McGrath, S. P. ve Loveland, P. J., 1992, The soil geochemical atlas of England and Wales, *Glasgow*, Blackie Academic and Professional, p. 101.

McLaughlin, M. J., Palmer, L. T., Tiller, K. G., Beech, T. A. ve Smart, M. K., 1994, Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers, *Journal of Environmental Quality*, 23 (5), 1013-1018.

Melo, G. J., Carvalho, F. B. ve Nogueira, M. L. S., 2006, Baseline levels for selected elements in soils under semi-arid condition, northeast of Brazil, *Geophysical Research Abstracts*, 8, 07331.

Mendoza-Cozatl, D. G., Butko, E., Springer, F., Torpey, J. W., Komives, E. A., Kehr, J. ve Schroeder, J. I., 2008, Identification of high levels of phytochelatins, glutathione and cadmium in the phloem sap of *Brassica napus*. A role for thiol-peptides in the long-distance transport of cadmium and the effect of cadmium on iron translocation, *The Plant Journal*, 54 (2), 249-259.

Mengel, K. ve Kirkby, E. A., 1982, Principles of plant nutrition, *Bern*, International Potash Institute, p. 593.

Mengel, K., 1984, Ernährung und stoffwechsel der pflanze, *Stutgart*, Gustav Fischer Verlag, p. 431.

Mertens, D., 2005, Metal in plants and pet foods, In: Official Methods of Analysis, Eds: Horwitz, W. ve W, L. G., 18th, *Gaitherburg*: AOAC, p. 3-4.

Meyers, D. E., Auchterlonie, G. J., Webb, R. I. ve Wood, B., 2008, Uptake and localisation of lead in the root system of *Brassica juncea*, *Environmental Pollution*, 153 (2), 323-332.

Miesch, A. T. ve Huffman, C., 1972, Abundance and distribution of lead, zinc, cadmium, and arsenic in soils (Soil contamination by metals in Helena Valley, Montana), *US EPA, Office of Air Programs*, 80.

Mishra, A. ve Choudhuri, M. A., 1998, Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants, *Biologia Plantarum*, 41 (3), 469-473.

Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D., Govindarajan, R., Kuriakose, S. V. ve Prasad, M. N., 2006, Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L., *Plant Physiology and Biochemistry*, 44 (1), 25-37.

Monaci, F. ve Bargagli, R., 1997, Barium and other trace metals as indicators of vehicle emissions, *Water Air and Soil Pollution*, 100 (1-2), 89-98.

Monteiro, M. S., Santos, C., Soares, A. M. ve Mann, R. M., 2009, Assessment of biomarkers of cadmium stress in lettuce, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72 (3), 811-818.

Moral, R., Gomez, I., Pedreno, J. N. ve Mataix, J., 1994, Effects of cadmium on nutrient distribution, yield, and growth of tomato grown in soilless culture, *Journal of Plant Nutrition*, 17 (6), 953-962.

Moral, R., Pedreno, J. N., Gomez, I., Palacios, G. ve Mataix, J., 1996, Tomato fruit yield and quality are affected by organic and inorganic fertilization and cadmium pollution, *Journal of Plant Nutrition*, 19 (12), 1493-1498.

Mori, S., Nishizawa, N., Hayashi, H., Chino, M., Yoshimura, E. ve Ishihara, J., 1991, Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency?, *Plant and Soil*, 130, 143-156.

Motuzova, G. ve Pershikova, B., 1999, Cadmium in the soils of the Primorye territory of Russia and its migration ability, *Proceedings of Symposium Cadmium in the Environment, Ecological and Analytical Problems*, Warsaw, 6.

Moustaine, M., Elkahkahi, R., Benbouazza, A., Benkirane, R. ve Achbani, E. H., 2017, Effect of plant growth-promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco, *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2 (2), 590-596.

Mukherjee, A. B., Mäkelä-Kurtto, R. ve Lodenius, M., 1999, Cadmium in Finland: A prospective assessment of sources, emissions and its cycle, with special emphasis on arable land,

Symposium on cadmium in the environment, Ecological and Analytical Problems, Warsaw, 4.

Mullen, M. D., Wolf, D. C., Ferris, F. G., Beveridge, T. J., Flemming, C. A. ve Bailey, G. W., 1989, Bacterial sorption of heavy metals, *Applied Environmental Microbiology*, 55 (12), 3143-3149.

Mumthas, S., Chidambaram, A. l. A., Sundaramoorthy, P. ve Ganesh, K. S., 2010, Effect of arsenic and manganese on root growth and cell division in root tip cells of green gram (*Vigna radiate* L.), *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22 (4), 285-297.

Muradoglu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H. Z. ve Zia-Ul-Haq, M., 2015, Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry, *Biological Research*, 48 (1), 11.

Muradoğlu, F., Encu, T., Gündoğdu, M. ve Canal, S. B., 2016, Influence of lead stress on growth, antioxidative enzyme activities and ion change in root and leaf of strawberry, *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (2), 623-632.

Nabulo, G., Origa, H. O., Nasinyama, G. W. ve Cole, D., 2008, Assessment of Zn, Cu, Pb and Ni contamination in wetland soils and plants in the Lake Victoria basin, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5 (1), 65-74.

Nakajima, A. ve Sakaguchi, T., 1986, Selective accumulation of heavy-metals by microorganisms, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 24 (1), 59-64.

Nakos, G., 1979, Fate of lead in the soil and its effects on *Pinus halepensis*, *Plant and Soil*, 53 (4), 427-443.

Nasirpour, N., Zamir, S. M. ve Shojaosadati, S. A., 2017, Immobilization techniques for microbial bioremediation of toxic metals, In: Handbook of Metal-Microbe Interactions and Bioremediation, Eds: Das, S. ve Dash, H. R., *Boca Raton, New York, and London*: CRC Press, p. 357-370.

Nawaz, S. ve Bano, A., 2020, Effects of PGPR (*Pseudomonas* sp.) and Ag-nanoparticles on enzymatic activity and physiology of cucumber, *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 11 (2), 124-136.

Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C. ve Chambers, B. J., 2003, An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales, *Science of the Total Environment*, 311 (1-3), 205-219.

Nies, D. H., 1999, Microbial heavy-metal resistance, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51 (6), 730-750.

Nies, D. H., 2003, Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes, *FEMS Microbiology Reviews*, 27 (2-3), 313-339.

Nishizono, H., Kubota, K., Suzuki, S. ve Ishii, F., 1989, Accumulation of heavy metals in cell walls of Polygonum cuspidatum roots from metalliferous habitats, *Plant and Cell Physiology*, 30 (4), 595-598.

Niyazova, G. A. ve Letunova, S. V., 1981, Microelements accumulation by soil microflora at the conditions of the Sumsarsky lead zinc biogeochemical province in Kirghizya, *Ekologiya*, 5, 89.

Norrish, K., 1975, Geochemistry and mineralogy of trace elements, In: Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, Eds: Nicholas, D. J. D. ve Egan, A. R., *New York*: Academic Press, p. 55-81.

Nriagu, J. O. ve Pacyna, J. M., 1988, Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333 (6169), 134-139.

Nziguheba, G. ve Smolders, E., 2008, Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries, *Science of the Total Environment*, 390 (1), 53-57.

Obroucheva, N., Ivanov, V., Sobotik, M., Bergmann, H., Antipova, O., Bystrova, E., Seregin, I. ve Shpigun, L., 2001, Lead effects on cereal roots in terms of cell growth, root architecture and metal accumulation, In: Recent Advances of Plant Root Structure and Function, Eds:

Gasparikova, O., Ciamporova, M., Mistrik, I. ve Baluska, F., *Dordrecht, Boston, and London*: Kluwer Academic Publishers, p. 165-170.

Oelschläger, W., 1972, Zusammensetzung staubförmiger kraftfahrzeug-emissionen und deren wirkung auf landwirtschaftliche nutztiere, *Staub Reinhaltung der Luft*, 32 (6), 243-248.

Oliva, S. R. ve Espinosa, A. J. F., 2007, Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources, *Microchemical Journal*, 86 (1), 131-139.

Olson, K. W. ve Skogerboe, R. K., 1975, Identification of soil lead compounds from automotive sources, *Environmental Science and Technology*, 9 (3), 227-230.

Opeolu, B. O., Adenuga, O. O., Ndakidemi, P. A. ve Olujimi, O. O., 2010, Assessment of phyto-toxicity potential of lead on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) planted on contaminated soils, *International Journal of the Physical Sciences*, 5 (2), 68-73.

Ormrod, D. P., 1978, Pollution in horticulture, *Amsterdam*, Elsevier, p. 260.

Ou, L. T., Jing, W. ve Thomas, J. E., 1995, Biological and chemical degradation of ionic ethyllead compounds in soil, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14 (4), 545-551.

Ouariti, O., Gouia, H. ve Ghorbal, M. H., 1997, Responses of bean and tomato plants to cadmium: Growth, mineral nutrition, and nitrate reduction, *Plant Physiology and Biochemistry*, 35 (5), 347-354.

Oyler, J. A., 1988, Remediation of metals-contaminated site near a zinc smelter using sludge/fly ash amendments: Herbaceous species, *22. Annual Conferance on Trace Substances Environmental Health*, Columbia, 307.

Özok, N., 2021, Bazı çilek çeşitlerinin Bursa ekolojik koşullarındaki morfolojik ve pomolojik özellikleri, *Uludag University Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 114.

Paasikallio, A., 1978, The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland, 2: The elements aluminium, boron, molybdenum, strontium, lead and nickel, *Acta Agriculturae Scandinavica*, 20, 40-52.

Pacyna, J. M. ve Pacyna, E. G., 2001, An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide, *Environmental Reviews*, 9 (4), 269-298.

Padmaja, K., Prasad, D. D. K. ve Prasad, A. R. K., 1990, Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate, *Photosynthetica*, 24 (3), 399-405.

Pagani, M. A., Tomas, M., Carrillo, J., Bofill, R., Capdevila, M., Atrian, S. ve Andreo, C. S., 2012, The response of the different soybean metallothionein isoforms to cadmium intoxication, *Journal of İnorganic Biochemistry*, 117, 306-315.

Päivöke, A. E. A., 2002, Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*, *Environmental and Experimental Botany*, 48 (1), 61-73.

Pal, A. K., Chakraborty, A. ve Sengupta, C., 2018, Differential effects of plant growth promoting rhizobacteria on chilli (*Capsicum annuum* L.) seedling under cadmium and lead stress, *Plant Science Today*, 5 (4), 182-190.

Pal, A. K., Mandal, S. ve Sengupta, C., 2019, Exploitation of IAA Producing PGPR on mustard (*Brassica nigra* L.) seedling growth under cadmium stress condition in comparison with exogenous IAA application, *Plant Science Today*, 6 (1), 22-30.

Pan, F., Meng, Q., Luo, S., Shen, J., Chen, B., Khan, K. Y., Japenga, J., Ma, X., Yang, X. ve Feng, Y., 2017, Enhanced Cd extraction of oilseed rape (*Brassica napus*) by plant growth-promoting bacteria isolated from Cd hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance, *International Journal of Phytoremediation*, 19 (3), 281-289.

Pan, Y., Bonten, L. T. C., Koopmans, G. F., Song, J., Luo, Y., Temminghoff, E. J. M. ve Comans, R. N. J., 2016, Solubility of trace metals in two contaminated paddy soils exposed to alternating flooding and drainage, *Geoderma*, 261, 59-69.

Pavlíková, D., Pavlík, M., Száková, J., Vasickova, S., Tlustos, P. ve Balík, J., 2002a, The effect of Cd and Zn contents in plants on Fe binding into organic substances of spinach biomass, *Rostlinna Vyroba*, 48 (12), 531-535.

Pavlíková, D., Pavlík, M., Vašíčková, S., Száková, J., Tlustoš, P., Vokáč, K. ve Balík, J., 2002b, The effect of soil properties on cadmium bonds to organic substances of spinach biomass, *Applied Organometallic Chemistry*, 16 (4), 187-191.

Pehlivan, E., 2016, Trabzon - Giresun arasındaki fındık bahçelerinin beslenme durumu ve bazı ağır metallerin birikiminin tespiti, *Atatürk Üniversitesi*, Erzurum, 71.

Pereira, F. J., de Castro, E. M., de Oliveira, C., Pires, M. F., Pereira, M. P., Ramos, S. J. ve Faquin, V., 2014, Lead tolerance of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart. - *Pontederiaceae*) as defined by anatomical and physiological traits, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86 (3), 1423-1433.

Pereira, M. P., Rodrigues, L. C. D., Correa, F. F., de Castro, E. M., Ribeiro, V. E. ve Pereira, F. J., 2016, Cadmium tolerance in *Schinus molle* trees is modulated by enhanced leaf anatomy and photosynthesis, *Trees-Structure and Function*, 30 (3), 807-814.

Perelomov, L. ve Kandeler, E., 2006, Effect of soil microorganisms on the sorption of zinc and lead compounds by goethite, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169 (1), 95-100.

Pérez, A. G., Rios, J. J., Sanz, C. ve Olias, J. M., 1992, Aroma components and free amino acids in strawberry variety Chandler during ripening, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 (11), 2232-2235.

Pérez, A. G., Olías, R., Sanz, C. ve Olías, J. M., 1996, Furanones in strawberries: Evolution during ripening and postharvest shelf life, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (11), 3620-3624.

Pérez, A. G., Sanz, C., Olias, R., Rios, J. J. ve Olias, J. M., 1997, Aroma quality evaluation of strawberry cultivars in Southern Spain, *III International Strawberry Symposium,*, Veldhoven, 337-340.

Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A. ve Forestier, C., 2002, Heavy metal toxicity: Cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status, *The Plant Journal*, 32 (4), 539-548.

Perreault, F., Dionne, J., Didur, O., Juneau, P. ve Popovic, R., 2011, Effect of cadmium on photosystem II activity in *Chlamydomonas reinhardtii*: Alteration of O-J-I-P fluorescence transients indicating the change of apparent activation energies within photosystem II, *Photosynthesis research*, 107 (2), 151-157.

Peters, W. C., 1987, Exploration and mining geology, *New York*, Wiley, p. 706.

Petrov, I. I. ve Tsalev, D. L., 1979, Atomic absorption methods for determination of soil arsenic based on arsine generation, *Pochvozn Agrokhim*, 14, 20-25.

Photos, E., 1989, The question of meteoritic versus smelted nickel-rich iron - Archaeological evidence and experimental results, *World Archaeology*, 20 (3), 403-421.

Pidlisnyuk, V., Mamirova, A., Pranaw, K., Shapoval, P. Y., Trogl, J. ve Nurzhanova, A., 2020, Potential role of plant growth-promoting bacteria in *Miscanthus x giganteus* phytotechnology applied to the trace elements contaminated soils, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 155, 11.

Piechalak, A., Tomaszewska, B., Baralkiewicz, D. ve Malecka, A., 2002, Accumulation and detoxification of lead ions in legumes, *Phytochemistry*, 60 (2), 153-162.

Pietuchova, N. N., Fedenya, V. M. ve Matveyeva, V. I., 1996, Assessment of soil heavy metal contamination of soils of Balarus, *Prirodnye Resursy*, 1, 20.

Pii, Y., Graf, H., Valentinuzzi, F., Cesco, S. ve Mimmo, T., 2018, The effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the growth and quality of strawberries, *VIII International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops,*, Bolzano, 231-238.

Pinto, A. P., Mota, A. M., de Varennes, A. ve Pinto, F. C., 2004, Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants, *Science of the Total Environment*, 326 (1-3), 239-247.

Pinto, E., Sigaud-kutner, T. C. S., Leitao, M. A. S., Okamoto, O. K., Morse, D. ve Colepicolo, P., 2003, Heavy metal–induced oxidative stress in algae[1], *Journal of phycology*, 39 (6), 1008-1018.

Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Zylkiewicz, B., Czerpak, R. ve Kaminska, M., 2009, Jasmonic acid as modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (*Lemnaceae*), *Environmental and Experimental Botany*, 66 (3), 507-513.

Pirrone, N. ve Mason, R., 2009, Mercury fate and transport in the global atmosphere, *Dordrecht*, Springer, p. 637.

Pishchik, V. N., Vorobyev, N. I., Chernyaeva, I. I., Timofeeva, S. V., Kozhemyakov, A. P., Alexeev, Y. V. ve Lukin, S. M., 2002, Experimental and mathematical simulation of plant growth-promoting rhizobacteria and plant interaction under cadmium stress, *Plant and Soil*, 243 (2), 173-186.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. ve Janda, T., 2009, Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings, *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 (3), 224-231.

Porrini, C., Sabatini, A. G., Girotti, S., Fini, F., Monaco, L., Celli, G., Bortolotti, L. ve Ghini, S., 2003, The death of honey bees and environmental pollution by pesticides: The honey bees as biological indicators, *Bulletin of İnsectology*, 56 (1), 147-152.

Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P. ve Pinelli, E., 2011, Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 213, 113-136.

Prapagdee, B., Chumphonwong, N., Khonsue, N. ve Mongkolsuk, S., 2012, Influence of cadmium resistant bacteria on promoting plant root elongation and increasing cadmium mobilization in contaminated soil, *Fresenius Environmental Bulletin*, 21 (5), 1186-1191.

Prapagdee, B., Chanprasert, M. ve Mongkolsuk, S., 2013, Bioaugmentation with cadmium-resistant plant growth-promoting rhizobacteria to assist cadmium phytoextraction by Helianthus annuus, *Chemosphere*, 92 (6), 659-666.

Prasad, M. N. V., 1995, Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants, *Environmental and Experimental Botany*, 35 (4), 525-545.

Prasad, M. N. V. ve Strzałka, K., 1999, Impact of heavy metals on photosynthesis, In: Heavy Metal Stress in Plants, Eds: Prasad, M. N. V. ve Hagemeyer, J., *Berlin*: Springer, p. 117-138.

Preciado, H. F., Li, L. Y. ve Weis, D., 2007, Investigation of past and present multi-metal input along two highways of British Columbia, Canada, using lead isotopic signatures, *Water Air and Soil Pollution*, 184 (1-4), 127-139.

Punz, W. F. ve Sieghardt, H., 1993, The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals, *Environmental and Experimental Botany*, 33 (1), 85-98.

Purves, D., 1977, The contamination of soil and food crops by toxic elements normally found in municipal wastewaters and their consequences for human health, In: Wastewater Renovation and Reuse, Eds: D'Itri, F. M., *New York*: Marcel Dekker, p. 257.

Puxbaum, H. ve Limbeck, A., 2004, Chemical compounds in the atmosphere, In: Elements and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance, Eds: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. ve Stoeppler, M., *Weinheim*: Wiley-VCH, p. 17-46.

Pyysalo, T., Honkanen, E. ve Hirvi, T., 1979, Volatiles of wild strawberries, *Fragaria vesca* L., compared to those of cultivated berries, *Fragaria x ananassa* cv. Senga Sengana, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27 (1), 19-22.

Qiu, Q., Wang, Y., Yang, Z. ve Yuan, J., 2011, Effects of phosphorus supplied in soil on subcellular distribution and chemical forms of cadmium in two Chinese flowering cabbage (*Brassica parachinensis* L.) cultivars differing in cadmium accumulation, *Food and Chemical Toxicology*, 49 (9), 2260-2267.

Raj, S. N., Deepak, S. A., Basavaraju, P., Shetty, H. S., Reddy, M. S. ve Kloepper, J. W., 2003, Comparative performance of formulations of plant growth-promoting rhizobacteria in growth promotion and suppression of downy mildew in pearl millet, *Crop Protection*, 22 (4), 579-588.

Rajkumar, M. ve Freitas, H., 2008, Influence of metal resistant-plant growth-promoting bacteria on the growth of Ricinus communis in soil contaminated with heavy metals, *Chemosphere*, 71 (5), 834-842.

Rakic, T., Pesic, M., Kostic, N., Andrejic, G., Fira, D., Dzeletovic, Z., Stankovic, S. ve Lozo, J., 2021, Rhizobacteria associated with *Miscanthus x giganteus* improve metal accumulation and plant growth in the flotation tailings, *Plant and Soil*, 462 (1-2), 349-363.

Ramade, F., 1987, Ecotoxicology, *Chichester, New York, Brisbane*, John Wiley and Sons, p. 262.

Ramos-Peralonso, M. J., 2014, European food safety authority (EFSA) scientific opinion on dietary reference values for iodine, *EFSA Journal*, 12, 1-57.

Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J. J. ve Gárate, A. n., 2002, Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd–Mn interaction, *Plant Science*, 162 (5), 761-767.

Ranwala, A. P., Suematsu, C. ve Masuda, H., 1992, Soluble and wall-bound invertases in strawberry fruit, *Plant Science*, 84 (1), 59-64.

Rao, H. J., King, P. ve Kumar, Y. P., 2016, Experimental investigation and statistical modeling of the cadmium adsorption in aqueous solution using activated carbon from waste rubber tire, *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (45), 1-13.

Rascio, N., Dallavecchia, F., Ferretti, M., Merlo, L. ve Ghisi, R., 1993, Some effects of cadmium on maize plants, *Archives of environmental contamination and toxicology*, 25 (2), 244-249.

Raza Altaf, A., Teng, H., Saleem, M., Raza Ahmad, H., Adil, M. ve Shahzad, K., 2020, Associative interplay of *Pseudomonas gessardii* BLP141 and pressmud ameliorated growth, physiology, yield, and Pb-toxicity in sunflower, *Bioremediation Journal*, 25 (2), 178-188.

Rehman, B., Ul Hassan, T. ve Bano, A., 2019, Potential of indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria to resist Pb toxicity in polluted soil, *Soil and Sediment Contamination*, 28 (1), 101-121.

Rehman, F., Khan, F. A., Varshney, D., Naushin, F. ve Rastogi, J., 2011, Effect of cadmium on the growth of tomato, *Biological Medicine*, 3 (2), 187-190.

Reimann, C. ve De Caritat, P., 1998, Chemical elements in the environment, *Berlin*, Springer-Verlag, p. 398.

Reimann, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Giucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V. K., Matinian, N. N. ve Pasieczna, A., 2003, Agricultural soils in Northern Europe, *Stuttgart*, Schweizerbart, p. 279.

Reimann, C., Ottesen, R. T., Andersson, M., Arnoldussen, A., Koller, F. ve Englmaier, P., 2008, Element levels in birch and spruce wood ashes—green energy?, *Science of the Total Environment*, 393 (2-3), 191-197.

Ressar, H. ve Ohlsson, S. A., 1985, Geochemical mapping, *Sveriges Gelogiska Undersökning, Report 42*, *Uppsala*, 49.

Rether, A., 2002, Entwicklung und charakterisierung wasserlöslicher benzoyl thioharnstoff funktionalisierter polymere zur selektiven abtrennung von cchwermetallionen aus abwässern und prozesslösungen *Munchen Tecnical University*, Munchen, 202.

Riffaldi, R., Levi-Minzi, R. ve Soldatini, G. E., 1976, Pb absorption by soils, *Water, Air and Soil Pollution*, 6, 119-128.

Rivetta, A., Negrini, N. ve Cocucci, M., 1997, Involvement of Ca^{2+}-calmodulin in Cd^{2+} toxicity during the early phases of radish (*Raphanus sativus* L.) seed germination, *Plant, Cell and Environment*, 20 (5), 600-608.

Roberts, R. D., Johnson, M. S. ve Firth, J. N. M., 1979, Predator-prey relationships in the food-chain transfer of heavy metals, *Trace Substances in Environmental Health*, Columbia, 104-114.

Roberts, T. M., Gizyn, W. ve Hutchinson, T. C., 1974, Lead contamination of air, soil, vegetation and people in the vicinity of secondary lead smelters, *8. Annual Conferance on Trace Substances Environmental Health*, Columbia, 155-166.

Rodda, M. S., Li, G. ve Reid, R. J., 2011, The timing of grain Cd accumulation in rice plants: The relative importance of remobilisation within the plant and root Cd uptake post-flowering, *Plant and Soil*, 347, 105-114.

Rojjanateeranaj, P., Sangthong, C. ve Prapagdee, B., 2017, Enhanced cadmium phytoremediation of *Glycine max* L. through bioaugmentation of cadmium-resistant bacteria assisted by biostimulation, *Chemosphere*, 185, 764-771.

Romanowska, E., Igamberdiev, A. U., Parys, E. ve Gardestrom, P., 2002, Stimulation of respiration by Pb^{2+} in detached leaves and mitochondria of C3 and C4 plants, *Physiology of Plants*, 116 (2), 148-154.

Root, R. A., Miller, R. J. ve Koeppe, D. E., 1975, Uptake of cadmium-its toxicity, and effect on the iron ratio in hydroponically grown corn, *Journal of environmental quality*, 4 (4), 473-476.

Roques, A., Kerjean, M. ve Auclair, D., 1980, Effets de la pollution atmospherique par le fluor et le dioxyde de soufre sur l'appareil reproducteur femelle de *Pinus silvestris* en foret de roumare (Seine-Maritime, France), *Environmental Pollution Series A-Ecological and Biological*, 21 (3), 191-201.

Rose, A. W., Hawkes, H. E. ve Webb, J. S., 1979, Geochemistry in mineral exploration, *London*, Academic Press, p. 467.

Ross, R. G. ve Stewart, D. K. R., 1969, Cadmium residues in apple fruit and foliage following a cover spray of cadmium chloride, *Canadian Journal of Plant Science*, 49 (1), 49-52.

Ross, S. M., Wood, M. D., Copplestone, D., Warriner, M. ve Crook, P., 2007, UK soil and herbage pollutant survey: Environmental concentrations of heavy metals in UK soil and herbage, *Environment Agency Report No. 7*, *Bristol*.

Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A. ve Rahmani, A., 2016, The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and physiological characteristics of *Corylus avellana* seedlings, *Ecopersia*, 4 (3), 1471-1479.

Rovinskiy, F. J., Kolockov, I. A., Czephanov, J. P., Voroncov, A. I., Pastukhov, B. ve Rusina, E. N., 1979, Background studies within complex monitoring of environmental pollution, In: Problemy Ekologiczeskovo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosystem, Eds: Igolkina, E. D., *Leningrad*: Gidrometeoizdat, p. 134.

Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M. C., DeZonia, B. E., Walter, A. E., Arena, E. T. ve Eliceiri, K. W., 2017, ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data, *BMC Bioinformatics*, 18, 529.

Ruhling, A., 1968, An ecological approach to the lead problem, *Botanika Notiser*, 121, 321-342.

Rühling, Å. ve Tyler, G., 2004, Changes in the atmospheric deposition of minor and rare elements between 1975 and 2000 in south Sweden, as measured by moss analysis, *Environmental Pollution*, 131 (3), 417-423.

Salisbury, E. J., 1928, On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Science*, 216 (431-439), 1-65.

Salminen, R., 2005, Foregs geochemical atlas of Europe [online], EuroGeoSurveys, http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php: [Ziyaret Tarihi: 24 Eylül 2022].

Salt, D. E., Prince, R. C., Pickering, I. J. ve Raskin, I., 1995, Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard, *Plant Physiology*, 109 (4), 1427-1433.

Salt, D. E. ve Rauser, W. E., 1995, MgATP-dependent transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots, *Plant Physiology*, 107 (4), 1293-1301.

Salt, D. E., Pickering, I. J., Prince, R. C., Gleba, D., Dushenkov, S., Smith, R. D. ve Raskin, I., 1997, Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard, *Environmental Science and Technology*, 31 (6), 1636-1644.

Samuelson, P., Wernerus, H., Svedberg, M. ve Stahl, S., 2000, Staphylococcal surface display of metal-binding polyhistidyl peptides, *Applied Environmental Microbiology*, 66 (3), 1243-1248.

Sanchez, F. J., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. ve Ayerbe, L., 2004, Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86 (1), 81-90.

Sanità di Toppi, L. S. ve Gabbrielli, R., 1999, Response to cadmium in higher plants, *Environmental and Experimental Botany*, 41 (2), 105-130.

Santos, M. P., Martinez, S. J., Yarte, M. E., Carletti, S. M. ve Larraburu, E. E., 2022, Effect of *Azospirillum brasilense* on the in vitro germination of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Schinn. (*Gentianaceae*), *Scientia Horticulturae*, 299, 111041.

Sanz, C., Perez, A. G. ve Richardson, D. G., 1994, Simultaneous HPLC determination of 2,5-Dimethyl-4-Hydroxy-3 (2h)-furanone and related flavor compounds in strawberries, *Journal of Food Science*, 59 (1), 139-141.

Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P. ve Samiyappan, R., 2011, Plant growth-promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants, *Acta Physiologiae Plantarum*, 33 (1), 203-209.

Sarma, M., Handique, G. K. ve Handique, A. K., 2006, Toxic heavy metal stress in paddy: Metal accumulation profile and development of a novel stress protein in seed, *Indian Journal of Plant Physiology*, 11 (3), 227-233.

Satarug, S., Garrett, S. H., Sens, M. A. ve Sens, D. A., 2010, Cadmium, environmental exposure, and health outcomes, *Environmental Health Perspectives*, 118 (2), 182-190.

Schalscha, E. B., Morales, M. ve Pratt, P. F., 1987, Lead and molybdenum in soils and forage near an atmospheric source, *Journal of Environmental Quality*, 16 (4), 313-315.

Scheffer, K., Stach, W. ve Vardakis, F., 1979, Uber die verteilung der schwermetalle eisen, mangan, kupfer und zink in sommergerstenpflanzen-2, *Landwirtschaftliche Forschung*, 32 (3), 326-334.

Schutzendubel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Heyser, R., Godbold, D. L. ve Polle, A., 2001, Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in Scots pine roots, *Plant Physiology*, 127 (3), 887-898.

Scokart, P. O., Meeusverdinne, K. ve Deborger, R., 1983, Mobility of heavy-metals in polluted soils near zinc smelters, *Water Air and Soil Pollution*, 20 (4), 451-463.

Searles, P. S., Saravia, D. A. ve Rousseaux, M. C., 2009, Root length density and soil water distribution in drip-irrigated olive orchards in Argentina under arid conditions, *Crop and Pasture Science*, 60 (3), 280-288.

Seema, K., Mehta, K. ve Singh, N., 2018, Studies on the effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, physiological parameters, yield and fruit quality of strawberry cv. chandler, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (2), 383-387.

Sen, S. ve Chandrasekhar, C. N., 2014, Effect of PGPR on growth promotion of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress, *Asian Journal of Plant Science and Research*, 4 (5), 62-67.

Seregin, I. V. ve Ivanov, V. B., 2001, Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants, *Russian Journal of Plant Physiology*, 48 (4), 523-544.

Seregin, I. V., Shpigun, L. K. ve Ivanov, V. B., 2004, Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots, *Russian Journal of Plant Physiology*, 51, 525-533.

Sereno, M. L., Almeida, R. S., Nishimura, D. S. ve Figueira, A., 2007, Response of sugarcane to increasing concentrations of copper and cadmium and expression of metallothionein genes, *Journal of Plant Physiology*, 164 (11), 1499-1515.

Shabaan, M., Asghar, H. N., Akhtar, M. J., Ali, Q. ve Ejaz, M., 2021, Role of plant growth-promoting rhizobacteria in the alleviation of lead toxicity to *Pisum sativum* L., *International Journal of Phytoremediation*, 23 (8), 837-845.

Shacklette, H. T., Boerngen, J. G., Cahill, J. P. ve Rahill, R. L., 1973, Lithium in surficial materials of the conterminous US and partial data on cadmium, *US Geological Service*, *Reston*.

Shacklette, H. T., Erdman, J. A., Harms, T. F. ve Papp, C. S. E., 1978, Trace elements in plant foods, In: Toxicity of Heavy Metals in The Environment, Part I, Eds: Frederick, W. O., *New York and Basel*: Marcel Dekker, p. 25-43.

Shah, F. R., Ahmad, N., Masood, K. R., Zahid, D. M. ve Zubair, M., 2011, Response of *Eucalyptus camaldulensis* to exogenous application of cadmium and chromium, *Pakistan Journal of Botany*, 43 (1), 181-189.

Shamaila, M., Baumann, T. E., Eaton, G. W., Powrie, W. D. ve Skura, B. J., 1992, Quality attributes of strawberry cultivars grown in British-Columbia, *Journal of Food Science*, 57 (3), 696-&.

Sharafzadeh, S., 2012, Effects of PGPR on growth and nutrients uptake of tomato, *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2 (1), 27-31.

Sharma, P. ve Dubey, R. S., 2005, Lead toxicity in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), 35-52.

Shaw, J., 1989, Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects, *Boca Raton*, CRC press, p. 187.

Shen, M., Jun Kang, Y., Li Wang, H., Sheng Zhang, X. ve Xin Zhao, Q., 2012, Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPRs) on plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under simulated seawater irrigation, *The Journal of General and Applied Microbiology*, 58 (4), 253-262.

Sheng, X. F. ve Xia, J. J., 2006, Improvement of rape (*Brassica napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria, *Chemosphere*, 64 (6), 1036-1042.

Sheoran, I. S., Singal, H. R. ve Singh, R., 1990, Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.), *Photosynthesis Research*, 23 (3), 345-351.

Shi, G. R. ve Cai, Q. S., 2009, Leaf plasticity in peanut (*Arachis hypogaea* L.) in response to heavy metal stress, *Environmental and Experimental Botany*, 67 (1), 112-117.

Shotyk, W., Norton, S. A. ve Farmer, J. G., 1996, Peat bogs reveal history of atmospheric deposition of lead and other metals, *EOS,*, 77 (50), 507-507.

Siedlecka, A. ve Krupa, Z., 1999, Cd/Fe interaction in higher plants - Its consequences for the photosynthetic apparatus, *Photosynthetica*, 36 (3), 321-331.

Sikora, L. J., Chaney, R. L., Frankos, N. H. ve Murray, C. M., 1980, Metal uptake by crops grown over entrenched sewage sludge, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 28 (6), 1281-1285.

Sillanpää, M. ve Jansson, H., 1992, Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries, 65, *Rome*, FAO Soil Bulletein, p. 195.

Silver, S. ve Phung, L. T., 1996, Bacterial heavy metal resistance: New surprises, *Annual Review of Microbiology*, 50 (1), 753-789.

Simon, E., 1977, Cadmium tolerance in populations of *Agrostis tenuis* and *Festuca ovina*, *Nature*, 265 (5592), 328-330.

Sinha, S. ve Mukherjee, S. K., 2008, Cadmium-induced siderophore production by a high Cd-resistant bacterial strain relieved Cd toxicity in plants through root colonization, *Current Microbiology*, 56 (1), 55-60.

Sinhal, V. K., Srivastava, A. ve Singh, V. P., 2010, EDTA and citric acid mediated phytoextraction of Zn, Cu, Pb and Cd through marigold (*Tagetes erecta*), *Journal of Environmental Biology*, 31 (3), 255-259.

Sipos, P., Nemeth, T. ve Mohai, I., 2005, Distribution and possible immobilization of lead in a forest soil (Luvisol) profile, *Environmental Geochemistry and Health*, 27 (1), 1-10.

Skiba, S., 1993, Heavy metals in the soils of Sorkapp land, Southwest Spitsbergen, and Svalbard, *International Symposium on the Ecological Effects of Arctic Airborne Contaminants*, Reykjavik, 110-110.

Smeets, K., Cuypers, A., Lambrechts, A., Semane, B., Hoet, P., Van Laere, A. ve Vangronsveld, J., 2005, Induction of oxidative stress and antioxidative mechanisms in *Phaseolus vulgaris* after Cd application, *Plant Physiology and Biochemistry*, 43 (5), 437-444.

Smolders, E. ve Degryse, F., 2006, Fixation of cadmium and zinc in soils: Implications for risk assessment, In: Natual Attenuation of Trace Element Availability in Soils, Eds: Hamon, R., McLaughin, M. ve Lombi, E., *Boca Raton*: Taylor and Francis, p. 157–171.

Sommer, A. L. ve Lipman, C. B., 1926, Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants, *Plant physiology*, 1 (3), 231-249.

Sommer, A. L., 1931, Copper as an essential for plant growth, *Plant physiology*, 6 (2), 339-345.

Souguir, D., Ferjani, E., Ledoigt, G. ve Goupil, P., 2011, Sequential effects of cadmium on genotoxicity and lipoperoxidation in *Vicia faba* roots, *Ecotoxicology*, 20 (2), 329-336.

Sresty, T. V. S. ve Rao, K. V. M., 1999, Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea, *Environmental and Experimental Botany*, 41 (1), 3-13.

Steinnes, E. ve Friedland, A. J., 2006, Metal contamination of natural surface soils from long-range atmospheric transport: Existing and missing knowledge, *Environmental Reviews*, 14 (3), 169-186.

Stekar, J. ve Pen, A., 1980, Sodium, zinc and manganese contents in grassland feed, *Agrohemija*, 1, 7-15.

Stenström, T. ve Vahter, M., 1974, Cadmium and lead in Swedish commercial fertilizers, *Ambio*, 3 (2), 91-92.

Stigliani, W. M., 1995, Global perspectives and risk assessment, In: Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments, Eds: Salomons, W. ve Stigliani, W. M., *Berlin*: Springer, p. 331-343.

Stobart, A. K., Griffiths, W. T., Ameen-Bukhari, I. ve Sherwood, R. P., 1985, The effect of Cd^{2+} on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley, *Physiologia Plantarum*, 63 (3), 293-298.

Stosser, R., Rasmussen, H. P. ve Bukovac, M. J., 1969, Histochemical changes in the developing abscission layer in fruits of *Prunus cerasus* L., *Planta*, 86 (2), 151-164.

Stuart, J., Nicholson, F., Rollett, A., Chambers, B., Gleadthorpe, A. ve Vale, M., 2010, Agricultural soil heavy metal inventory, *Defra Project SP0569 2008 Report 3*, *London*, 66.

Suryanti, S. ve Umami, A., 2020, Stomata dan trikoma kultivar kedelai anjasmoro selama pemupukan nanosilika dan plant growth promoting rhizobacteria, *Vegetalika*, 9 (1), 343-349.

Swaine, D. J., 1955, The trace element content of soils, *York*, Herald Printing, p. 151.

Szomolányi, A. ve Lehoczky, É., 2002, Study on the Cd uptake by lettuce plants in liming experiment, *Acta Biologica Szegediensis*, 46 (3-4), 123-124.

Şahin, M., Pırlak, L., Eşitken, A. ve Deveci, F. N., 2017, The effects of cadmium doses on plant characteristics of CAB-6P (*Prunus cerasus* L.), *III. International Conferance on Enviromental Science and Technology*, Budapest, 7-14.

Şahin, M., Eşitken, A., Pırlak, L., Altıntaş, S. ve Turan, M., 2019, Effect of DN1 bacterial strain applied by different methods on some morphological characteristics of strawberry cv. San Andreas (*Fragaria x ananassa* Duch.), *AGROFOR International Journal*, 4 (1), 57-64.

Tahiri, A.-i., Meddich, A., Raklami, A., Alahmad, A., Bechtaoui, N., Anli, M., Göttfert, M., Heulin, T., Achouak, W. ve Oufdou, K., 2022, Assessing the potential role of compost, PGPR, and AMF in improving tomato plant growth, yield, fruit quality, and water stress tolerance, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22 (1), 743-764.

Taiz, L. ve Zeiger, E., 2003, Mineral nutrition, In: Plant Physiology and Development, Eds: Taiz, L. ve Zeiger, E., 6, *Sunderland*: Sinauer Associates, p. 67-86.

Takahashi, T., Kushizaki, M. ve Ogata, T., 1977, Mineral composition of Japanese grassland under heavy use of fertilizers: A review of recent two cooperative works, *International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*, Tokyo, 118.

Tanaka, K., Fujimaki, S., Fujiwara, T., Yoneyama, T. ve Hayashi, H., 2007, Quantitative estimation of the contribution of the phloem in cadmium transport to grains in rice plants (*Oryza sativa* L.), *Soil Science and Plant Nutrition*, 53 (1), 72-77.

Tanwir, K., Javed, M. T., Abbas, S., Shahid, M., Akram, M. S., Chaudhary, H. J. ve Iqbal, M., 2021, *Serratia* sp. CP-13 alleviates Cd toxicity by morpho-physio-biochemical improvements, antioxidative potential and diminished Cd uptake in *Zea mays* L. cultivars differing in Cd tolerance, *Ecotoxicology Environmental Safety*, 208, 111584.

Terelak, H., Stuczynski, T. ve Piotrowska, M., 1997, Heavy metals in agricultural soils in Poland, *Polish Journal of Soil Science*, 30 (2), 35-42.

Tester, M. ve Leigh, R. A., 2001, Partitioning of nutrient transport processes in roots, *Journal of Experimental Botany*, 52 (suppl_1), 445-457.

Tlustos, P., Balik, J., Szakova, J. ve Pavlikova, D., 1998, The accumulation of arsenic in radish biomass when different forms of As were applied in the soil, *Rostlinna Vyroba*, 44 (1), 7-13.

Tornabene, T. G. ve Edwards, H. W., 1972, Microbial uptake of lead, *Science*, 176 (4041), 1334-1335.

Tran, T. A., Vassileva, V., Petrov, P. ve Popova, L. P., 2013, Cadmium-induced structural disturbances in *Pisum sativum* leaves are alleviated by nitric oxide, *Turkish Journal of Botany*, 37 (4), 698-707.

Treder, W. ve Cieslinski, G., 2005, Effect of silicon application on cadmium uptake and distribution in strawberry plants grown on contaminated soils, *Journal of Plant Nutrition*, 28 (6), 917-929.

TRI96, 1998, Toxic chemical release inventory, *Bethesda National Library of Medicine*, *Bethesda*.

Tripathi, D. K., Singh, V. P., Kumar, D. ve Chauhan, D. K., 2012, Rice seedlings under cadmium stress: Effect of silicon on growth, cadmium uptake, oxidative stress, antioxidant capacity and root and leaf structures, *Chemistry and Ecology*, 28 (3), 281-291.

Tripathi, M., Munot, H. P., Shouche, Y., Meyer, J. M. ve Goel, R., 2005, Isolation and functional characterization of siderophore-producing lead- and cadmium-resistant *Pseudomonas putida* KNP9, *Current Microbiology*, 50 (5), 233-237.

Troyer, L., Olson, B. H., Hill, D. C., Thornton, I. ve Matthews, I., 1980, Assessment of metal availability in soil through the evaluation of bacterial metal resistance, *Trace Substances in Environmental Health- IV*, Columbia, 129-141.

Tsukada, H., Shibata, H. ve Sugiyama, H., 1998, Transfer of radiocaesium and stable caesium from substrata to mushrooms in a pine forest in Rokkasho-mura, Aomori, Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 39 (2), 149-160.

Tung, G. ve Temple, P. J., 1996, Uptake and localization of lead in corn (*Zea mays* L.) seedlings, a study by histochemical and electron microscopy, *Science of the Total Environment*, 188 (2-3), 71-85.

Turan, M., Gulluce, M. ve Sahin, F., 2012, Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on yield, growth, and some physiological characteristics of wheat and barley plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43 (12), 1658-1673.

Turnau, K., Kottke, I. ve Oberwinkler, F., 1993, *Paxillus involutus* and *Pinus sylvestris* mycorrhizae from heavily polluted forest. I. Element localization using electron energy loss spectroscopy and imaging, *Botanica Acta*, 106 (3), 213-219.

TÜİK, 2022a, Yıllara göre Türkiye'nin çilek üretim miktarları [online], Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr: [Ziyaret Tarihi: 25 Ağustos 2022].

TÜİK, 2022b, Yıllara göre Türkiye'nin çilek ihracat miktarları ve parasal değeri [online], Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, https://iz.tuik.gov.tr/#/showcase/SC-2851FY777F34D2R?token=8d79727fff862a891ce574d27220bfebbf66fecd: [Ziyaret Tarihi: 25 Ağustos 2022].

Tyler, G., 1975, Effect of heavy metal pollution on decomposition in forest soil, SNV/PM, *Lund*, Lund University, p. 47.

Tyler, G., 1976, Heavy metal pollution, phosphatase activity, and mineralization of organic phosphorus in forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 8 (4), 327-332.

Tyler, G., 1981, Leaching of metals from the a horizon of a spruce forest soil, *Water Air and Soil Pollution*, 15 (3), 353-369.

Tyler, G., Pahlsson, A. M. B., Bengtsson, G., Baath, E. ve Tranvik, L., 1989, Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates - A review, *Water Air and Soil Pollution*, 47 (3-4), 189-215.

Umínska, R., 1988, Assessment of hazardous levels of trace elements to health in contaminated soils of Poland, *Warsaw*, Intitute Medycyny Wsi, p. 188.

Uraguchi, S., Kamiya, T., Sakamoto, T., Kasai, K., Sato, Y., Nagamura, Y., Yoshida, A., Kyozuka, J., Ishikawa, S. ve Fujiwara, T., 2011, Low-affinity cation transporter (OsLCT1) regulates cadmium transport into rice grains, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (52), 20959-20964.

US-EPA, 1999, Background report on fertilizer use, contamination and regulations, *US EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics EPA-747-R-98-003*, *Washington*.

USDI, 2009, Mineral commodity summaries, *Washington*, Government Printing Office, p. 195.

Uzu, G., Sobanska, S., Aliouane, Y., Pradere, P. ve Dumat, C., 2009, Study of lead phytoavailability for atmospheric industrial micronic and sub-micronic particles in relation with lead speciation, *Environmental Pollution*, 157 (4), 1178-1185.

Vallee, B. L. ve Ulmer, D. D., 1972, Biochemical effects of mercury, cadmium, and lead, *Annual Review of Biochemistry*, 41 (10), 91-128.

Van Assche, F. ve Clijsters, H., 1990, Effects of metals on enzyme activity in plants, *Plant, Cell and Environment*, 13 (3), 195-206.

van Geen, A., Adkins, J., Boyle, E. A., Nelson, C. H. ve Palanques, A., 1997, A 120 yr record of widespread contamination from mining of the Iberian pyrite belt, *Geology*, 25 (4), 291-294.

Verkleij, J. A. C. ve Schat, H., 1990, Mechanisms of metal tolerance in higher plants, In: Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects, Eds: Shaw, J., *Boca Raton*: CRC Press, p. 179-194.

Verma, P., George, K. V., Singh, H. V. ve Singh, R. N., 2007, Modeling cadmium accumulation in radish, carrot, spinach and cabbage, *Applied Mathematical Modelling*, 31 (8), 1652-1661.

Verma, S. ve Dubey, R. S., 2003, Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants, *Plant Science*, 164 (4), 645-655.

Vermes, L., 1987, Results of research work and status of regulation of heavy metal contamination concerning sewage sludge land application in Hungary, *Archiwum Ochrony Srodowiska*, 2, 21-32.

Vijendra, P. D., Huchappa, K. M., Lingappa, R., Basappa, G., Jayanna, S. G. ve Kumar, V., 2016, Physiological and biochemical changes in moth bean (*Vigna aconitifolia* L.) under cadmium stress, *Journal of Botany*, 2016, 6403938.

Vivas, A., Voros, A., Biro, B., Barea, J. M., Ruiz-Lozano, J. M. ve Azcon, R., 2003, Beneficial effects of indigenous Cd-tolerant and Cd-sensitive *Glomus mosseae* associated with a Cd-adapted strain of *Brevibacillus* sp. in improving plant tolerance to Cd contamination, *Applied Soil Ecology*, 24 (2), 177-186.

Wagner, G. J., 1993, Accumulation of Cd in crop plants and its consequences to human health, *Advences in Agrononmy*, 51, 173-212.

Wan, Y., Luo, S., Chen, J., Xiao, X., Chen, L., Zeng, G., Liu, C. ve He, Y., 2012, Effect of endophyte-infection on growth parameters and Cd-induced phytotoxicity of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L., *Chemosphere*, 89 (6), 743-750.

Wang, C. L., Michels, P. C., Dawson, S. C., Kitisakkul, S., Baross, J. A., Keasling, J. D. ve Clark, D. S., 1997, Cadmium removal by a new strain of *Pseudomonas aeruginosa* in aerobic culture, *Applied Environmental Microbiology*, 63 (10), 4075-4078.

Wang, G., Wang, L., Ma, F., You, Y., Wang, Y. ve Yang, D., 2020, Integration of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi into phytoremediation of cadmium-contaminated soil by *Solanum nigrum* L., *Journal of Hazardous Materials*, 389, 121873.

Wang, H. H., Shan, X. Q., Wen, B., Owens, G., Fang, J. ve Zhang, S. Z., 2007a, Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays* L.) seedlings and the relevant antioxidant response, *Environmental and Experimental Botany*, 61 (3), 246-253.

Wang, M., Zou, J., Duan, X., Jiang, W. ve Liu, D., 2007b, Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.), *Bioresource Technology*, 98 (1), 82-88.

Wang, Q. L., Zhang, L. T., Zou, J. H., Liu, D. H. ve Yue, J. Y., 2014, Effects of cadmium on root growth, cell division and micronuclei formation in root tip cells of *Allium cepa* var. *agrogarum* L., *International Journal of Experimental Botany*, 83, 291-298.

Wang, X., Liu, Y., Zeng, G., Chai, L., Song, X., Min, Z. ve Xiao, X., 2008, Subcellular distribution and chemical forms of cadmium in *Bechmeria nivea* (L.) Gaud, *Environmental and Experimental Botany*, 62 (3), 389-395.

Wani, P. A., Khan, M. S. ve Zaidi, A., 2007, Effect of metal tolerant plant growth-promoting *Bradyrhizobium* sp. (vigna) on growth, symbiosis, seed yield and metal uptake by greengram plants, *Chemosphere*, 70 (1), 36-45.

Wani, P. A. ve Khan, M. S., 2010, *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils, *Food Chemical Toxicology*, 48 (11), 3262-3267.

Weggler, K., McLaughlin, M. J. ve Graham, R. D., 2004, Effect of chloride in soil solution on the plant availability of biosolid-borne cadmium, *Journal of Environmental Quality*, 33 (2), 496-504.

Weiss, D. J., Rausch, N., Mason, T. F. D., Coles, B. J., Wilkinson, J. J., Ukonmaanaho, L., Arnold, T. ve Nieminen, T. M., 2007, Atmospheric deposition and isotope biogeochemistry of zinc in ombrotrophic peat, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (14), 3498-3517.

Welch, R. M. ve Cary, E. E., 1975, Concentration of chromium, nickel, and vanadium in plant materials, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 23 (3), 479-482.

Weryszko-Chmielewska, E. ve Chwil, M., 2005, Lead-induced histological and ultrastructural changes in the leaves of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), *Soil Science and Plant Nutrition*, 51 (2), 203-212.

Widera, S., 1980, Contamination of the soil and assimilative organs of the pine-tree in various distance from the surface of emission, *Archives of Environmental Protection*, 3 (4), 147-152.

Wiersma, D., Vangoor, B. J. ve Vanderveen, N. G., 1986, Cadmium, lead, mercury, and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34 (6), 1067-1074.

Wierzbicka, M., 1995, How lead loses Its toxicity to plants, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 64 (1), 81-90.

Wierzbicka, M., 1999, Comparison of lead tolerance in *Allium cepa* with other plant species, *Environmental Pollution*, 104 (1), 41-52.

Wierzbicka, M. H., Przedpelska, E., Ruzik, R., Ouerdane, L., Polec-Pawlak, K., Jarosz, M., Szpunar, J. ve Szakiel, A., 2007, Comparison of the toxicity and distribution of cadmium and lead in plant cells, *Protoplasma*, 231 (1-2), 99-111.

Wilhelm, S. ve Sagen, J. A., 1974, A history of the strawberry, *Berkeley*, University of California Division of Agriculture Publications, p.

Wilson, D. O. ve Cline, J. F., 1966, Removal of plutonium-239, tungsten-185 and lead-210 from soils, N*ature*, 209 (5026), 941-942.

Wixson, B. G. ve Davies, B. E., 2017, Lead in soil: Recommended guidelines, *Boca Raton*, CRC Press, p. 140.

WMSY, 2022, World metal statistics [online], World Bureau of Metal Statistics, London, https://world-bureau.co.uk/: [Ziyaret Tarihi: 19 Kasım 2022].

Woodward, J. R., 1972, Physical and chemical changes in developing strawberry fruits, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23 (4), 465-473.

Woolhouse, H. W., 1983, Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals, In: Physiological Plant Ecology III, Eds: Lange, O. L., Nobel, P. S., Osmond, C. B. ve Ziegler, H., *Berlin and Heidelberg*: Springer, p. 245-300.

Woźny, A., 1998, Lead in plants, In: Lead in the Environment, Ecological and Analytical Problems, Eds: Kabata-Pendias, A. ve Szteke, B., *Warsaw*: PAN Kom. Nauk, p. 171-180.

Wrolstad, R. E., Putnam, T. P. ve Varseveld, G. W., 1970, Color quality of frozen strawberries: Effect of anthocyanin, pH, total acidity and ascorbic acid variability, *Journal of Food Science*, 35 (4), 448-452.

Wrolstad, R. E. ve Shallenberger, R. S., 1981, Free sugars and sorbitol in fruits - A compilation from the literature, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 64 (1), 91-103.

Wu, K., Li, J., Luo, J., Liu, Y., Song, Y., Liu, N., Rafiq, M. T. ve Li, T., 2018, Effects of elevated CO_2 and endophytic bacterium on photosynthetic characteristics and cadmium accumulation in *Sedum alfredii*, *Science of the Total Environment*, 643, 357-366.

Wu, S. C., Cheung, K. C., Luo, Y. M. ve Wong, M. H., 2006, Effects of inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on metal uptake by *Brassica juncea*, *Environmental Pollution*, 140 (1), 124-135.

Wu, S. C., Peng, X. L., Cheung, K. C., Liu, S. L. ve Wong, M. H., 2009, Adsorption kinetics of Pb and Cd by two plant growth-promoting rhizobacteria, *Bioresource Technology*, 100 (20), 4559-4563.

Wu, S. Q., Wang, Y., Zhang, J. K., Gong, X. J., Zhang, Z., Sun, J. J., Chen, X. S. ve Wang, Y. L., 2021, Exogenous melatonin improves physiological characteristics and promotes growth of strawberry seedlings under cadmium stress, *Horticultural Plant Journal*, 7 (1), 13-22.

Wu, Z., Zhao, X., Sun, X., Tan, Q., Tang, Y., Nie, Z. ve Hu, C., 2015, Xylem transport and gene expression play decisive roles in cadmium accumulation in shoots of two oilseed rape cultivars (*Brassica napus*), *Chemosphere*, 119, 1217-1223.

Xiong, J., Lu, H., Lu, K. X., Duan, Y. X., An, L. Y. ve Zhu, C., 2009, Cadmium decreases crown root number by decreasing endogenous nitric oxide, which is indispensable for crown root primordia initiation in rice seedlings, *Planta*, 230 (4), 599-610.

Xiong, Z. T., Zhao, F. ve Li, M. J., 2006, Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr.: Effect on nitrate assimilation and growth, *Environmental Toxicology*, 21 (2), 147-153.

Yan, Z. Z., Ke, L. ve Tam, N. F. Y., 2010, Lead stress in seedlings of *Avicennia marina*, a common mangrove species in South China, with and without cotyledons, *Aquatic Botany*, 92 (2), 112-118.

Yang, M., Lin, X. ve Yang, X., 1998, Impact or Cd on growth and nutrient accumulation or different plant species, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 9 (1), 89-94

Yilmaz, K., Akinci, İ. E. ve Akinci, S., 2009, Effect of lead accumulation on growth and mineral composition of eggplant seedlings (*Solarium melongena*), *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37 (3), 189-199.

Yoshihara, T., Hodoshima, H., Miyano, Y., Shoji, K., Shimada, H. ve Goto, F., 2006, Cadmium inducible Fe deficiency responses observed from macro and molecular views in tobacco plants, *Plant Cell Reports*, 25 (4), 365-373.

Young, E. ve Werner, D. J., 1984, A nondestructive method for measuring shoot and root fresh weights, *HortScience*, 19 (4), 554-555.

Young, S. D., 2013, Chemistry of heavy metals and metalloids in soils, In: Heavy Metals in Soils, Eds: Alloway, B. J., *Dordrecht*: Springer, p. 51-95.

Yu, S. M., Bai, X., Liang, J. S., Wei, Y. N., Huang, S. Q., Li, Y., Dong, L. Y., Liu, X. S., Qu, J. J. ve Yan, L., 2019, Inoculation of *Pseudomonas* sp. GHD-4 and mushroom residue carrier

increased the soil enzyme activities and microbial community diversity in Pb-contaminated soils, *Journal of Soils and Sediments*, 19 (3), 1064-1076.

Yuan, M., He, H., Xiao, L., Zhong, T., Liu, H., Li, S., Deng, P., Ye, Z. ve Jing, Y., 2014, Enhancement of Cd phytoextraction by two *Amaranthus* species with endophytic *Rahnella* sp. JN27, *Chemosphere*, 103, 99-104.

Zafar-Ul-Hye, M., Naeem, M., Danish, S., Khan, M. J., Fahad, S., Datta, R., Brtnicky, M., Kintl, A., Hussain, G. S. ve El-Esawi, M. A., 2020, Effect of cadmium-tolerant rhizobacteria on growth attributes and chlorophyll contents of bitter gourd under cadmium toxicity, *Plants*, 9, 1386.

Zahir, Z. A., Shah, M. K., Naveed, M. ve Akhter, M. J., 2010, Substrate-dependent auxin production by *Rhizobium phaseoli* improves the growth and yield of *Vigna radiata* L. under salt stress conditions, *Journal of Microbiology Biotechnology*, 20 (9), 1288-1294.

Zaidi, S., Usmani, S., Singh, B. R. ve Musarrat, J., 2006, Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*, *Chemosphere*, 64 (6), 991-997.

Zaier, H., Ghnaya, T., Ben Rejeb, K., Lakhdar, A., Rejeb, S. ve Jemal, F., 2010, Effects of EDTA on phytoextraction of heavy metals (Zn, Mn and Pb) from sludge-amended soil with *Brassica napus*, *Bioresource Technology*, 101 (11), 3978-3983.

Zarinkamar, F., Ghelich, S. ve Soleimanpour, S., 2013a, Toxic effects of Pb on anatomy and hypericin content in *Hypericum perforatum* L., *Bioremediation Journal*, 17 (1), 40-51.

Zarinkamar, F., Saderi, Z. ve Soleimanpour, S., 2013b, Excluder strategies in response to Pb toxicity in *Matricaria chamomilla*, *Advances in Bioresearch*, 4 (3), 39-49.

Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F. ve Zhang, G., 2011, The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants, *Environmental Pollution*, 159 (1), 84-91.

Zhang, C. S., Fay, D., McGrath, D., Grennan, E. ve Carton, O. T., 2008, Statistical analyses of geochemical variables in soils of Ireland, *Geoderma*, 146 (1-2), 378-390.

Zhang, X., Chen, B. D. ve Ohtomo, R., 2015, Mycorrhizal effects on growth, P uptake and Cd tolerance of the host plant vary among different AM fungal species, *Soil Science and Plant Nutrition*, 61 (2), 359-368.

Zhang, X. X., Fan, X. M., Li, C. J. ve Nan, Z. B., 2010, Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and antioxidative enzymes in *Achnatherum inebrians* plants infected with a *Neotyphodium* endophyte, *Plant Growth Regulation*, 60 (2), 91-97.

Zhang, Z. Y., Gao, S. ve Shan, C. J., 2020, Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress, *Scientia Horticulturae*, 260, 108876.

Zhou, J. L., 1999, Zn biosorption by *Rhizopus arrhizus* and other fungi, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51 (5), 686-693.

Zimdahl, R. L., 1976, Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26 (7), 655-660.