ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANO SİLİSYUM UYGULAMASININ BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) TUZA TOLERANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ferhat MUTLU

TARIM VE YAŞAM BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2023

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ferhat MUTLU tarafından hazırlanan **"Nano Silisyum Uygulamasının Biberin (*Capsicum annuum* L.) Tuza Toleransı Üzerindeki Etkisi"** adlı tez çalışması 09/02/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

Jüri Üyeleri :

Başkan **:** Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN
Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN
Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DURUKAN KUM
Bahçe Bitkileri Bölümü
Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **"Nano Silisyum Uygulamasının Biberin (*Capsicum annuum* L.) Tuza Toleransı Üzerindeki Etkisi"** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı'yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (09/02/2023).

Ferhat MUTLU

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KYO210621L09 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO SİLİSYUM UYGULAMASININ BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) TUZA TOLERANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ferhat MUTLU

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

Biberde tuza toleransın artırılmasına yönelik olarak nano silisyum (Nano-Si) uygulamalarının etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, materyal olarak Mızrak ve Şölen ticari çeşitleri kullanılmıştır. Stres bitkileri için, 3 gerçek yapraklı aşamada 0 (kontrol), 50, 100 ve 150 mM olmak üzere 4 farklı tuz dozuna, Nano-Si uygulamalarında ise tuz stresi ile birlikte 0, 0,5, 1, 2 ve 3 mM dozlarına yer verilmiş, haftada bir kez olmak üzere yapraktan spreyleme şeklinde uygulanmıştır. Stres sonunda hasat edilen bitkiler, yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, gövde boyu ve çapı, yaprak sayısı ve alanı, yaprak su oransal içeriği (YOSİ), yeşil aksam Na, Cl, K ve Ca içeriği, malondialdehit (MDA), klorofil-a, b, toplam klorofil ve karotenoid içeriği bakımından incelenmiştir. Tuz stresi biber çeşitlerinde bitki büyüme parametreleri ile YOSİ, K ve Ca iyon konsantrasyonu, klorofil-a, b, toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde azalmaya neden olmuş; Na ve Cl iyon konsantrasyonu ile MDA içeriğinde ise artış meydana gelmiştir. Bu artış, tuz düzeyindeki artışa paralel olarak belirginleşmiş ve zararlanma en fazla 150 mM dozunda görülmüştür. Buna karşın, tuz stresi ile birlikte nano-Si uygulamalarında tuz stresine oranla ortalama olarak yaş ve kuru ağırlıkta %9-82; gövde boyunda ve çapında %16-91; yaprak sayısı ve alanında %23-92, YOSİ değerlerinde %15-37; K içeriğinde %1-41; Ca içeriğinde %13-75; fotosentetik pigmentlerde %9-87 iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca Na iyon alımı %16-33, Cl iyon alımı %11-23 düzeyinde sınırlandırılırken; MDA içeriğindeki artış %20-258 düzeyinde engellenebilmiştir. Çalışma sonucunda, nano-Si uygulamalarının tuz stresi ile ortaya çıkan zararlanmayı değişen oranlarda iyileştirdiği ve toleransı artırmada etkili olduğu, uygulamalar arasında bu olumlu etki açısından 0,50 mM ve 1,00 mM nano-Si uygulamalarının ön plan çıktığı belirlenmiştir.

2023, 49 sayfa

Anahtar Kelimeler: MDA, Silisyum, Sodyum klorür, *Solanacae*, Tuz stresi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EFFECTS OF THE NANO SILICON APPLICATION ON SALT TOLERANCE IN PEPPER (*Capsicum annuum* L.)

Ferhat MUTLU

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agriculture and Life Sciences

Advisor: Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

In the study, in which the effectiveness of nano-silicon (Nano-Si) applications for increasing salt tolerance in pepper was investigated, commercial varieties of Mızrak and Şölen were used as materials. For stress plants, 4 different salt doses, 0 (control), 50, 100 and 150 mM, were used in 3 true leaf stages, and 0, 0.5, 1, 2 and 3 mM doses were used together with salt stress in Nano-Si applications. It was applied once as a foliar spray. Plants harvested after stress, green part fresh and dry weight, stem length and diameter, leaf number and area, leaf water proportional content (YOSI), green part Na, Cl, K and Ca content, malondialdehyde (MDA), chlorophyll-a , b, were examined for total chlorophyll and carotenoid content. Salt stress caused a decrease in plant growth parameters, YOSİ, K and Ca ion concentration, chlorophyll-a, b, total chlorophyll and carotenoid content in pepper varieties; Na and Cl ion concentration and MDA content increased. This increase became evident in parallel with the increase in salt level, and damage was observed at the maximum dose of 150 mM. On the other hand, in nano-Si applications with salt stress, on average 9-82% in wet and dry weight compared to salt stress; 16-91% in stem length and diameter; 23-92% in number and area of leaves, 15-37% in YOSI values; 1-41% in K content; 13-75% in Ca content; 9-87% improvement was achieved in photosynthetic pigments. In addition, while Na ion uptake is limited to 16-33%, Cl ion uptake is limited to 11-23%; The increase in MDA content was prevented at the level of 20-258%. As a result of the study, it was determined that nano-Si applications improved the damage caused by salt stress at varying rates and were effective in increasing tolerance, and 0.50 mM and 1.00 mM nano-Si applications came to the fore in terms of this positive effect among the applications.

2023, 49 pages

Keywords: MDA, Silicon, Sodium chloride, *Solanacae*, Salt stress

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden bilgi, öneri ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarımda ne zaman ihtiyaç duysam içtenlik, sabırla ve gülümsemesi ile her zaman yanımda hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca her attığım adımda maddi, manevi desteğini esirgemeyen, her daim yanımda olan bana her zaman güvenen ve inanan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmamızı destekleyen Çankırı Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP) (KYO210621L09) teşekkür ederim.

Ferhat MUTLU
Çankırı, Şubat 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR ..... **iii**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **4**
2.1 Tuz Stresinin Etkileri **4**
2.2 Tuz Stresi ve Nano Silisyum **6**
3. MATERYAL ve YÖNTEM **12**
3.1 Materyal **12**
3.2 Yöntem **12**
3.2.1 Stres uygulamaları **12**
3.2.2 Ölçüm ve analizler **15**
3.3 Verilerin Değerlendirilmesi **17**
4. BULGULAR ve TARTIŞMA **18**
4.1 Yeşil Aksam Yaş ve Kuru Ağırlıkları **18**
4.2 Gövde Boyu ve Çapı **20**
4.3 Yaprak Sayısı ve Yaprak Alanı **22**
4.4 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ) **24**
4.5 Sodyum (Na) İyon İçeriği **25**
4.6 Klor (Cl) İyon İçeriği **26**
4.7 Potasyum (K) İyon İçeriği **27**
4.8 Kalsiyum (Ca) İyon İçeriği **28**
4.9 Klorofil-a, b, Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği **29**
4.10 Malondialdehid (MDA) İçeriği **33**
5. SONUÇ ve ÖNERİLER **41**
KAYNAKLAR **42**
ÖZGEÇMİŞ **49**

SİMGELER DİZİNİ

EC	Elektriksel iletkenlik
g	Gram
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
L	Litre
mg	Miligram
mM	Milimolar
K	Potasyum
cm	Santimetre
cm^2	Santimetre kare
Si	Silisyum
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

LSD	Least significant difference
MDA	Malondialdehit
ROS	Reaktif oksijen türleri
SOD	Süperoksit dismutaz
YOSİ	Yaprak oransal su içeriği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Biber fidelerinin şaşırtılması 13
Şekil 3.2 Biber fidelerinin gelişimi ve uygulamaların gerçekleştirilmesi 14
Şekil 3.4 Biberde gövde boyu ve çapının belirlenmesi 15
Şekil 3.5 Biberde yaprak sayısı ve yaprak alnının belirlenmesi 16

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Biberde tuz ve nano-Si uygulamaları 13
Çizelge 4.1 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yeşil aksam yaş ağırlıkları üzerindeki etkisi 19
Çizelge 4.2 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yeşil aksam kuru ağırlıkları üzerindeki etkisi 20
Çizelge 4.3 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının gövde boyu üzerindeki etkisi 21
Çizelge 4.4 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının gövde boyu üzerindeki etkisi 22
Çizelge 4.5 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yaprak sayısı üzerindeki etkisi 23
Çizelge 4.6 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yaprak alanı üzerindeki etkisi 24
Çizelge 4.7 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının YOSİ üzerindeki etkisi 25
Çizelge 4.8 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Na iyon içeriği üzerindeki etkisi 26
Çizelge 4.9 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Cl iyon içeriği üzerindeki etkisi 27
Çizelge 4.10 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının K iyon içeriği üzerindeki etkisi 28
Çizelge 4.11 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Ca iyon içeriği üzerindeki etkisi 29
Çizelge 4.12 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının klorofil-a üzerindeki etkisi 30
Çizelge 4.13 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının klorofil-b üzerindeki etkisi 31
Çizelge 4.14 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının toplam klorofil içeriği üzerindeki etkisi 32
Çizelge 4.15 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının karotenoid içeriği üzerindeki etkisi 33
Çizelge 4.16 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının MDA içeriği üzerindeki etkisi 34

1. GİRİŞ

Tarımsal anlamda iklim değişikliğinin en büyük sonucu, yetiştiricilikte karşılaşılan abiyotik stres etkisine bağlı olarak yaşanan olumsuzluklardır. Abiyotik faktörler bitki gelişimine, verime ve ürün kalitesine olumsuz etki etmesinin yanı sıra, hastalık ve zararlıların da artışına sebep olmaktadır. Kuraklık, yüksek veya düşük sıcaklık koşulları, su basması ve ağır metallerin de arasında bulunduğu abiyotik stres faktörlerinden, yetiştiricilikte en büyük problemlere yol açanlarından biri de tuz stresidir. Aşırı toprak tuzluluğu, birçok tarımsal ürünün üretkenliğini azaltmakla birlikte, özellikle sebze mahsullerinde önemli kayıplara sebep olmaktadır (Atalan ve Gökçe 2021).

Artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak artan gıda ihtiyacı, tarımsal üretimde verimliliğin ön plana çıkmasına, mevcut üretim alanlarından en yüksek verimin alınmasına yönelik çalışmaların hız kazanmasına neden olmuştur. Özellikle abiyotik stres faktörleri, küresel gıda güvenliği, gıda kalitesi ve bitki verimliliği üzerinde sınırlayıcı etkilere sahiptir. Dünyadaki sulanabilir tarım arazilerinin yaklaşık %20'si toprak tuzluluğundan olumsuz etkilenmektedir. Bu sorun aşırı gübre kullanımı, uygun olmayan sulama sularının kullanımı, doğal çevre koşulları ve küresel iklim değişikliği ile birlikte artış göstermiştir (Zhao *et al*. 2021).

Bitki büyüme ve gelişmesini dolayısıyla verimi olumsuz etkileyen en önemli sınırlayıcı faktörlerin başında yer alan tuzluluk farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Tuzluluk topraktaki kalsiyum, magnezyum, klor ve sülfat içeriğine bağlı olarak bitki büyümesi üzerinde olumsuz etki oluşturmaya yetecek düzeyde nötr çözünür tuzlar nedeniyle ortaya çıkabileceği gibi alkalin hidroliz oluşturan sodyum ve özellikle sodyum karbonat tuzlarına bağlı olarak meydana gelebilmektedir (Parihar *et al*. 2015).

Tuz stresi, çimlenme, büyüme ve gelişme, çiçeklenme ve meyve tutumunu engelleyerek bitkileri olumsuz etkilemektedir. Tuzlu topraktaki yüksek sodyum konsantrasyonları, bitkide su alımını ve besinlerin emilimini sınırlar. Su eksikliği ve beslenme dengesizliği, ozmotik stres ve iyonik stres dahil olmak üzere birincil stresleri ön plana çıkartmaktadır. Bu birincil stresler oksidatif stresle sonuçlanmakta, ikincil bir strese de neden

olabilmektedir. Tuz stresi ile birlikte çeşitli fizyolojik ve moleküler değişiklikler meydana gelmekte ve fotosentez sınırlanarak bitki büyüme ve gelişmesinde sorunlar ortaya çıkmaktadır (Van Zelm *et al*. 2020, Gong 2021).

Bitkiler yaşamları süresince çevresel değişikliklere ve çoklu stres faktörlerine tek veya kombinasyon halinde maruz kalırlar. Ancak bu olumsuz koşullara karşı çeşitli mekanizmalar geliştirerek tepki gösterirler. Bitkilerin tekli veya çoklu stres faktörlerine karşı göstermiş oldukları bu tepkiler bitkinin türüne, yaşına, gelişme dönemine, stresin süresine ve şiddetine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, toleranslı bitki tür ve çeşitlerinin tanımlanması veya bitkilerde stres toleransının artırılması, sürdürülebilir tarım ve bitkisel üretim için her zaman öncelikli olmuştur. Son yıllarda nanobiyoteknoloji tabanlı uygulamalar bu yönde araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Nanoteknoloji, biyolojik bilimler, fizik, kimya, mühendislik ve biyolojik bilimler gibi nano düzeyde çeşitli alanların teknolojisini içeren, gelişmekte olan çok disiplinli bir alandır. Biyoteknoloji ve tarım sektöründe önemli bir yere sahip olan nanoteknoloji, gıda işleme endüstrileri, patojen tespiti ve teşhisi, gıda mühendisliği, ambalaj malzemeleri ve ekipmanları gibi farklı alanlarda yer almaktadır. Nanopartiküller boyutları 1-100 nm arasında değişen küçük moleküllü parçacıklar olup genellikle nano ölçekli parçacıklar (NSP'ler) olarak adlandırılmaktadır. Nanopartiküller, bitki büyüme ve gelişme destekleyicileri, herbisitler, nano-pestisit, nanogübreler gibi tarım sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Nanogübrelerin az miktarda kullanımı, gübre tasarrufu sağlanmasına katkıda bulunmakta ayrıca toprakta kimyasal gübre ve pestisitlerin birikmesi nedeniyle oluşan artan toprak toksisitesini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra abiyotik veya biyotik stres koşullarında fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde farklı mekanizmaları uyararak stres koşullarına toleransın sağlanmasında etkili olmaktadırlar (Derosa *et al*. 2010, Siddiqui *et al*. 2015, Saxena *et al*. 2016).

Silisyum (Si), oksijenden sonra yer kabuğunda (%28) en çok bulunan ikinci toprakta ise (%54) en bol bulunan elementtir. Stres altındaki bitkilerde önemli rollerinden dolayı Si, faydalı veya yarı gerekli bir element olarak bilinmesine karşın gereklilik kriterlerini karşılamadığı ve bitki metabolizmasında yer aldığına dair yeterli kanıt olmadığı için gerekli olmayan bir besin maddesi olarak sınıflandırılmıştır. Si, temel bir besin maddesi

olarak geniş çapta tanınmamakla birlikte, genellikle bitki büyümesi, fizyolojik/metabolik yollar, hücre yapısı ve çok çeşitli abiyotik ya da biyotik çevresel streslerin hafifletilmesi için yararlı olan "değerli bir element" veya "yapısal element" olarak kabul edilir. Birçok çalışma farklı bitki türlerinde tuzluluk, ağır metal stresi, kuraklık gibi abiyotik stres koşullarında bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi artırmadaki rolünü doğrulamıştır (El-Ramady *et al.* 2022).

Silisyum nanopartiküller geniş alanda etkili bir şekilde yayılım gösterebilmekte olup 7.0 nm çapa sahip 1.0 gram silika nanoparçacıklarının 400 m^2'ye eşit geniş bir absorpsiyon yüzeyi gösterdiği tahmin edilmektedir. Ayrıca, Si nanopartiküller turgor basıncını artırarak yaprak nisbi su içeriği ve su kullanım etkinliğini olumlu etkilemektedir. Si partikülleri aynı zamanda antioksidan enzim aktivitelerinde artış sağlaması, iyon regülasyonunda etkili olması gibi özellikleri sayesinde tuzluluk, kuraklık, ağır metal toksisitesi gibi abiyotik stres koşullarına toleransın artırılmasında etkili olmaktadır (Liang *et al*. 2007, Saxena *et al.* 2016)

Hem miktar hem de tür sayısı bakımından ülkemizde yetiştirilen sebzelerin büyük çoğunluğu Solanaceae familyasına aittir. Dünyada ve ülkemizde önemli bir potansiyele sahip olan biber, geniş alanlarda yetiştirilmekte, taze- sofralık ve sanayilik olarak değerlendirilebilen önemli bir sebze grubunu oluşturmaktadır. Dünya biber üretimi 2021 yılında 2 milyon ha alanda 36.286.643 ton olup, Türkiye biber üretiminde Çin ve Meksika'dan sonra 802.617 da alanda 3.091.295 tonluk üretimle üçüncü sırada yer almaktadır (Anonim 2022). Küresel iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından biri olan tuzluluk sonucu birçok tarımsal üründe verim ve verim parametrelerindeki olumsuzluklar karşısında farklı uygulamaların ele alınarak, tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması oldukça önemlidir. Bu doğrultuda nano-Si uygulamalarının bitki üzendeki pozitif etkileri değerlendirildiğinde, biberde tuz stresi karşısında bitki büyüme ve gelişme üzerinde nano-Si etkilerinin belirlenmesi bu çalışmanın en önemli çıkış noktasını oluşturmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tuz Stresinin Etkileri

Tuzluluk bitkilerde büyüme ve gelişmeyi, ürünün nitelik ve niceliğini olumsuz etkileyen önemli çevresel stres unsurlarından biridir. Bitkisel üretimde, ürün kayıplarının yaklaşık olarak %50'si abiotik stres faktörleri nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Günümüzde, sulanabilir alanların %30'u olmak üzere toplamda %6 lık bir alan toprak tuzluluğu ile karşı karşıya durumdadır. Diğer taraftan kültürel uygulamalardaki yanlışlıklar (gübreleme, sulama gibi) söz konusu problemin giderek artışına neden olmaktadır (Hasanuzzaman *et al*. 2013)

Sulama suyu veya toprakta bulunan tuzların bitkilerde büyüme ve gelişmeyi sınırlandırabilecek düzeyde tuz stresini meydana getirmektedir. Söz konusu bileşikler arasında klor, sülfat, karbonat, bikorbanat ve boratlar yer almaktadır. Bununla birlikte sodyum klorür doğada en fazla karşılaşılan tuz biçimini oluşturmaktadır. Stres karşısında toprakta bulunan tuz düzeyindeki artışa bağlı olarak ozmotik basınç artmakta, su potansiyelindeki azalma ile kökler tarafından su alımı engellenmekte, osmotik stres ortaya çıkmaktadır. Stresin bir diğer etkisi toksik etki olarak tanımlanmaktadır. Tuz iyonlarının özellikle Na iyon konsantrasyonun yüksek düzeyde bulunması durumunda toksik etki meydana gelmekte, bitki büyüme ve gelişmesinde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Stavridou *et al.* 2017).

Büyüme ortamındaki düşük ozmotik potansiyel, bitki besin elementlerindeki dengesizlik, iyon toksitesi ya da bunların kombinasyonu ile karakterize olan tuz stresi, bitki üzerinde zararlı etkileri ortaya çıkarmaktadır. Oluşan etki tuz düzeyine, stres süresine, bitkinin yaşı, tür ve çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Stres koşullarında ozmotik potansiyel düşerken su potansiyelinde de azalma meydana gelmekte hücre membran geçirgenliğini ve bütünlüğü bozulmaktadır (Acosta Matos *et al*. 2017, Shahzad *et al*. 2022). Hücre bölünmesi ve uzaması etkilenerek gövde ve kök uzunluk ve ağırlıklarında, yaprak sayısı ve alanında azalma meydana gelmektedir.

Tuz stresinin ortaya koyduğu zararlanmanın en önemli nedenlerinden biri iyon regülasyonunda meydana gelen değişimlerdir. Kök bölgesinde artan tuz birikimi, K, Ca ve NO_3 gibi temel element ve minerallerin alımını kısıtlamakla beraber, Na ve Clalımını indükleyerek hücre iyon dengesini olumsuz etkilemektedir. Zararlı iyonların toksik seviyede birikmesi, fotosentezi ve protein sentezini etkiler, enzimleri inaktive eder, kloroplastlara ve diğer organellere zarar verir. Sodyum toksik seviyelere ulaştığında, K, Ca ve Mg katyonlarının bitki bünyesine alımını ve regülasyonunu da etkilerken, Cl anyonu toksik seviyelere ulaştığında NO3- anyonunun alınımı ve regülasyonu etkilenmektedir (Atalan ve Gökçe, 2021).

Biberde farklı tuz dozlarının çimlenme, bitki büyüme ve gelişmesi, verim ve meyve kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen Chartzoulakıs and Klapakı (2000), 50 mM tuz konsantrasyonunda tohum çimlenmesi gecikmiş, 100 ve 150 mM NaCl dozlarında ise çimlenme engellenmiştir. Çalışmada, köklerde Na birikiminin, yapraklarda ise Cl iyon birikimi ön plana çıkmıştır. Stres koşullarında verimde azalma meydana gelmiş bu azalma 150 mM NaCl dozunda daha fazla olmuştur.

Aktaş vd. (2012), tuza tolerant ve hassas iki biber genotipinde yaptıkları çalışmalarında, 75 mM ve 150 mM NaCl dozları kullanmışlardır. Stres sonucu bitiklerin ortaya koydukları farklılıklar klorofil içeriği, RWC, SOD, MDA, GPOX, CAT, APX aktiviteleri bakımından değerlendirilmiştir. Tuz uygulamaları sonucu tuza tolerant genotipte yaprak oransal su içeriğinde meydana gelen azalmanın daha düşük oranlarda olduğu, daha düşük MDA içeriğine sahip olduğu, SOD, toplam protein içeriği ve GR içeriği bakımından artış gösterdiği belirlenmiştir. Tuza hassas olan genotipte ise yaprak oransal su içreğinde daha fazla düşüş görülürken, MDA miktarından da daha yüksek oranlarda artış saptanmıştır. İncelenen parametreler ışığında biber genotiplerinin ROS bileşenlerine karşı özellikle antioksidant enzim aktivitelerini kullanarak karşı koymaya çalıştıkları belirlenmiştir.

Abbas vd. (2013) iki farklı biber çeşidi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında NaCl uygulamalarının etkisini incelemişlerdir. Çalışmada tuz uygulaması sonucu prolin

miktarında artış meydana geldiğini, karotenoid miktarında azalma meydana gelirken, antosiyanin miktarı tuz stresi ile birlikte artış göstermiştir.

Tuza tolerant olduğu bildirilen 5 farklı biber çeşidinin (AZ 1904,NuMex Joe E. Parker, NuMex Sandia Select, LB 25, 3441) yer aldığı çalışmada, bitkiler farklı düzeylerde (EC 0.6 (kontrol), EC 3, 6, 8, 10 dS/m) tuz stresine maruz bırakılmış, çimlenme, bitki gelişimi ve meyve tutma özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. EC 0.6 ve 3, 5 ve 8 dS/m düzeyleri tohumda çimlenme süresini uzatırken çıkış gücünde etkili bulunmamıştır. Buna karşılık artan tuz düzeyleri çiçeklenme, fotosentez kapasitesi, stoma direnci, bitki ve meyve yaş ağırlığı ile su kullanım etkinliğinde azalmaya yol açmıştır. Çalışma sonucunda biberde etkili bir bitkisel üretim için 3 dS/m ve altındaki tuzluluk seviyelerinin ideal olduğu ifade edilmiştir (Penella *et al*. 2016).

Kuşvuran vd. (2021) farklı biber genotiplerinin tuz stresine tolerans düzeylerini inceledikleri çalışmalarında, bitkiler morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler bakımından değerlendirilmiş, tolerant genotiplerde bitki büyüme parametreleri bakımından kontrol bitkilerine oranla kayıplarında daha düşük düzeyde olduğu, bünyelerinde Na ve Cl iyon birikiminin hassas genotiplere oranla daha sınırlı düzeyde olduğunu ifade etmişlerdir.

2.2. Tuz Stresi ve Nano Silisyum

Silisyum (Si), temel bir element kabul edilmemekle birlikte toprakta en çok bulunan ikinci elementtir. Son zamanlarda yapılan çok sayıda çalışma, Si uygulamalarının bitkilerde tuz, kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık, ağır metal toksisitesi gibi çeşitli abiyotik streslerinin ortaya koyduğu etkileri önemli ölçüde azalttığını, bitki büyüme ve gelişmesinde önemli bir role sahip olduğunu göstermiştir (Karimi and Mohsenzadeh 2016).

Nanoparçacıklar (NP), küçük boyutları, daha büyük yüzey alanı-ağırlık oranları ve farklı şekilleri nedeniyle farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bitkilerin

nanoparçacıklara tepkisi de nanoparçacıkların boyutu, şekli, uygulama yöntemi, kimyasal ve fiziksel özellikleri dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Son çalışmalar, nano-Si bitkilerle doğrudan etkileşime girebileceğini, bitkilerin morfolojisini ve fizyolojisini olumlu yönde etkileyebileceğini ve bitki büyümesini ve verimini iyileştirmeye yardımcı olabileceğini göstermiştir (Rastogi *et al*. 2019).

Tuz stresi, tohumların su alımını kısıtladığından, çimlenmeyi önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Gupta and Huang 2014). Si uygulaması, tuz stresi uygulanan buğdayda çimlenme yüzdesini artırmıştır (Bybordi 2014). Benzer şekilde, Haghighi vd. (2012) tuz stresi koşullarında (50 mM NaCl) nano-Si (1 mM) uygulamasının, Si uygulanmayan domates tohumlarına oranla çimlenme oranını ve çimlenme yüzdesini artırdığını bildirmiştir. Wang *et al*. (2010), Si uygulamasının (1-5 mM) *Momordica charantia*'da tuz stresi (50 ve 100mM) altında çimlenme oranını, çimlenme indeksini ve canlılık indeksini arttırdığını bildirmiş, Si uygulamalarının etkinliğinin daha net ortaya konulabilmesi için arazi koşullarında da incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Silisyumun bitki su dengesini sağlanması, bitki savunma sistemlerinin aktivasyonu, iyon regülasyonun sağlanması üzerindeki iyileştirici etkilerine bağlı olarak tuzluluğun bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığını, vurgulayan Haghighi ve Pessarakli (2013) domateste genç bitki aşamasında gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamasının bitki büyüme parametreleri, fotosenteik özellikleri ve bitki su durumunu incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, tuzluluğun bitkinin yaş ve kuru ağırlıkları, kök hacmi ve gövde çapı üzerinde zararlı etkileri olduğunu göstermiştir. Tuzluluk düzeyi arttıkça elektrolit sızıntı artmış, CO2 düzeyi, fotosentetik hız, mezofil iletkenliğini ve fotosentetik su kullanım etkinliğini azalmıştır. Yaş ve kuru ağırlıklar, kök hacmi, yaprak su içeriği, fotosentetik oran, mezofil iletkenliğini ve bitki su kullanım verimliliği ve klorofil konsantrasyonu nano-Si uygulamasıyla artış göstermiştir.

Kabakta nano-Si uygulamasının tuza tolerans üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada; tuz stresinin çimlenme, çıkış, kök ve bitki yaş ve kuru ağırlıkları, boy gibi morfolojik parametreler bakımından olumsuzluklar ortaya koyduğu; nano-Si

uygulamasının bu olumsuzlukları önemli düzeyde azalttığı bildirilmiştir. Araştırıcılar nano-Si uygulaması ile bitki hidrojen peroksit ve MDA düzeyinde azalma meydana geldiğini, antioksidatif enzim aktivitesi, net fotosentez oranı ve su kullanım etkinliğinde ise artış görüldüğünü ifade etmişlerdir (Siddiqui *et al*. 2014).

Farklı konsantrasyonlardaki nano-Si (0, 400, 2000 ve 4000 mg/L) uygulamalarının mısırda tuz stresine tolerans üzerindeki etkisini inceleyen Sharifi Rad vd. (2014) çimlenme, kök ve gövde boyu, yaprak oransal su içeriği (RWC), fotosentetik pigment içeriğinin tuz stresi koşullarında azaldığını, nano-Si uygulamaları ile incelenen parametreler bakımından artış sağlandığını ifade etmişlerdir.

Tuzluluğu özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi sınırlandıran en önemli faktörler arasında yer aldığını ifade eden Tantaway vd. (2015), biberde tuz stresi koşullarında farklı konsantrasyonlarda nano-Si uygulamalarının etkisini incelemişler, bitki boyu, dal sayısı, yaprak yaş ve kuru ağırlıkları gibi bitki büyüme parametreleri ile verim düzeyinin nano-Si uygulamalarına bağlı olarak iyileşme gösterdiği belirtilmiştir. Araştırıcılar, 1,0 $cm^3 L^{-1}$ nano-Si konsantrasyonun, tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletmede en önemli etkiyi gösterdiği, nano silisyumun biber bitkilerinde tuzluluk stresini azaltmada daha etkili sonucuna varmışlardır.

Almutairi (2016) domateste farklı dozlarda nano-Si uygulamasının tuz stresi koşullarında çimlenme üzerindeki etkilerini incelediği çalışmasında, tuz stresinin çimlenme fide gelişimini olumsuz etkilediğini, nano-Si uygulamasının tuza tolerans üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir (Almutairi 2016).

Yıldız (2018) çalışmasında 10-20 nm boyutlarındaki SiO2 nanopartikül uygulamalarının arpa bitkilerinin yapraklarında kuraklık ve normal koşullar altında bitki gelişimi, stoma davranışları, yaprak oransal su içeriği, lipid peroksidasyonu (MDA) ve süperoksit radikal miktarları üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, dışsal olarak uygulanan nano-Si, kuraklık stresi koşullarında bitki gelişimine pozitif yönde katkı sağladığı ve bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılıklarını artırabileceği belirlenmiştir.

El-Emary ve Amer (2018) bakla ve mısırda gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında farklı konsantrasyonlardaki nano-Si (0, 100, 200, 300 mg L^{-1}), uygulamalarının tuza tolerans üzerindeki etkilerini incelemişler, 300 mg L^{-1} nano-Si dozunun, tuzluluğun olumsuz etkilerinin sınırlandırılması açısından en etkin doz olduğu vurgulanmıştır. Bu sonuçlardan, 300 mg L^{-1} nano-Si ile yapraktan uygulamanın, Mısır ve Bakla bitkilerinin toprak özelliklerini, anatomik yapısını ve üretkenliğini iyileştirmenin yanı sıra tuz stresi etkisinin hafifletilmesi için daha iyi konsantrasyon olduğu önerilir.

Farhangi-Abriz ve Torabian (2018) farklı tuz konsantrasyonu (0, 5 ve 10 dS m^{-1}) ve dört farklı nano-Si dozunun (0, 0.5, 1 ve 2 mM) soyada morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlere etkilerini inceledikleri çalışmalarında artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak bitki büyüme ve gelişmesi ve K iyon alımında azalma meydana gelirken; antioksidatif enzim aktiviteleri, MDA içeriği, fenolik bileşik içeriği, hidrojen peroksit içeriği ve Na iyonunda artış meydana gelmiştir. 0.5-1 mM N-Si uygulamaları tuz stresi koşullarında bitki gelişimini desteklerken; 2 mM N-Si uygulamasında olumsuzluklar ortaya çıkmıştır. Araştırıcılar dışsal nano-Si uygulamasının K alımını teşvik ederken; antioksidatif enzim aktivitelerinde artış meydana geldiğini, Na iyon alımının ise sınırlandırılabildiğini ifade etmişlerdir.

Çilekte farklı tuz (0, 25, 50 mM NaCl) ve nano-Si (0, 50, 100 mg L^{-1}) uygulamalarının bitki büyüme ve gelişimdeki etkisinin incelendiği çalışmada; NaCl uygulamaları bitki biyomas, klorofil ve yaprak oransal su içeriği değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Nano-Si uygulanmış bitkiler tuz stresi koşullarında daha yüksek klorofil ve karaotenoid içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Avestan *et al*. 2019).

Sharifiasl vd. (2019) bermuda çiminde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, dört farklı tuz dozu 0, 5, 7 ve 9 dS/m) ve N-Si dozu (0, 1, 2 ve 3 mm L^{-1}) kullanmışlardır. Tuz stresi bitki gelişiminde olumsuzluklara yol açmış, nano-Si sprey uygulamaları bu olumsuzlukları sınırlandırmıştır. Çalışmada en etkin nano-Si dozu 3 mm/l olarak belirleniştir.

Silisyum nanoparçacıklarının (nano-Si) kuraklık ve tuzluluk stresleri altında hıyarın bitki büyüme ve verimini arttırmadaki rolünün değerlendirildiği bir çalışmada, 4 farklı nano-Si seviyesi (100, 200, 300 ve 400 mg kg^{-1}), 3 farklı sulama rejimi (ETc'nin %100, 85 ve 70'i), 2 farklı tuzluluk düzeyi (1.7dSm-1 ve 4.63 Ec) yer verilmiştir. nano-Si uygulamaları tuz stresi koşullarında toksik Na alımını %38-77 oranında azaltmış, K içeriği korunarak K/Na oranı %127-735 oranında artış göstermiştir. Kuraklık stresi koşullarında özellikle %85 ETc rejiminde, Si uygulaması bitki boyu, klorofil içeriği ve verimde %20-156 oranında artış sağlanmıştır. Nano-Si kuraklık ve tuzluluk stresine toleransın artırılmasında etkili bulunmuştur (Alsaeedi *et al*. 2019).

Pinedo-Guerrero vd. (2020), K_2SiO_3 ve SiO_2 nanopartiküllerinin (nano-Si) domates bitkilerinin büyüme ve gelişme, antioksidan içeriği ve tuz stresine toleransı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, bitki büyüme parametreleri, meyve kalite parametreleri (pH, titre edilebilir asitlik, toplam çözünür katılar, sertlik), antioksidan kapasite (ABTS, DPPH), enzimatik (SOD, PAL, APX, CAT, GPX) ve enzimatik olmayan (flavonoidler, fenoller, C vitamini, β-karoten, likopen) bileşikler, klorofil, protein ve H2O2 içeriği değerlendirilmiştir. Nano-Si 500 mg L^{-1}'de uygulanması, strese maruz kalmayan ve kalan bitkiler üzerinde, ortalama meyve ağırlığı, meyve verimi ve klorofil, fenol, glutatyon ve GPX aktivitesi bakımından olumlu etkiler yaratmıştır. Tuz stresi altındaki bitkilerde klorofil, GSH, PAL aktivitesi ve C vitamini içreğinin korunmasında etkili olmuştur. Nano-Si uygulaması, NaCl ile strese maruz kalan domates bitkilerinde pozitif tepkiler oluşturmak açısında K_2SiO_3'ten daha etkili bulunmuştur

Bezelyede Si ve nano-Si (3 mM) uygulamalarının tuz stresine (100, 150, 200 ve 250 mM NaCl) tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, bitki büyüme parametreleri, iyon içeriği, antioksidan savunma sistemleri ve verim incelenmiştir. Tuzluluğun bitki büyüme ve gelişmesi ile verimi olumsuz etkilerken, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) aktivitesi artış göstermiştir. Bununla birlikte NaCl uygulamaları ile bitkilerin kök ve sürgünlerinde Na iyon içeriğinde artış meydana gelmiştir. Si ve nano-Si uygulamaları, incelenen parametreler bakımından artışlara imkan sağlamıştır. Si ve nano-Si, tuz koşullarında altında köklerde ve sürgünlerde K

içeriğini arttırmış ve dokularda Na içeriğini azaltmıştır. Çalışma sonucunda nano-Si uygulamasının bezelye bitkilerinin tuz toleransını, tek başına Si uygulamasına göre daha fazla artırdığı sonucuna varılmıştır (Ismail *et al*. 2022).

Nanopartiküller (NP'ler), abiyotik streslere toleransın sağlanmasında etkili olduğunu belirten Alam vd. (2022), tuz stresi koşullarında nano-Si kök daldırma ve yapraktan sprey olmak üzere 2 farklı uygulamanın etkinliğini incelemişlerdir. Tuz stresi ile birlikte kontrol bitkilerine oranla %35,8 (sürgün kuru ağırlığı), %44,3 (kök kuru ağırlığı), %51 (sürgün boyu) ve %62 (kök boyu) düzeyinde azalmış, ancak bu değişim nano-Si uygulamaları ile daha düşük düzeyde kalmıştır. Araştırmada nano-Si'un domates bitkilerinde yapraktan uygulanması, kök daldırma yöntemine oranla daha etkili bulunmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada materyal olarak; Mızrak ve Şölen biber çeşitleri kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Biber genotiplerine ait tohumlar 2:1 oranında karıştırılmış torf:perlit karışımı içeren viyollere ekilmiştir. Tohum ekiminden 55 gün sonra fideler 12 litre hacmindeki plastik saksılara (torf:perlit) her saksıda üç adet bitki olacak şekilde şaşırtılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

3.2.1 Stres uygulamaları

Bitkiler saksılara şaşırtıldıktan 18 gün sonra tuz stresi uygulamalarına başlanmıştır Bu amaçla çalışmada 4 farklı NaCl dozuna (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) yer verilmiştir. Nano-Si uygulaması için; 0, 0.5, 1, 2 ve 3 mM dozları kullanılmıştır. Buna göre çalışmada yer alacak uygulamalar Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Biberde tuz ve nano-Si uygulamaları

Tuz Uygulamaları	Nano-Si Uygulamaları (mM)				
Tuz (0 mM NaCl-Kontrol)	0	0.5	1	2	3
Tuz (50 mM NaCl)	0	0.5	1	2	3
Tuz (100 mM NaCl)	0	0.5	1	2	3
Tuz (150 mM NaCl)	0	0.5	1	2	3



Şekil 3.1 Biber fidelerinin şaşırtılması



Şekil 3.2 Biber fidelerinin gelişimi ve uygulamaların gerçekleştirilmesi

3.2.2 Ölçüm ve analizler

Yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi

On altı gün stres uygulamalarına maruz bırakılan bitkiler hasat edilerek üç bitki hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlık için örnekler 65 ºC etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan tartım yapılmıştır.

Gövde boyu ve çapının belirlenmesi

Bitkide kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge cm (± 0.5) cinsinden metre ile ölçülmüştür. Gövde çapı dijital kumpas yardımı ile mm (± 0.1) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Biberde gövde boy ve çap ölçümleri

Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi

Yaprak sayısı bitki üzerindeki tüm yaprakların sayılması ile adet/bitki olarak, yaprak alanı ise CI BIO Science CI 202 model yaprak alan ölçer aleti kullanılarak cm^2/bitki olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Biberde yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi

Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Çalışmada, yaprak oransal su içeriği (YOSİ) Sanchez *et al.* (2004) ve Türkan *et al.* (2005) tarafından belirtilen yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Lipid peroksidasyon içeriğinin belirlenmesi (MDA)

Lipid peroksidasyonunun ölçümü için üstten 4. yaprakları alınan örneklerden 200 mg tartılmış ve üzerine 5 ml % 0.1'lik trikloro asetik asit (TCA) ilave edilmiştir. Bu karışım 12500 rpm devir hızında 20 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. 5 ml'lik ekstrakttan 3 ml süpernatant alınmış, süpernatantın üzerine, içinde % 20 TCA bulunan % 0.1'lik

tiobarbütrik asit (TBA)'den 3 ml ilave edilmiştir. Karışım 95ºC'deki sıcak su banyosunda 30 dakika süreyle bekletilmiştir. Bunun ardından spektrofotometrede A532 ve A600 nm'de absorbans değerleri okunmuştur (Lutts *et al*. 1996).

Klorofil-a, b, toplam klorofil ve karotenoid içeriğinin belirlenmesi

Fotosentetik pigment içerikleri Kusvuran et al. (2021)'e göre belirlenmiştir. Bitkilerin taze yaprak örnekleri (100–200 mg) 15 ml %80'lik (hacim/hacim) asetonla homojenize edilerek beyaz bant filtre kâğıdı kullanılarak filtre edilmiştir. Elde edilen ekstraksiyonda absorbans değerleri UV spektrofotometresinde 652 nm' de toplam klorofil, 663 nm'de klorofil a, 645 nm'de klorofil b ve 470 nm'de karotenoid ölçülmüştür.

İyon içeriklerinin belirlenmesi

İyon içeriklerinin belirlenmesinde Dasgan and Koc (2009) tarafından belirtilen yöntem izlenmiştir. Bitki yeşil aksam klor konsantrasyonun belirlenmesi Nielsen (2017)'e göre ve Mohr metodu ile yapılmıştır.

3.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı her tekrarda 3 bitki olacak biçimde yürütülmüştür. Verilerin istatistiksel analizinde JMP (versiyon 8.0) programı kullanılmıştır. Ortalamaları arasındaki farklılıklar LSD testine ($p \leq 0.05$) göre gruplandırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Biber genotiplerinde, nano-Si uygulamalarının tuza toleransın sağlanması yönündeki etkinliğinin incelendiği çalışmada elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1 Yeşil Aksam Yaş ve Kuru Ağırlıkları

Biberde farklı tuz konstrasyonları ile oluşturulan tuz stresi koşullarında yaş ve kuru ağırlık değerlerinde değişen oranlarda azalmaya neden olmuştur (Çizelge 4.1 ve 4.2). Yaş ağırlık değerleri stres koşullarında %8-72 oranında azalma göstermiş, bu değişim 150 mM NaCl uygulamasında ön plana çıkmıştır. Çeşitler bazında incelendiğinde Mızrak çeşidinde %36-60 oranında azalma meydana gelirken Şölen çeşidinde bu değer %52-73 oranında belirlenmiştir. Nano-Si uygulamaları ile genel olarak stresin olumsuz etkisi sınırlandırılmış ortalama olarak %23 oranında iyileşme sağlanmıştır. Yeşil aksam kuru ağırlıklarında ortaya çıkan değişim %9-67 oranında meydana gelmiştir. Nano-Si uygulanmayan 150 mM NaCl stres koşulunda ise bu değerler ortalama olarak %67 oranında saptanmıştır. Nano Si uygulaması ile ortaya çıkan zararlanma başka bir değişle kontrol bitkilerine oranla meydana gelen azalma genel olarak daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Nano-Si uygulamaları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, en yüksek iyileşmenin sağlandığı dozlar 0,5 ve 1 mM dozları olmuştur (%9-82 artış).

Çizelge 4.1. Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yeşil aksam yaş ağırlıkları üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	125.63	139.94	160.65	133.59	119.3	94.30 b
	50	79.93	111.44	114.4	86.99	83.95	
	100	61.15	105.31	111.76	66.57	67.62	
	150	49.4	61.94	71.76	51.07	50.29	
Şölen	0	210.71	176.14	182.04	162.98	197.36	127.68 a
	50	99.69	117.44	113.63	121.26	105.85	
	100	67.31	73.98	82.81	69.77	70.61	
	150	57.33	79.18	84.79	65.13	59.42	
Nano-Si Ortalama		93.89 c	120.19 a	129.10 a	104.97 b	106.80 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		201.16 a	102.08 b	77.68 c	63.03 d		

Çizelge 4.2 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yeşil aksam kuru ağırlıkları üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	19.89	21.09	24.01	21.2	19.41	15.09 a
	50	15.29	17.82	18.20	15.99	15.73	
	100	10.03	16.24	17.37	13.34	11.47	
	150	6.74	9.13	11.9	8.05	7.66	
Şölen	0	25.77	30.96	29.21	24.24	23.39	16.77 b
	50	15.55	18.21	18.48	15.56	15.64	
	100	10.15	13.47	15.01	11.26	10.68	
	150	8.36	10.76	11.47	9.57	8.92	
Nano-Si Ortalama		13.97 b	17.20 a	18.20 a	15.32 b	14.96 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		24.90 a	16.88 b	12.90 c	9.35 d		

4.2 Gövde Boyu ve Çapı

Farklı düzeylerdeki tuz stresi biberde gövde boyu ve çapında azalmaya neden olmuştur (Çizelge 4.3 ve 4.4). Gövde boyu stres koşullarında %3-59 oranında azalma göstermiş, bu değişim 150 mM NaCl uygulamasında belirginleşmiştir. Çeşitler bazında incelendiğinde Mızrak çeşidinde %6-36 oranında azalma meydana gelirken Şölen çeşidinde bu değer %16-59 oranında belirlenmiştir. Nano-Si uygulamaları ile genel olarak stresin olumsuz etkisi sınırlandırılmış ortalama olarak %33 oranında iyileşme sağlanmıştır. Gövde çapında ortaya çıkan değişim %3-65 oranında meydana gelmiştir. Nano-Si uygulanmayan 150 mM NaCl stres koşulunda ise bu değerler ortalama olarak %52 oranında saptanmıştır. Nano Si uygulaması ile ortaya çıkan zararlanma başka bir değişle kontrol bitkilerine oranla meydana gelen azalma genel olarak daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.3 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının gövde boyu üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	14.67	18.67	20.33	13.00	13.00	14.35 b
	50	12.33	16.33	18.00	13.00	13.67	
	100	11.00	16.67	17.33	11.67	12.33	
	150	9.33	12.00	13.33	10.67	10.33	
Şölen	0	19.67	21.67	22.67	19.00	18.67	18.01 a
	50	16.33	20.33	24.67	17.67	17.33	
	100	14.67	19.00	20.67	16.33	16.67	
	150	8.00	16.33	17.33	11.00	9.33	
Nano-Si Ortalama		13.25 d	17.91 b	19.83 a	15.00 c	14.91 c	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		20.16 a	16.96 b	15.83 b	11.76 c		

Çizelge 4.4 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının gövde boyu üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	10.19 de	11.36 ab	12.13 a	10.31 de	10.47 c-e	9.67 a
	50	11.09 bc	10.57 c-e	11.12 bc	9.80 e-g	10.15e	
	100	7.79 lm	10.29 de	10.54 c-e	9.31 f-h	9.20 f-i	
	150	6.26 n	8.45 i-l	9.03 g-j	7.58 m	7.91 k-m	
Şölen	0	9.95 ef	10.93 b-d	11.20 bc	10.12 e	10.51 c-e	7.98 b
	50	8.06 k-m	11.44 ab	8.68 h-k	8.40 j-l	8.57 h-k	
	100	6.51 n	8.08 k-m	8.42 j-l	7.34 m	7.46 m	
	150	3.39 p	5.84 n	6.50 n	4.27 o	3.99 op	
Nano-Si Ortalama		7.90 c	9.61 a	9.70 a	8.39 b	8.53 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		10.71 a	9.79 b	8.49 c	6.32 d		

4.3 Yaprak Sayısı ve Yaprak Alanı

Biberde yaprak sayısı ve yaprak alanı tuz stresine bağlı olarak kontrol bitkilerine oranla azalma göstermiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Yaprak sayısı stres koşullarında %9-83 oranında azalmış, bu değişim 150 mM NaCl uygulamasında belirginleşmiştir. Çeşitler bazında incelendiğinde Mızrak çeşidinde %9-75 oranında azalma meydana gelirken Şölen çeşidinde bu değer %19-83 oranında gerçekleşmiştir. Nano-Si uygulamaları ile genel olarak stresin olumsuz etkisi sınırlandırılmış ortalama olarak %38 oranında iyileşme sağlanmıştır. Yaprak alanında ortaya çıkan değişim %11-79 oranında meydana gelmiştir. Nano-Si uygulanmayan 150 mM NaCl stres koşulunda ise bu değerler ortalama olarak %69 oranında saptanmıştır. Nano Si uygulaması ile ortaya çıkan zararlanma başka bir değişle kontrol bitkilerine oranla meydana gelen azalma genel olarak daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Nano-Si uygulaması yaprak sayısı ve

alanında %2-75 düzeyinde iyileşme sağlamıştır. En etkin dozlar ise 0,5 ve 1 mM dozları olmuştur (%23-92 artış).

Çizelge 4.5 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yaprak sayısı üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	51.00	61.00	59.33	55.33	53.67	37.15 a
	50	44.67	59.33	63.33	46.00	45.67	
	100	18.00	33.33	36.67	20.33	21.33	
	150	11.33	18.00	19.67	12.67	12.33	
Şölen	0	57.67	65.67	64.33	59.67	61.00	32.48 b
	50	31.00	40.67	46.67	35.33	35.00	
	100	13.00	19.67	21.00	16.67	17.67	
	150	9.67	17.00	16.33	10.67	11.00	
Nano-Si Ortalama		29.54 c	39.33 a	40.91 a	32.08 bc	32.20 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		58.86 a	44.76 b	21.76 c	13.86 d		

Çizelge 4.6 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının yaprak alanı üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	944.21	952.64	1001.06	978.09	980.68	724.46 b
	50	756.40	937.75	990.30	824.10	833.45	
	100	524.88	640.15	695.47	560.44	588.77	
	150	384.41	490.52	537.31	428.65	423.80	
Şölen	0	1476.77	1583.73	1696.34	1548.76	1508.25	818.26 a
	50	630.85	838.50	911.52	720.05	716.70	
	100	403.22	596.84	650.87	467.56	480.72	
	150	299.51	477.60	577.48	370.69	393.73	
Nano-Si Ortalama		677.53 d	814.71 b	880.04 a	737.29 c	747.22 c	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		1267.05 a	821.14 b	560.89 c	436.35 d		

4.4 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ), tuz stresine bağlı olarak kontrol bitkilerine oranla azalma göstermiştir (Çizelge 4.7). YOSİ %4-43 oranında azalmış, bu değişim 150 mM NaCl uygulamasında belirginleşmiştir. Çeşitler bazında incelendiğinde Mızrak çeşidinde %4-29 oranında azalma meydana gelirken Şölen çeşidinde bu değer %9-43 oranında gerçekleşmiştir. Nano-Si uygulamaları ile genel olarak stresin olumsuz etkisi sınırlandırılmış ortalama olarak %14 oranında iyileşme sağlanmıştır. Nano-Si uygulamaları içerisinde en etkin dozlar 0,5 ve 1 mM dozları olmuştur. Bu dozlarda iyileşme %15-37 oranında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.7 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının YOSİ üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	86.00 f-h	89.00 d-f	93.67 ab	90.00 c-e	90.67 b-d	77.08 a
	50	71.33 m-o	82.33 i	87.00 e-g	77.00 kl	73.33 m-o	
	100	67.67 pq	78.33 jk	81.33 ij	70.67 n-p	70.03 op	
	150	61.00 s-u	71.67 m-o	73.00 m-o	63.00 r-t	64.33 r	
Şölen	0	91.33 b-d	95.33 a	93.33 ab	92.00 b-d	92.67 a-c	74.18 b
	50	70.33 op	83.00 hi	84.33 g-i	72.33 m-o	72.67 m-o	
	100	60.47 tu	74.00 lm	73.67 mn	65.00 qr	64.00	
	150	51.33 v	68.00 pq	70.33 op	59.00	60.33	
Nano-Si Ortalama		69.95 e	80.20 b	82.08 a	73.62 c	72.29 d	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		91.40 a	77.36 b	70.56 c	63.20 d		

4.5 Sodyum (Na) İyon İçeriği

Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek Na iyon birikimi 150 mM NaCl uygulamasında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.8). Bu artış genotipler ve naso-Si uygulamaları arasında da farklılıklar ortaya koymuştur. Na içeriği bakımından genotiplerdeki değişimler incelendiğinde özellikle 150 mM NaCl uygulamasında Mızrak çeşidinde %3,69 ve Şölen çeşidinde %5,28 oranındadır. Sodyum iyon konsantrasyonu nano-Si uygulamaları ile %9-33 düzeyinde sınırlandırılmış, 0,5 ve 1 mM dozları daha etkili bulunmuştur (%16-33 artış).

Çizelge 4.8 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Na iyon içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	0.24	0.15	0.26	0.23	0.20	2.01 b
	50	2.40	1.99	1.81	2.03	1.98	
	100	3.19	2.68	2.22	2.78	2.74	
	150	3.69	2.89	2.46	3.22	3.23	
Şölen	0	0.31	0.27	0.25	0.18	0.16	2.94 a
	50	3.33	3.67	2.61	3.01	3.12	
	100	4.67	3.86	3.58	4.10	4.12	
	150	5.28	4.11	4.08	4.37	4.55	
Nano-Si Ortalama		2.88 a	2.37 b	2.15 c	2.48 b	2.51 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		0.22 d	2.53 c	3.39 b	3.78 a		

4.6 Klor (Cl) İyon İçeriği

Biberde NaCl uygulaması her iki çeşitte de Cl düzeyi artmıştır (Çizelge 4.9). Bu artış çeşitler ve tuz konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıklar ortaya koymuştur. 150 mM NaCl uygulamasında klor iyon içeriği bakımından çeşitlerdeki değişimler Mızrak çeşidinde %4,03 ve Şölen çeşidinde %4,42 şeklinde belirlenmiş; Cl iyon artışının Şölen çeşidinde kontrole oranla %1326 artış şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Nano-Si uygulamaları ile toksik Cl iyon birikimi %6-23 düzeyinde sınırlandırılmış, 0,5 ve 1 mM dozları daha etkili bulunmuştur.

Çizelge 4.9 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Cl iyon içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	0.29	0.23	0.19	0.27	0.24	2.28 b
	50	2.88	2.39	2.28	2.55	2.50	
	100	3.11	2.76	2.49	2.92	2.93	
	150	4.03	3.38	3.17	3.58	3.44	
Şölen	0	0.31	0.26	0.22	0.24	0.22	2.59 a
	50	3.03	2.49	2.29	2.60	2.65	
	100	4.11	3.28	3.17	3.55	3.59	
	150	4.42	3.82	3.37	4.19	4.14	
Nano-Si Ortalama		2.77 a	2.32 c	2.14 d	2.48 b	2.46 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		0.24 d	2.56 c	3.19 b	3.75 a		

4.7 Potasyum (K) İyon İçeriği

Potasyum içeriği bakımından en yüksek değerler Mızrak çeşidinde %4.68 ve Şölen çeşidinde %5.44 olmak üzere kontrol bitkilerinin 1 mM nano-Si uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Tuz stresi K iyon içeriği bakımından Mızrak'ta %17 ve Şölen'de %51 düzeyinde meydana gelmiştir. Nano-Si uygulamaları K iyon içeriğindeki kayıpları %7-25 düzeyinde önlenmesine imkan sağlamış, 0,5 ve 1 mM en etkin dozlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının K iyon içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	3.79	4.36	4.68	4.55	4.42	3.94 a
	50	3.51	4.13	4.30	4.11	4.17	
	100	3.3	4.00	4.13	3.94	3.75	
	150	3.14	3.64	3.89	3.56	3.59	
Şölen	0	5.02	5.37	5.44	5.31	5.46	3.55 b
	50	3.15	3.43	3.56	3.37	3.35	
	100	2.66	2.98	3.19	2.82	2.75	
	150	2.42	2.66	2.92	2.51	2.65	
Nano-Si Ortalama		3.37 c	3.82 b	4.01 a	3.77 b	3.76 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		4.83 a	3.70 b	3.35 c	3.09 d		

4.8 Kalsiyum (Ca) İyon İçeriği

Kalsiyum içeriği bakımından en yüksek değerler Mızrak çeşidinde %4.68 ve Şölen çeşidinde %5.44 olmak üzere kontrol bitkilerinin 1.00 mM nano-Si uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Tuz stresi ile Ca iyon içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma 150 mM NaCl uygulamasında Mızrak'ta %24 ve Şölen'de %57olarak belirlenmiştir. Nano-Si uygulamaları Ca iyon içeriğinde meydana gelen kayıpların ortalama olarak %27 oranında önlenmesine imkan sağlamış ve kayıplar %1-33 düzeyinde kalmıştır. Nano-Si uygulamaları içerisinde K iyon kaybının en az olduğu uygulamalar 0.5 ve 1 mM uygulamaları olmuş ve bu uygulamalar ile Ca kayıpları %13-73 düzeyinde önlenebilmiştir.

Çizelge 4.11 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının Ca iyon içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	**0.5**	**1**	**2**	**3**	
Mızrak	**0**	5.68	6.43	6.69	6.24	6.1	5.48 a
	50	4.82	5.61	5.88	5.24	5.19	
	100	4.56	5.18	5.49	4.98	4.95	
	150	4.27	4.89	5.25	4.54	4.6	
Şölen	**0**	5.33	6.18	6.24	5.48	5.71	4.58 b
	50	4.57	5.31	5.58	4.98	5.09	
	100	3.56	4.15	4.3	4.01	3.93	
	150	2.32	3.86	4.02	3.56	3.51	
Nano-Si Ortalama		4.46 d	5.27 b	5.50 a	4.95 c	4.96 c	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		6.00 a	5.22 b	4.51 c	4.38 d		

4.9 Klorofil-a, b, Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği

Farklı biber çeşitlerinin ve nano-Si uygulamalarının yer aldığı çalışmada, en yüksek fotosentetik pigment içerikleri kontrol bitkilerinin nano-Si uygulamalarında belirlenmiştir. Toplam karotenoid içeriği bakımından önemsiz bulunmuştur. Kloroil-a, b, toplam klorofil ve karatenoid içeriği tuz stersi ile birlikte azalma göstermiştir. Bu değişim klorofil- a'da %4-49, klorofil- b'de %2-63, toplam klorofilde %4-56 ve karotenoid içeriğinde %2-51 oranında belirlenmiştir. Kontrol bitkilerine oranla ortaya çıkan değişin en yüksek oranda nano-Si uygulanmayan 150 mM NaCl uygulamalarında meydana gelmiştir. Bu bitkilerde değişim incelendiğinde ortalama olarak klorofil-a'da %41, klorofil-b'de %55, toplam klorofilde %55 ve karotenoid içeriğinde %43 düzeyinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Nano-Si uygulamaları tuzun tüm düzeylerinde iyileştirici bir özellik göstermiş ve tüm pigmentlerde ortalama olarak %23-

36 oranında tuz stresinin olumsuz etkisi sınırlandırılmış, 0,5 ve 1 mM dozları en etkili dozlar olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.13-4.16).

Çizelge 4.12 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının klorofil-a üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	2.266	2.375	2.504	2.285	2.345	2.06 a
	50	2.096	2.296	2.422	2.253	2.354	
	100	1.672	2.072	2.171	1.814	1.732	
	150	1.534	1.711	1.921	1.621	1.659	
Şölen	0	2.316	2.371	2.435	2.322	2.348	1.89 b
	50	1.762	2.205	2.197	2.078	2.085	
	100	1.35	1.836	2.038	1.528	1.515	
	150	1.174	1.822	1.763	1.345	1.352	
Nano-Si Ortalama		1.77 c	2.08 a	2.18 a	1.90 b	1.92 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		2.35 a	2.17 b	1.77 c	1.59 d		

Çizelge 4.13 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının klorofil-b üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	1.187	1.307	1.345	1.251	1.234	1.035 a
	50	1.043	1.205	1.255	1.141	1.159	
	100	0.753	1.059	1.181	0.9	1.003	
	150	0.628	0.819	0.896	0.658	0.689	
Şölen	0	1.138	1.489	1.627	1.227	1.303	0.933 b
	50	0.773	1.251	1.301	0.903	0.945	
	100	0.612	0.809	0.884	0.74	0.767	
	150	0.419	0.699	0.756	0.545	0.491	
Nano-Si Ortalama		0.819 c	1.079 ab	1.155 a	0.920 c	0.948 bc	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		1.310 a	1.097 b	0.870 c	0.659 d		

Çizelge 4.14 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının toplam klorofil içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	0.218	0.254	0.260	0.227	0.221	0.200 a
	50	0.182	0.224	0.219	0.203	0.209	
	100	0.161	0.203	0.215	0.182	0.202	
	150	0.141	0.176	0.186	0.163	0.161	
Şölen	0	0.213	0.229	0.280	0.216	0.219	0.170 b
	50	0.161	0.213	0.202	0.173	0.174	
	100	0.125	0.156	0.160	0.141	0.143	
	150	0.093	0.147	0.150	0.103	0.104	
Nano-Si Ortalama		0.161 b	0.200 a	0.208 a	0.176 b	0.179 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		0.233 a	0.195 b	0.168 c	0.142 d		

Çizelge 4.15 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının karotenoid içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	1.039	1.168	1.179	1.068	1.127	0.955 a
	50	0.845	1.043	1.102	0.919	0.928	
	100	0.759	0.904	1.018	0.859	0.890	
	150	0.689	0.914	1.110	0.746	0.792	
Şölen	0	1.033	1.314	1.445	1.268	1.248	0.884 b
	50	0.766	0.965	0.981	0.877	0.865	
	100	0.596	0.870	0.912	0.621	0.675	
	150	0.503	0.782	0.806	0.571	0.589	
Nano-Si Ortalama		0.779 d	0.995 b	1.069 a	0.866 c	0.889 c	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		1.188 a	0.929 b	0.810 c	0.750 d		

4.10 Malondialdehid (MDA) İçeriği

Malondialdehid (MDA) içeriği stres koşullarında artmış (%40-327), en yüksek MDA içeriği Şölen çeşidinin 150 mM NaCl uygulamasında 20,68 µmol g^{-1}T.A. (%328 artış) belirlenmiştir. Nano-Si uygulamalarında ise değişim %20-269 düzeyinde olup, ortalama olarak %16 düzeyinde MDA içeriğindeki artış sınırlandırılmıştır. Nano-Si uygulamaları içerisinde 0,5 ve 1 mM nano-Si uygulamalarında %12-33 oranında iyileşme sağlanmıştır. (Çizelge 4.16)

Çizelge 4.16 Biberde tuz stresi koşullarında nano-Si uygulamalarının MDA içeriği üzerindeki etkisi

Çeşit	Tuz	Nano-Si (mM)					Çeşit Ortalama
		0	0.5	1	2	3	
Mızrak	0	4.78	3.91	3.29	3.73	3.54	7.82 b
	50	6.72	5.90	5.75	6.18	6.37	
	100	10.59	8.44	7.05	9.01	8.74	
	150	14.74	11.69	10.13	12.96	12.87	
Şölen	0	4.84	3.46	4.20	4.39	4.29	11.78 a
	50	11.51	9.84	8.90	10.82	10.56	
	100	17.03	13.00	12.23	15.62	15.3	
	150	20.68	17.36	15.26	18.61	17.88	
Nano-Si Ortalama		11.36 a	9.20 c	8.35 d	10.16 b	9.94 b	
	Tuz						
Tuz Ortalama		0	50	100	150		
		4.04 d	8.25 c	11.70 b	15.21 a		

Artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyaçlarının karşılanma gerekliliği, bitkisel üretim ve verimliliğin artırılmasına yönelik ilgiyi de artırmıştır. Bu nedenle, bitkisel üretimde verim ve kalitenin nasıl iyileştirileceği acil bir küresel tarım sorunu haline gelmiştir. Tuz stresi, dünya çapında tarımı tehdit eden önemli bir çevresel sorundur. Dünyadaki sulu tarım alanlarının yaklaşık %20'si toprak tuzlanmasından olumsuz etkilenmektedir. Doğal çevrenin bozulması, kötü sulama uygulamaları, gübreleme ve iklim değişiklikleri gibi faktörler sorunun giderek artmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda, verimin etkili bir şekilde iyileştirilmesine yönelik uygulamalar büyük önem taşımaktadır (Zhao *et al*. 2021).

Tuzluluk, bitkilerde morfolojik ve biyokimyasal fonksiyonlar üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmaktadır. Tohum çimlenmesini, bitki büyümesini, gelişmesini ve verimi olumsuz etkilemektedir (Zhang and Dai 2019). Klorofil ve karotenoidlerin içeriğini

azalmakta, kloroplast yapısını ve PSII sistemini bozarak fotosentetik sistemlerin etkinliği sınırlanmaktadır (Pan *et al*. 2020). Toprak tuzluluğu, toprak su potansiyelini ve yaprak su potansiyelini azalmasına; bitki su ilişkisinde dengesizlikler ve sonuçta ozmotik strese yol açmaktadır (Navada *et al*. 2020). Tuzluluk sodyum ve klor iyon içeriklerindeki artış ile ozmotik stresin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Stres koşulları ile birlikte bitki büyüme ve gelişmesinde azalma, ROS düzeyinde artış gerçekleşmekte sonuç olarak oksidatif stres ortaya çıkmaktadır (Arif *et al*. 2020; Abdel Latef *et al.* 2021).

Yer kabuğunun çok önemli bir parçası olan silisyum (Si) yaklaşık %28'lik oran ile oksijenden sonra en çok bulunan ikinci element konumundadır. Tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olan nano-Si partikülleri nano-herbisitler, nano-gübreler ve nano-pestisitler olarak kullanımları yoluyla çeşitli abiyotik stresleri hafifletmede etkinlik gösterebilmektedirler (Rastogi *et al.* 2019). Si, bitkilerde fizyolojik fonksiyonları uyarmanın yanı sıra bitkinin stres koşullarında hayatta kalma potansiyelini geliştirmede önemli bir yer tutmaktadır. Bu doğrultuda silisyum, bitkinin abiyotik stres toleransını artırmakta, fotosentetik aktiviteyi iyileştirilmesinde, iyon regülasyonunun sağlanmasında ve elementlerin toksisite etkisinin azaltılmasında rol oynamaktadır (Merwad *et al*. 2018).

Farklı nano-Si dozlarının (0.5, 1, 2 ve 3 mM nano-Si) tuza toleransın sağlanması açısından etkilerinin incelendiği bu çalışmada, 2 farklı biber çeşidi, farklı düzeylerde (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) oluşturulan tuz stresine maruz bırakılmıştır. Tuz stresi bitki büyüme parametrelerinde azalmaya neden olmuş, bu azalma çeşitler ve tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Özellikle 150 mM NaCl uygulamasında tuz stresi etkisi en belirgin biçimde görülmüştür. Buna göre Mızrak çeşidinde kontrol bitkilerine oranla ortaya çıkan azalma büyüme parametreleri bakımından %1-66 düzeyinde iken, Şölen çeşidinde %15-83 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyen en önemli faktörlerin başında tuz stresi gelmektedir. Özellikle stres koşullarında ortaya çıkan ozmotik etki, iyon toksisitesi, fotosentez etkinliğinin azalması ve beslenme yetersizliği nedeniyle ortaya çıkan fizyolojik bozukluklardan kaynaklanmaktadır (Almodares *et al.* 2008). Tuz stresi

koşullarında toprak su potansiyeli azalmakta bu nedenle bitki gelişimi azalmakta, iyonik fazda ise toksik iyon etkisi ile birlikte vakuollerde uzun süre tutulamayan toksik iyonlar hücre duvarı yada sitoplazmada hızla birikerek hücrelerde zararlanmalara neden olmaktadır (Acosta- Matos *et al.* 2017). Biberde farklı NaCl dozlarının bitki büyüme ve gelişmesine etkisini inceleyen Kaouther *et al*. (2013), bitki yaş ve kuru ağırlıkları ile morfolojik parametreler ve yaprak oransal su içeriği gibi fizyolojik parametreler bakımından azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Benzer sonuçlar Afzal *et al*. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da vurgulanmış, araştırıcılar tuz konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak biber genotiplerin değişen oranlarda zararlanma ile karşı karşıya kaldıklarını ifade etmişlerdir. Kuşvuran ve Turan (2022), farklı biber genotiplerinde tuz stresinin etkilerini incelendikleri çalışmalarında, tuzlulukla birlikte yapak sayısı ve alanı, gövde boyu ve çapında azalmalar meydana geldiğini, bu etkilerin genotiplere bağlı olarak farklılıklar ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir. Nano-Si uygulamaları tuz stresinin ortaya koyduğu olumsuzluk ve zararlanmaları önemli düzeyde sınırlandırdığı, bu sınırlandırmanın uygulama dozuna göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak bitki büyüme parametreleri bakımından nano-Si uygulamalarının %23-39 düzeyinde iyileşme sağladığı görülmüştür. Silisyumun bitki su dengesini sağlanması, bitki savunma sistemlerinin aktivasyonu, iyon regülasyonun sağlanması üzerindeki iyileştirici etkilerine bağlı olarak tuzluluğun bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığını, vurgulayan Haghighi and Pessarakli (2013) domateste yaş ve kuru ağırlıklar, kök hacmi, yaprak su içeriği, fotosentetik oran, mezofil iletkenliğini ve bitki su kullanım verimliliği ve klorofil konsantrasyonu nano-Si uygulamasıyla artış göstermiştir. Kabakta nano-Si uygulamasının tuza tolerans üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, tuz stresinin çimlenme, çıkış, kök ve bitki yaş ve kuru ağırlıkları, boy gibi morfolojik parametreler bakımından olumsuzluklar ortaya koyduğu; nano-Si uygulamasının bu olumsuzlukları önemli düzeyde azalttığı bildirilmiştir (Siddiqui *et al*. 2014). Nanopartiküller (NP'ler), abiyotik streslere toleransın sağlanmasında etkili olduğunu belirten Alam *et al*. (2022), tuz stresi koşullarında nano-Si kök daldırma ve yapraktan sprey olmak üzere 2 farklı uygulamanın etkinliğini incelemişlerdir. Tuz stresi ile birlikte kontrol bitkilerine oranla %35,8 (sürgün kuru ağırlığı), %44,3 (kök kuru ağırlığı), %51 (sürgün boyu) ve %62 (kök boyu) düzeyinde azalmış, ancak bu değişim nano-Si uygulamaları ile daha düşük düzeyde kalmıştır

Yüksek miktarda tuz konsantrasyonu bulunması, toprak ozmotik basıncının artmasına neden olarak, bitkinin su alım gücünü düşürmekte, hatta tamamen durdurmaktadır. Özellikle Na ve Cl iyonları ile ortaya çıkan iyon toksisitesi ise su taşınımında etkili olan hücrelerde zararlanmalara yol açmakta böylece bitki su ilişkisinde bozulmalara neden olmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada tuz uygulamalara NaCl oranına bağlı olarak YOSİ değerlerinde azalmalara neden olmuştur. Bu değişim 150 mM NaCl uygulamasında ön plana çıkmış ve ortalama olarak kontrol bitkilerine oranla %31 düzeyinde azalma meydana gelmiştir. Yaprak oransal su içeriğinin stres koşullarında azalma gösterdiğini ve değişimin tuz konsantarasyonundaki artış ile birlikte belirginleştiğini ifade eden Hand *et al*. (2014), YOSİ'de meydan gelen azalmanın sodyum ve klor iyon toksisitesi ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Nano-Si uygulamaları stres koşullarında azalan yaprak oransal su içeriğini iyileştirmede (%3-17 artış) oldukça etkili olmuştur. Uygulamalar içerisinde 0.50 ve 1.00 mM nano-Si uygulamalarında bu etki ön plana çıkmıştır. Silisyum stres koşullarında transprasyon oranını düşürerek bitki bünyesindeki nemin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır (Haghighi and Pessarakli 2013). Kalteh *et al*. (2014) silisyumun bir tabaka oluşturarak hücre duvarının dayanıklılığını arttırdığını, 7 nm çapındaki bir gram silisyum nanopartikülün 400 m^2'ye eşit bir soğurma yüzeyine sahip olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle, Si nanoparçacıkları, ksilem nemini ve su translokasyonunu etkileyerek su kullanım etkinliğini artırdığı ifade edilmektedir (Wang and Naser 1994). Farklı türlerde gerçekleştirilen çalışmalarda, YOSİ'nin stres koşulları altında Si uygulamalarına yanıt olarak arttığı, silisyumun yaprak ve gövde epidermis hücrelerinde birikmesi yoluyla terleme oranını azaltmasının yanı sıra potasyum emilimini artması ile potasyumun stoma koruyucu hücrelere translokasyonu artırarak stoma iletkenliğinde de artış sağlandığı bildirilmiştir

Kök bölgesinde tuz birikimi, ozmotik stresin yanı sıra K ve Ca gibi temel element ve minerallerin alımını kısıtlamakla beraber, Na ve Cl alımını indükleyerek hücre iyonu homeostazını (dengeleşimini) olumsuz etkilemektedir. Zararlı iyonların toksik seviyede birikmesi, fotosentezi ve protein sentezini etkiler, enzimleri inaktive eder, kloroplastlara ve diğer organellere zarar verir. Na katyonu toksik seviyelere ulaştığında, K ve Ca katyonlarının bitki bünyesine alımını ve regülasyonunu etkilerken, Cl anyonu toksik

seviyelere ulaştığında NO_3 anyonunun alınımı ve regülasyonu etkilenmektedir (Atalan ve Gökçe). Aktif absorbsiyon ile alınan potasyum, ozmotik potansiyelin sağlanmasında etkili olup hücre içi su girişinde etkilidir. Tuzluluk beraberinde ikincil bir stres faktörü olan kuraklığı da beraberinde getirmektedir. Kuraklık stresi sonucu kökler tarafından su alımı sınırlanmakta ve doku ve organlara besin maddesi akışı azalarak besin elementi eksiklikleri ortaya çıkmaktadır. Süreç içerisinde dokularda kalsiyum içeriğinde de azalma meydana gelmektedir. Patlıcanda tuz stresi yeşil aksamda Na ve Cl iyon içeriğinde artışa neden olmuş ve bu artış genotipler arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır (Kıran vd. 2015). Biberde gerçekleştirilen farklı çalışmalarda NaCl uygulamaları ile oluşturulan tuz stresi koşullarında bitki bünyesinde Na ve Cl iyon içeriklerinde artış meydana geldiği ifade edilmiştir. Stres karşısında büyümede azalmanın nedeni, stomaların kapanması ile yapraklarda toksik Na ve Cl birikimine bağlı olarak fotoasimilat üretiminin miktarının sınırlanmasıdır. Nano-Si, tuz stresi koşullarında terlemeyi kontrol altında tutarak, su kaybını önlemekte böylece bitki bünyesine Na ve Cl iyon girişi sınırlanmaktadır (Haghighi and Pessarakli 2013). Tuz stresine toleransın en önemli mekanizmalarından biri Na alımı ve birikiminin sınırlandırılmasıdır. Nano-Si uygulamasının, tuz stresi altındaki bitkilerde Na alımını azalttığı ve K/Na oranın arttığı bildirilmiştir. Kalteh *et al*. (2014) Silika nanopartiküller, Na emilimini sınırlandırarak Na toksisitesini azalttığını böylece bitki büyüme ve gelişmesinde etkili olduğunu ifade etmiştir. Biberde gerçekleştirilen bu çalışmada, Nano-Si uygulamaları Na ve Cl iyon alımını %16-33 ve %11-23 oranında sınırlandırırken; K içeriğinde %1-41ve Ca içeriğinde %13-75 oranında iyileşme sağlamıştır. Soyada gerçekleştirilen bir çalışmada, tuz stresi ile birlikte Na iyon içeriğinde artış meydana geldiğini, nano-Si uygulamasının K alımını teşvik ederken Na iyon alımının ise sınırlandığını ifade etmişlerdir (Farhangi-Abriz and Torabian 2018). Alsaeedi *et al*. (2019) hıyarda, nano-Si uygulamalarının tuz stresi koşullarında toksik Na alımını %38-77 oranında azalttığını, K içeriği korunarak K/Na oranı %127-735 oranında artış gösterdiğini bildirmişilerdir. Bezelyede Si ve nano-Si (3 mM) uygulamalarının tuz stresine (100, 150, 200 ve 250 mM NaCl) tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, Si ve nano-Si, tuz koşullarında altında köklerde ve sürgünlerde K içeriğini arttırmış ve dokularda Na içeriğini azaltmıştır (Ismail *et al*. 2022).

Stres sonucu oluşan serbest radikaller, membran lipid ve proteinlerin geri dönüşümsüz şekilde hasara uğramasından sorumludur. Reaktif oksijen türleri, kolayca membran lipidlerini etkileyerek doymamış aldehitlerin oluşmasına neden olmaktadır. Stres sonucu oluşan serbest radikallere bağlı doku hasarı oluşumunda en önemli mekanizma hücre zarındaki lipidlerin peroksidasyona uğramasıdır. Serbest oksijen radikalleri, çoklu doymamış yaş asitleriyle reaksiyona girerek lipid peroksidasyonu başlatırlar. Lipid peroksidasyonun son ürünü, malondialdehid (MDA), eten ve pantendir. Oluşan MDA, hücre membranlarından iyon alışverişine etki ederek membrandaki bileşiklerin çapraz bağlanmasına yol açar ve iyon geçirgenliğinin ve enzim aktivitesinin değişimi gibi olumsuz sonuçlara neden olur. Lipid peroksidasyonu; membran bütünlüğünün yok olmasına, hücrenin elektrolitlere permeabilitesinin artmasına neden olur (Gözen ve Kuşvuran, 2021). Kavun, biber, domates, patlıcan ve brokoli gibi farklı bitki türlerinde gerçekleştirilen çalışmalarda tuz stresi koşullarında bitkilerde MDA içeriğinin arttığını göstermiştir. Benzer biçimde biberde gerçekleştirilen bu çalışmada da en yüksek MDA içeriği her iki çeşidin 150 mM NaCl uygulamasında belirlenmiş ve kontrol bitkilerine oranla %258 ve %327 oranında artış meydana gelmiştir. Nano-Si uygulamaları MDA içeriğindeki artışı %%20-258 oranında engellemiştir. Farhangi-Abriz and Torabian (2018) soyada ve Ismail *et al*. (2022) bezelyede gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında nano-Si uygulamaları ile MDA içeriğinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Tuz stresi, kloroplastın parçalanmasına, pigment protein komplekslerinin kararsızlığına, klorofillerin yok olmasına ve karotenoidlerin miktar ve bileşiminde değişikliklere neden olmaktadır (Bayram vd. 2021). Nano-Si uygulamaları biberde klorofil-a, b, toplam klorofil ve karotenodi içeriğinde kontrol bitkilerine oranla %2-63 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. Nano-Si uygulamaları meydana gelen azalmayı belirli oranda sınırlandırmış fotosentetik pigmentlerde %9-87 iyileşme sağlanmıştır. Bu çalışmada, nano-Si uygulaması, tuzlu koşullar altında biberde daha yüksek fotosenteik pigment içeriğinin ortaya çıkmasına imkan sağlamış, NaCl'nin biberde klorofil içeriği üzerindeki olumsuz etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olmuştur. Klorofil biyosentezinin inhibisyonu, bozunmasının hızlanması ve tuzluluğun neden olduğu oksidatif hasar, azalan klorofil içeriğinin nedenleri olarak kabul edilmektedir. Önceki çalışmalar tuz stresinin börülce, fasulye, bakla ve soyada tuz stresinin bitki büyümesinde önemli

azalmalara neden olduğunu, ancak Si uygulamalarının toplam fotosentetik pigment içeriği, fotosentetik hız, klorofil içeriği, stoma iletkenliği, terleme ve hücreler arası karbondioksit konsantrasyonu artırarak bitkilerin büyüme ve gelişmesini büyük ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir (Ndiso *et al*. 2016; Yaghubi *et al*. 2016; Avestan *et al*. 2019). Haghighi and Pessarakli (2013) domateste, Avestan *et al*. (2019) çilekte gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında nano-Si uygulamalarının tuz stresi koşullarında klorofil içeriğinde meydana gelen kayıpları önemli ölçüde sınırlandırdığını vurgulamışlardır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tuz stresi bitkisel üretimi ve verimliğiği etkileyen temel abiyotik stres faktörlerinin başında gelmektedir. NaCl ve nano-Si ile muamele edilen biber fideleri, büyüme ve fizyolojik özelliklerde önemli değişiklikler göstermiştir. Bu çalışmada fideler tuz stresine maruz bırakıldığında, bitki büyüme ve gelişmesinde, fotosentetik piment içeriği, YOSİ, K ve Ca içeriğinde azalma meydana gelirken MDA, Na ve Cl içeriğinde ise artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte, nano-Si, hücresel oksidatif hasarı hafifleterek tuzluluğun olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmıştır, bu değişim dozlara bağlı olarak değişim göstermiştir. Dozlar bakımından 0.5 ve 1 mM konsantrasyonları daha etkin bulunmuştur. Büyüme parametrelerinde, fotosentetik pigmentlerde, K ve Ca iyon içeriğindeki iyileştirmeler, nano-Si uygulamları sonrası bitkilerin tuzluluğa karşı toleransının artırılmasında etkili bulunmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, çalışmanın bitkinin farklı gelişim aşamlarında incelenerek nano-Si etkinliğinin incelenmesi, tuz stresi koşullarında nano-Si uygulmalarının verim ve verim parametreleri üzerindeki etkisinin araştırlması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abbas, S., Latif, H. H. and Elsherbiny, E. A, 2013. Effect of 24-epibrassinolide on the physiological and genetic changes on two varieties of pepper under salt stress conditions. Pak. J. Bot., 45(4): 1273-1284.

Abdel Latef, A. A. H., Omer, A. M., Badawy, A. A., Osman, M. S. and Ragaey, M. M. 2021. Strategy of salt tolerance and interactive impact of Azotobacter chroococcum and/or Alcaligenes faecalis inoculation on canola (*Brassica napus* L.) plants grown in saline soil. Plants, 10(1): 110.

Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. and Hernandez, J. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. Agronomy, 7(1): 18.

Afzal, M., Ahmad, A., Alderfasi, A. A., Ghoneim, A. and Saqib, M. 2014. Physiological tolerance and cation accumulation of different genotypes of *Capsicum annum* under varying salinity stress. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 4(1): 39-49.

Aktas, H., Abak, K. and Eker, S. 2012. Anti-oxidative responses of salt-tolerant and salt-sensitive pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under salt stress. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 87(4): 360.

Alam, P., Arshad, M., Al-Kheraif, A. A., Azzam, M. A. and Al Balawi, T. 2022. Silicon nanoparticle-ınduced regulation of carbohydrate metabolism, photosynthesis, and ros homeostasis in *Solanum lycopersicum* subjected to salinity stress. ACS Omega, 7(36): 31834-31844.

Almodares, A., Hadi, M. R. and Dosti, B. 2008. The effects of salt stress on growth parameters and carbohydrates contents in sweet sorghum. Res. J. Environ. Sci., 2(4): 298-304.

Almutairi, Z. M. 2016. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. Plant Omics, 9(1): 106-114.

Alsaeedi, A., El-Ramady, H., Alshaal, T., El-Garawany, M., Elhawat, N. and Al-Otaibi, A. 2019. Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under

water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. Plant Physiology and Biochemistry, 139: 1-10.

Anonim, 2022. FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. Erişim Tarihi: 3.01.2022

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and Hayat, S. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 156: 64-77.

Atalan, İ.K. and Gökçe Öztürk, Z.N. 2021. Tuzluluk Stresi. In: Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgan, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp: 157-203, Ankara.

Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M. and Byrt, C. S. 2019. Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. Agronomy, 9(5): 246.

Bayram, M., Dere, S., Arpacı, B.B and Daşgan, Y. 2021. Sebzelerde çoklu stres faktörleri ve bitki reaksiyonları. In: Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgan, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp: 277-311, Ankara.

Baath, G. S., Shukla, M. K., Bosland, P. W., Steiner, R. L. and Walker, S. J. 2017. Irrigation water salinity influences at various growth stages of Capsicum annuum. Agricultural Water Management, 179: 246-253.

Bybordi, A. 2014 Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. Int J Agric., 13:1889–1899.

Chartzoulakıs, K. and Klapakı, G. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to nacl salinity during different growth stages. Scientia Horticulture, 86: 247-260.

Daşgan, H.Y. and Koç, S. 2009. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. Journal of Food, Agriculture Environment, 7(2): 363-372.

Derosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology, 5(2): 91-91.

El-Emary, F. A. A. and Amer, M. M. 2018. Role of nano-silica in amelioration salt stress effect on some soil properties, anatomical structure and productivity of faba

bean (*Vicia faba* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants. Journal of Plant Production, 9(11): 955-964.

El-Ramady, H., Verma, K. K., Rajput, V. D., Minkina, T., Elbehery, F., Elbasiony, H. and Amer, M. 2022. Sources of silicon and nano-silicon in soils and plants. In: Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement. Etesamı, H., Al Saeedı, A., El-Ramady, H., Fujıta, M., Pessaraklı, M., Hossaın , M.A. (eds.), Academic Press, pp. 1-10, United Kingdom.

Farhangi-Abriz, S. and Torabian, S. 2018. Nano-silicon alters antioxidant activities of soybean seedlings under salt toxicity. Protoplasma, 255(3): 953-962.

Gong, Z. 2021. Plant abiotic stress: New insights into the factors that activate and modulate plant responses. J. Integr. Plant Biol., 63: 429.

Gözen, V. ve Kusvuran, S. 2021. Düşük sıcaklık stresi. In: Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgahn, H.Y., Kuşvuran, Ş. (eds.), Gece Kitaplığı, pp. 157-203, Ankara.

Gupta, B. and Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. Int J Genom., 1-18.

Haghighi, M. and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae, 161: 111-117.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R. and Fujita, M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences, 14(5): 9643- 9684.

Hassen, A., Maher, S. and Cherif, H. 2014. Effect of salt stress (NaCl) on germination and early seedling parameters of three pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 10(1):14-25.

Ismail, L. M., Soliman, M. I., Abd El-Aziz, M. H. and Abdel-Aziz, H. M. 2022. Impact of silica ions and nano silica on growth and productivity of pea plants under salinity stress. Plants, 11(4): 494.

Karimi, J. adn Mohsenzadeh, S. 2016. Effects of silicon oxide nanoparticles on growth and physiology of wheat seedlings. Russian Journal of Plant Physiology, 63(1): 119-123.

Kalteh, M., Alipour, Z. T., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M. and Falah Nosratabadi, A. 2018. Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks, 4(3).

Kaouther, Z., Nina, H., Rezwan, A. and Cherif, H. 2013. Evaluation of salt tolerance (NaCl) in Tunisian chili pepper (*Capsicum frutescens* L.) on growth, mineral analysis and solutes synthesis. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 9(1): 209-228.

Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Özkay, F., Özgün, Ö., Sönmez, K., Özbek, H. and Ellialtıoğlu, Ş.Ş. 2015. Bazı patlıcan anaçlarının tuzluluk stresi koşullarındaki gelişmelerinin karşılaştırılması.Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi (TABAD) 8(1): 20-30.

Kusvuran, S., Kıran, S. and Altuntas, O., 2021. Influence of salt stress on different pepper genotypes: ıon homeostasis, antioxidant defense, and secondary metabolites. Global Journal of Botanical Science, 9: 14-20

Kuşvuran, Ş., Büyükdinç Turan, D. 2022. Biberde kuraklığın morfolojik ve fizyolojik etkileri. Internatıonal Black Sea Modern Scıentıfic Research Congress, September 29, 2022- October 02, 2022, pp. 224-233, Rize.

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution, 147(2): 422-428.

Lutts, S, Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-Induced senesence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot., 78: 389-398.

Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M. and Rady, M. M. 2018. Response of water deficit-stressed Vigna unguiculata performances to silicon, proline or methionine foliar application. Scientia Horticulturae, 228: 132-144.

Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A. K., Spanu, C., Mikkelsen, O. and Kolarevic, J. 2020. Biofilms remember: osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. Water Research, 176: 115732.

Ndiso, J. B., Chemining'wa, G. N., Olubayo, F. M. and Saha, H. M. 2016. Effect of drought stress on canopy temperature, growth and yield performance of cowpea varieties. International Journal of Plant & Soil Science, 9(3): 1-12.

Nielsen, S. S. 2017. Sodium determination using ion-selective electrodes, Mohr titration, and test strips. In: Food analysis laboratory manual, Springer, pp. 161-170, Cham.

Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M. and Shabala, S. 2021. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(8): 791-825.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. and Prasad, S. M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. Environmental Science And Pollution Research, 22(6): 4056-4075.

Penella, C., Landi, M., Guidi, L., Nebauer, S. G., Pellegrini, E., San Bautista, A., Remorini, D., Nali, C., Lopez Galarza, S. and Calatayud, A. 2016. Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. Journal of Plant Physiology, 193: 1-11.

Pinedo-Guerrero, Z. H., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J. and Juárez-Maldonado, A. 2020. Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. Agriculture, 10(9): 367.

Piñero, M. C., Pérez-Jiménez, M., López-Marín, J. and Del Amor, F. M. 2016. Changes in the salinity tolerance of sweet pepper plants as affected by nitrogen form and high CO2 concentration. Journal of Plant Physiology, 200: 18-27.

Rastogi, A., Tripathi, D. K., Yadav, S., Chauhan, D. K., Živčák, M., Ghorbanpour, M. and Brestic, M. 2019. Application of silicon nanoparticles in agriculture. 3 Biotech, 9(3): 1-11.

Sanchez, F.J., Andres, E.F., TenorIo, J.L. and Ayerbe, L. 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjectedto water stres. Field Crops Research, 86: 81-90.

Saxena, R., Tomar, R. S. and Kumar, M. 2016. Exploring nanobiotechnology to mitigate abiotic stress in crop plants. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 8(9): 974.

Shahzad, B., Rehman, A., Tanveer, M., Wang, L., Park, S. K. and Ali, A. 2022. Salt stress in brassica: effects, tolerance mechanisms, and management. Journal of Plant Growth Regulation, 41(2): 781-795.

Sharifi Rad, J., Karimi, J., Mohsenzadeh, S., Sharifi Rad, M and Moradgholi, J. 2014. Evaluating SiO_2 nanoparticles effects on developmental characteristic and photosynthetic pigment contents of Zea mays L. Bull. Environ. Pharm. Life Sci, 3(6): 194-201.

Sharifiasl, R., Kafi, M., Saidi, M. and Kalatejari, S. 2019. Influence of nano-silica and humic acid on physiological characteristics of Bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.) under salinity stress. Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus, 18(4).

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M. and Al-Khaishany, M. Y. 2015. Role of nanoparticles in plants. Nanotechnology and Plant Sciences, 19-35.

Stavridou, E., Hastings, A., Webster, R. J. and Robson, P. R. 2017. The impact of soil salinity on the yield, composition and physiology of the bioenergy grass Miscanthus× giganteus. Gcb Bioenergy, 9(1): 92-104.

Tantawy, A. S., Salama, Y. A. M., El-Nemr, M. A. and Abdel-Mawgoud, A. M. R. 2015. Nano silicon application improves salinity tolerance of sweet pepper plants. Int J ChemTech Res., 8(10): 11-17.

Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F. and Koca, H. 2005. Differantial responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of droutght-tolerant P. Acutifolius gray and drought sensetive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediates water stres. Plant Science, 168: 223-231.

Van Zelm, E., Zhang, Y. and Testerink, C. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. Annu. Rev. Plant Biol., 71: 403–433.

Wang J. and Naser N. 1994. Improved performance of carbon paste ampermeric biosensors through the incorporation of fumed silica. Electroanalysis. 6: 571- 575.

Wang, X.D., Ou-yang, C., Fan, Z.R., Gao, S., Chen, F. and Tang, L. 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of Momordica charantia under salt stress. J Anim Plant Sci., 6:700–708.

Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafaee, Y. and Javadi, T. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. Scientia Horticulturae, 21:, 87-95.

Yıldız, Ş., 2018. Kuraklık stresi altındaki arpa bitkilerinin yapraklarına SİO2 nanopartikül uygulamasının etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen bilimleri Est., Biyoteknoloji A.B.D., 53 sayfa, Mersin.

Zhang, Q. and Dai, W. 2019. Plant response to salinity stress. In: Stress Physiology of Woody Plants, CRC Press, pp. 155-173.

Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C. and Wang, P. 2021. Regulation of plant responses to salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 22(9): 4609.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ferhat MUTLU

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı	2020-Halen
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü	2010-2013

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2007-2019	Türk Silahlı Kuvvetleri	Memur
2019-Halen	Çankırı Belediyesi	Hukuk Müdürlüğü