EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ, TOPRAK TUZLULUĞUNUN BİTKİDE NEGATİF ETKİLERİNİ İYİLEŞTİRME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Ufkay KARABAY

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Lale AKTAŞ

Biyoloi Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 27.01.2017

Bornova-İZMİR

2017

Ufkay KARABAY tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Biyokömür Uygulamalarının, Toprak Tuzluluğunun Bitkide Negatif Etkilerini İyileştirme Potansiyelinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27.01.2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri: **İmza**

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Lale AKTAŞ

Raportör Üye : Prof. Dr. Jale YANIK

Üye : Doç. Dr. Bengi ERDAĞ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Biyokömür Uygulamalarının, Toprak Tuzluluğunun Bitkide Negatif Etkilerini İyileştirme Potansiyelinin Araştırılması" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27 / 01 / 2017

Ufkay KARABAY

ÖZET

BİYOKÖMÜR UYGULAMARININ, TOPRAK TUZLULUĞUNUN BİTKİDE NEGATİF ETKİLERİNİ İYİLEŞTİRME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

KARABAY, Ufkay

Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Lale AKTAŞ
Ocak 2017, 40 sayfa

Biyokömür organik materyallerden elde edilen, bitki büyüme ve gelişmesini artırmak için kullanılan bir piroliz ürünüdür. Biyokömür uygulaması ürün verimini artırmayı teşvik etmek için kullanılan yaygın bir uygulamadır. Özellikle ağır metal, kurak ve tuz stresi gibi çevresel stresler altındaki topraklarda uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, tuza hassas fasulye (*Phaseolus vulgaris L.)* bitkisinin tuz stresi altında biyokömür uygulaması ile büyüme ve gelişmesi değerlendirilmiştir. Sera koşullarında yetiştirilen bitkilere 3 tuz konsantrasyonu (0, 25, 50 mM NaCl) ve 3 seviyede biyokömür (0, 5, 15 t/ha) uygulaması yapılmıştır. Biyokömür zeytin dallarından termal parçalanmaya dayalı 400 °C yavaş piroliz koşullarında üretilmiştir. Zeytin dalları %70 sert odun ve %30 yumuşak odun olarak seçilmiştir.

Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi elektriksel iletkenlik (EC) analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Bitki büyüme parametreleri (uzunluk ve biyokütle) sürgün oluşumundan çiçeklenme aşamasına kadar kayıt altına alınmıştır. Artan konsantrasyonlarda tuz uygulaması, fasulye fidelerinin kök ve gövde büyümesinde, çiçek ve meyve oluşumunda engellemeye neden olmuştur. Biyokömür eklenmemiş topraklarda tuz stresinin, yaprakta hidrojen peroksit miktarını artırarak oksidatif strese ve hücre membranlarında hasara neden olduğu belirlenmiştir. Tuz stresinin negatif etkilerinin biyokömür uygulamaları ile azaldığı; oksidatif stres düzeyi ve membran hasarında azalma, kök, gövde büyümesi, çiçek oluşumu ve meyve tutumunda artış gözlenmesiyle belirlenmiştir. Tüm tuz konsantrasyonları için 5 t/ha' biyokömür uygulaması etkisi, 15 t/ha biyokömür uygulamasına göre daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Tuz adsorbsiyon kapasitesi ölçümlerinde, biyokömürün yüksek tuz adsorbsiyonu, çözeltideki düşük elektrik iletkenlik değerleriyle saptanmıştır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde biyokömürün tuzlu topraklarda iyileştirici bir potansiyele sahip olduğu ve fasulye tarımında tuzluluk gibi çevresel stres koşullarında biyokömür uygulamasının ürün verimine katkı yapabileceği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: *Phaseolus vulgaris* (L.), biyokömür, tuz stresi

ABSTRACT

MITIGATING POTENTIAL OF BIOCHAR APPLICATION ON THE NEGATIVE IMPACT OF SOIL SALINITY ON PLANT

KARABAY, UFKAY

MSc in Department of Biology
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Lale AKTAŞ
January 2017, 40 pages

Biochar is a pyrolysis product of organic material and has increasing concern to use in plant growth and development. Its application is getting more common method to enhance crop production particularly in soils under environmental stresses such as heavy metals, drought or salt. In this study, biochar effect was evaluated on growth of salt sensitive crop *Phaseolus vulgaris* (L.) under saline conditions. Greenhouse grown plants were treated with 3 salt concentration (0, 25 and 50 mM NaCl) and 3 levels of biochar (0, 5 and 15 t/ha). The biochar was produced by thermal degradation of olive branches, a mixture of hardwood (70 %) and softwood (30 %) by slow pyrolysis at 400 °C. NaCl adsorption capacity of biochar was conducted by electrical conductivity (EC) analysis.

Plants growth parameters (length and biomass) were recorded from seedling to flowering stage. Salinity exposure caused an inhibition in root and shoot growth and flower and fruit development of *P. vulgaris* in parallel to increasing concentration. Salinity caused oxidative stress through increasing hydogen peroxide content and cell membrane permeability of leaves. The mitigating effect of biochar on saline stress was determined by measuring less hydrogene peroxide content and cell membrane hazard, and higher ratio on root and shoot growth, flower and fruit development of plants. Salinity stress effect was alleviated by biochar that was more prominent in 5 t/ha than 15 t/ha treatment for all NaCl concentrations applied. The biochar has high NaCl adsorption capacity determined by lower EC levels. Results indicated that biochar has a remediation potential on saline soil and it is a promising application to increase crop yields under normal and abiotic stress conditions.

Key words: *Phaseolus vulgaris* (L.); biochar; salinity stress

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans dönemim boyunca, hem tez çalışmamın tüm aşamalarında hem de bilimsel gelişimimin ilerlemesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Doç. Dr. Lale AKTAŞ'a, çalışmalarım boyunca analiz ve iş gücü bakımından bana yardım ve katkılarını sağlayan Yiğit KÜÇÜKÇOBANOĞLU, Nihan BÖREKÇİ, Melisa AYIŞIĞI, Alp ÇOKİŞLEREL, Uzm. Dr. Volkan EROĞLU, Uğur ÇAKALOĞULLARI'na ve hayatım boyunca üstümde eşsiz emek ve gayretleri bulunan aileme teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince beni maddi olarak destekleyen 15-FEN-012 numaralı proje ile Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma yönetimine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1.GİRİŞ 1

1.1 Piroliz Hammadde ve Ürünleri 3

1.1.1 Katı Ürün 4

1.1.2 Pirolitik Yağ 4

1.1.3 Pirolitik Gaz 5

1.2 Biyokömür Özellikleri 6

1.2.1 Yüksek adsorbsiyon kapasitesi 6

1.2.2 Rekalsitrant karbon içermesi 6

1.2.3 Fonksiyonel grup içermesi: 7

1.2.4 Toprak katyon değişim kapasitesini düzenleme 7

1.2.5 Toprak su tutma kapasitesini düzenleme 8

1.3 Dünya'da Biyokömür Üretimi ve Tesisleri 8

1.4 Karbon Bağlamada Biyokömür Kullanımı 9

1.5 Toprak İyileştiricisi Olarak Biyokömür Kullanımı 10

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

1.5.1 Kurak topraklarda biyokömür kullanımı.....11

1.5.2 Ağır metal kirliliği olan topraklarda biyokömür kullanımı 11

1.5.3 Asitli topraklarda biyokömür kullanımı.....12

1.5.4 Tuzlu topraklarda biyokömür kullanımı 12

2. MATERYAL METOD 14

2.1 Deney Kurulumu.....14

2.2 Tuz Uygulaması 15

2.3 Kök ve Gövde büyümesi, Çiçek ve Meyve Sayısı.....15

2.4 Fotosentetik Verim.....15

2.5 İyon Sızıntısı Ölçümleri 15

2.6 Hidrojen Peroksit İçeriği.....15

2.7 Bağıl Su İçeriğinin Hesaplanması (RWC) 16

2.8 Biyokömür Tuz Adsorbsiyon Kapasitesi 16

2.9 İstatiksel Analizler…….....16

3. SONUÇLAR 17

3.1 Kök Büyümesi.....17

3.2 Gövde Büyümesi.....18

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

3.3 Kök/Gövde Oranları 19

3.4 Çiçek Sayısı 20

3.5 Meyve Sayısı 21

3.6 Fotosentetik Verim 22

3.7 İyon Sızıntısı 23

3.8 Hidrojen peroksit içeriği 24

3.9 Bağıl su içeriği (RWC %) 25

3.10 Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi 26

4.TARTIŞMA VE SONUÇ 27

5. KAYNAKLAR DİZİNİ…..……..... 32

6.ÖZGEÇMİŞ…… 39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

1.1 Piroliz hammadde ve ürünleri…….....4

1.1.1 Piroliz reaktörü…….....5

1.2.1 Biyokömür mikropor yapısı ……6

1.2.3 Biyokömür yüzeyine bağlı fonksiyonel gruplar ve bağ yapıları…..…...7

1.2.4 Toprak katyon değişim kapasitesini düzenleme……..8

1.3 Dünyada biyokömür üretim tesisleri dağılımı ……9

3.1 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde kök büyümesi üzerine etkisi…….18

3.2 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde gövde büyümesi üzerine etkisi…….19

3.3 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde kök/gövde oranları üzerine etkisi……..20

3.4 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde çiçek sayısı üzerine etkisi……21

3.5 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde meyve sayısı üzerine etkisi……22

3.6 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde fotosentetik verim üzerine etkisi……..23

3.7 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde iyon sızıntısı üzerine etkisi. …….24

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Şekil Sayfa

3.8 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit üzerine etkisi. ……..25

3.9 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde bağıl su içeriği üzerine etkisi. ……26

3.10 Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi……...27

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

2.1 Biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri…….....14

3.1 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin kök uzunluğu değerleri ve ±, standart hata……17

3.2 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin gövde uzunluğu değerleri ve ±, standart hata……...18

3.3 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde kök/gövde oranları üzerine etkisi……..19

3.4 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin çiçek sayısı değerleri ve ±, standart hata……20

3.5 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin meyve sayısı değerleri ve ±, standart hata……....21

3.6 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin fv/fm değerleri ve ±, standart hata……..22

3.7 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin iyon sızıntısı değerleri ve ±, standart hata…….....23

3.8 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin H_2O_2 değerleri ve ±, standart hata……..24

3.9 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin bağıl su içeriği değerleri ve ±, standart hata……...25

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklama
°C	Santigrat derece
µl	Mikrolitre
µM	Mikromol
µmol	Mikromolar
cm	Santimetre
EC	Elektrik iletkenlik
EDTA	Etilen diamin tetraasetik asit
g	Gram
h	Saat
ha	Hektar
H_2O_2	Hidrojen peroksit
KH_2PO_4	Potasyum fosfat
KI	Potastyum iyodür
L	Litre
LSD	En küçük anlamlı farklar testi
M	Molar
MDA	Malondialdehit

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

Simge	Açıklama
mg	Miligram
ml	Mililitre
mM	Milimolar
pH	Hidrojen gücü
ppm	Her bir milyondaki partikül sayısı
PVP	Polivinil pirolidon
rpm	Dakikadaki devir sayısı
SDS	Sodyum dodesil sülfat
SH	Standart hata
TA	Taze ağırlığı
TBA	Tiyobarbitürik asit
TCA	Trikloroasetik asit
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
v/v	Hacim solüsyon
w/v	Yüzde solüsyon

1.GİRİŞ

Tuzluluk küresel gıda güvenliğini kısıtlayan ana faktörlerden birisidir. Son belirlemelere göre küresel skalada 1128 Mha arazi tuzluluktan etkilenmektedir (Wicke et al., 2011). Bitkiler yüksek tuzluluğa, ozmotik ve iyonik stres ile yanıt vermektedir. Tuz stresiyle beraber; bitkinin su alımı, hücre büyümesi ve lateral tomurcuk gelişimi engellenmekte ve hücresel metobolizma aktivitesi azalmaktadır (Munns and Tester, 2008; Panuccio et al., 2014).

Dünyada hem tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda hemde insan elinin daha az değdiği ormanlık alanlardaki topraklarda, tuzluluk ve sodisite problemleri görülebilmektedir. Gelecekte bu problemler sebebi ile hem tarımsal amaçlı hem de diğer alanların kontrol altına alınması gerekmektedir. Tuzlu ve sodisite problemleri barındıran topraklardan verim alınabilmesi için bu problemlerin çözülebilmesi ve gerekli yöntem ve uygulamaların sağlanması gerekmektedir. (Pessarakli and Szabolcs, 1999).

Fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) tarımı dünya genelinde yaygın olup, özellikle ekim alanı ve üretimi bakımından Asya kıtasında yüksek seviyede bulunmaktadır. Buna karşın dünyada en fazla tane verimine Amerika kıtasında rastlanılmaktadır. Dünyada en fazla ekim alanı ve üretimi ise Hindistan'da görülmektedir.

Dünyada 126 ülkede tarımı yapılan kuru fasulyenin 2013 yılında 29 milyon ha arazide ekimi yapıldığı görülmektedir. Dünya kuru fasulye üretim hacminin ise son yıllarda 23 milyon ton seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ülkemiz tarımı için de önemli bir yeri barındıran fasulyenin yaklaşık 200 yıldan beri tarımının yapıldığı düşünülmektedir. Türkiye'de ekim alanlarını en çok İç Anadolu, Karadeniz (Samsun, Gümüşhane) ve Ege bölgesi (Kütahya, Balıkesir, Bursa) oluşturmaktadır. Türkiye'de fasulye ekim ve üretimi sırasıyla Konya, Karaman, Erzincan, Niğde, Nevşehir, Samsun ve Kahramanmaraş illerinde gerçekleştirilmektedir (Aydoğan vd., 2015).

Türkiye fasulye ekimi yapılan topraklar incelendiğinde; 1970'li yıllarda 100 bin hektar, 1990'lı yıllarda 170 bin hektar ve 2014 yılında ise 91 bin hektar olarak tespit edilmiştir. Belirlenen son verilere göre fasulye tarımında verimin 238 kg/da dolaylarında olduğu belirtilmektedir (TÜİK, 2015).

Fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) tarımsal amaçlı yetiştirilen, tuz stresine karşı hassas bir bitkidir. Fasulye bitkisinde 1 dS m^{-1} değerindeki tuzluluğa maruz kaldıktan sonra ürün veriminde azalma ortaya çıkmaktadır. Her bir tuzluluk seviyesindeki artış fasulyede %19 oranında verim kaybına yol açmaktadır. Örneğin; 4 dS m^{-1} toprak tuzluluk seviyesine sahip bir toprakta fasulyede verim kaybı %50 değerinde ortaya çıkmaktadır (Hoffman et al., 1992). Tuzlu toprakların uygun tarımsal alanlara dönüştürülmesinde rol oynayacak etmenlerin varlığı tarımın geleceği için büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda kullanılabilecek yöntemlerden birisi son yıllarda dünya geneli araştırma konularından birisi olarak karşımıza çıkan biyokömür materyalidir.

Biyokömür; toprak iyileştiricisi ve karbon bağlamada etkili olarak kullanılmaktadır. Toprak iyileştiricisi olarak biyokömür; asitli, tuzlu, kurak, besin elementi zayıf ve metal kontaminasyonu olan topraklarda kullanılarak ürün veriminin artışı amaçlanmaktadır.

Biyokömür; yüksek karbon içerikli, ince yapılı ve uzun sürede çözünen organik kaynaklı bir kömürdür. Genel olarak toprak iyileştirme ve karbon bağlamada kullanılan biyokömür, piroliz adı verilen proses ile üretilmektedir (IBI, 2006).

Araştırmacılar tarafından biyokömürün keşfi Amazon ormanlarındaki koyu renkli "terra preta" toprağının, normal toprağa oranla 2.7 kat daha fazla organik karbon içermesinin anlaşılması ile olmuştur (Glaser et al., 2001). Biyokömür Amazon havzasında, oldukça koyu renkli, yüksek karbon ve organik madde içerikli, verimli toprak alanlarının (Terra Preta) keşfi ile gündeme gelmiştir.

Ekvator iklim koşulları dikkate alındığında, oluşması gerekenden birkaç kat daha fazla organik madde içeren bu alanların nasıl oluştuğu araştırıldığında, insan yerleşimlerinin yakınlarında oldukları dikkat uyandırmıştır. Sonuçta bu alanların Amazon yerlilerinin açtıkları çukurlarda topladıkları ağaç ve dalları yakarak kömüre dönüştürmeleri ve gömmeleri sonucu oluştuğu anlaşılmıştır. Bu topraklarda yoğun bir canlı hayat, yüksek miktarlarda mineral ve besin maddeleri içerikleri gözlenmiştir. Ayrıca, Ekvator bölgesinde ki topraklarda yoğunlukla görülen toprak yüzeyinden aşağı besin sızıntısının biyokömür içeren bu topraklarda çok az yaşandığı gözlenmiştir.

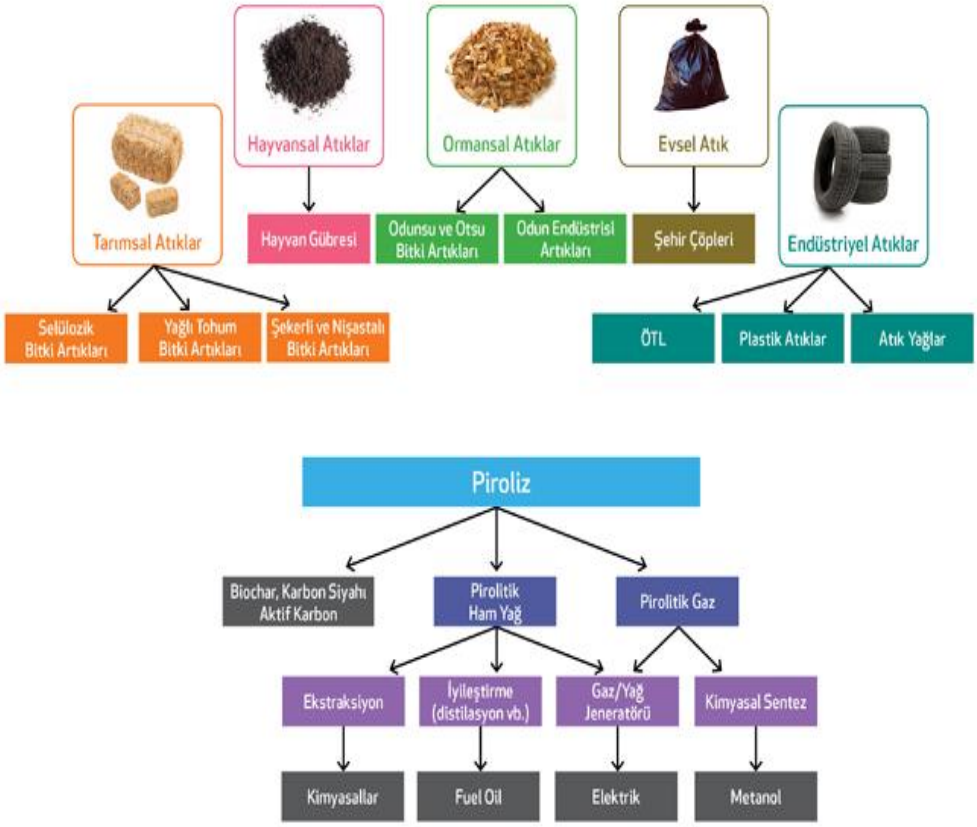
Fakat biyokömür elde etmek için dal ve yaprak gibi ağaç parçalarının yakılması yüksek miktarda karbon salınımına yol açmaktadır. Karbon salınımı üretmeden biyokömür elde etmeyi amaçlayan araştırmacılar piroliz sistemiyle biyokömür elde etmeye başlamışlardır. Piroliz; mevcut biyokütlenin, çok yüksek sıcaklıkta (400-700 °C), yok/çok az oksijen varlığında termokimyasal şekilde ayrıştırılması yöntemidir (Gaunt and Lehmann, 2008).

1.1 Piroliz Hammadde ve Ürünleri

Biyokömür üretiminde genellikle bitkisel ve hayvansal hammaddeler kullanılmaktadır. Çeşitli dal, yaprak, gövde gibi bitkisel hammaddeler ve gübre, kemik gibi hayvansal hammaddeler biyokömür üretiminde genel olarak kullanılan hammaddelerdir. Bunun yanı sıra kullanım alanlarına göre fabrika ve evsel atıklar yoluyla da biyokömür üretilebilmektedir.

Piroliz sıcaklığının artırılması yada düşürülmesi ile verim, partikül boyutu ve mineral içeriği gibi biyokömürün fizyolojik ve kimyasal özelliklerinde değişiklikler sağlanabilmektedir (Mayer et al., 2012; Lee et al., 2013).

Piroliz hammadde ve hammadde kaynaklarının temin edilme seçenekleri ile piroliz sonucu oluşan ürünlerin kullanım sahaları Şekil 1.1.'de detaylı olarak verilmektedir.



Şekil 1.1 Piroliz hammadde ve ürünleri (Marmore, 2014)

1.1.1 Katı Ürün

Şeçilen hammaddeye göre piroliz sonucunda farklı özelliklerde karbon ve kül karışımı içeren bir katı madde elde edilmektedir. Hammadde çoğunlukla evsel katı atık, gübre, tarımsal atıklar ve lastik olarak seçilmektedir. Bu hammaddelerden elde edilen katı ürünler; rekalsitrant karbon olarak modifiye asfaltta direnç arttırmada ve kauçuk sanayinde, veya biyokömür olarak toprak iyileştirme ve karbon bağlamada kullanılabilmektedir (Alternatif power, 2005).

1.1.2 Pirolitik Yağ

Piroliz ile elde edilen pirolitik yağ C_6-C_{24} aralığında olup organik bileşiklere sahip yüksek verimli bir yakıttır. Pirolitik yağ içeriğinde benzen, toluen, ksilen ve limonen hidrokarbonları ve naftalin, fenantren, fluoren ve difenil gibi polisiklik

aromatikler önemli oranda bulunmaktadır. Pirolitik yağ içerisinde bulunan bu bileşiklerin konsantrasyonlarında sıcaklık arttıkça önemli ölçüde artış meydana gelmektedir (Alternatif power, 2005).

1.1.3 Pirolitik Gaz

Önemli bir enerji kaynağı olan piroliz gazı, piroliz reaktöründen vakum pompası ile tahliye edilip, gaz temizleme ünitesinde temizlenmekte ve basınçlı tanklarda muhafaza edilmektedir. Pirolitik gazı CO, H_2 ve CH_4 molekülleri oluşturmaktadır. Pirolitik yağ piroliz işlemi ile katran, partikül, silokan ve diğer kirleticilerden arındırılmaktadır. 4500 – 9000 kcal/Nm^3 aralığında kalorifik değeri bulunan pirolitik gaz, elektrik motorlu jeneratörlerde ve gaz türbinlerinde elektrik üretimi, CO ve H_2 gazlarından oluşan sentez gazına dönüştürülmesiyle sıvı yakıt üretimi amacıyla kullanılabilir (Alternatif power, 2005).

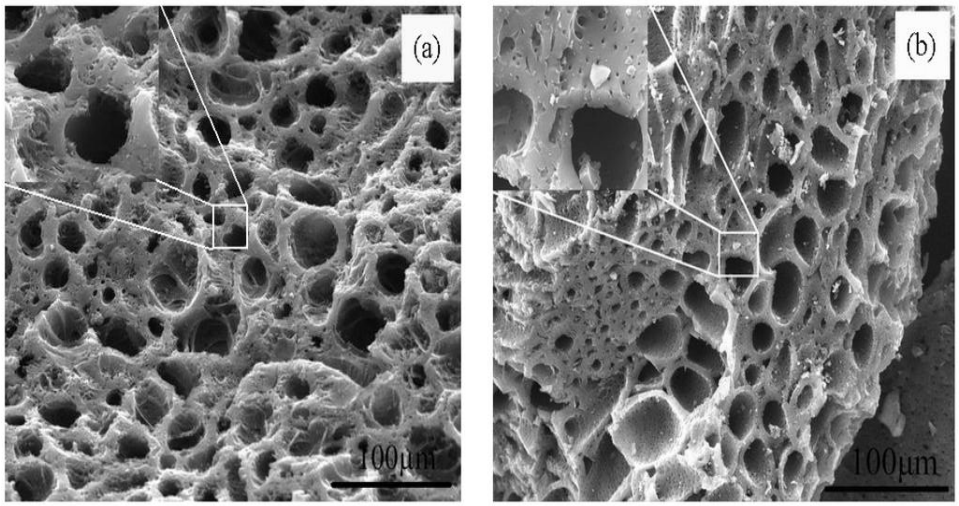


Şekil 1.1.1 Piroliz reaktörü: Biyokütle (hammadde) reaktöre yüklendikten sonra sistem oda sıcaklığından istenilen sıcaklığa istenilen ısıtma hızıyla ısıtılır. İşlem sürekli azot akışı altında yürütülerek, uçucu ürünler reaktörden süpürülür. Sentetik gazlar sistem tarafından toplanır ve atmosfere verilmez (IBI, 2013).

1.2 Biyokömür Özellikleri

1.2.1 Yüksek adsorbsiyon kapasitesi

Adsorpsiyon; akışkan fazda çözünmüş haldeki belirli bileşenlerin, bir katı adsorbent yüzeyine tutunması temelinde ve faz yüzeyinde meydana gelen yüzeye tutunma olarak ifade edilmektedir. Biyokömür yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Adsorbsiyon kapasitesi piroliz sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Piroliz sürecinde uçucu maddelerin ayrılmasıyla kanal yapıları biçimlenir. Bu kanal yapıları spesifik yüzey alanı ve por yapısının gelişmesini sağlamaktadır (Chen et al., 2012; Li et al., 2013).



Şekil 1.2.1 Biyokömür mikropor yapısı (Song et al., 2014)

1.2.2 Rekalsitrant karbon içermesi

Rekalsitrant karbon; doğada stabil olarak kalabilen, parçalanmaya karşı dayanıklı karbon anlamına gelmektedir. Biyokömür büyük ölçüde rekalsitrant karbondan meydana gelmektedir. Bu sayede toprakta 100-1000 yıl boyunca bozunmadan kalabilir (Cheng et al., 2008; Lehmann, 2007; Sohi et al., 2010; Chowdhury et al., 2014).

1.2.3 Fonksiyonel grup içermesi

Biyokömürler yüzeylerinde azot ya da oksijenli pek çok fonksiyonel grup içermektedirler. Bu açıdan, biyokömürlerin adsorpsiyon kapasiteleri ve toprağın katyon değişim kapasitesini düzenlemeleri fonksiyonel gruplar ile doğrudan bağlantılıdır (Liu et al., 2011).

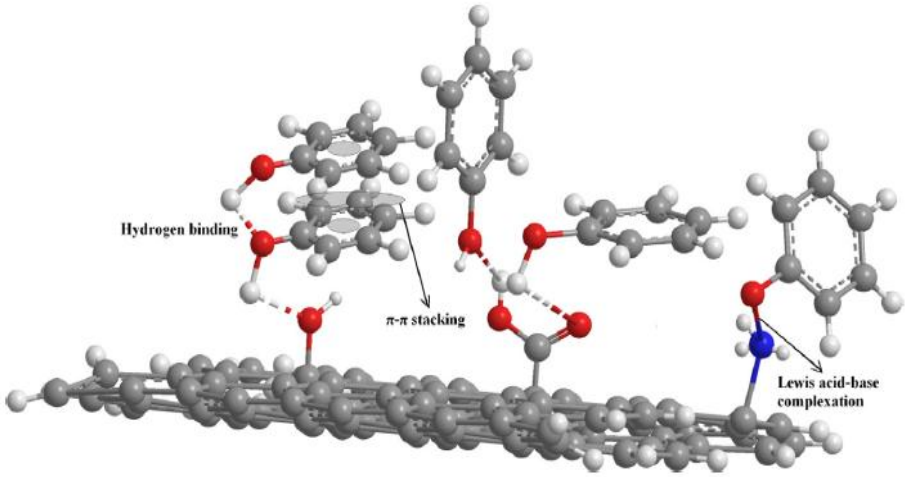
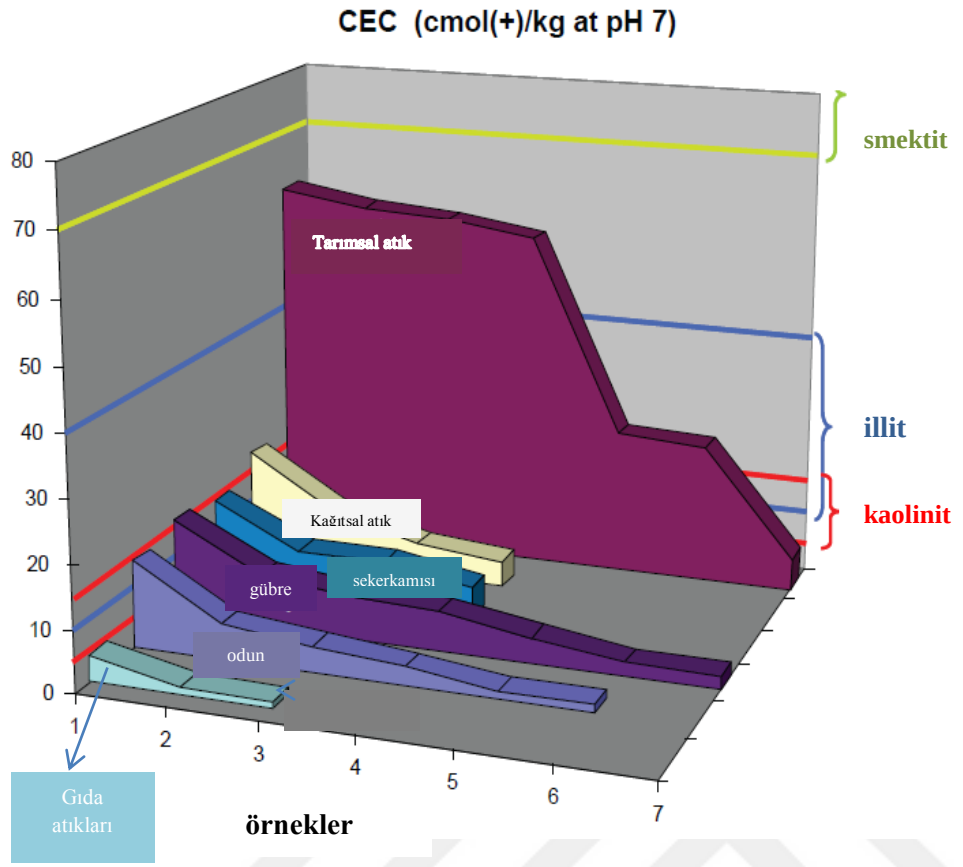


Fig. 4. Chemical interactions between phenol and the functional groups on the surface of the bio-char.

Şekil 1.2.3 Biyokömür üzerinde bağlı fonksiyonel gruplar ve bağ yapıları (Liu et al., 2011)

1.2.4 Toprak katyon değişim kapasitesini düzenleme

Toprağın toplam tutabileceği katyon miktarına eşdeğer kapasiteye, toprağın katyon değişim kapasitesi denir. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda, katyonlar sulama ile topraktan süzülebilirler. Katyonlar negatif yüklü biyokömür yüzeyine bağlanarak bitkinin gereksiniminde kullanılabilirler (Verheijen et al., 2009).



Şekil 1.2.4 Toprak katyon değişim kapasitesini düzenleme (Soil quality, 2014)

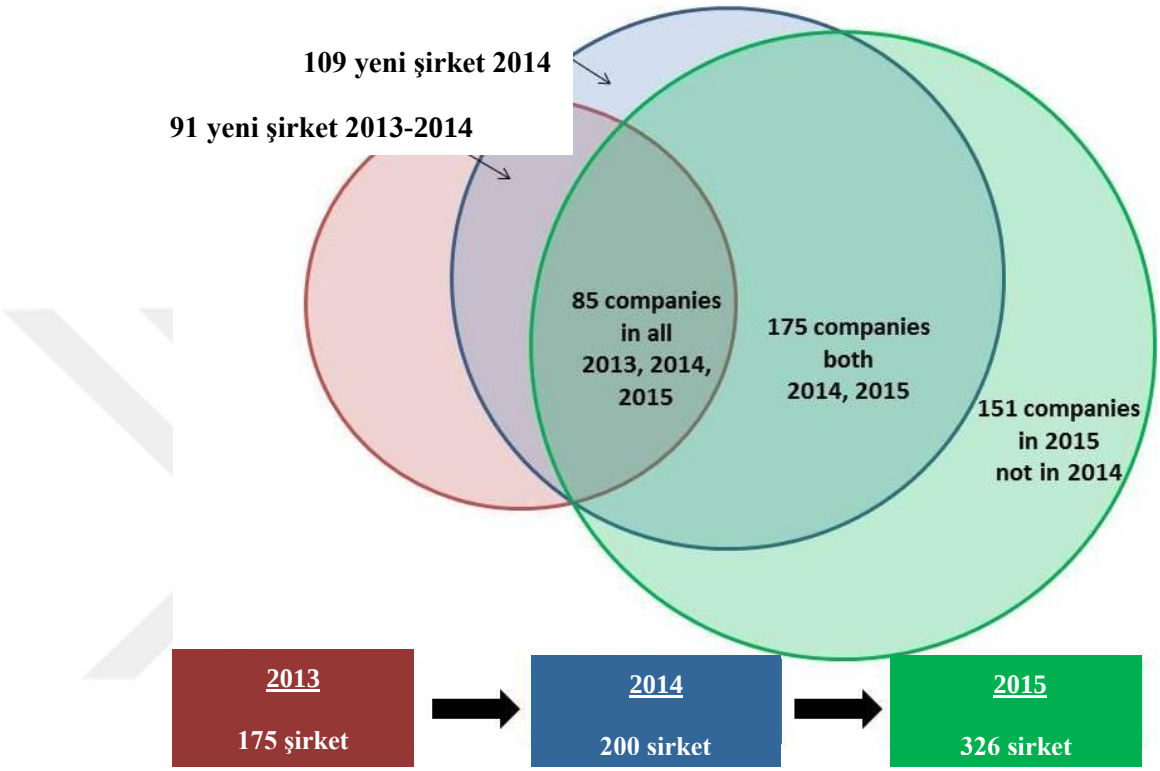
1.2.5 Toprak su tutma kapasitesini düzenleme

Biyokömür total toprak su miktarını ve kapasitesini artırmaktadır (Atkinson et al., 2010). Toprakta tutulan su biyokömür mikroporları içerisinde muhafaza edilmektedir. Böylece kurak yada geçirgen topraklarda su bitkiler için daha kullanışlı hale gelmektedir (Uzoma et al., 2011).

1.3 Dünya'da Biyokömür Üretimi ve Tesisleri

Biyokömür kullanım alanlarının artması ile üretim teknolojisi ve ticari alanda ki değeri dünya genelinde artarak devam etmektedir. Biyokömür endüstri biriminin 2015 raporuna göre, güncel biyokömür üretimi gerçekleştiren tesis ağı önceki yıllara göre hızla genişlemektedir.

Biyokömür endüstri biriminin 2015 yılı raporuna göre, 2014 yılında dünyada 200 biyokömür üretim tesisi bulunuyorken, bu sayı 2015 yılında 326 biyokömür üretim tesisine yükselmiştir.



Şekil 1.3 Dünya'da biyokömür üretim tesisleri dağılımı (IBI, 2015).

1.4 Karbon Bağlamada Biyokömür Kullanımı

Endüstriyel sanayi alanındaki gelişmelerle birlikte atmosferik CO_2 seviyeleri artarak ilerlemekte ve bu nedenle küresel ısınma artmaktadır. Çeşitli jeomühendislik planlar ile küresel ısınmanın azaltılması hedeflenmektedir. Bu jeomühendislik planların büyük bir bölümü karbon bağlama (sequestration) tekniklerinden meydana gelmektedir. Böylece karasal ekosistemlerde biyokömürün toprağa katılması ile uzun-vadeli karbon bağlaması sağlanabilmesi hedeflenmektedir. Biyokömür, bitki materyalinden gelen karbonun, piroliz ile yüksek-verimli karbon maddesine dönüştürülmesi ile oluşturulmaktadır. Bu sayede karbon toprak altında muhafaza edilip tekrar atmosfere karışma riski azaltılabilmektedir (Lehmann et al., 2006).

Karbon bağlama, kısaca hasat sonrası tarladan alınan bitki materyalinin piroliz edilmesi tekniğidir (kes ve kömür (slash-and-char)). Bu şekilde karbonun %50'si biyokömür olarak bağlanmış olmaktadır. Bu sayede karbonun atmosfere yeniden salınması engellenenenmiş olmaktadır (Lehmann et al., 2002). Bu bağlamda Uluslararası Biyokömür İnsiyatifi'nin hesaplmalarına göre, biyokömür teknolojisi ile 2030 yılına kadar çeyrek gigaton karbon bağlanabileceği bildirilmiştir (IBI, 2009).

1.5 Toprak İyileştiricisi Olarak Biyokömür Kullanımı

Toprakların biyokömür ile iyileştirilmesindeki ana mekanizma biyokömürün yüksek adsorbsiyon özelliğine bağlanmaktadır (Samsuri et al., 2014; Zhang et al., 2012). Biyokömür gözenekli bir yapıya sahip olmasıyla mikroorganizmalara ve çeşitli toprak canlılarına ev sahipliği yapmaktadır. Toprak mikrobiyal kütlesinin artması ile toprağın daha fazla besin elementi içermesi ve besin elementlerinin daha uzun süre toprakta kalması sağlanmaktadır.

Biyokömür; toprağın fiziksel (su tutma kapasitesi, havalanma ve kütle yoğunluğu), kimyasal (besin elementi tutma kapasitesi, elektriksel iletkenlik (EC), Ph ve katyon değiştirme kapasitesi (CEC), ve biyolojik (rizosfer mikrobiyal popülasyonu, mikrobiyal C ve N biyokütlesi ve enzimatik aktiviteleri) karakteristiklerini geliştirerek bitki büyümesini destekleyebilmektedir (Lehmann and Joseph 2009; Sohi et al., 2010). Ortalama olarak biyokömür ile toprak iyileştirmede ürün veriminde %10'luk bir artış sağlanabilmektedir (Jeffery et al., 2011). Tek başına biyokömür uygulamasının birkaç yıl boyunca ürün verimini artırdığı gösterilmiştir (Major et al., 2010).

Toprak verimliliğinde biyokömürün rolü; yüksek yüzey alanı, katyon değişim kapasitesi (CEC) ve mikroporluluktur (Atkinson et al., 2010). Ürün veriminde biyokömürün etkileri biyokömür özellikleri, toprak özellikleri ve bitki gereksinimlerine göre değişmektedir (Jeffery et al., 2011).

Son yıllarda tarımda ve çevrede biyokömür kullanımının potansiyel yararları araştırmacılar tarafından önemli ölçüde dikkat uyandırmıştır. Küresel ısınmanın azaltılmasına ek olarak (Molina et al., 2009), toprak verimliliğinin artırılması (Fellet et al.,2011), bitki büyüme ve gelişmesinin teşvik edilmesi (Zhang et al.,

2012) ve toprak besin elementi tutma kapasitesinin artırılması (Laird et al., 2010a) biyokömür araştırma sahalarından bazılarıdır. Çeşitli çalışmalar göstermektedir ki; üzümde (*Vitis vinifera L.*) toprak su tutma kapasitesini arttırıcı (Baronti et al., 2014), mısırda (*Zea mays L.*) toprak verimliliğinin arttırılması (Masto et al., 2013), buğdayda (*Triticum sativum L.*) ağır metal zararlarının azaltılması (Zheng et al., 2013) bakımından biyokömür kullanılabilmektedir. Ayrıca patateste (*Solanum tuberosum*) tuz stresinin azaltılması (Akhtar et al., 2015) tuzlu ve yüksek asitli topraklarda biyokömür uygulamalarının tarımsal açıdan yararlı olabileceğine işaret etmektedir. Ülkemizde yeni başlayan biyokömür araştırmalarına ilişkin literatür bilgisi oldukça sınırlıdır (Akca vd., 2015).

1.5.1 Kurak topraklarda biyokömür kullanımı

Kuraklık dünya çapında ürün verimini etkileyen ana abiyotik faktörlerden birisidir. Kuraklık stresi bitkinin büyüme ve gelişmesini etkileyerek, hücresel metabolizmasının durmasına ve hücrenin ölmesine yol açmaktadır (Waraich et al., 2011). Son yıllarda toprak su tutma kapasitesini artırmak için tarımsal arazilere biyokömür eklenmesi uygulanabilir bir strateji olarak ortaya çıkmaktadır. Toprak su tutma kapasitesini artırmaya izin veren biyokömür eklemesi, onun por yapısı ve spesifik yüksek yüzey_alanı_ile ilişkilidir (Basso et al.,2014; Case et al., 2012; Kammann et al., 2011; Verheijen et al., 2010). 22/ha ve 44 t/ha biyokömür eklemesi yapılmıştır. Toprak su içeriği 4 farklı zamanda ölçülmüş ve en yüksek toprak su içeriğinin 44 t/ha biyokömür eklenmiş topraklarda olduğu ölçülmüştür (Baronti ve ark., 2014). İki su uygulaması (tarla kapasitesinin % 60 ve % 20) ve iki seviyede biyokömür (100 t/ha ve 200 t/ha) eklemesi yapılmıştır. Biyokömür uygulaması ile su kullanım etkinliği ve azot kullanım etkinliği önemli oranda arttığı gösterilmektedir (Kamman et al., 2011).

1.5.2 Ağır metal kirliliği olan topraklarda biyokömür kullanımı

Ağır metal toksisitesi bitkilerin fizyolojik fonsiyonlarına doğrudan ya da dolaylı olarak etki etmektedir. Ağır metallerle kontamine olmuş topraklarda bitki gelişimini destekleyici olarak biyokömür kullanılabilmektedir. Biyokömür yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar ile fenolik bileşiklerin etkileşimi fenol

adsorpsiyonunun temel mekanizmasıdır (Gupta et al., 2013; Waraich et al.,2011; Beesley et al., 2011 ; Karami et al., 2011; Liu et al., 2011). Ağır metal birikimine maruz bırakılan mısır (*Zea mays sp*.) bitkisinin, iki farklı biyokütleden elde edilen biyokömür uygulaması ile yaprak yüzey alanı , kök uzunluğu ve kök yüzey alanı kontrol grubuna kıyasla önemli oranda artış göstermiştir (Brennan et al., 2014).

1.5.3 Asitli topraklarda biyokömür kullanımı

Toprağa biyokömür eklenmesi toprağın ve biyokömürün temel özelliklerine göre, toprak asiditesini nötralize edebilmektedir. Asitli topraklara yüksek alkali biyokömür eklemesi ile Al^{+3} toksisitesinin azaldığı belirtilmiştir (Biederman et al., 2012; Verheijen et al., 2009; Yuan et al., 2011). Asitli topraklara biyokömür uygulaması ile; bitki boyu, yan sürgün sayısı ve üretkenliği ve toplam kuru ağırlık miktarı kontrol grubuna kıyasla önemli oranda artış göstermiştir (Biederman et al., 2012).

1.5.4 Tuzlu topraklarda biyokömür kullanımı

Tuzluluk küresel gıda güvenliğini kısıtlayan ana faktörlerden birisidir. Son belirlemelere göre küresel skalada 1128 Mha arazi tuzluluktan etkilenmektedir. Bitkiler yüksek tuzluluğa, ozmotik ve iyonik stres ile yanıt vermektedir. Bu streslerle; bitkinin su alımı, hücre büyümesi ve lateral tomurcuk gelişimi engellenmekte ve hücresel metobolizma aktivitesi azalmaktadır (Wicke et al., 2011; Munns and Tester, 2008; Panuccio et al., 2014). Biyokömür yüksek tuz adsorpsiyon potansiyeline sahiptir. Bitkilerde Na^+ alınımını azaltarak_yada Na^+ atılımını kolaylaştırarak tuzluluğun negatif etkilerini iyileştirmede kullanabilmektedir (Thomas et al., 2013; Akhtar et al., 2015). Akhtar ve ark., patates (*Solanum tuberosum L.*) bitkisine 3 farklı tuz stresi(0-25-50 mM NaCl) uygulamış ve iki seviye de biyokömür (0-5 t/ha) eklemesi yapmışlardır. Biyokömür eklemesi yapılan bitkilerde, ksilem Na^+ konsantrasyonlarının kontrol grubuna kıyasla düşük olduğu ölçülmüştür (Akhtar et al., 2015). Biyokömür eklenen 25 mM NaCl tuz stresine maruz bırakılmış bitkilerde, bitki büyümesinin kontrol grubuna kıyasla önemli oranda arttığı gözlemlenmiştir (Akhtar et al., 2015).

İki otsu bitki üzerinde 30 g/m² tuz stresi ve 5-50 t/ha biyokömür eklemesi yapılmıştır. Kontrol ve 5 t/ha gruplarının tümü 10. günde hayatta kalma mücadelesini kaybetmiştir. 50 t/ha biyokömür eklenmiş her iki bitkide deney sonuna kadar hayatta kalmış, fakat *P.vulgaris*'in 40. günden itibaren tuz stresi nedeniyle büyüme ve gelişmesinin azalma yönünde ilerlediği görülmüştür (Thomas et al.,2013).

2. MATERYAL METOD

2.1 Deney Kurulumu

Çalışma Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü serasında yürütülmüştür. Fasulye tohumları ekilmeden önce 24 saat süresince akan su altında bekletilip ekim yapılmıştır. Tohumlar yüksekliği 14 cm, çapı 16 cm olan plastik saksılara 5'er adet halinde ekilmiştir. Toprak karışımı olarak 1:1:1 oranında torf, kum, perlit hazırlanmıştır. Çalışmada 9 uygulama ve 4 tekrardan toplam 36 saksı kullanılmıştır. Seranın çalışma periyodu süresince ortalama sıcaklığı 20.76 °C ±2 ve ortalama ışık miktarı 6000 lüks (CEM/ DT-1301) olarak ölçülmüştür. Biyokömür Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Endüstriyel Kimya laboratuvarından temin edilmiştir. Biyokömür için hammadde olarak % 70 sert odun ve % 30 yumuşak odun oranında zeytin dal ve yaprakları kullanılmıştır. Hammadde 400 °C'de oksijensiz ortamda ısıtılarak piroliz edilmiştir. Elde edilen biyokömür parçaları saksılara eklenmeden önce küçültülerek 2 mm boyutuna getirilmiştir. Çalışmada 5 t/ha ve 15 t/ha oranlarında biyokömür uygulamaları yapılmıştır. Biyokömür içermeyen saksılar kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Çalışmada her saksıya 1:1:1 oranında 0,6 g NPK gübre sulandırılarak ilave edilmiştir. Biyokömür özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	**Değer**
Organik madde (%)	94.8
Kül (%)	5.2
Uçucu madde (%)	45.2
Fikse karbon (%)	49.6
C (%)	58.21
H (%)	4.95
N (%)	1.29
S (%)	0.21
O (%)	30.14
pH	9.3
EC (dS m^{-1})	3.25
CEC (cmol kg^{-1})	34.10
Partikül boyutu	
< 2 mm (%)	5
2 mm (%)	95

2.2 Tuz Uygulaması

Tuz uygulaması çalışma periyodu (60 gün) süresince bitkilere 0 mM, 25 mM ve 50 mM NaCl solüsyonları olmak üzere üç seviyede uygulanmıştır. Çeşme suyunda NaCl çözdürülerek tuz solüsyonu elde edilmiştir. Sulama toprak su tutma kapasitesinin % 90 oranında uygulanmıştır.

2.3 Kök ve Gövde büyümesi, Çiçek ve Meyve Sayısı

Kök ve gövde uzunlukları hasattan hemen sonra ölçülmüştür. Kök/Gövde oranları kök, gövde uzunluklarının birbirine oranlanması ile belirlenmiştir. Çiçek ve meyve sayıları bitkiler hasat edilmeden önce kayıt altına alınmıştır.

2.4 Fotosentetik Verim

Hasat öncesinde, olgun yapraklarda fotosentetik verim ölçümü fotosentetik etkinlik analizörü (Hansatech, UK) ile 10:00-14:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için 3. ve 4. bitki yaprakları klipsler ile 30 dakika boyunca karanlıkta tutulmuştur. Karanlığa adaptasyondan sonra fotosistem II'nin maksimum kuantum verimi (Fv / Fm: değişken ve maksimum floresans oranı) ölçülmüştür.

2.5 İyon Sızıntısı Ölçümleri

Tuz uygulaması ile bitkideki membran hasarı iyon sızıntısı değerleri Jambunathan N (2010) yöntemine göre belirlenmiştir. Yapraklardan alınan örnekler 40 ml distile su içeren falkon tüplere aktarılmıştır. Bu tüpler çalkalayıcıda (50 rpm) 4 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra kondüktivitemetre (WTW cond 720) ile 1. ölçüm ve kaynatmadan sonra da 2. ölçümler alınarak analiz edilmiştir.

2.6 Hidrojen Peroksit İçeriği

Bitkilerdeki hidrojenperoksit (H_2O_2) içerikleri Patterson et al., 1984 'e göre ölçülerek belirlenmiştir. Bitki yapraklarından alınan 1'er g'lık örnekler 10 ml % 0.1 trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edilip, 4500 g de 40 dakika santrifüj

edilmiştir. Daha sonra her bir örnekten alınan 0.5 ml süpernatanta, 0.5 ml KH_2PO_4 ve 1 ml KI eklenerek vortekslenmiştir. Karışımların 390 nm ve 355 nm absorbans değerlerinde spektrofotometre ile ölçümleri alınıp ve y= 0,2091x – 0,0984 standartı ile hesaplanmıştır.

2.7 Bağıl Su İçeriğinin Hesaplanması (RWC)

Uygulanan streslerin bitkilerin bağıl su içeriği üzerindeki etkisini belirlemek üzere, deneme gruplarındaki her bitkiden 3. trifoliat yapraklar alınmıştır. Yaprakların yaş ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra yaprakları turgorlu hale getirebilmek için üzerlerine 20 ml distile su eklenerek +4 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle karanlık ortamda bekletilmiştir. Bu süre sonunda kurutma kağıdıyla kurulanan yapraklar tartılmış ve 24 saat süre ile 70 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Kuru ağırlıkları alınan yaprakların bağıl su içerikleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. (Ekanayake et al., 1993).

Bağıl su içeriği (%) = [(Y.A – K.A.)/(T.A. – K.A.)] x 100

(Y.A. : Yaş ağırlık, K.A.: Kuru ağırlık, T.A. : Turgorlu Ağırlık)

2.8 Biyokömür Tuz Adsorbsiyon Kapasitesi

Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesini ölçmek için 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 mM'lık distile su ile hazırlanan tuz solüsyonları hazırlanmıştır. Bu solüsyonların biyokömür eklenmeden önce EC değerleri ölçülüp daha sonra her birine 1 g biyokömür eklenerek 4500 rpm'de santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan alınan EC değerleri ile biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi belirlenmiştir.

2.9 İstatiksel Analizler

Fasülye çeşitlerinde dört tekrarlı yapılan analizlerden, elde edilen tüm verilerin varyans analizleri 'Statical Package for Social Scienses (SPSS for Windows 16.0)' kullanılarak ortalamalar arasındaki farklılık Multiple Range Testlerinden LSD ve Tukey ile $p<0.05$ önemlilik derecesine göre yapılmıştır. Standart hata değerleri de aynı programda hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR

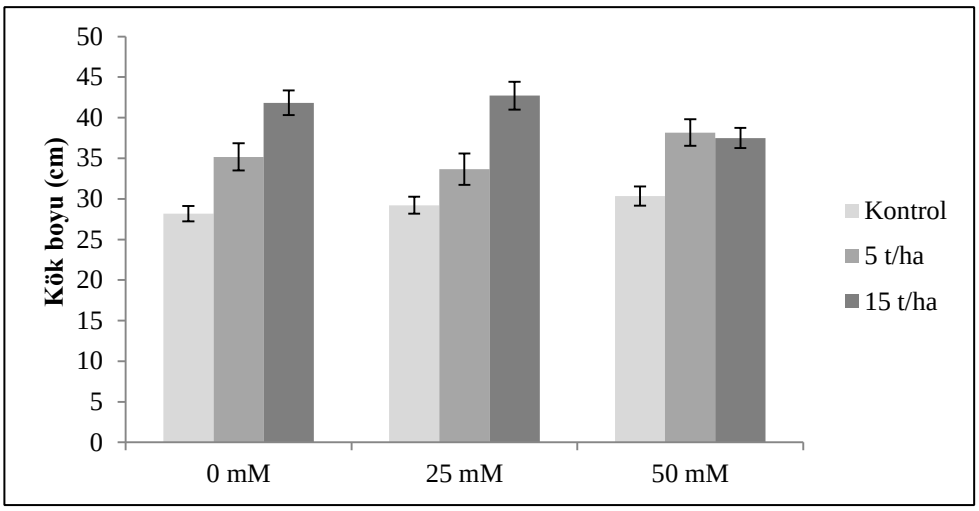
Tuza duyarlı fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) bitkisi sera koşullarında farklı konsantrasyonlarda tuz (0, 25, 50 mM NaCl) ve biyokömür (0, 5, 15 t/ha) ilavesi yapılan toprakta yetiştirilerek, tuz stresi ve biyokömür etkileşiminin büyüme ve gelişme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu uygulamalar ile fasulye bitkisinin büyüme ve gelişmesi, kök ve gövde gelişimi, meyve ve çiçek sayısı belirlenerek, ayrıca yapılan uygulamaların bitki metabolizması üzerindeki etkisi bağıl su içeriği, fotosentetik verimi, iyon sızıntısı ve H_2O_2 ölçülerek ortaya koyulmuştur.

3.1 Kök Büyümesi

Tuz stresi altındaki bitkilere biyokömür ilavesiyle bitkilerin kök gelişimlerinde artış gözlenmiştir. Tuz stresi uygulanmamış bitkilerde, kontrol grubuna kıyasla 5 ve 15 t/ha uygulamaları ile kök büyümesinde sırasıyla %25 ve %46 oranında artış meydana gelmiştir. Düşük tuz stresinde 5 t/ha biyokömür uygulaması ile kontrol grubu arasında %13'lük bir büyüme farkı gözlenmiştir. Aynı düşük tuz stresinde 15 t/ha biyokömür eklenen bitkilerde ise kök boyunda %44 oranında artış meydana gelmiştir. Yüksek tuz stresi altındaki bitkilerde kontrol grubunun kök uzunluğu %1 artış göstermiştir. 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulamalarında ise kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %26 ve %23'luk artış meydana gelmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.1 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin kök uzunluğu değerleri ve ±, standart hata

Kök (cm)	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	28,67± 1,047	29,22± 1,892	30,33± 1,554
5 t/ha	35,16± 0,994	33,66± 1,463	38,16± 1,324
15 t/ha	41,83± 1,561	42,72± 1,634	37,51± 1,423



Şekil 3.1 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde kök büyümesi üzerine etkisi.

3.2 Gövde Büyümesi

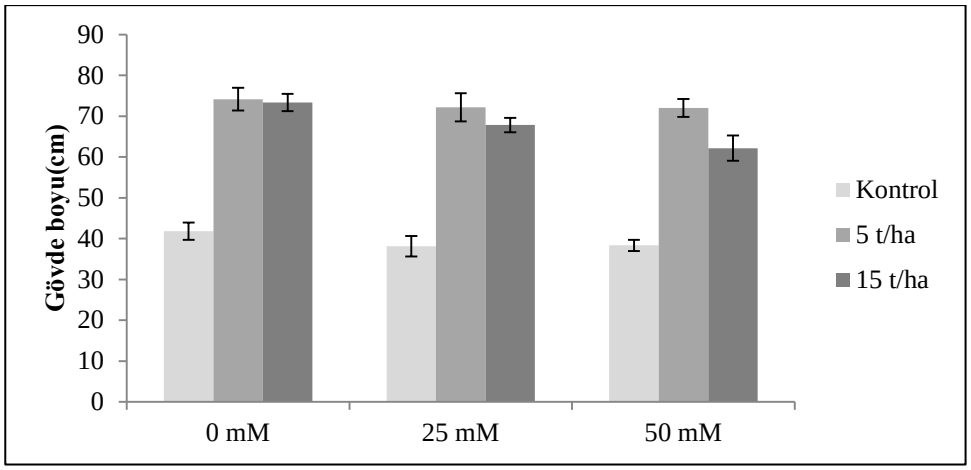
Tuz stresi olmayan koşullarda, 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin gövde büyümesi, kontrol grubuna göre sırasıyla, % 80 ve %78 oranında artış meydana getirmiştir. 25 mM tuz uygulaması yapılan bitkilerde biyokömür eklenmeyen bitkilere kıyasla, 5 t/ha uygulaması ile %89 ve 15 t/ha uygulaması ile de %76'lık bir artış gözlenmiştir.

Yüksek tuz uygulaması yapılan koşullar altında ise, biyokömür içermeyen topraklardaki bitkilerin gövde büyümesi azalırken, 5 t/ha ve 15 t/ha biyokömür içeren topraklardaki bitkilerin gövde büyümesinde %88 ve %63'lık bir artış gözlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.2 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin gövde uzunluğu değerleri ve ±, standart hata

Gövde (cm)	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	41,83± 1,914	38,11± 2,297	38,33± 2,256
5 t/ha	74,16± 1,885	72,16± 2,77*	72,06± 2,608
15 t/ha	73,33± 0,712	67,83± 2,614*	62,16± 1,985

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



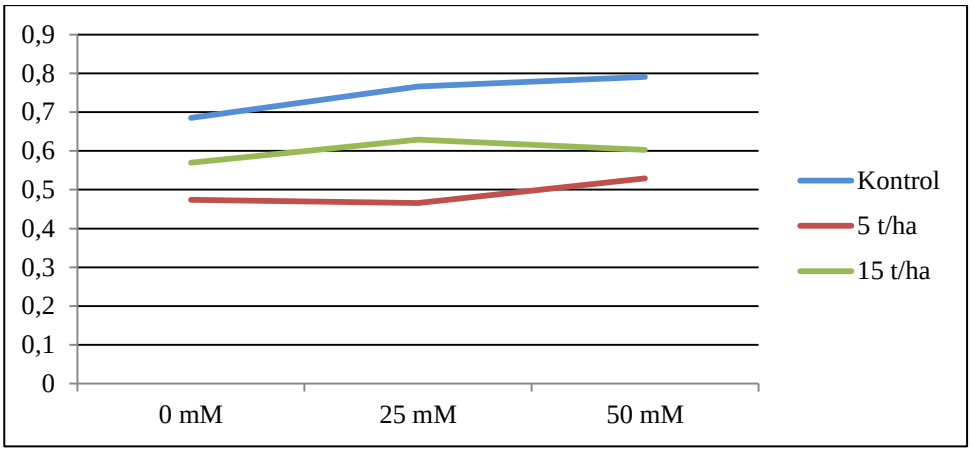
Şekil 3.2 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde gövde büyümesi üzerine etkisi.

3.3 Kök/Gövde Oranları

Tuz stresi olmayan koşullarda 5 t/ha ve 15 t/ha biyokömür içeren gruplar kontrol grubuna göre sırasıyla %31,8 ve %17 değerinde daha düşük kök/gövde oranına sahip olarak belirlenmiştir. Düşük tuz stresi uygulanan gruplarda ise biyokömür içermeyen bitkilere göre 5 t/ha ve 15 t/ha biyokömür içeren grupların sırasıyla %40 ve %18 daha düşük kök/gövde oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek tuz stresi uygulamasında ise 5 t/ha ve 15 t/ha biyokömür içeren bitkilerin, biyokömür içermeyen bitkilere göre sırasıyla %34 ve %24 daha düşük kök/gövde oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Bitkilerin kök/gövde oranları

Kök/Gövde	0 mM	25 mM	50 mM
Kontrol	0,685	0,766	0,791
5 t/ha	0,474	0,466	0,529
15 t/ha	0,57	0,629	0,603



Şekil 3.3 Bitkilerin kök/gövde oranları

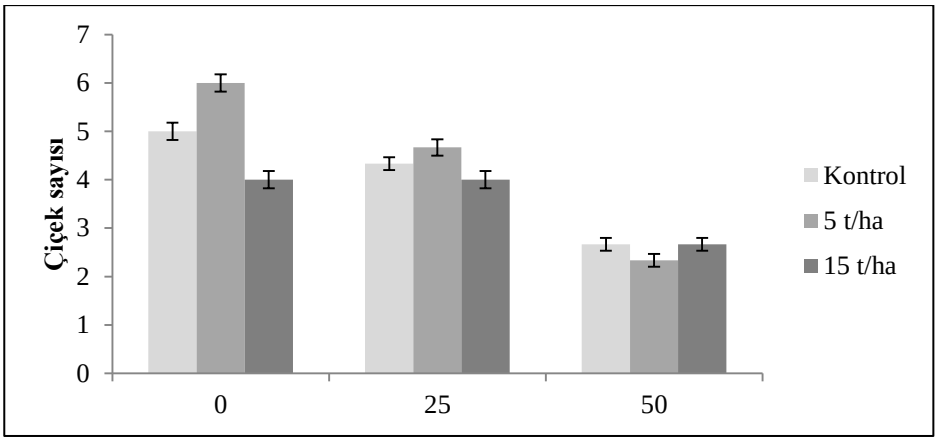
3.4 Çiçek Sayısı

Tuz stresi olmayan koşullarda kontrol grubu bitkilerinde 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilere göre %10 değerinde daha yüksek çiçek sayısı gözlemlenirken, 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilere göre %36 değerinde daha düşük çiçek sayısı gözlemlenmiştir. Düşük tuz uygulaması koşullarında biyokömür içermeyen bitkilere kıyasla, 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerin çiçek sayısı %15 değerinde daha yüksek olarak ortaya çıkmıştır. 15 t/ha uygulaması yapılan bitkilerde ise bu değer %2 değerinde daha düşük olarak gözlemlenmiştir. Daha yüksek tuz stresinde biyokömür katılmamış topraklarda yetiştirilen bitkilerin çiçek sayısı azalırken, bu sayı 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerde %29 değerinde daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. Aynı seviyedeki tuz uygulamasında, 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkiler ile biyokömür içermeyen bitkiler arasında çiçek sayısı bakımından önemli bir fark gözlemlenmemiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.4 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin çiçek sayısı değerleri ve ±, standart hata

Çiçek (saksı)	0 mM	25 mM	50 mM
Kontrol	4,71± 0,54	4,18± 0,68	2,78± 0,63
5 t/ha	6,44± 0,78*	4,81± 0,71	2,59± 0,58
15 t/ha	4,21± 0,69	4,07± 0,84	2,79± 0,72

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.4 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde çiçek sayısı büyümesi üzerine etkisi.

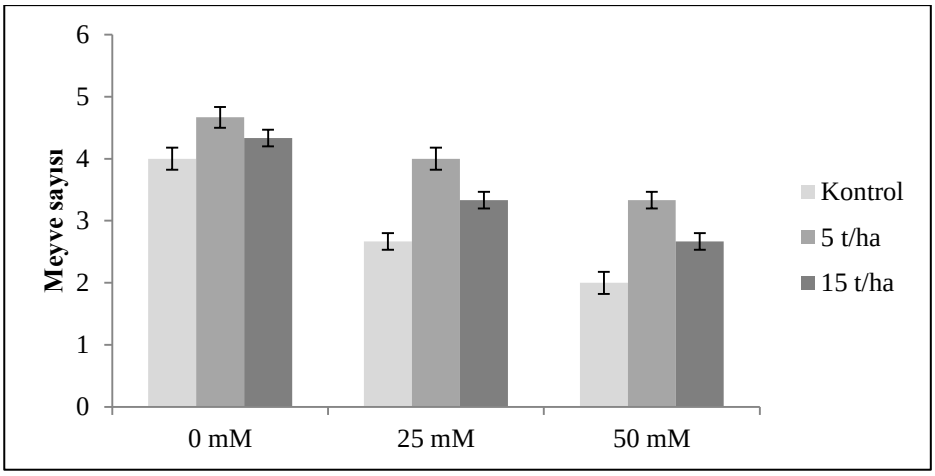
3.5 Meyve Sayısı

Bitkilerde hasat öncesi yapılan meyve sayımlarına göre, biyokömür içermeyen topraklardaki bitkilere kıyasla, biyokömür uygulanan bitkilerde daha fazla meyve sayısı görülmektedir. Tuz stresi olmayan koşullardaki bitkilerde, 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulaması kontrol grubuna göre meyve sayısında sırasıyla %14 ve %6 değerinde artış meydana getirmiştir. Biyokömür içermeyen düşük tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde meyve sayısının azaldığı görülmüştür. Buna ters olarak 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde %55 ve 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılmış bitkilerde de % 25 oranında artış meydana gelmiştir. Yüksek tuz uygulaması ile biyokömür içermeyen bitkilerin meyve sayılarında azalma meydana gelirken, 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde %56 ve % 24 artış meydana gelmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.5 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin meyve sayısı değerleri ve ±, standart hata

Meyve (saksı)	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	4,07± 1,171	2,66± 0,789	2,21± 1,081
5 t/ha	4,66± 0,803	4,13± 0,615*	3,45± 1,007*
15 t/ha	4,34± 1,341	3,34± 0,543	2,76± 1,137

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.5. Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde meyve sayısı üzerine etkisi.

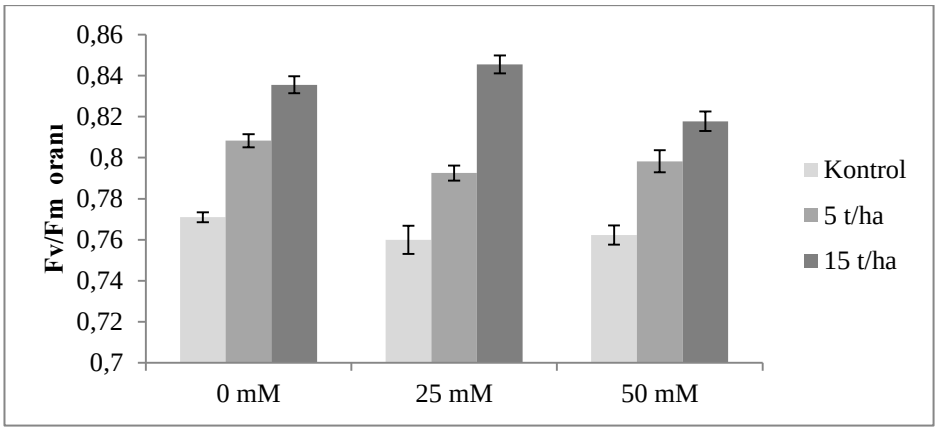
3.6 Fotosentetik Verim

Tuz stresinin fasulye bitkileri üzerinde fotosentetik verime etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu analizde elde edilen sonuçlara göre, tuz stresi uygulanmamış kontrol grubu bitkilerine kıyasla 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılmış bitkilerde %5 ve %7'lik bir artış meydana gelmiştir. 25 mM ve 50 mM tuz stresi altındaki biyokömür içermeyen topraklarda yetiştirilmiş bitkilerin fv/fm değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Düşük ve yüksek tuz stresi koşullarında, 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılmış bitkilerde fv/fm oranı biyokömür içermeyen bitkilere kıyasla %4 daha yüksek görülmektedir. Yine bu iki tuz stresi altındaki 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde ise biyokömür eklenmemiş topraklardaki bitkilere kıyasla, sırasıyla %8 ve %6 daha yüksek fv/fm değerleri meydana gelmiştir. ($p<0.05$).

Çizelge 3.6 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin fv/fm değerleri ve ±, standart hata

Fv/Fm	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	0,77± 0,050	0,76± 0,045	0,76± 0,005
5 t/ha	0,81± 0,071	0,79± 0,098	0,79± 0,007
15 t/ha	0,83± 0,012	0,84± 0,007*	0,81± 0,002

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.6. Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde fotosentetik verim üzerine etkisi.

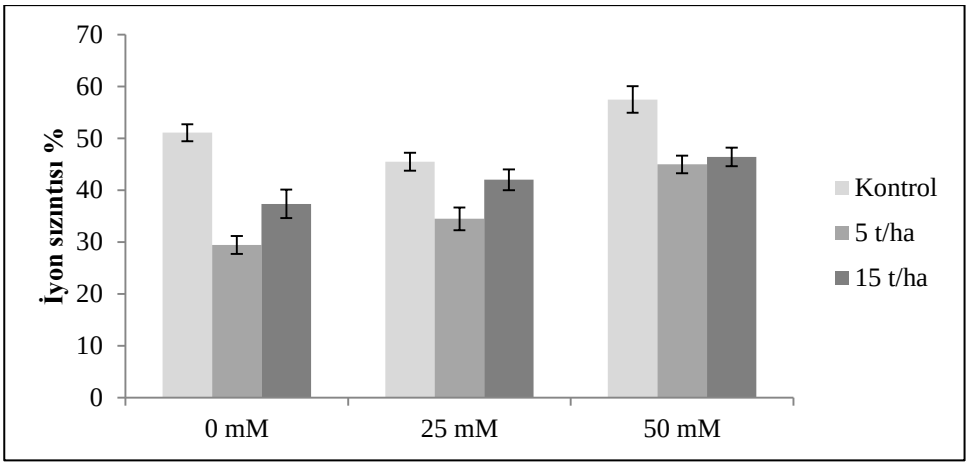
3.7 İyon Sızıntısı

Bitkilerin 4. yapraklarından çıkarılan disklerden elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ölçülmüştür. Bu değerlere göre, tuz stresi olmayan koşullarda 5 ve 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılmış bitkilerin EC değerleri kontrol grubu bitkilerine göre sırasıyla %43 ve %27 değerinde daha düşük olarak ölçülmüştür. Düşük tuz stresi koşullarında 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerin EC değerleri biyokömür içermeyen bitkilere göre %24 daha düşük ölçülmüştür. Aynı tuz stresinde biyokömür içermeyen topraklarda yetiştirilen bitkilere kıyasla, 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerin EC değerleri de %6 değerinde daha düşük olarak ölçülmüştür. 50 mM tuz stresi altında, biyokömür içermeyen bitkilere kıyasla 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin % 22 ve 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin ise %15 değerinde daha düşük EC değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.7. Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin iyon sızıntısı değerleri ve ±, standart hata

İyon(µS/cm)	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	51,07± 1,623	45,47± 2,430	57,47± 1,087
5 t/ha	29,42± 1,728*	34,47± 1,334	44,96± 1,713
15 t/ha	37,36± 2,542	42,23± 1,613	46,47± 2,342

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.7. Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde iyon sızıntısı üzerine etkisi.

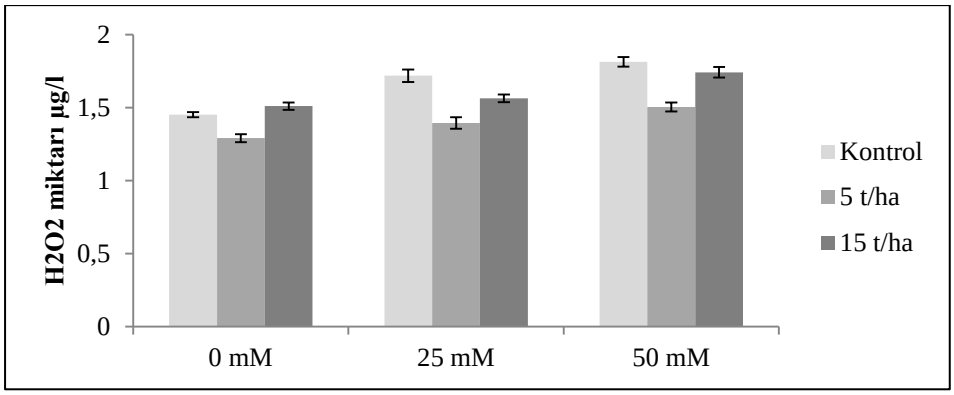
3.8 Hidrojen peroksit içeriği

Bitkilerin H_2O_2 içeriklerine baktığımızda, tuz stresi olmayan koşullarda 5 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerin kontrol gruba kıyasla sırasıyla %11 daha düşük ve 15 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerin ise %4 daha yüksek değerlere sahip oldukları belirlenmiştir. 25 ve 50 mM tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde, 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin H_2O_2 içerikleri biyokömür içermeyen bitkilere göre, sırasıyla %18 ve %14 ve 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin ise %8 ve %3 daha düşük olarak belirlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3.8 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin H_2O_2 değerleri ve ±, standart hata

H_2O_2 (µg/l)	**0 mM**	**25 mM**	**50 mM**
Kontrol	1,45± 0,189	1,71± 0,276	1,81± 0,248
5 t/ha	1,29± 0,423	1,39± 0,398*	1,54± 0,267
15 t/ha	1,51± 0,334	1,56± 0,304	1,74± 0,662

*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.8 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit üzerine etkisi.

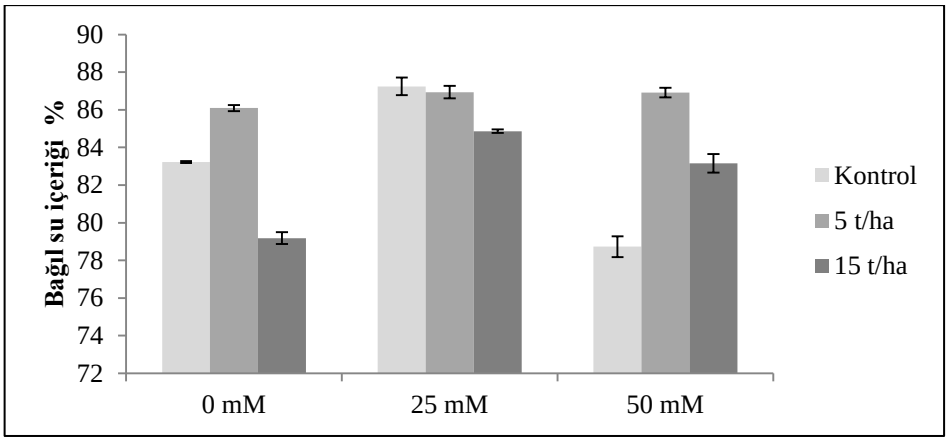
3.9 Bağıl su içeriği (RWC %)

Uygulanan streslerin bitkilerin bağıl su içeriği üzerindeki etkisini belirlemek üzere, deneme gruplarındaki her bitkiden 3. trifoliat yapraklar alınmıştır. Tuz stresi olmayan koşullarda 5 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerin bağıl su içerik değerleri kontrol gruba kıyasla % 4 daha yüksek çıkarken, 15 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerin ise %3 daha düşük olarak belirlenmiştir. 25 Mm tuz stresi altındaki biyokömür içermeyen ve 5 t/ha biyokömür uygulanmış bitkiler arasında bağıl su içeriğinin istatistik açıdan önemli bir farka sahip olmadığı belirlenmiştir. Aynı tuz stresi altındaki 15 t/ha biyokömür uygulaması yapılmış bitkilerin biyokömür içermeyen bitkilere kıyasla % 3 daha düşük bağıl su içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. 50 mM tuz stresi altındaki koşullarda 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerin bağıl su içeriği biyokömür içermeyen bitkilere kıyasla % 10, 15 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerin bağıl su içerikleri ise %6 oranında daha yüksek olarak ölçülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 3.9 Biyokömür uygulaması ile tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinin bağıl su içeriği değerleri ve ±, standart hata

RWC (%)	0 mM	25 mM	50 mM
Kontrol	82,22± 0,316	87,24± 1,413	78,73± 2,824
5 t/ha	86,09± 1,298	86,94± 1,894	86,91± 2,067
15 t/ha	79,18± 1,885*	84,86± 1,107	83,15± 2,472

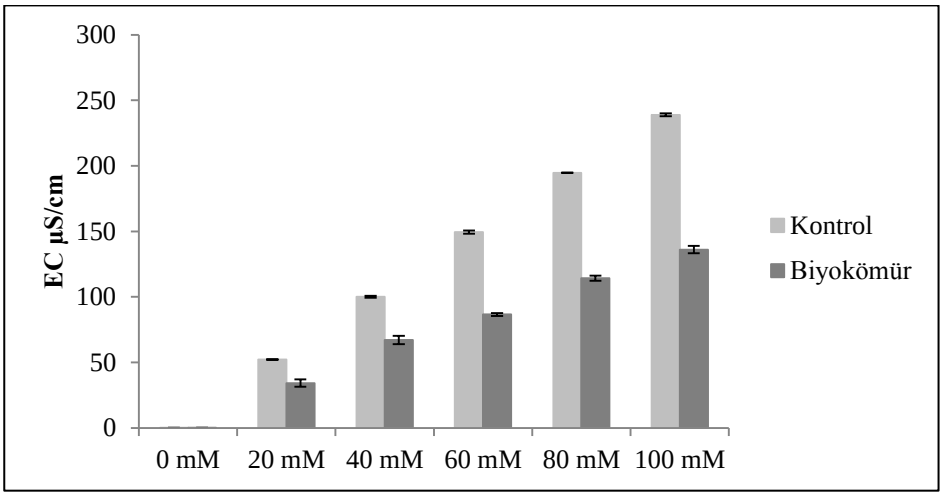
*İstatistik olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli farklılık.



Şekil 3.9 Biyokömür uygulamasının tuz stresi altındaki fasulye bitkilerinde bağıl su içeriği üzerine etkisi.

3.10 Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi

Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi ölçümlerine göre, 100 mM NaCl çözeltilerinde biyokömür içeren gruplar, biyokömür içermeyenlere göre %44 oranında daha düşük EC değerine sahip ölçülmüştür. 80 mM ve 60 mM'lık çözeltilerde ise EC değerleri biyokömür içeren gruplarda içermeyenlere göre sırasıyla %42 ve %43 daha düşük ölçülmüştür. Düşük tuz konsantrasyonlarında ise (40 mM ve 20 mM) biyokömür içeren gruplar içermeyen gruplara göre sırasıyla %33 ve %35 daha düşük EC değerlerine sahip olarak ölçülmüştür. Tuz içermeyen gruplarda ise biyokömür içeren gruplar içermeyenlere göre %123 daha yüksek EC değerlerine sahip olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.10 Biyokömür tuz adsorbsiyon kapasitesi.

4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Kuru tane veya taze sebze olarak yaygın bir şekilde üretilen fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) dünyada ekim alanı ve üretimi yönünden yemeklik tane baklagiller içerisinde ilk sırada yer almaktadır. FAO verilerine göre dünyada 27 milyon ha alanda 19 milyon ton kuru fasulye üretimi yapılmaktadır (FAO,2013). Tarım, çeşitli abiyotik stres koşullarının olumsuz etkilerine karşı oldukça duyarlıdır. Dünya da yaygın tarım bitkilerinden birisi olan fasulye tuza duyarlılık gösteren önemli bir tarım bitkisidir. Yüksek toprak tuzluluğu, yaklaşık 1.1 Gha alanı diğer bir deyişle dünya topraklarının %7'sini etkileyen, önemli bir sorundur (Wicke et al., 2011). Bu tez projesinde, toprak iyileştirici ve ürün verimini artırıcı özellikleri açısından biyokömürün, toprak tuzluluğunun bitkiler üzerindeki büyüme ve gelişmeye olan negatif etkilerini giderebilme potansiyeli, tuza oldukça duyarlı ve ekonomik bir tür olan fasulye bitkisi kullanılarak, sera denemeleriyle araştırılmıştır.

Büyüme ve gelişme parametreleri açısından değerlendirildiğinde, stres koşulları bulunmaksızın toprağa biyokömür ilavesinin bitkide kök, gövde büyümesi, çiçek ve meyve sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Tuz stresi koşullarında (25 ve 50 mM), toprağa biyokömür ilavesiyle, fasulyede**,** gövde büyümesi, çiçek ve meyve sayısında, tuzun neden olduğu azalmanın biyokömür ilavesiyle tersine çevirebildiği ve bu etkinin özellikle 5 t/ha biyokömür uygulamasında daha belirgin olduğu ortaya konmuştur. Çalışma verilerine göre, özellikle bitki kök gelişimi oranlarında su stresi cevaplarını görmek olasıdır. Yalnız tuz uygulanmış topraklarda yetiştirilen bitkilerde küçük bir değişimle kök uzamasının görüldüğü, 5 t/ha biyokömür uygulanmış gruplarda 25 mM tuz stresine maruz bırakılan bitkilerin kök boylarında azalma, 50 mM tuz stresine maruz bırakılanlarda ise artış belirlenmiştir. 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerde 25 mM tuz stresindeki bitkilerin kök boylarında küçük bir artış olduğu, 50 mM tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde ise azalma olduğu belirlenmiştir.

Kök/gövde, oranları değerlendirildiğinde; biyokömür eklenmemiş topraklarda yetiştirilen bitkilerin kök/gövde oranlarının, 5 ve 15 t/ha biyokömür eklenmiş topraklarda yetiştirilen bitkilere göre daha yüksek çıkması bir kuraklık belirtisi olabilir. Özellikle, 25 ve 50 mM tuz stresi altındaki bitkilerde bu fark dikkat çekmektedir. Çalışma verilerimize göre, tuz stresi temelde iyon birikimi ve su stresine neden olarak bitkilerde hasar oluşturmaktadır (Munns and Tester, 2008).

Çalışmamızda, tuz uygulaması yapılan bitkilerde, biyokömür içeren topraklarda yetiştirilmiş olanların kök/gövde oranlarının, biyokömür içermeyen topraklarda yetiştirilen bitkilere göre daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Böylece biyokömür ile tuz uygulamasının neden olduğu kuraklık stresi iyileştirilmiş olmaktadır. Tuz uygulaması sonucu rizosferde Na^+ iyonlarının birikimi ile bitkilerin kök büyümesi inhibe olmaktadır. Ama toprağa biyokömür eklenmesi ile kök büyümesinde pozitif artış meydana gelmektedir. Toprak tuzluluğunun patates (*Solanum tuberosum sp.)* bitkisi üzerindeki negatif etklerini sera çalışmalarıyla ortaya koyan Akhtar et al., (2015), bu durumu biyokömürün toprak kütle yoğunluğunu azaltıp, kök yüzeyi ile Na^+ iyonları arasındaki etkileşimi azaltması ile açıklamaktadır. Toprağa biyokömür katılmasıyla bitki su kullanım etkinliği artmış olup, kurak periyotta bitkilerin adaptasyon stratejileri kazanmasına yol açmıştır. Toprağa biyokömür eklenmesinin büyüme ve gelişmeye katkısı tarla çalışmaları ile üzüm (*Vitis vinifera L.*) bitkisinde Baronti et al., (2014) tarafından çalışılmıştır. Ayrıca bu sonuçlarla tutarlı olarak Bruun et al. (2014) toprağa biyokömür eklemesiyle kök büyümesinde pozitif etki sağlandığını bildirmiştir.

Tuz stresi-biyokömür ilişkisinde; biyokömürün tuzluluğun neden olduğu kökte uzama teşviki, gövdede kısalma, çiçek ve meyve sayısı dolayısıyla verimde azalmaya neden olma etkileri, toprağa biyokömür ilavesiyle bertaraf edilmiştir. Verim ve büyümeye ilişkin bulgularımız toprağa biyokömür katılmasıyla toprak iyileştirmede ürün veriminde %10'luk bir artış sağlanabildiğine ilişkin bulgularla uyumlu bulunmuştur (Jeffery et al. 2011).

Büyüme verileri, bitkininin su içeriği ve fotosentetik verimi ile doğrudan ilişkili kavramlardır. Bu açıdan, değişken floresansın maksimum floresansa oranı olan Fv/Fm verileri değerlendirildiğinde; tuz stresi uygulanmamış bitkiler içerisinde en yüksek Fv/Fm değeri 15 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Düşük tuz stresiyle birlikte gruplarda Fv/Fm oranlarının azaldığı, yüksek tuz stresinde ise kontrol grubu ve 5 t/ha biyokömür uygulanan bitkilerde değişiklik ölçülmemiştir. Bunun tersine 15 t/ha biyokömür uygulanmış bitkilerde yüksek tuz stresiyle beraber Fv/Fm oranlarında azalma meydana gelmiştir. Özellikle düşük sulama rejimli topraklara biyokömür eklenmesinin toprak su tutma kapasitesini artırdığı rapor edilmiştir (Akhtar et al., 2014). Genel olarak bakıldığında; tuz stresiyle beraber bitkilerin Fv/Fm oranlarında azalma meydana

gelmiştir. Tuz uygulaması yapılmayan bitkiler incelendiğinde, biyokömür eklenmiş grupların Fv/Fm oranları biyokömür içermeyen gruplara kıyasla daha yüksek olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlarla paralel olarak, düşük ve yüksek tuz streslerinde biyokömür eklenmesinin fasulyede fotosentetik verimi artırdığı belirlenmiştir.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ozmotik strese bağlı olarak hücre genişlemesinin durması ve membran bütünlüğünün bozulması gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Membran bütünlüğünün ve hücre hasarının belirlenmesi için yapraklardan iyon sızıntısı miktarları ölçülmüştür. Tuz stresine maruz bırakılmayan kontrol grupları içerisinde en düşük iyon sızıntısı miktarı 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde ölçülmüştür. Düşük tuz stresi koşullarında biyokömür uygulaması yapılmış grupların biyokömür içermeyen bitkilere göre daha az miktarıda iyon sızıntısı gösterdiği ölçülmüştür. Yüksek tuz stresiyle beraber tüm gruplarda iyon sızıntısı miktarında artış olduğu belirlenmiştir. Bu tuz stresinde en düşük iyon sızıntısı miktarı 5 t/ha biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde ortaya çıkmış ve tuzun neden olduğu membran hasarlarının en fazla bu gruplarda engellendiği ortaya konmuştur.

H_2O_2 hücre zarlarında lipid peroksidasyonu gibi radikal tepkimelerini başlatabilen oksitleyici özelliği nedeniyle biyolojik sistemlerde lipid dışında, protein ve DNA hasarlarına neden olan bir reaktif oksijen türüdür (Asada et al., 1974). Bitkilerin hidrojenperoksit (H_2O_2) içeriklerine baktığımızda, hem stres hem de stres altında olmayan koşullarda 5 t/ha biyokömür eklemesi yapılan bitkilerin en düşük H_2O_2 içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. 25 ve 50 mM tuz stresi altındaki koşullarda biyokömür eklemesi yapılmayan bitkilerinin en yüksek hidrojenperoksit içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında stres koşullarıyla birlikte bitkide artan H_2O_2 miktarının toprağa biyokömür katılmasıyla beraber azaldığı belirlenmiştir, bu yönüyle bitkide tuz stresinin neden olduğu oksidatif stresin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Tuz stresine bağlı olarak bitkilerde bağıl su içeriğinde azalma meydana gelmesi tuz stresinin önemli bir karakteristiğidir. Kaya ve Higgs, (2003) biber bitkisinde, tuz stresi altındaki bitkilerde bağıl su içeriği değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Çalışma sonuçlarımıza göre, stres koşullara bulunmaksızın toprağa biyokömür eklenmesi bitki bağıl su içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Tuz stresi koşullarında (25 ve 50 mM), toprağa biyokömür ilavesiyle, fasulyede, bağıl

su içeriği miktarında tuzun neden olduğu azalmanın biyokömür ilavesiyle tersine çevirebildiği ve bu etkinin özellikle 5 t/ha biyokömür uygulamasında daha belirgin olduğu ortaya konmuştur. Bu bulgular, verim ve stres kaynaklı hasarların azalması sonuçlarıyla uyumlu paralel veriler ortaya koymaktadır.

Sonuçlarımız, tuz stresinin negatif etkileri altındaki fasulye bitkilerinde toprağa biyokömür eklenmesinin büyüme ve gelişmeye katkı sağladığını göstermektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerinde tuzun neden olduğu strese karşı biyokömür iyileştirici etki göstermektedir. Biyokömürün bitkinin aşırı tuza maruz kalmasını, yüksek adsorbsiyon kapasitesi nedeniyle, bitkinin köklerden Na^+ alınımını azaltarak ya da Na^+ salınımını artırarak engelleyebileceği ileri sürülmektedir (Akhtar et al., 2015). Bunun yanı sıra, Liang et al., (2006), toprağa biyokömür eklenmesinin toprağın katyon değişim kapasitesine katkı sağladığını ve böylece Na^+ iyonlarının adsorblanarak bitkiler tarafından alınımının engellendiğini, tuz stresi koşullarında yetiştirilen buğday (*Triticum sativum sp.)* bitkisi ile yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır. Ürün verimi açısından elverişsiz topraklarda biyokömür eklenmesi ile büyüme ve verim artışına pozitif katkı sağladığı (Jefferey et al., 2011) ve tuzlu topraklar gibi verimi azaltan çevre koşullarında kullanımının ekonomk olabileceği (Lashari et al., 2013) farklı bitkilerde literatür verileriyle ortaya konulmuştur.

Bitkilerde tuzluluk nedeniyle meydana gelen negatif büyüme ve gelişme etkileri yaygın olarak çalışılan bir konudur (Pessarakli and Szabolcs, 1999). Son çalışmalar, biyokömürün toprak organik madde miktarını önemli miktarda artırdığını göstermektedir (Akca vd, 2015). Aynı zamanda toprağa biyokömür eklenmesi ile, bitkiler tarafından toprak mineral besleyicilerinin kullanılabilirliğinin de desteklenip, tuzluluk stresinin neden olduğu negatif etkilerin iyileştirilmesi ile sonuçlandırıldığı gösterilmektedir (Laird et al., 2010a). Ayrıca piroliz biyokütlesi (biyokömür) kullanılması ile toprak su tutma kapasitesinin artırılabileceği ve bitki su kullanım etkinliğinin artırılması yönünde teşvik edilebileceği belirtilmektedir (Baronti ve ark., 2014). Bu sayede toprağa biyokömür katılmasının tuzlu tarım alanlarının iyileştirilmesinde rol oynayabileceği ileri sürülmüştür (Thomas et al., 2013).

Elde edilen sonuçlarda toprağa biyokömür uygulaması ile tuz stresinin fasulye bitkisi üzerine negatif etkilerini iyileştirmede önemli etkiye sahip olduğu literatürde ilk olarak ortaya konmuştur. Bu bağlamda, fasulyede tuz stresinin

negatif etkilerini iyileştirmede veya azaltılmasında toprağa biyokömür eklenmesinin yararlı olacağı saptanmıştır.

Gelecek çalışmalar adına bitkilerde tuz stresinin negatif etkilerinin iyileştirilmesinde toprağa biyokömür ilavesi uygulanabilir bir çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak iyileştiricisi olarak biyokömür kullanımı ile gübre kullanımı azaltılabilmekte ve abiyotik streslerin negatif etkileri iyileştirilebilmektedir. Piroliz aşamalarının değiştirilmesiyle bitkiler için elverişsiz topraklara uygun spesifik biyokömürler üretilebilmektedir. Her ne kadar tarımda biyokömürün yaygın kullanım oranı 0 ila 5 t/ha olarak gösteriliyor olsa da, elverişsiz toprağa uygun oranlar için ön çalışma yapılması gereklidir. Özellikle ham madde seçimi ile elverişsiz toprağa uygun rekalsitrant karbon, spesifik yüzey alanı, yüksek adsorbsiyon kapasitesi ve fonksiyonel grup içeren spesifik biyokömür elde edilebilmektedir. Bu çalışma ile tuza hassas bitkilerin ürün veriminde artış sağlanabilmesi ve tuzlu topraklara adaptasyonlarının sağlanarak tarıma katkı sunabileceği gösterilmiştir. Artan insan nüfusu ve bilinçsiz yaşam modelleri nedeniyle gerçekleşen toprak tahriplerinin önüne geçilerek, elverişsiz topraklara uygun biyokömür seçilmesi ve uygulanması ile bu tahripler önemli ölçüde azaltılabilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akca M.A., Namlı A., 2015, Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth, Eurasian J Soil Sci, 4 (3) 161 – 168

Akhtar, S.S., Andersen, M.N. & Liu, F**.,** 2015, Biochar mitigates salinity stress in potato. Journal of Agronomy and Crop Science ISSN 0931-2250.

Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N. & Liu, F**.,** 2014, Biochar enhances yield and quality of tomato under reducced irrigation. Agric. Water Manag. 138, 37-44

Alternatifpower,2005,Gazlar,http://www.alternatifpower.com.tr/tr/gazlar/syngas-17// Erişim tarihi: 24.03.2016

Atkinson, C., J. Fitzgerald, and N. Hipps**,** 2010, Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperature soils: a review. Plant Soil 337, 1-18.

Aydoğan M., Demiryürek K., Abacı N. İ., 2015, Türkiye'de Kuru Fasulye Üretiminin Mevcut Durumu ve Gelecek Dönemler Üretiminin Tahmin Edilmesi, Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(12): 962-968

Baronti S., Vaccari F.P., Migliettaa F., Calzolari C., Lugato E., Orlandini S., Pini R., Zulianf C., Genesioa L., 2014, Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.), Europ. J. Agronomy 53 (38–44

Baronti S., Vaccari F.P., Miglietta F., Calzolari C., Lugato E., Orlandini S., Pini R., Zulian C., Genesio L., 2014, Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.). European Journal of Agronomy 53 (2014) 38-44

Basso A.S., Miguez F.E., Laird D.A., Horton R., and Westgate M., 2013, Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils, Glob. Change Biol. Bioenerg., 5, 132– 143,.

Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, J.L., 2010, Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability, and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environ. Pollut. 158, 2282e2287

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Biederman L.A., Harpole W.S., 2013, Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a metaanalysis, GCB Bioenergy, 5(2):202–214. doi: 10.1111/gcbb.12037

Brennan A., Jiménez E.M., Puschenreiter M., Alburquerque J.A., Switzer C., 2014, Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil, Plant Soil, 379:351–360

Bruun, E. W., C. T. Petersen, E. Hansen, J. K. Holm, and H. Hauggaard-Nielsen, 2014, Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. Soil Use Manag. 30, 109–118.

Case Sean D.C., McNamara Niall P., Reay David S., Whitaker J., 2012, The effect of biochar addition on N_2O and CO_2 emissions from a sandy loam soil – The role of soil aeration, Soil Biology and Biochemistry, Volume 51, Pages 125–134

Chen Y., Yang H., Wang X., Zhang S., Chen H., 2012, Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: influence of temperature, Bioresour. Technol,. 107, 411e418.

Cheng C.H., Lehmann J., Engelhard M.H., 2008, Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence, Geochim. Cosmochim. Acta 72 (6), 1598e1610.

Chowdhury M. A., de Neergaard A., and Jensen L. S., 2014, Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting, Chemosphere 97, 16–25.

Ekanayake I, De Datta S., Steponkus P., 1993, Effect of water deficit stress on diffusive resistance, transpiration, and spikelet desiccation of rice, Ann Bot 72, 73-80.

FAO., 2013, Plant production statics, http://www.fao.org, Erişim: 22.09.2016

Fellet , G., Marchiol, L., Dele Vedove, G., Peressotti , A., 2011, Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere 83 (9), 1262-1267

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Gaunt J.L. and Lehmann L., 2008, Energy Balance and Emissions Associated with Biochar Sequestration and Pyrolysis Bioenergy Production College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, NY 14850, and GY Associates Ltd Environ. Sci. Technol., 42 (11), pp 4152–4158

Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W., 2001, The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics, Naturwissenschaften, Volume 88, Issue 1, pp 37–41

Gupta V.K., Ali, I., Saleh, T.A., Siddiqui, M.N., Agarwal, S., 2013, Chromium removal from water by activated carbon developed from waste rubber tires. Environ. Sci. Pollut. Res. 20, 1261–1268.

Hoffman, G.J., Howell, T.A. Solomon, K.H., 1992, Management of Farm Irrigation Systems, ASAE Monograph Number 9 published by ASAE.

IBI, 2006, What is biochar?, http://www.biochar-international.org/biochar/faqs#question1, Erişim tarihi: 20.12.2015

IBI, 2013, Biochar production technology, http://www.biochar-international.org/technology/production, Erişim tarihi: 23.02.2016

IBI, 2015, State of industry, http://www.biochar-international.org/State_of_Industry_2015, Erişim tarihi: 17.8.2016

IBI., http://www.biochar-international.org/biochar/faqs#question1 [Erişim: 10.10.16]

Jambunathan N., 2010, Determination and detection of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation, and electrolyte leakage in plants. Methods Mol Biol 639: 292-298.

Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agri. Ecosys. Environ. 144, 175e187.

Kammann CI., Linsel S., Gößling J.W., KoyroH-W., 2011, Influence of biochar on drought tolerance of Chenopodium quinoa Willd and on soil–plant relations, Plant Soil 345:195–210

Karami N., Clemente, R., Moreno-Jiménez, E., Lepp, N.W., Beesley, L., 2011. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. J. Hazard. Mater. 191, 41–48.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Kaya and Higgs, 2003, Supplementary Potassium Nitrate Improves Salt Tolerance in Bell Pepper Plants, Journal of Plant Nutrition, Pages 1367-1382, Volume 26, Issue 7

Laird ,D.A., Fleming , P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D., 2010a. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158 (3-4), 436-442.

Lashari, M. S., Liu, Y. M., Li, L. Q., Pan, W. N., Fu, J. Y., Pan, G. X., Zheng, J. F., Zheng, J. W., Zhang, X. H., and Yu, X. Y., 2013, Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain, Field Crop Res, 144, 113-118.

Lehmann J., 2006, Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems— a review, Mitigat Adaptat Strat Glob Chan 11:403– 427. doi:10.1007/s11027-005-9006-5

Lehmann J., Czimczik C., Laird D., Sohi S., 2009, Stability of biochar in soil. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management—science and technology. Earthscan, London, pp 183–205

Lehmann J., da Silva J .P., Rondon M., da Silva C.M., Greenwood J., Nehls T., Steiner C., Glaser B., 2002, Slash-and-char: a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon?, Trans World Congress Soil Sci., 17: 1–12.

Lehmann, J., 2007, Bio-energy in the black, Frontiers in Ecology and the Environment, 5(7), 381-387.

Lehmann, J., 2007, Bio-energy in the black, Frontiers in Ecology and the Environment, 5(7), 381-387. Bioresource Technology 102 (2011) 8247–8252

Li, M., Liu, Q., Guo, L., Zhang, Y., Lou, Z., Wang, Y., Qian, G., 2013, Cu(II) removal from aqueous solution by Spartina alterniflora derived biochar, Bioresour. Technol, 141, 83–88

Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O"Neill B., Skjemstad J.O., Thies .J, Luizao F.J., Petersen J., Neves E.G., 2006, Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Sci Soc Am J 70:1719–1730. doi:10.2136/sssaj2005.0383

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Liu W.J., Zeng F.H. , Jiang H. , Zhang X., Zhang S., 2011, Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass a, Bioresource Technology 102, 8247–8252

Major J., Lehmann J., Rondon M., Goodale C., 2010, Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration, Glob. Change Biol., 16 (4), 1366e1379.

Marmore, 2014, Piroliz teknolojileri, http://www.marmore.com.tr/teknolojiler-piroliz, Erişim tarihi: 10.02.2016.

Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. Catena 111 (2013) 64-71

Mayer, Z.A., Apfelbacher, A., Hornung, A., 2012, A comparative study on the pyrolysis of metal- and ash-enriched wood and the combustion properties of the gained char, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 96, July 2012, Pages 196–202.

Molina M., Zaelke D., Sarma K.M., Andersen S.O., Ramanathan V., Kaniaru D., 2009. Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO_2 emissions. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 106 (49), 20616-20621

Munns R., and Tester M., 2008, Mechanisms of salinity tolerance, Annu Rev Plant Biol. ;59:651-81. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.

Panuccio M.R., Jacobsen S.E., Akhtar S.S., and Muscolo A., 2014, Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa, AoB PLANTS, Volume 6 10.1093/aobpla/plu047.

Patterson, B.D., MacRae, E.A., Ferguson, I.B., 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium(IV). Analytical Biochemistry, 139, 487-492.

Pessarakli, M. and Szabolcs, I., 1999, Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant/Crop Stress Factors. In: Pessarakli M. (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Taylor & Francis Group, second edition, Boca Raton, p: 1-15.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Samsuri A. W., Sadegh-Zadeh F., and Seh-Bardan B. J., 2014, Characterization of biochars produced from oil palm and rice husks and their adsorption capacities for heavy metals, Int. J. Environ. Sci. Technol., 11, 967–976.

Sohi S., Krull E., Lopez-Capel E., Bol R., 2010, A review of biochar and its use and function in soil, Adv. Agron., 105, 47e82.

Soil quality, 2014, biochar-for-agronomic-improvement, http://www.soilquality.org.au/factsheets/biochar-for-agronomic-improvement, Erişim tarihi: 2.7.2016

Song X.D., Xue X.Y., Chen D.Z., He P.J., Dai X.H., 2014, Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation, Chemosphere, Volume 109, Pages 213–220

Thomas, S.C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado N., Melamed S., Murray, J., 2013, Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species

TUİK., 2014a. Bitkisel üretim istatistikleri, http://www.tuik.gov.tr, Erişim: 01.09.2016

UBK., 2010, Ulusal Baklagil Konseyi, Baklagil raporu http://www.ubk.org.tr, Erişim: 22.09.2016

Uzoma KC., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A., Nishihara E., 2011, Effects of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition, Soil Use Manage 27:205–212

Verheijen F.G.A., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M., Diafas I., 2009, Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp, EUR 24099 EN

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Waraich E.A., Ahmad R., Saifullah, Ashraf M.Y., Ehsanullah, 2011, Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants, Australian Journal of Crop Science, 5(6): 764-777

Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., Faaij, A., 2011, The global technical and economic potential of bioenergy from salt affected soils. Energy Environ. Sci. 4, 2669-2681.

Yuan J.H., Xu R.K., Zhang H., 2011, The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures, Bioresour. Technol., 102 (3), 3488e3497.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., 2012, Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant Soil 351 (1-2), 263-275

Zheng, R., Zheng, C., Cai, C., Wang, X., Huang, Y., Xiao, B., Sun, G., 2013, Effect of Biochars from Rice Husk, Bran, and Straw on Heavy Metal Uptake by Pot-Grown Wheat Seedling in a Historically Contaminated Soil. BioResources 8(4), 5965-5982

6.ÖZGEÇMİŞ

Ufkay KARABAY, 24 Haziran 1988'de Amasya' da doğdu. İlk öğrenimini Taşköprü/ KASTAMONU' da yaptıktan sonra, 8. Sınıfı okumak için tekrar Amasya'da bulundu. 2002 yılında Gebze Sarkuysan Süper Lisesine başladı ve lise öğrenimini Gebze/KOCAELİ'de tamamladı. Ege Üniversitesi Biyoloji bölümüne 1 yıl hazırlık okuduktan sonra 2008 yılında başladı. Staj eğitimini 2011 yılında Ege Üniversitesi Biyoloji Bölümü Tıbbi Bitkiler laboratuvarında gerçekleştirdi.

2014 yılında başladığı Ege Üniversitesi Biyoloji Bölümündeki Yüksek lisans eğitimini ''BİYOKÖMÜR UYGULAMARININ, TOPRAK TUZLULUĞUNUN BİTKİDE NEGATİF ETKİLERİNİ İYİLEŞTİRME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI'' adlı tezi ile 2017 yılında bitirdi. 2013 yılından beri Güneş Patoloji laboratuvarında çalışmaktadır.