

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BAKTERİ UYGULAMALARININ (*Pseudomonas fluorescens*,
Bacillus megaterium ve *Bacillus subtilis*) GUAR (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.)
Taub.)'IN KURAKLIĞA TOLERANSI ÜZERİNE ETKİSİ

İLKNUR DÜLGER

TARIM VE YAŞAM BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI

2021

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

İlknur DÜLGER tarafından hazırlanan “Farklı Bakteri Uygulamalarının (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis*) Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.)’ın Kuraklığa Toleransı Üzerine Etkisi” adlı tez çalışması 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 : Doç. Dr. Alpaslan KUŞVURAN

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

Üye : Doç. Dr. Alpaslan KUŞVURAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Recep İrfan NAZLI

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Dr. Öğr. Üyesi İlkay ÇORAK ÖCAL
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Farklı Bakteri Uygulamalarının (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis*) Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.)’ın Kuraklığa Toleransı Üzerine 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 12/02/2021.

İlknur DÜLGER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Farklı Bakteri Uygulamalarının (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium* *Bacillus subtilis*) Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.)'ın Kuraklığa Toleransı Üzerine Etkisi

İlknur DÜLGER

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Alpaslan KUŞVURAN

Bu çalışma, farklı bakteri uygulamalarının guar bitkisinin kuraklığa tolerans özelliği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla sera koşullarında, tesadüf parselleri bölünmüş parseller deneme desenine göre; farklı bakteri uygulamaları [Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş, *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF) ve *Bacillus megaterium* (BM)] ana parselleri, kuraklık uygulamaları ise ([%100 sulama (S0-kontrol), %75 sulama (S1), %50 sulama (S2), %25 sulama (S3), %0 sulama (S4)] alt parselleri oluşturacak şekilde, üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Çalışma sonucunda; bitki büyüme parametreleri bakımından kontrol bitkilerine oranla %25-71, yaprak oransal su içeriğinde %37, SPAD değerinde %34 azalma olurken; membran zararlanma indeksinde %19 düzeyinde artış meydana gelmiş, yaprak su potansiyeli ise %280 düzeyde negatif yönde artış göstermiştir. Bununla birlikte, bakteri uygulamaları bitkilerin kuraklık stresine toleransını artırmış ve bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla ortaya çıkan azalma %3-35 düzeyinde kalmıştır. Bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan S4 bitkileri ile karşılaştırıldığında ortalama olarak BS'de %3-71, PF'de %28-159 ve BM'de %3-169 düzeyinde iyileşme sağlanmış, dolayısıyla bitkilerin kurağa karşı tolerans düzeyleri artış göstermiştir. Sonuç olarak, *Bacillus megaterium* (BM)'un guarda kuraklığa tolerans açısından daha etkin olduğu, bunu sırasıyla *Pseudomonas fluorescens* (PF) ve *Bacillus subtilis* (BS) bakteri türlerinin izlediği belirlenmiştir.

2021, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens*, Guar, Kuraklık Stresi

ABSTRACT

Master's Thesis

The Effect of Different Bacteria (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis*) Applications on Drought Tolerance of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.)

Ilknur DULGER

Cankiri Karatekin University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agriculture and Life Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN

Drought is one of the most important environmental factors limiting plant growth and development. Nowadays, especially in the context of increasing productivity, a number of applications are carried out with microorganisms of biological origin, more useful in agricultural production. In this study, effects of different bacteria applications on drought tolerance were evaluated. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) seeds, which are came from the India was used as the material. The guar seedlings were grown in 12-L plastic pots containing a 2:1 ratio of peat to perlite medium and housed in a greenhouse that was maintained at day/night temperatures of 26 ± 2 °C and 18 ± 2 °C, and a relative humidity of $65\% \pm 5$. When plants reached 3th leaf (15-20 cm height), drought and bacteria applications were started. For drought stress; 100% (K), 75 (D1), 50 (D2), 25 (D3) and 0 (D4) levels of the field capacity were taken for stress levels; 100% irrigation was accepted as the control application. Three different bacterial species (*Pseudomonas fluorescens* (PF), *Bacillus megaterium* (BM) and *Bacillus subtilis* (BS)) were used in the study. Starting from 30DAS, the drought treatment began and, the plants were evaluated in terms of fresh and dry weight, plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, root fresh and dry weight, chlorophyll (SPAD), relative water content, leaf water potential, and membrane injury index. As a result of the study; D4 (0%) irrigation applications adversely affected the plant growth and, 25-71% decrease was observed in terms of the parameters (fresh and dry weight, plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, root fresh and dry weight), examined compared to control plants. Moreover compared to control plants, relative water content and SPAD reduced by 37% and %34, while membrane injury index and leaf water potential increased %19 and 280% (negative increase), respectively. However, bacterial applications increased tolerance of plants to drought stress and the decrease in control plants remained at 3-35%. Application of bacteria increased drought tolerance especially D4 treatment and improvement drought tolerance for BS (3-71%), PF (28-159%), and BM (3-169%). According to our results; it was determined that *Bacillus megaterium* (BM) was more effective in drought tolerance, followed by *Pseudomonas fluorescens* (PF) and *Bacillus subtilis* (BS) bacteria species, respectively.

2021, 72 pages

Key Words: *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens*, Guar, Drought Stress

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub., $2n=14$), Baklagiller (*Fabaceae*) familyasından kurağa dayanıklı ve kendine döllen tek yıllık bir bitki türüdür. Genellikle sebze olarak insan beslenmesinde kullanıldığı gibi yeşil aksamı kurutulduktan sonra hayvan beslemede de kullanılmaktadır. Ayrıca tohum hasadı yapıldıktan sonra kalan bitkisel artıklar değerli bir yem kaynağıdır. Bununla birlikte hasat sonrasında arta kalan bitki kök ve sap artıkları toprak özelliklerini iyileştirici yönde etki yapmaktadır. Bu çalışmada, bitki gelişimine ve verimliliğe olumlu yönde katkı sağladığı birçok literatürde ifade edilen bakteri uygulamalarının ülkemiz için yeni bir baklagil türü olan ve farklı kullanım alanlarına sahip guarda kuraklığa toleransı artırmaya yönelik etkileri incelenmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında benden desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübesiyle çalışmamı sabırla takip eden, yakın ilgi ve önerileriyle beni yönlendiren, çalışma şevkimi ve motivasyonumu artıran, bana her daim güvenen ve desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Alpaslan 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 annem ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın farklı aşamalarında yardımları ile bana destek olan Zir. Müh. Elif KAYA'ya teşekkür ederim.

İlknur DÜLGER

Çankırı, Şubat 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. METARYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1 Materyal.....	16
3.2 Yöntem	16
3.2.1 Denemenin Kurulması ve Bitkilerin Yetiştirilmesi.....	16
3.2.2 Farklı Bakteri (Kontrol, BS, PF ve BM) ve Kuraklık (S0, S1, S2, S3, S4) Uygulamalarının Gerçekleştirilmesi	17
3.2.3 İncelenen Özellikler ve Yöntemleri	21
3.2.3.1 Skala Değerlendirmesi (0-5).....	25
3.2.3.2 Yeşil Aksam Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi (g bitki ⁻¹).....	25
3.2.3.3 Kök Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi (adet bitki ⁻¹)	26
3.2.3.4 Dal Sayısının Belirlenmesi (adet bitki ⁻¹).....	26
3.2.3.5 Yaprak Sayısı (adet bitki ⁻¹) ve Yaprak Alanının Belirlenmesi (cm ² bitki ⁻¹).....	26
3.2.3.6 Bitki Boyu (cm) ve Sap Kalınlığının (mm) Belirlenmesi	26
3.2.3.7 Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi (%).....	27
3.2.3.8 Yaprak Su Potansiyelinin (YSP) Belirlenmesi (%).....	27
3.2.3.9 Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanmasının (MZİ) Belirlenmesi (%)	27
3.2.3.10 Klorofil (SPAD) Değerinin Belirlenmesi	28
3.2.4 Verilerin Değerlendirilmesi.....	36
4. BULGULAR	38
4.1 Skala Değerleri Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	39
4.2 Bitki Boyu ve Sap Kalınlığı Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	40
4.3 Yeşil Aksam Yaş ve Kuru Ağırlıkları Bakımından Meydana Gelen Değişimler	42
4.4 Kök Yaş ve Kuru Ağırlıkları Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	44
4.5 Dal Sayısı Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	46
4.6 Yaprak Sayısı ve Yaprak Alanı Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	47
4.7 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ) Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler.....	49
4.8 Yaprak Su Potansiyeli (YSP) Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	51
4.9 Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanma İndeksi (MZİ) Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	53
4.10 Klorofil (SPAD) Değerleri Bakımından Ortaya Çıkan Değişimler	54
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER DİZİNİ

>	Büyüktür
dS	Desisiemens
EC	Elektriksel İletkenlik
ha	Hektar
<	Küçüktür
L	Litre
m	Metre
mg	Miligram
%	Yüzde
g	Gram
da	Dekar



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Ekim öncesi toprak hazırlığı ve tohumların saksılara ekimi	17
Şekil 3.2 Çıkışlar sonrası seyreltme işlemi	18
Şekil 3.3 Farklı bakteri türlerinin bitkilere uygulanması	20
Şekil 3.4 Ekimden hasada kadar geçen dönemde bitkilerin gelişim aşamaları	22
Şekil 3.5 İncelenen özellikler ve yöntemlerine ait bazı işlemler	26
Şekil 3.6 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S0 (%100 Sulama/Kontrol).....	27
Şekil 3.7 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S1 (%75 Sulama)	27
Şekil 3.8 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S2 (%50 Sulama)	28
Şekil 3.9 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S3 (%25 Sulama)	28
Şekil 3.10 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S4 (%0 Sulama)	29
Şekil 3.11 <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS) + S0 (%100 Sulama/Kontrol)	29
Şekil 3.12 <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS) + S1 (%75 Sulama)	30
Şekil 3.13 <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS) + S2 (%50 Sulama)	30
Şekil 3.14 <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS) + S3 (%25 Sulama)	31
Şekil 3.15 <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS) + S4 (%0 Sulama)	31
Şekil 3.16 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF) + S0 (%100 Sulama/Kontrol).....	32
Şekil 3.17 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF) + S1 (%75 Sulama)	32
Şekil 3.18 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF) + S2 (%50 Sulama)	33
Şekil 3.19 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF) + S3 (%25 Sulama)	33
Şekil 3.20 <i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF) + S4 (%0 Sulama)	34
Şekil 3.21 <i>Bacillus megaterium</i> (BM) + S0 (%100 Sulama/Kontrol)	34
Şekil 3.22 <i>Bacillus megaterium</i> (BM) + S1 (%75 Sulama).....	35
Şekil 3.23 <i>Bacillus megaterium</i> (BM) + S2 (%50 Sulama).....	35
Şekil 3.24 <i>Bacillus megaterium</i> (BM) + S3 (%25 Sulama).....	36
Şekil 3.25 <i>Bacillus megaterium</i> (BM) + S4 (%0 Sulama).....	36
Şekil 3.26 Farklı bakteri [Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş), <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS), <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF), ve <i>Bacillus megaterium</i> (BM)] ve kuraklık [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)] uygulamaları	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Farklı bakteri türleri ve kuraklık uygulamaları.....	15
Çizelge 4.1 Bitki skala değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), %75(S1), %50 (S2), %25 (S3), %0(S4)].....	40
Çizelge 4.2 Bitki boyu ve sap kalınlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)]	42
Çizelge 4.3 Yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar[% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)].....	43
Çizelge 4.4 Kök yaş ve kuru ağırlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)].....	45
Çizelge 4.5 Dal sayısı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)].....	46
Çizelge 4.6 Yaprak sayısı ve yaprak alanı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel Gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)]	47
Çizelge 4.7 Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)]	49
Çizelge 4.8 Yaprak su potansiyeli (YSP) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)]	51
Çizelge 4.9 Membran zararlanma indeksi (MZİ) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)]	53
Çizelge 4.10 Klorofil (SPAD) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75(S1), % 50 (S2), % 25 (S3), %0(S4)].....	54

1. GİRİŞ

Kuraklık, tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli abiotik stres faktörleri arasında yer almaktadır. Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi %26'lık payla en büyük dilimi içermektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005).

Tarımsal üretimde önemli oranda verim kayıplarının yaşanmasına neden olan etmenlerin başında kuraklık gelmektedir. Türkiye dâhil olmak üzere tüm dünyada kuraklık, bitki verimliliğini etkileyen en önemli abiyotik streslerden olup yaklaşık 2.4 milyar insan yüksek oranda su stresi olan bölgelerde yaşamaktadır. Bu veriler kuraklıkla mücadelede kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin elde edilmesi üzerinde yapılan çalışmaların önemini açığa çıkarmaktadır. Günümüzde gerçekleşen iklim değişikliği; doğal kaynaklar yerine fosil yakıtların kullanımı, ormanlık alanların giderek azalması, sanayi gelişimine bağlı olarak atmosfere salınan gazların meydana getirdiği sera etkisi ve tarım alanlarının yanlış kullanımına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Yüksel ve Aksoy 2017).

Su noksanlığı bitkilerde turgorite kayıpla beraber ozmotik potansiyelin de azalmasına neden olmaktadır. Su eksikliğine bir cevap olarak ortaya çıkan bu durum, bitkide çeşitli eriyebilir maddelerin birikimine neden olmakta ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlar görülmektedir. Bu durum kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde ozmotik uyum veya ozmoregülasyon olarak tanımlanmaktadır. Ozmotik uyum kuraklık, su ve tuz stresine karşı bitkinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi açısından oldukça önemli bir mekanizmadır. Bu yaşamsal faaliyetler arasında stomal ve fotosentetik uyum mekanizmaları, bitki gelişmesi ve ürün vermesi ile hücre gelişiminin devamlılığı sayılabilir (Ashraf and Iram 2005).

Kuraklık toleransı, suyun kısıtlı olduğu şartlarda bitkinin yaşamsal faaliyetini devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Bitkiler kuraktan sakınım ve kurağa tolerans şeklinde geliştirdikleri savunma mekanizmaları ile dayanımlarını sağlamaktadırlar. Kuraktan sakınım mekanizmasına sahip bitkilerde, geniş bir kök sistemi meydana gelirken, stomaların kapanması ve daha etkili bir kullanımı gerçekleşmektedir. Kuraklığa tolerans mekanizmasına sahip bitkilerde ise, özellikle düşük su potansiyelinin olduğu durumlarda ozmotik düzenleme ve membran sisteminin korunarak hücresel seviyede bir mekanizma geliştirmektedirler (Ashraf and Iram 2005, Kuşvuran 2010, Kuşvuran vd. 2011).

Küresel ısınmanın iklim değişikliği etkileriyle birlikte artan dünya nüfusunun gelecekte beslenme ve giyinme gereksiniminin sağlanması amacıyla kurağa tolerant ve daha az su ihtiyacı bulunan bitki çeşitlerinin geliştirilmesi (Sankar *et al.* 2007) ya da kuraklığa toleransı sağlayacak uygulamaların belirlenmesi gerekmektedir.

Bakterilerin bitki gelişimini ve verimliliğini artırabildiği uzun yıllardır bilinmektedir. Günümüzde, özellikle verimliliğin artırılması bağlamında tarımsal üretimde biyolojik kökenli, daha çok da yararlı mikroorganizmalarla bir takım uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bitki Gelişimini Uyarıcı Kökbakterileri (Plant Growth Promoting Rhizobacteria-PGPR) doğal olarak oluşan toprak mikroorganizmaları olup köklere yerleşmekte ve bitki gelişimini artırmaktadırlar.

Kök bakterileri olarak da bilinen PGPR; bitki gelişimini uyarıcı, patojen gelişimini engelleme, bitkinin uyarılmış dayanıklılığını harekete geçirme, siderofor (demir içeren ve demirin taşınmasında görevli olan, büyüme ve çimlenme faktörü olarak da kabul edilen, antibiyotik etkisi olan, düşük molekül ağırlıklı, mikrobiyal, organik bir madde olarak tanımlanmaktadır) üretimi, bitkisel hormonları uyarıcı veya üretme, besin elementlerinden yararlanmayı kolaylaştırma gibi yollarla bitkiye katkı sağlarlar (Aydın vd. 2012). Ayrıca, atmosferdeki serbest azotu bağlayabilme, organik fosforu çözebilme,

hormonlar, sideroforlar ve antibiyotikler gibi sekonder metabolitleri üretebilme, sistemik dayanıklılığı artırma ve hastalık etmenini baskılayabilme gibi olumlu özelliklere sahiptirler (İmriz vd. 2014).

Bakteriler, ACC deaminaze üretebilme özellikleriyle bitki köklerindeki etilen miktarını azaltarak kök uzaması ve gelişimini teşvik etmektedir. ACC deaminaze aktivitesi *Enterobacter* spp., *Rhizobium* spp., *Pseudomonas* spp., *Variovorax* spp., *Alcaligenes* spp. ve *Bacillus* spp. Türlerinde yaygın olmakla birlikte, farklı gruplar tarafından yürütülen araştırmalarda, gram negatif bakteriler, gram pozitif bakteriler, endofitik bakteriler, *Rhizobium*'lar ve mantarlar gibi birçok mikrobiyal türde ACC deaminaze aktivitesi olduğu belirlenmiştir (Nadeem *et al.* 2012). Bitki büyümesini teşvik eden bakteriler bünyelerinde buldukları ACC-deaminaze enzimi sayesinde bitki köklerinde etilen sentezi sırasında ortaya çıkan bir ara ürün olan ACC'yi amonyum ve α -ketobutirata parçalayarak etilen sentezini inhibe etmektedirler. Ayrıca indol asetik (IAA) asit üreterek bitki gelişimine katkıda bulunmaktadır (Alveroğlu 2014). Bu enzim yardımıyla bitkide gelişimi engelleyen aşırı etilen üretiminin ve dolayısıyla kuraklık stresinin önüne geçilebileceği bildirilmiştir.

Toprak mikroflorasının önemli bir kısmı *Bacillus* cinsi bakterilerdir. *Bacillaceae* familyası içerisinde yer alan *Bacillus* türleri, aerop ve fakültatif anaerop, gram pozitif endosporlu, bakterilerdir (Berkeley and Logan 1997, Logan 2002, Demirbağ ve Demir 2005, Topçal vd. 2014). *Bacillus* cinsine ait türlerin çoğu güvenli mikroorganizmalar olup tarım ve endüstriyel amaçlarla başarılı şekilde kullanılmakta olan pek çok maddeyi sentezleyebilme kabiliyetine sahiptirler. *Pseudomonas* cinsi bakterilerin çoğu doğada, toprak ve sulara yoğun olarak bulunur. Bu bakteriler saprofit ve parazit olarak bitki yüzeylerinde ve dokularında yaşarlar. Pek çok türü patojen mikroorganizmaları baskılayarak, büyüme düzenleyici bitkisel hormonları sentezleyerek ve bitkinin olumsuz koşullara karşı dayanımını teşvik ederek bitki büyümesine katkı sağlarlar (Preston 2004).

Bitkisel üretimde verimlilik çevresel ve genetik faktörlerden etkilenmektedir. Bitkiler için yararlı olan bakteriler, ürün verimini artırmak için kullanılmasının yanı sıra kimyasal gübrelere ve pestisitlere karşı kullanılacak bir alternatiftir. *Pseudomonas* ve *Bacillus* spp. bitki büyümesini destekleyen bakterilerdir. *Bacillus*'un spor oluşturma yeteneği *Pseudomonas*'tan ayrılmakta olup, bu cinse ait türler olumsuz çevre koşullarında uzun süre hayatta kalabilmektedirler. *Bacillus* spp. bitki büyümesini harekete geçiren ve patojen enfeksiyonunu önleyen bazı metabolitleri salgılamaktadır (Radhakrishnan *et al.* 2017).

Bununla birlikte, *Bacillus* spp. türleri bitkileri biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı koruyucu etkide bulunmaktadır. Toprakta sınırlı miktarda su bulunması, tuzluluk problemi yaşanması ve ağır metal birikimi gibi durumlarda; *Bacillus* spp. toksik iyonların hareketini önleyen, bitki dokularındaki iyonik dengeyi ve su taşınımını düzenleyen ekzopolisakkarit (EPS)'ler ve sideroforlar üretirler (Radhakrishnan *et al.* 2017). EPS'ler mikroorganizmaların buldukları ortama salgıladıkları monosakkaritlerin yüksek molekül ağırlığına sahip, geri dönüşebilen ve çevre dostu doğal polimerleri olup, stres koşulları altında üretimi artırarak mikroorganizmayı toksik bileşiklere ve ozmotik strese karşı korurlar (Iyer *et al.* 2005, Soyuçok vd. 2016).

Buna ek olarak, *Bacillus* indol-3-asetik asit, gibberellik asit ve 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz senteziyle, hücre içi fitohormon metabolizmasını düzenler ve bitkinin strese toleransını artırıcı yönde etki yapar. Ayrıca, strese duyarlı genleri, proteinleri, fitohormonları ve ilgili metabolitleri değiştirerek bitkinin strese karşı bağışıklığını uyarıcı etkide bulunur (Radhakrishnan *et al.* 2017).

Biyolojik gübre olarak *Bacillus*'ların kullanımı bitki gelişme hormonu senteziyle doğrudan gelişmeyi teşvik etmekte, patojenleri bastırabilmekte, antibiyotik sentezlemekte ve fungus gelişmesini önlemektedir. *Bacillus subtilis* toplam bitki ağırlığı ile bitki dokularındaki N ve P konsantrasyonunu artırırken (Toro *et al.* 1997), *Bacillus*

megaterium toprağa iyi adaptasyon gösterip, bitki köklerine kolonize olarak şeker pancarı ve arpa verimini, çeltikte ise dane verimini artırdığı ifade edilmektedir (Karatekin 2014). Radhakrishnan *et al.* (2017) bitkilerde büyüme teşvik edici olarak; *Bacillus subtilis*'in bitki boyunda, kök, gövde ve yaprak ağırlıklarında artışa neden olduğunu, IAA, gas, sitokinin ve spermidin gibi hormonların sentezlenmesi ile bitki büyümesini teşvik ettiğini ve ACC deaminaz senteziyle bitkilerde yaşlanmayı geciktirdiğini bildirmiştir. *Bacillus megaterium*'un ise, bitkilerde verimi artırdığını, toprakta fosforun çözünmesine, azotun toprağa fikse edilmesine ve bu besin elementlerinin köklere taşınan miktarında artışa neden olduğunu, ayrıca bitkilerde içsel kaynaklı proteinler, amino asitler, şekerler, fotosentetik pigmentler ve minerallerin (K, Mg, Na, P, Fe, Zn ve N) artışına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Diğer birçok abiotik stres faktörlerinde olduğu gibi, kurak şartlarda yetiştirilen bitkilerde PGPR uygulamalarının bitkide morfolojik, fizyolojik ve hücre düzeyde etki etmesi ile kuraklık stresine toleransı artırdığı bildirilmektedir (Saravanakumar *et al.* 2011, Vardharajula *et al.* 2011, Kasim *et al.* 2013)

Bu çalışmada, ülkemiz için yeni bir baklagil türü olan, tarım ve gıda sanayi başta olmak üzere çok yönlü kullanım alanlarına sahip bir tür olan guar bitkisinde, farklı bakteri uygulamalarının kuraklığa toleransı artırmaya yönelik etkileri incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bacillus subtilis izolatları üzerinde yapılan çalışmalar, rizobakter metabolitlerinin domates fidelerinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılık/toleransını indüklediğini ortaya koymuştur (Bochow and Dolej 1999).

Shaharoon et al. (2006) maş fasulyesi (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek)'nde yaptıkları çalışmalarında; *Pseudomonas fluorescens* bakterisi ile aşılama yaptıkları bitkilerde, kontrole göre kök uzunluğunda ve toplam biyokütle ağırlığında %15, köklerdeki azot bağlayan nodül (yumrucuk) sayısında 4.7 kat, taze nodül ağırlığında 7 kat, kuru nodül ağırlığında ise 21 kat artış olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar aşılama köklerde ACC-deaminaz enzim aktivitesinin de artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. İlgili enzimin bitki gelişimini sınırlandıran etilenin fazla miktarda üretilmesinin önüne geçtiğini ve bunun da kuraklık stresinin olumsuz etkisini azalttığını ifade etmişlerdir.

Saleem et al. (2007) stres koşulları altındaki bitkiye uygulanan PGPR, ACC deaminaz aktivitesini sağlayıp bitkinin etilen üretimini düzenlediğini ifade etmiş, PGPR'nin ACC deaminaz ile bitkilerdeki etilen seviyesini düzenleyerek biyotik ve abiyotik stres etkilerin azaltmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Maheshwari (2010) bitkilerde uygulanan PGPR bakterilerinin, farklı koşullar altında köklenme, erken çimlenme, besin alımı, toplam biyokütle ağırlığı, erken çiçek açma gibi doğrudan ve dolaylı etkileri olduğunu; bitki büyüme ve gelişimine önemli etkileri olduğunu ve bitki hastalıklarını azalttıklarını ifade etmiştir.

Jorjani *et al.* (2011) *Pseudomonas fluorescens* ve *Bacillus coagulans* bakterilerine yer verdikleri çalışmalarında; şeker pancarında bakteri uygulamalarının; fide boyu, fide kuru ağırlığı ve kök ağırlığı parametrelerini artırdığını belirlemişlerdir.

Shakir *et al.* (2012) yarı kurak koşullarda rizobakterilerin buğdaya etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; 30 farklı izole bakteriyi ACC-deaminaz aktivitesi ve kurağa tolerans üzerindeki etkisi bakımından taramışlar ve tarama sonrası seçilen bakterilerin içsel etilen seviyelerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Araştırma sonucunda; bakteri aşılması yapılan bitkilerde kök-sürgün uzunluğu, kök-sürgün ağırlığı ve yanal kök sayısı bakımından kontrole kıyasla sırasıyla %141, 44, 196, 52 ve 30 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir. PGPR bakterilerinin kök gelişimini teşvik ettiği, bitki bünyesinde daha fazla su tutulmasına ve besin elementi alımına katkı sağladığını, dolayısıyla kurak koşullarda buğday verimini de artırdığını bildirmişlerdir. Öte yandan ACC-deaminaz enziminin muhtemelen kuraklık stresini kısmen ortadan kaldıran zararlı etilen seviyelerini düşürdüğünü ve sonuç olarak artan kök yoğunluğu nedeniyle toprağın alt katmanlarındaki suyu daha iyi kullandığı yönünde görüş bildirmişlerdir. Bununla birlikte, bakteri uygulamasının ACC birikimi ve aşağı yönlü ACC oksidaz gen aktivitesini azalttığını, dolayısıyla özellikle kuraklıktan etkilenmiş asidik karakterli alanlarda bu bakterilerin kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Sarma and Saikia (2014) *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21'nin maş fasulyesinde (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) kuraklığa tolerans üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; bakteri uygulanan kuraklık stresi altındaki bitkilerde uygulanmayanlara kıyasla; sürgün uzunluğunda %90, kök uzunluğunda %300, kuru ağırlıkta %23, oransal su içeriğinde %58 ve klorofil içeriklerinde de %26-37 arasında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar iki yıl süreyle yürüttükleri tarla denemelerinde ise; kuraklık stresi altındaki bitkilerde bakteri uygulamalarının bitki başına bakla sayısında %280-316 ve bitki kuru ağırlığında %192-210 oranında artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kuraklık stresi altındaki maş fasulyesine bakteri uygulamasının uygulanmayan bitkilere göre biyokütle

veriminde artışa neden olduğunu, ayrıca büyüme ve gelişme ile ilgili diğer parametrelerde de iyileşmeler olduğunu bildirmişlerdir.

Samancıoğlu vd. (2016) dört farklı sulama seviyesi (%100, 75, 50 ve 25) altında lahana fidelerinin kuraklık stresine tolerans mekanizması üzerine PGPR uygulamalarının (*Bacillus subtilis* TV-13B, *Bacillus pumilus* TV-67C ve *Bacillus megaterium* TV-6D+*Pantoea agglomerans* RK-92+*Brevibacillus choshiensis* TV-53D) etkilerini inceledikleri çalışmalarında; strese maruz kalan ve PGPR inokule edilmeyen bitkiler ile karşılaştırıldığında inokule edilen bitkilerdeki bazı verilerin büyüme ve gelişimi daha iyi artırdığını ortaya koymuşlardır. Araştırma sonunda; *Bacillus pumilus* TV-67C bakteri ırkının içsel süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz seviyeleri ile hormon ve amino asit birikimini hızlandırdığı, membran bütünlüğü ve lipit peroksidasyonunu azaltarak lahana fidelerinin kuraklık stresine toleransını artırdığı sonucuna varmışlardır.

Esringü vd. (2016) sarımsakta farklı bakteri izolatlarının bitki büyüme ve gelişmesi ile verim üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında; *Agrobacterium* sp., *Bacillus* sp., *Pantoea* sp. ve *Pseudomonas* sp.'ye ait toplam 19 adet bakteri izolatu kullanılarak 3 farklı bakteri biyoformülasyonu (F1, F2 ve F3) hazırlamışlardır. Tüm bakteri formülasyonu uygulamalarının kontrole göre, sarımsakta bitki gelişiminde önemli katkılar sağladığı ve bitki enzim düzeylerinde de önemli değişikliklere sebep olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak; test edilen 3 bakteri biyoformülasyonu içerisinde özellikle B2 formülasyonunun hem bitki gelişim parametreleri hem de bitkideki enzim düzeyleri bakımından yapılan değerlendirmede sarımsak tarımında mikrobiyal gübre olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Kumari *et al.* (2016) *Pseudomonas simiae*'nin maş fasulyesinde (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) kuraklığa tolerans üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; bakteri uygulamasının kuraklık stresi altındaki bitkilerde ACC-deaminaz aktivitesi, Indol Asetik Asit (IAA) üretimi ve inorganik fosfat çözünürlüğünü

iyileştirici yönde etki ettiğini, ayrıca yeşil aksam yaş ağırlığını artırdığını, daha yüksek su içeriği oluşturduğunu, prolin miktarının daha fazla olduğunu ve daha düşük ozmotik stres hasarı ile kuraklık stresine karşı bitkide dayanımı artırdığını bildirmişlerdir.

Pignata *et al.* (2016) su teresi (*Nasturtium officinale* R. Br.)'nde *Bacillus subtilis*'in ekim öncesi tohumla aşılmasının bitkide verim, kalite ve gıda güvenliğine etkisini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmalarında; bakteri uygulamasının antioksidan kapasitesini artırdığını, klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriğinde azalmaya yol açtığını, incelenen diğer parametrelerde herhangi bir etkisinin olmadığını, bakteri uygulamalarının verim ve kalite için doğrudan kullanımı yerine, abiyotik stres koşullarında kullanımının daha uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Tiwari *et al.* (2016) *Pseudomonas putida*'nın iki farklı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşidinde kuraklık stresine etkisi belirlemek amacıyla in vitro ve sera koşullarında yaptıkları çalışmalarında; polietilen glikol (PEG) kaynaklı kuraklık stresinde bakteri aşılmasının çimlenme oranını önemli ölçüde artırdığını, stres altındaki bitkilerde büyüme parametrelerinin, bitki su kapsamının, membran bütünlüğünün, osmolit birikiminin, reaktif oksijen türlerinin (ROS) atılım kabiliyetinin ve strese duyarlı genlerin aktivitesinin olumsuz yönde etkilendiğini ancak bakteri uygulamasının bu özellikleri iyileştirici yönde etki yaptığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak 0, 1, 3 ve 7 gün süresince kuraklık stresine maruz kalan nohut çeşitlerinde bitki büyümesinin teşvik edilmesi ve kuraklık stresinin azaltılmasında PGPR'lerin önemli rolü olduğunu saptamışlardır.

Ferreira *et al.* (2018) farklı tuz konsantrasyonları (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 200 mM sodyum klorür) altında *Bacillus subtilis* ile aşılınmış mısır bitkisinin göstermiş olduğu biyokimyasal tepkileri belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; *Bacillus subtilis*'in 200 mM tuz konsantrasyonunda bitki büyümesini geliştirdiği, prolin

seviyesini ve yaprak oransal su içeriğini artırdığı ve dolayısıyla stres altındaki bitkiye morfolojik ve fizyolojik olarak olumlu yönde katkı sağladığını tespit etmişlerdir.

Saikia *et al.* (2018) ACC-deaminaz üreten üç farklı rizobakteri uygulamasının (*Ochrobactrum pseudogrignonense* RJ12, *Pseudomonas* sp. RJ15 and *Bacillus subtilis* RJ46), siyah mercimek (*Vigna mungo* L.) ve bezelye (*Pisum sativum* L.)’de kuraklık stresini azaltıcı etkisini tespit etmek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; her iki bitki türünde de bakteri uygulamasının çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu ile kök ve gövde ağırlıklarını önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Kök uzunluklarında %269-287 oranında artış gözlemlenirken, kuru ağırlıklarda %4.2-17.3 azalma tespit edilmiştir. Ancak bu oran stres altındaki kontrol bitkilerinde daha yüksek (%61.7-63.8) düzeyde elde edilmiştir. Ayrıca, kurak şartlar altındaki bitkilerde reaktif oksijen türlerinin yüksek miktarda üretimi ile enzimlerin ve hücrel osmolitlerin uzaklaştırıldığını, daha fazla yaprak klorofil oranı (%100-283) elde edildiğini, oransal su içeriğinde (%85-88) ve kök gelişiminde ise artış olduğunu bildirmişlerdir.

Vimal *et al.* (2018) tuzlu yapıdaki topraktan izole ettikleri 7 farklı *Bacillus* sp. ve *Pseudomonas* sp. bakteri ırkının bitki büyümesini teşvik etme potansiyelini ve tuz stresini önleme etkisini belirlemek amacıyla buğdayda yapmış oldukları çalışmalarında; *Bacillus* sp. ırkına ait Strain JG3 ile *Pseudomonas* sp. ırkına ait Strain JG7 izolatlarının bitkinin sağlıklı gelişimi üzerinde olumlu etkide bulduklarını, her iki bakteri ırkının da bakteri aşılması yapılmayan uygulamaya göre tuz stresi koşulları altında bitkiye katkı sağladıklarını ve bu katkının da istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle, özellikle bozulmuş tarımsal ekosistemler için ST-PGPR uygulamasının yenilikçi ve çevre dostu bir yaklaşım olabileceği şeklinde görüş bildirmişlerdir.

Chinnaswamy *et al.* (2018) pıtraklı/yabani yonca (*Medicago polymorpha*)’nın köklerinden izole ettikleri gram-pozitif, hızlı büyüyen ve endofitik bir bakteri türü olan

Bacillus megaterium'u; yaygın yonca (*Medicago sativa* L.), pıtraklı/yabani yonca (*Medicago polymorpha*), şerbetçiotu yoncası (*Medicago lupulina*) ve fiçı yoncası (*Medicago truncatula*)'da farklı tuz konsantrasyonlarının (50 ve 100 mM) etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; bakteri aşılması yapılan yonca türlerinde, aşılama yapılmayan uygulamalara kıyasla, *Bacillus megaterium*'un tuz stresinin olumsuz etkisini hafiflettiğini bildirmişlerdir. 100 mM tuz stresi uygulamasında yonca türlerinde bakteri uygulamaları kontrol bitkilerine kıyasla; erken dönemde çimlenme oranında %8-15.8 oranında iyileştirici etkide bulunurken, taze sürgün ağırlığında ise bu oran yaklaşık %56-67 arasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte kök uzunluğunda 2.2 kat, yaprak alanında 2 kat, canlı kalma oranında ise 1.5 katlık bir artışa neden olarak tuz stresi altında iyileştirici bir etkide bulunmuştur. Araştırmacılar, bakteri aşılmasının Indol Asetik Asit (IAA) ve ACC-deaminaz aktivitesini iyileştirmesinin bitki büyümesinin artmasına ve tuz stresinin olumsuz etkisinin azaltılmasına, ayrıca kuraklık stresi ve ağır metal varlığında da etkili olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir.

Ali Moradi *et al.* (2020) tarafından, farklı sulama seviyesi koşullarında (%100, %80 ve %60) yetiştirilen tatlı mısırdaki (*Zea mays* L. var *saccharata*), bazı *Pseudomonas fluorescens* bakteri suşlarının (*P. fluorescens* P1, *P. fluorescens* P3, *P. fluorescens* P8, *P. fluorescens* P14) mısırın verim ve bazı fizyolojik özelliklere etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; su stresinin (bitki su ihtiyacının %60'ı) klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğini, Fv/Fm oranını ve besin alımını azalttığını; F0, Fm, prolin, toplam çözünür şekerler, katalaz (CAT) ve peroksidaz (POX) aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğunu ve tane veriminde azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir. Diğer yandan bakteri uygulamalarının, tatlı mısırın verim özellikleri üzerinde olumlu etkide bulunduğunu; yani koçan oranı (%44) ve tohum veriminde (%27) kontrole göre önemli ölçüde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, *Pseudomonas* bakterileri ile aşılamanın, ozmotik stres koşulları altında daha iyi verim elde etmek için etkili bir yaklaşım olduğunu savunmuşlardır.

Dahaji *et al.* (2020) farklı Fe şelatlarının ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR), düşük verimli kireçli toprakta büyüyen sorgum bitkilerinin beslenmesi ve büyümesi üzerine potansiyel etkilerini belirlemek amacıyla sera koşullarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında; farklı bakteri türleri olarak *Pseudomonas putida* P159, *Pseudomonas fluorescens* T17-24, *Bacillus subtilis* P96, demir şelatı olarak da Fe-EDDHA ve Fe-EDTA'yı 10 mg Fe kg⁻¹ dozunda kullanmışlardır. Araştırma sonucunda; her iki Fe şelatının da (Fe-EDDHA ve Fe-EDTA) bitki kuru ağırlığı ve sürgün içeriğini üzerinde olumlu etkide bulunduğunu, kontrol ile karşılaştırıldığında Fe-EDTA ve Fe-EDDHA'dan Zn (çinko) ve Cu (bakır) uygulamalarına kıyasla daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Sorgum yetiştiriciliğinde; Fe-EDTA ve PGPR suşlarının birlikte uygulamasının halinde, besin elementi eksikliği olan kireçli topraklarda, büyüme ve besin elementi alımına olumlu yönde etkileri olduğunu bildirmişlerdir.

Khan *et al.* (2020) bitki gelişimini destekleyen rizobakterilerin (PGPR) kuraklık stresinin olumsuz etkilerine karşı bir destek görevi gördüğünü, bitki büyümesine katkı sağlamasının yanı sıra, tarımsal olarak sürdürülebilirliğe de yardımcı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada; PGPR bakterileri ile inoküle edilmiş bitkilerin, dehidrasyonu geciktirerek bitkinin su durumunu optimal bir seviyede tuttuğu ve toprakta kullanılabilir su miktarının yetersiz olduğu koşullara yüksek tolerans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bitkilerin stres sonrası yeniden sulandığında, eski biyokütle verimlerine kavuştuklarını bildirmişlerdir. Bu da, rizobakterilerin bitkide kuraklığa karşı toleransı artırdığına ve indüklenmiş sistemik direnci ortaya çıkardığına işaret etmektedir. PGPR'ler; ayrıca köklerin büyümesini ve yapısını iyileştirerek, bitkinin besin maddesi ve su alımını artırıcı yönde etkide bulunmuştur. Bununla birlikte; amino asitler, şekerler ve şeker alkollerini gibi strese duyarlı bitki metabolitlerinin birikimini teşvik etmişlerdir. Sonuç olarak; bu metabolitlerin, bitki büyümesini ve gelişimini düzenlemede önemli bir rol oynadığını, bitkinin çeşitli biyotik ve abiyotik streslere, özellikle kuraklık stresine karşı savunma sistemini güçlendirdiği sonucunu ileri sürmüşlerdir.

Yadav *et al.* (2020) tahıllarda kuraklığa karşı toleransın artırılmasında rizobakterilerin önemli bir role sahip olduklarını, bu bakterilerin sınırlı su kaynakları ve değişen iklim koşulları altında yetiştiriciliği yapılan buğdayda, verim artışı sağlanmasında önemli bir potansiyele sahip olabileceğini bildirmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Farklı bakteri uygulamalarının kuraklığa tolerans üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada; bitki materyali olarak 2014 yılında ülkemize Hindistan'dan getirilen ve Çankırı Karatekin Üniversitesi Kızılırmak Meslek Yüksekokulu'nda farklı çalışmalarda kullanılan guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) tohumu; bakteri türü olarak da; *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF) ve *Bacillus megaterium* (BM) kullanılmıştır.

Araştırmada kullanılan bakteri türlerinden; *Bacillus subtilis* “%1.34 *Bacillus subtilis* QST 713 ırkı (min. 1×10^9 cfu ml⁻¹)” etken maddeli ticari bir biyoorganik fungusit olan Serenade SC (süspansiyon konsantre) (Anonim 2018a), *Pseudomonas fluorescens* “%1.5 *Pseudomonas fluorescens* strain Pfl” etken maddeli ticari bir biyoorganik fungusit olan Cedriks SL (sıvı formülasyon) olarak (Anonim 2018b) ve *Bacillus megaterium* ise “kuru biyokütlesi %77 PHB (Poli-β-hidroksibütirat–mikrobiyal biopolimer) içeren (1×10^9 CFU g⁻¹) toprak bakterisi” etken maddeli ticari bir biyoorganik gübre olan Albit (sıvı formülasyon) (Anonim 2018c) şeklindedir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Denemenin Kurulması ve Bitkilerin Yetiştirilmesi

Araştırma Çankırı Karatekin Üniversitesi Kızılırmak Meslek Yüksekokulu Ballica Yerleşkesi'nde bulunan ve gündüz/gece sıcaklık değerleri 26 ± 2 °C ve 18 ± 2 °C, nispi

nem değeri ise 65 ± 5 olan plastik serada, tesadüf parselleri bölünmüş parseller denemesine göre; farklı bakteri uygulamaları [Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş, *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF) ve *Bacillus megaterium* (BM)] ana parselleri, kuraklık uygulamaları ise ([%100 sulama (S0-kontrol), %75 sulama (S1), %50 sulama (S2), %25 sulama (S3), %0 sulama (S4)] alt parselleri oluşturacak şekilde, üç tekrarlamalı olarak, 2019 yılı Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında yürütülmüştür. Araştırmada yer alan uygulamalar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Farklı bakteri türleri ve kuraklık uygulamaları

Uygulamalar		
1- Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	+	S0 (%100 Sulama/Kontrol)
2- Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	+	S1 (%75 Sulama)
3- Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	+	S2 (%50 Sulama)
4- Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	+	S3 (%25 Sulama)
5- Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	+	S4 (%0 Sulama)
6- <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS)	+	S0 (%100 Sulama/Kontrol)
7- <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS)	+	S1 (%75 Sulama)
9- <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS)	+	S2 (%50 Sulama)
9- <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS)	+	S3 (%25 Sulama)
10- <i>Bacillus subtilis</i> QST 713 (BS)	+	S4 (%0 Sulama)
11- <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF)	+	S0 (%100 Sulama/Kontrol)
12- <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF)	+	S1 (%75 Sulama)
13- <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF)	+	S2 (%50 Sulama)
14- <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF)	+	S3 (%25 Sulama)
15- <i>Pseudomonas fluorescens</i> PF1 (PF)	+	S4 (%0 Sulama)
16- <i>Bacillus megaterium</i> (BM)	+	S0 (%100 Sulama/Kontrol)
17- <i>Bacillus megaterium</i> (BM)	+	S1 (%75 Sulama)
18- <i>Bacillus megaterium</i> (BM)	+	S2 (%50 Sulama)
19- <i>Bacillus megaterium</i> (BM)	+	S3 (%25 Sulama)
20- <i>Bacillus megaterium</i> (BM)	+	S4 (%0 Sulama)

Ekim öncesinde tohumlar 70% etanol içeren solüsyon ile 5-10 dakika arasında yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuş ve daha sonra bidestile su ile yıkanmıştır. Tohum ekimleri; 2 birim torf ve 1 birim tarım perliti karışımı içeren 12 litre kapasiteli plastik saksılara, her bir saksıya 20 adet tohum gelecek şekilde, 13.07.2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Çıkışlardan sonra her bir saksıda 10 adet sağlıklı bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır (Şekil 3.2). Bitkiler üç gerçek yapraklı aşamaya

gelinceye kadar standart besin çözeltisi ile sulanmıştır. Sulamada “drene olan çözelti/uygulanan çözelti” oranı esas alınmıştır (Schröder and Lieth 2002). Günlük olarak drenaj seviyeleri saksıların günlük olarak tartımı ile belirlenmiş ve bu oran deneme süresince bitkilerin büyümesine göre %30 civarında tutulmuştur. Bütün saksılar, bitkilerin 15-20 cm boya ulaştığı ve kuraklık stresi uygulamasının başladığı 40. Güne kadar standart besin çözeltisi ile eşit miktarda sulanmıştır (Kusvuran and Kusvuran 2019).





Şekil 3.1 Ekim öncesi toprak hazırlığı ve tohumların saksılara ekimi



Şekil 3.2 Çıkışlar sonrası seyreltme işlemi

3.2.2 Farklı Bakteri (Kontrol, BS, PF ve BM) ve Kuraklık (S0, S1, S2, S3 ve S4) Uygulamalarının Gerçekleştirilmesi

Araştırmada kullanılan *Bacillus subtilis* QST 713 (BS), *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) ve *Bacillus megaterium* (BM) bakterilerinin (10^9 CFU mL⁻¹) uygulanması (Şekil 3.3); her bir aşamada farklı bakteri solüsyonlarından aynı dozların kullanılması suretiyle (10 mL 1 L⁻¹), beş aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup (Pirlak and Kose 2009, Zahir *et al.* 2009, Alveroğlu 2014) bu aşamalar;

- I- Ekimden hemen önce tohumların kaplanması için sprej şeklinde püskürtülerek,
- II- Fideler ilk gerçek yapraklarını oluşturdukları dönemde yapraklara sprej şeklinde püskürtülerek,
- III- Bir önceki uygulamadan iki hafta sonra, bitkilerin ortalama 20-25 cm boya ulaştığı dönemde, yapraklara sprej şeklinde püskürtülerek,
- IV- Bitkilerin 35-40 cm boya ulaştığı ve aynı zamanda kuraklık stresi uygulamalarına başlandığı dönemde kök bölgesine verilerek,
- V- Bir önceki uygulamadan iki hafta sonra yapraklara sprej şeklinde püskürtülerek uygulanması şeklinde olup, uygulamalara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.3 Farklı bakteri türlerinin bitkilere uygulanması

Kuraklık stresi uygulamalarına, ekimden sonraki 40. günde başlanmış olup, ekimden- hasada kadar geçen sürede tüm bitkiler standart besin çözeltilisi ile sulanmıştır. Kuraklık stresi için tarla kapasitesinin %100, 75, 50, 25 ve 0 düzeyi alınmış; %100 oranı kontrol uygulaması olarak kabul edilmiştir. Uygulama öncesi her saksıda tarla kapasitesini belirlemek için, saksılar su ile doymuş hale getirilmiş ve buharlaşmayı önlemek için saksıların üzerleri kapatılarak serbest drenaja bırakılmıştır. Drenaj durduktan sonra saksılar tartılarak ağırlık olarak tarla kapasitesi (TK) tespit edilmiştir. Her bir saksıya verilecek sulama suyu miktarının belirlenmesi için sulamadan hemen önce her bir saksı ayrı ayrı tartılarak mevcut ağırlık ile tarla kapasitesi ağırlığı arasındaki fark hesaplanmıştır. Belirlenen bu fark kullanılan katsayılarla (%100, %75, %50, %25, %0) çarpılarak her bir saksı için verilecek sulama suyu miktarı belirlenmiştir.

Strese bağlı etkilerin net olarak görüldüğü dönemde (farklı kuraklık seviyesi uygulamalarından 17 gün sonra) bitkiler hasat edilerek, bazı morfolojik ve fizyolojik parametreler bakımından değerlendirilmiştir. Dolayısıyla ekim ile hasat arasında geçen süre toplam 57 gün olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Ekimden hasada kadar geçen dönemde bitkilerin gelişim aşamaları

3.2.3. İncelenen Özellikler ve Yöntemleri

3.2.3.1 Skala Değerlendirmesi (0-5)

Bitkilerde morfolojik olarak meydana gelen zararlanmanın düzeyini belirlemek amacıyla bir skala oluşturulmuş ve zararlanma derecesine göre bitkilere 0-5 arasında puan verilmiştir (Kuşvuran 2010). Buna göre değerlendirme aşağıdaki gibidir.

- 0: Hiç etkilenme yok (kontrol bitkileri)
- 1: Kontrol bitkilerine göre büyümede yavaşlama
- 2: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı
- 3: Üst yapraklarda kıvrılma (kapanma) ve solgunluk
- 4: Yapraklarda şiddetli solgunluk ve sararma, yaprak kenarlarında kuruma başlangıcı
- 5: Bitkilerde solma ve alt yapraklarda kuruma

3.2.3.2 Yeşil Aksam Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi (g bitki⁻¹)

Farklı bakteri ve kuraklık uygulamaları sonucunda hasat edilen bitkilerden her bir tekrardan rastgele seçilen 5'er tanesi kontaminasyonu önlemek için saf su ile yıkandıktan sonra hassas terazide tartılarak yeşil aksam yaş ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra aynı örnekler 78 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra bitki kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

3.2.3.3 Kök Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi (g bitki⁻¹)

Farklı bakteri ve kuraklık uygulamaları sonucunda hasat edilen bitkilerden her bir tekrardan rastgele seçilen 5'er tane kök örnekleri kontaminasyonu önlemek için saf su ile yıkandıktan sonra hassas terazide tartılarak kök yaş ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra aynı örnekler 78 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kök kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

3.2.3.4 Dal Sayısının Belirlenmesi (adet bitki⁻¹)

Deneme sonunda hasat edilen guar bitkilerinde bitki üzerinde yer alan bütün dalların sayılması ile bitki dal sayısı belirlenmiştir.

3.2.3.5 Yaprak Sayısı (adet bitki⁻¹) ve Yaprak Alanının Belirlenmesi (cm² bitki⁻¹)

Deneme sonunda hasat edilen guar bitkilerinde bitki üzerinde yer alan bütün yaprakların sayılması ile bitki yaprak sayısı, CI BIO Science CI 202 model yaprak alan ölçer aleti kullanılarak da yaprak alanı tespit edilmiştir.

3.2.3.6 Bitki Boyu (cm) ve Sap Kalınlığının (mm) Belirlenmesi

Bitkide kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge cm (± 0.5) cinsinden metre ile ölçülmüştür. Sap kalınlığı ise sayısal kumpas yardımı ile mm (± 0.1) olarak belirlenmiştir.

3.2.3.7 Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi (%)

Çalışmada, yaprak oransal su içeriği (YOSİ) (%) Sanchez *et al.* (2004) ve Turkan *et al.* (2005)'e göre yapılmıştır. Stres sonunda bitkilerden alınan yaprak örneklerinin oransal su içeriklerinin belirlenmesi için taze ağırlıkları alınmış, daha sonra alınan yaprak örnekleri 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilerek bu süre sonunda turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları belirlenen yaprak örnekleri 78°C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları g olarak tespit edilmiştir. Elde edilen taze ve kuru ağırlıklar aşağıdaki formül yardımıyla oranlanarak yaprak oransal su içerikleri (%) hesaplanmıştır.

$$(TA-KA)/(TuA-KA) \times 100$$

TA: Taze Ağırlık, KA: Kuru Ağırlık, TuA: Turgor Ağırlığı

3.2.3.8 Yaprak Su Potansiyelinin (YSP) Belirlenmesi (%)

Yaprak su potansiyeli Skye Instruments Marka SKPM 1400/40 Model Dijital 40 Bar Yaprak Su Potansiyel Cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Koparılan yaprakların sapı keskin bir bıçak ile ölçüm öncesinde kesilmiş ve örneklemin hemen ardından okuma yapılmıştır. Kesik yüzey su ile kaplandığında okunan basınç değeri YSP değeri olarak kaydedilmiştir (Köksal vd. 2010).

3.2.3.9 Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanmasının (MZİ) Belirlenmesi (%)

Membran Zararlanma İndeksi-MZİ (Membrane Injury Index-MIDX) hücreden dışarıya verilen elektrolitin ölçülmesi ile hesaplanmıştır (Dlugokecka and Kacperska-Palacz 1978, Fan and Blake 2008). Stres ve kontrol bitkilerinin alttan 3. yapraklarından 17 mm

çapında alınan diskler deiyonize su içerisinde 5 saat bekletildikten sonra EC değeri tespit edilmiş, aynı diskler 100 °C'de 10 dakika bekletildikten sonra çözeltinin EC değeri tekrar ölçülmüştür. Elde edilen değerden aşağıdaki formül yardımıyla yaprak hücrelerinde membran zararlanması (%) belirlenmiştir (Şekil 3.9).

$$MZİ=(Lt-Lc/1-Lc) \times 100$$

Lt: Tuzluluk stresindeki yaprağın otoklav edilmeden önceki EC/Otoklav edildikten sonraki EC

Lc: Kontrol yaprağının otoklav edilmeden önceki EC/Otoklav edildikten sonraki EC

3.2.3.10 Klorofil (SPAD) değerinin belirlenmesi

Klorofil değeri, her bir bitkide rastgele seçilen 10 adet yaprağın, SPAD-metre değerlerinin Minolta marka klorofil metre cihazı ile ölçülmesi şeklinde elde edilmiştir.



Şekil 3.5 İncelenen özellikler ve yöntemlerine ilişkin bazı işlemler

Bununla birlikte, farklı bakteri ve kuraklık uygulamalarında hasat dönemine gelen bitkilerde görülen morfolojik değişimler ise Şekil 3.6 ile Şekil 3.25 arasında aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 3.6 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S0 (%100 Sulama/Kontrol)



Şekil 3.7 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S1 (%75 Sulama)



Şekil 3.8 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S2 (%50 Sulama)



Şekil 3.9 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S3 (%25 Sulama)



Şekil 3.10 Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş) + S4 (%0 Sulama)



Şekil 3.11 *Bacillus subtilis* QST 713 (BS) + S0 (% 100 Sulama/Kontrol)



Şekil 3.12 *Bacillus subtilis* QST 713 (BS) + S1 (%75 Sulama)



Şekil 3.13 *Bacillus subtilis* QST 713 (BS) + S2 (%50 Sulama)



Şekil 3.14 *Bacillus subtilis* QST 713 (BS) + S3 (%25 Sulama)



Şekil 3.15 *Bacillus subtilis* QST 713 (BS) + S4 (%0 Sulama)



Şekil 3.16 *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) + S0 (% 100 Sulama/Kontrol)



Şekil 3.17 *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) + S1 (% 75 Sulama)



Şekil 3.18 *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) + S2 (%50 Sulama)



Şekil 3.19 *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) + S3 (%25 Sulama)



Şekil 3.20 *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF) + S4 (%0 Sulama)



Şekil 3.21 *Bacillus megaterium* (BM) + S0 (%100 Sulama/Kontrol)



Şekil 3.22 *Bacillus megaterium* (BM) + S1 (%75 Sulama)



Şekil 3.23 *Bacillus megaterium* (BM) + S2 (%50 Sulama)



Şekil 3.24 *Bacillus megaterium* (BM) + S3 (%25 Sulama)



Şekil 3.25 *Bacillus megaterium* (BM) + S4 (%0 Sulama)



Şekil 3.26 Farklı bakteri [Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş), *Bacillus subtilis* QST 713 (BS), *Pseudomonas fluorescens* PF1 (PF), ve *Bacillus megaterium* (BM)] ve kuraklık [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)] uygulamaları

3.2.4 Verilerin değerlendirilmesi

Çalışma; tesadüf parselleri bölünmüş parseller deneme desenine göre; farklı bakteri uygulamaları [Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş, *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF) ve *Bacillus megaterium* (BM)] ana parselleri, kuraklık uygulamaları ise ([%100 sulama (S0-kontrol), %75 sulama (S1), %50 sulama (S2), %25 sulama (S3), %0 sulama (S4)] alt parselleri oluşturacak şekilde üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Denemelerden elde edilen sayısal değerler, JMP istatistik paket programında (version 7.0 SAS Institute Inc., USA) varyans analizine tabi tutulup istatistiksel açıdan uygulamalar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile önemlilik dereceleri ortaya konularak $p<0.05$ düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir.

4. BULGULAR

Guarda farklı bakteri türlerinin [*Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF), *Bacillus megaterium* (BM)] kuraklık stresine [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)] tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, ortaya çıkan değişimler farklı parametreler ışığında değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1 Skala değerleri bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; skala bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.1’de verilmiştir

Bitkilerde morfolojik olarak ortaya çıkan zararlanmanın derecesini ortaya koyabilmek amacıyla oluşturulan skala değerlendirmesinde; kuraklık düzeyleri ve bakteri uygulamaları istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0.001$), kuraklık x bakteri interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Kuraklık düzeyindeki artışa bağlı olarak bitkilerde görsel skala değerleri, dolayısıyla zararlanma düzeyinde artış olduğu saptanmıştır. En yüksek skala değeri bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinin S4 düzeyinde “4” olarak belirlenirken, bunu yine kontrol grubu S3 uygulaması ile BS uygulamasının S4 kuraklık düzeyi takip etmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, bakteri uygulamalarının skala değerlerinde azalmaya yol açtığı, bir diğer ifade ile kuraklık stresini hafifletici yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1 Bitki skala değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Skala Değerleri (1-5)
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	1.00 ^g
	S1	2.00 ^{d-g}
	S2	3.00 ^{a-d}
	S3	3.67 ^{ab}
	S4	4.00 ^a
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	1.00 ^g
	S1	1.33 ^{fg}
	S2	2.00 ^{d-g}
	S3	2.66 ^{b-e}
	S4	3.67 ^{ab}
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	1.00 ^g
	S1	1.00 ^g
	S2	2.00 ^{d-g}
	S3	2.66 ^{b-e}
	S4	3.33 ^{a-c}
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	1.00 ^g
	S1	1.00 ^g
	S2	1.66 ^{e-g}
	S3	2.33 ^{c-f}
	S4	3.00 ^{a-d}

4.2 Bitki boyu ve sap kalınlığı bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; bitki boyu ve sap kalınlığı bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Bitki boyu ve sap kalınlığı değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında, bitki boyu 62.4 cm bitki⁻¹ olarak tespit edilirken, sap kalınlığı değer, 6.26 mm bitki⁻¹ olarak saptanmıştır. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksyonunun her iki parametre

için de $p < 0.001$ düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada, tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre, en yüksek bitki boyu PF uygulamasının S0 düzeyinde $81.7 \text{ cm bitki}^{-1}$ ve sap kalınlığı BM uygulamasının S0 düzeyinde $8.49 \text{ mm bitki}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında, bitki boyu ve sap kalınlığı bakımından ortalama olarak BS uygulamasında %23 ($78.7 \text{ cm bitki}^{-1}$ ve $7.48 \text{ mm bitki}^{-1}$), PF uygulamasında %9 ($81.7 \text{ cm bitki}^{-1}$ ve $5.46 \text{ mm bitki}^{-1}$) ve BM uygulamasında %30 ($77.7 \text{ cm bitki}^{-1}$ ve $8.49 \text{ mm bitki}^{-1}$) oranında artış olduğu saptanmıştır.

Artan kuraklık stresi bu değerlerde azalmaya neden olmuş; S0 uygulamasına oranla bakteri uygulanmayan S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında bitki boyunda sırasıyla %4, %10, %18 ve %28; sap kalınlığında ise %1, %8, %9 ve %25 düzeyinde düşüş meydana gelmiştir. Buna karşın bakteri uygulamasında bitki boyu bakımından S1, S2, S3 uygulamalarında bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla %7-21 düzeyinde artış tespit edilirken; S4 sulama düzeyinde %9 oranında azalma saptanmıştır. Sap kalınlığı bakımından S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında, değerlerde %11-25 düzeyinde azalma belirlenmiştir. Bakteri uygulamaları içerisinde bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BS uygulaması olmuştur. Bu uygulamada, bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla bitki boyunda %31 (59 cm bitki^{-1}) ve sap kalınlığında %9 ($5.09 \text{ mm bitki}^{-1}$) düzeyinde iyileşme tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Bitki boyu ve sap kalınlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75 (S1), % 50 (S2), % 25 (S3), % 0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Bitki boyu (cm bitki ⁻¹)	% Değişim	Sap kalınlığı (mm bitki ⁻¹)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	62.4±2.00 ^{gh}	-	6.26±0.62 ^c	-
	S1	59.7±1.20 ^{h-j}	-4.33	6.19±0.81 ^c	-1.12
	S2	56.4±1.15 ^{ij}	-9.62	5.72±0.51 ^{c-e}	-8.63
	S3	51.3±0.83 ^k	-17.79	5.69±0.93 ^{c-e}	-9.11
	S4	45.4±1.42 ^l	-27.88	4.72±0.68 ^f	-24.60
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	78.7±1.69^{ab}	25.00	7.48±0.78 ^b	19.49
	S1	75.3±1.49 ^{b-d}	20.72	5.81±0.86 ^{cd}	-7.35
	S2	73.7±2.09 ^{c-e}	16.99	5.66±0.72 ^{c-e}	-9.58
	S3	66.7±1.59 ^{fg}	6.83	5.28±0.92 ^{d-f}	-15.65
	S4	59.7±1.25 ^{h-j}	-5.45	5.09±0.49 ^{ef}	-18.69
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	81.7±3.47^a	30.87	5.46±0.95 ^{d-f}	-12.78
	S1	79.2±2.92^{ab}	26.60	5.41±0.90 ^{d-f}	-13.58
	S2	69.3±2.20 ^{ef}	11.11	5.05±0.66 ^{ef}	-19.33
	S3	58.7±1.80 ^{h-j}	-7.05	4.87±0.61 ^f	-22.20
	S4	55.3±1.93 ^k	-11.86	4.12±0.81 ^g	-34.50
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	77.7±1.88 ^{bc}	23.40	8.49±1.02^a	35.62
	S1	71.7±1.46 ^{de}	14.84	5.39±0.57 ^{d-f}	-13.90
	S2	71.4±2.79 ^{d-f}	13.78	5.29±0.48 ^{d-f}	-15.50
	S3	66.7±1.50 ^{fg}	6.84	4.86±0.22 ^f	-22.36
	S4	57.7±1.62 ^{ij}	-8.65	4.84±0.68 ^f	-22.68

4.3 Yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Bakteri uygulanmayan bitkilerde kuraklık stresi genel olarak yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları bakımından azalmaya neden olmuştur. Bu grup içerisinde en yüksek yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı değerleri 52.02 ve 10.93 g bitki⁻¹ olarak S0 uygulamasında belirlenirken; en düşük değerler sırasıyla 18.11 ve 4.19 g bitki⁻¹ olarak S4 uygulamasında tespit edilmiştir. Kuraklık x bakteri interaksyonunun istatistiksel olarak

önemli bulunduğu çalışmada ($p<0.001$), bakteri uygulamaları hem kontrol hem de kuraklık uygulamalarında olumlu sonuçlar ortaya koymuştur.

Çizelge 4.3 Yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Yeşil Aksam Yaş Ağırlığı (g bitki ⁻¹)	% Değişim	Yeşil Aksam Kuru Ağırlığı (g bitki ⁻¹)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	52.02±3.63 ^c	-	10.93±1.15 ^{de}	-
	S1	46.59±2.26 ^{cd}	-10.44	9.85±0.97 ^{ef}	-9.88
	S2	43.97±2.09 ^d	-15.47	9.26±1.02 ^{fg}	-15.28
	S3	30.62±1.76 ^f	-41.14	6.95±0.83 ^{ij}	-36.41
	S4	18.11±1.45 ¹	-65.19	4.19±0.53 ^k	-61.67
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	65.78±2.85^{ab}	26.45	13.29±1.12 ^c	21.59
	S1	63.63±3.56 ^b	22.32	13.26±1.05 ^c	21.32
	S2	47.55±2.46 ^{cd}	-8.59	9.98±0.81 ^{ef}	-8.69
	S3	30.62±2.76 ^f	-41.18	6.01±0.66 ^j	-45.11
	S4	20.22±1.29 ^{hi}	-61.13	4.33±0.73 ^k	-60.38
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	65.30±2.11^{ab}	25.53	15.31±1.22 ^b	40.07
	S1	66.74±3.86^{ab}	28.30	13.65±1.38 ^c	24.89
	S2	45.69±1.98 ^d	-12.17	11.53±0.79 ^d	5.49
	S3	29.22±1.58 ^{fg}	-43.83	7.42±0.69 ^{hi}	-32.11
	S4	23.31±1.24 ^{gh}	-55.19	5.94±0.46 ^j	-45.65
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	70.10±3.56^a	34.76	17.24±1.10^a	57.73
	S1	51.37±2.78 ^c	-1.25	10.54±1.08 ^{de}	-3.57
	S2	46.51±1.26 ^{cd}	-10.61	10.38±0.98 ^{d-f}	-5.03
	S3	37.70±1.12 ^e	-27.53	8.31±0.59 ^{gh}	-23.97
	S4	28.92±1.70 ^{fg}	-44.41	6.71±0.67 ^{ij}	-38.61

Kuraklık stresine maruz bırakılmayan kontrol bitkilerinde bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla %21-57 düzeyinde yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları bakımından iyileşmeye neden olmuştur. Buna göre; en yüksek yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı BM uygulamasında (70.10 ve 17.24 g bitki⁻¹) belirlenmiştir. Kuraklık stresinin olumsuz etkisi bakteri uygulaması ile birlikte değişen oranlarda olumlu etkide bulunmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde bu iyileşme %3-60 düzeyinde meydana gelmiştir. Özellikle S4 uygulamasında en yüksek yaş (28.92 g bitki⁻¹) ve kuru ağırlık (6.71 g bitki⁻¹) değerleri BM uygulamasında tespit edilmiş ve bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla bitki gelişiminde %60 düzeyinde olumlu bir etki

belirlenmiştir. Bu değişim BS uygulamasında %7 ve PF uygulamasında %35 oranında gerçekleşmiştir.

4.4 Kök yaşı ve kuru ağırlıkları bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; kök yaşı ve kuru ağırlıkları bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar izelge 4.4'te verilmiştir.

Bitki kök yaşı ve kuru ağırlıklarının değerlendirildiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının kök gelişimi üzerinde farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında kök yaşı ağırlığı 4.36 g bitki⁻¹, kök kuru ağırlığı ise 1.23 g bitki⁻¹ olarak saptanmıştır. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksiyonunun p<0.001 düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamaları etkili bulunmuştur.

Buna göre, en yüksek kök yaşı ağırlığı BS uygulamasının S0 düzeyinde 6.47 g bitki⁻¹ ve kök kuru ağırlığı ise 1.69 g bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında kök yaşı ve kuru ağırlıkları BS uygulamasında %43 (6.47 ve 1.69 g bitki⁻¹), PF uygulamasında %12 (5.19 ve 1.28 g bitki⁻¹) ve BM uygulamasında %30 (6.06 ve 1.48 g bitki⁻¹) oranında artış göstermiştir.

Bununla birlikte artan kuraklık stresi bu değerlerde azalmaya neden olmuş, S0 uygulamasına oranla S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %19, %22, %46 ve %71 düzeyinde düşüş meydana gelmiştir. Buna karşın bakteri uygulaması kök yaşı

ağırlığında S1 ve S2 uygulamalarında %23 ve %19 düzeyinde artış sağlamış; S3 ve S4 uygulamalarında ise %3 ve %14 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. Bu değerler, kök kuru ağırlığı bakımından, S1 uygulamasında %10 düzeyinde artış şeklinde görülürken, S2, S3 ve S4 uygulamalarında ise sırasıyla %10, %16 ve %20 düzeyinde azalma şeklinde kendini göstermiştir.

Bakteri uygulamaları arasında kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür PF ve BM uygulamaları olmuştur. Bu uygulamalarda bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla kök yaş ağırlığında %235 ve %221 (4.19 ve 4.02 g bitki⁻¹), kök kuru ağırlığında ise %159 ve %169 (1.09 ve 1.13 g bitki⁻¹) düzeyinde iyileşme tespit edilmiştir. BS bakteri uygulamasında ise bu değerler kök yaş ağırlığında %136 (2.96 g bitki⁻¹), kök kuru ağırlığında ise %71 (0.72 g bitki⁻¹) düzeyinde ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.4 Kök yaş ve kuru ağırlığı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Kök Yaş Ağırlığı (g bitki ⁻¹)	% Değişim	Kök Kuru Ağırlığı (g bitki ⁻¹)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	4.36±0.33 ^{d-h}	-	1.23±0.17 ^{c-f}	-
	S1	3.51±0.21 ^{h-j}	-19.50	1.03±0.05 ^{f-h}	-16.26
	S2	3.37±0.10 ^{ij}	-22.71	0.90±0.08 ^{h-j}	-26.83
	S3	2.35±0.17 ^{kl}	-46.10	0.64±0.04 ^{kl}	-47.97
	S4	1.25±0.16 ^l	-71.33	0.42±0.02 ^l	-65.85
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	6.47±0.32^a	48.39	1.69±0.15^a	37.40
	S1	5.65±0.63^{a-c}	29.59	1.39±0.09 ^{b-d}	13.01
	S2	5.61±0.29^{a-c}	28.67	0.97±0.08 ^{g-i}	-21.14
	S3	3.41±0.34 ^{h-j}	-21.79	0.81±0.03 ^{i-k}	-34.15
	S4	2.96±0.18 ^{jk}	-32.11	0.72±0.02 ^{jk}	-41.46
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	5.19±0.29 ^{b-d}	19.27	1.28±0.03 ^{b-e}	4.07
	S1	5.01±0.18 ^{c-e}	14.91	1.25±0.13 ^{c-f}	1.63
	S2	4.89±0.31 ^{c-f}	12.16	1.10±0.07 ^{e-h}	-10.57
	S3	4.33±0.26 ^{d-h}	-0.69	1.09±0.05 ^{e-h}	-11.38
	S4	4.19±0.23 ^{e-i}	-3.90	1.06±0.04 ^{e-h}	-11.38
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	6.06±0.22^{ab}	38.99	1.48±0.05^{ab}	20.33
	S1	5.49±0.35 ^{bc}	25.92	1.43±0.03 ^{bc}	16.26
	S2	5.07±0.27 ^{c-e}	16.28	1.25±0.11 ^{c-f}	1.63
	S3	4.89±0.31 ^{c-f}	12.16	1.17±0.04 ^{d-g}	-4.88
	S4	4.02±0.32 ^{f-i}	-7.80	1.13±0.07 ^{e-g}	-8.13

4.5 Dal sayısı bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; dal sayısı bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar izelge 4.5'te verilmiştir.

Bitki dal sayılarının değerlendirildiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının dal sayısı bakımından farklı etkiler ortaya koyduğu, bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında dal sayısının 8.1 adet bitki⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak "kuraklık x bakteri" interaksiyonunun p<0.001 düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5 Dal sayısı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Dal sayısı (adet bitki ⁻¹)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	8.1±0.80 ^{b-f}	-
	S1	7.7±0.59 ^{c-f}	-5.43
	S2	6.0±0.45 ^{e-g}	-25.93
	S3	4.3±0.65 ^{gh}	-46.91
	S4	2.7±0.56 ^h	-66.67
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	10.0±0.73^{a-c}	23.46
	S1	9.3±1.07^{a-c}	15.19
	S2	8.7±0.83 ^{a-d}	6.91
	S3	8.6±0.71 ^{a-d}	6.91
	S4	5.3±0.51 ^{fg}	-34.20
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	10.7±1.09^a	31.60
	S1	10.3±1.03^{ab}	27.53
	S2	8.3±0.52 ^{a-c}	2.84
	S3	6.7±0.58 ^{d-g}	-17.78
	S4	5.7±0.39 ^{fg}	-30.12
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	10.7±1.96^a	31.73
	S1	10.0±1.23^{a-c}	23.46
	S2	9.3±1.10^{a-c}	15.19
	S3	8.0±0.73 ^{b-f}	-1.23
	S4	7.7±0.59 ^{c-f}	-5.43

Buna göre, en yüksek dal sayısı istatistiksel olarak aynı grupta yer alan BM ve PF uygulamasının S0 düzeyinde 10.7 adet bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında, dal sayısının BM ve PF uygulamalarında %31, BS uygulamasında ise %23 oranında artış gösterdiği saptanmıştır.

Artan kuraklık stresi bu değerlerde azalma meydana getirmiş; bakteri uygulanmayan S0 uygulamasına oranla S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %5, %26, %47 ve %67 düzeyinde azalma meydana geldiği saptanmıştır. Buna karşın, S1 ve S2 uygulamalarında bakteri uygulamaları ile dal sayısında ortalama olarak %23 ve %8 düzeyinde artış olduğu; S3 ve S4 uygulamalarında ise %4 ve %23 düzeyinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Bakteri uygulamaları içerisinde kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BM uygulamaları olmuştur. Bu uygulamada bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla dal sayısında %183 (7.7 adet bitki⁻¹) düzeyinde artış olduğu tespit edilmiştir. PF ve BS bakteri uygulamasında ise bu değerler %109 (5.7 adet bitki⁻¹) ve %97 (5.3 adet bitki⁻¹) düzeylerinde ortaya çıkmıştır.

4.6 Yaprak sayısı ve yaprak alanı bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; yaprak sayısı ve yaprak alanı bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Bitki yaprak sayısı ve yaprak alanı değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri

uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında yaprak sayısı 55.3 adet bitki⁻¹, yaprak alanı ise 588.5 cm² bitki⁻¹ olarak saptanmıştır. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksiyonunun yaprak sayısının p<0.001 ve yaprak alanının p<0.05 düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada, tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre, en yüksek yaprak sayısı BS uygulamasının S0 düzeyinde 79.0 adet bitki⁻¹ ve yaprak alanı BS ve BM uygulamalarının S0 düzeyinde 750.9 ve 714.6 cm² bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında, bakteri uygulamaları bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında, yaprak sayısı ve yaprak alanı bakımından ortalama olarak, BS uygulamasında %36 (79.0 adet bitki⁻¹ ve 750.9 cm² bitki⁻¹), PF uygulamasında %9 (54.0 adet bitki⁻¹ ve 659.2 cm² bitki⁻¹) ve BM uygulamasında %30 (70.0 adet bitki⁻¹ ve 714.6 cm² bitki⁻¹) oranında artış olduğu saptanmıştır.

Artan kuraklık stresi bu değerlerde azalmaya yol açmış; S0 uygulamasına oranla bakteri uygulanmayan S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında yaprak sayısında sırasıyla %3, %5, %15 ve %60; yaprak alanında ise %16, %21, %27 ve %59 düzeyinde azalma meydana gelmiştir. Buna karşın bakteri uygulamasında yaprak sayısı bakımından S1 uygulamasında bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla %14 oranında artış tespit edilirken, diğer sulama düzeylerinde %9-26 düzeylerinde azalma saptanmıştır.

Yaprak alanı bakımından S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %8, %19, %26 ve %36 düzeyinde azalma belirlenmiştir. Bakteri uygulamaları içerisinde kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BM uygulaması olmuştur. Bu uygulamanın bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla yaprak sayısında %112 (47.3 adet bitki⁻¹) ve yaprak alanında %68 (408.0 cm² bitki⁻¹) düzeyinde artışa yol açtığı tespit edilmiştir. BS ve PF bakteri uygulamalarında ise bu değerler yaprak sayısında %63 ve %70 (36.3 ve 38.0 adet bitki⁻¹), yaprak alanında ise %38 ve %61 (332.8 ve 388.4 cm² bitki⁻¹) düzeyinde saptanmıştır.

Çizelge 4.6 Yaprak sayısı ve yaprak alanı değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Yaprak Sayısı (adet bitki ⁻¹)	% Değişim	Yaprak Alanı (cm ² bitki ⁻¹)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	55.3±1.9 ^{cd}	-	588.5±23.9^{a-c}	-
	S1	53.7±1.4 ^{cd}	-3.02	490.0±26.1 ^{c-g}	-16.75
	S2	52.3±2.7 ^d	-5.42	376.9±28.7 ^{g-i}	-35.96
	S3	46.7±2.9 ^{d-g}	-15.67	358.0±37.9 ^{h-i}	-39.18
	S4	22.3±1.4 ⁱ	-59.70	241.9±14.8 ^j	-58.89
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	79.0±3.9^a	42.78	750.9±36.5^a	27.58
	S1	73.7±2.5^{ab}	33.13	568.3±49.4 ^{b-d}	-3.45
	S2	47.0±1.8 ^{d-f}	-15.06	515.0±12.4 ^{c-f}	-12.49
	S3	40.3±1.8 ^{e-h}	-27.11	461.0±24.1 ^{d-h}	-21.67
	S4	36.3±1.5 ^h	-34.34	332.8±20.7 ^{ij}	-43.46
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	54.0±2.7 ^{cd}	-2.40	659.2±50.7^{ab}	12.01
	S1	54.3±3.4 ^{cd}	-1.81	539.7±63.6 ^{c-e}	-8.33
	S2	49.0±1.6 ^{de}	-11.44	445.5±14.3 ^{e-i}	-24.31
	S3	37.3±1.3 ^{gh}	-32.53	426.9±27.9 ^{e-i}	-27.47
	S4	38.0±1.1 ^{f-h}	-31.32	388.4±15.7 ^{g-i}	-30.69
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	70.0±2.7^{ab}	26.51	714.6±33.0^a	21.41
	S1	62.0±3.9 ^{cd}	12.05	517.9±28.7 ^{c-f}	-12.01
	S2	54.3±3.4 ^{cd}	-1.81	462.6±56.4 ^{d-h}	-21.40
	S3	51.0±1.4 ^d	-7.83	415.1±36.5 ^{f-i}	-29.48
	S4	47.3±2.1 ^{d-f}	-14.46	408.0±26.5 ^{f-i}	-34.01

4.7 Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, yaprak oransal su içeriği (YOSİ) bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Yaprak oransal su içeriği değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının YOSİ bakımından farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında YOSİ değeri %92.5 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri”

interaksiyonunun $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamaları etkili bulunmuştur.

Buna göre, en yüksek YOSİ değeri BM uygulamasının S0 düzeyinde %96.8 olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında YOSİ değeri; BS (%93.7) ve PF (%93.5) uygulamalarında %1, BM uygulamasında ise %5 oranında artış göstermiştir. Artan kuraklık stresinin YOSİ değerlerinde azalma şeklinde kendini gösterdiği; bakteri uygulanmayan S0 uygulamasına oranla S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %13, %19, %28 ve %37 düzeyinde düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın bakteri uygulamaları ile YOSİ değerlerinde ortaya çıkan azalma %2-29 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Bakteri uygulamaları içerisinde bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BM olmuştur. Bu uygulamanın bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla YOSİ değerinde (%73.4) %27 oranında iyileşmeye neden olduğu tespit edilmiştir. BS (%65.45) ve PF (%72.95) bakteri uygulamasında ise bu değerler %13 ve %26 düzeylerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.7. Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	YOSİ (%)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	92.5±2.31^{ab}	-
	S1	80.3±3.58 ^{de}	-13.24
	S2	74.9±3.39 ^{e-g}	-19.06
	S3	67.1±2.94 ^{gh}	-27.51
	S4	58.0±1.69 ⁱ	-37.27
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	93.7±2.38^{ab}	1.28
	S1	89.2±1.01^{ab}	-3.57
	S2	80.8±3.61 ^{c-e}	-12.61
	S3	71.3±1.52 ^{f-h}	-22.93
	S4	65.5±4.14 ^{hi}	-29.25
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	93.5±2.68^{ab}	1.10
	S1	89.1±1.82^{a-c}	-3.66
	S2	80.4±0.85 ^{de}	-13.06
	S3	79.4±0.74 ^{d-f}	-14.18
	S4	73.0±3.33 ^{e-h}	-21.14
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	96.8±1.55^a	4.68
	S1	89.9±2.75^{ab}	-2.85
	S2	86.6±2.18 ^{b-d}	-6.38
	S3	76.0±2.12 ^{ef}	-17.83
	S4	73.4±2.82 ^{e-h}	-20.69

4.8 Yaprak su potansiyeli (YSP) bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; yaprak su potansiyeli (YSP) bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Yaprak su potansiyeli değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının YSP bakımından farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında YSP -0.17 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksyonunun $p < 0.001$ düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. Yaprak su potansiyeli (YSP) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [% 100 (S0-kontrol), % 75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	YSP (%)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	-0.17±0.03 ^{ij}	-
	S1	-0.22±0.06 ^{g-i}	29.41
	S2	-0.39±0.07 ^d	129.41
	S3	-0.47±0.04 ^{bc}	176.47
	S4	-0.65±0.04 ^a	282.35
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	-0.15±0.02 ^{ij}	-11.76
	S1	-0.18±0.01 ^{ij}	5.88
	S2	-0.28±0.04 ^{i-h}	64.71
	S3	-0.40±0.03 ^{cd}	135.29
	S4	-0.51±0.06 ^b	131.82
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	-0.14±0.06^j	-17.65
	S1	-0.16±0.05 ^{ij}	-5.88
	S2	-0.23±0.03 ^{g-i}	35.29
	S3	-0.35±0.04 ^{d-f}	105.88
	S4	-0.43±0.03 ^{b-d}	152.94
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	-0.12±0.05^j	-29.41
	S1	-0.17±0.07 ^{ij}	-22.73
	S2	-0.20±0.04 ^{h-j}	17.65
	S3	-0.30±0.01 ^{e-g}	76.47
	S4	-0.38±0.06 ^{de}	123.53

Buna göre en yüksek YSP değeri, BM uygulamasının S0 düzeyinde -0.12 olarak belirlenmiştir. S0 uygulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında YSP değerinin; BS uygulamasında %11 (-0.15), PF uygulamasında %17 (-0.14), BM uygulamasında ise %29 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Artan kuraklık stresi YSP değerlerinde azalma yani negatif yönde artış meydana getirmiş; bakteri uygulanmayan S0 uygulamasına oranla S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %29, %129, %176 ve %282 düzeyinde azalma (negatif yönde artış) meydana gelmiştir. Buna karşın bakteri uygulamaları ile YSP değerlerinde ortaya çıkan azalma dolayısıyla pozitif yönde artış %5-152 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Bakteri uygulamaları içerisinde bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BM uygulamaları

olmuştur. Bu uygulamada bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla YSP değerinde %41 düzeyinde iyileşme tespit edilmiştir. BS ve PF bakteri uygulamasında ise bu değerler %21 ve %33 düzeylerinde tespit edilmiştir.

4.9 Yaprak hücrelerinde membran zararlanma indeksi (MZİ) bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada; membran zararlanma indeksi (MZİ) bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Membran zararlanma indeksi değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının MZİ bakımından farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksiyonunun $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; artan kuraklık stresinin MZİ değerlerinde artışa neden olduğu; bakteri uygulanmayan S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %6.57, %8.92, %13.29 ve %19.24 oranında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna karşın bakteri uygulamaları ile MZİ değerlerinde %16-46 düzeyinde azalma meydana gelmiştir.

Bakteri uygulamaları içerisinde bakteri uygulanmayan stres bitkilerine oranla değişimin daha net görüldüğü tür BM uygulamaları olmuştur. Bu uygulamada bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla, MZİ değerinde %36 düzeyinde azalma, bir diğer ifade ile iyileşme tespit edilmiştir. BS ve PF bakteri uygulamasında ise bu değerler %27 ve %29 düzeylerinde belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Membran zararlanma indeksi (MZİ) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	MZİ (%)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	-	-
	S1	6.57±0.57 ^{f-i}	6.57
	S2	8.92±0.67 ^{d-f}	8.92
	S3	13.29±1.16 ^b	13.29
	S4	19.24±1.02 ^a	19.24
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	-	-
	S1	3.52±0.60 ⁱ	3.52
	S2	7.46±0.72 ^{e-g}	7.46
	S3	11.04±0.25 ^{b-d}	11.04
	S4	14.13±1.13 ^b	14.13
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	-	-
	S1	4.52±0.58 ^{g-i}	4.52
	S2	6.85±0.60 ^{e-h}	6.85
	S3	9.91±0.51 ^{c-e}	9.90
	S4	13.60±0.46 ^b	13.60
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	-	-
	S1	3.93±0.47 ^{hi}	3.93
	S2	6.08±0.77 ^{f-i}	6.08
	S3	8.72±0.45 ^{d-f}	8.72
	S4	12.20±1.26 ^{bc}	12.2

4.10 Klorofil (SPAD) değerleri bakımından ortaya çıkan değişimler

Bakteri uygulamalarının guarda kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, klorofil (SPAD) bakımından elde edilen değerler, ortalamalar ve istatistiksel gruplar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Klorofil değerlerinin incelendiği çalışmada, kuraklık ve bakteri uygulamalarının SPAD bakımından farklı etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde tam sulamanın gerçekleştirildiği S0 uygulamasında SPAD değeri 61.86 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak “kuraklık x bakteri” interaksyonunun $p < 0.001$ düzeyinde önemli bulunduğu çalışmada; tüm sulama düzeylerinde bakteri uygulamaları etkili bulunmuştur.

Buna göre en yüksek SPAD değeri, BM uygulamasının S0 düzeyinde 68.10 olarak belirlenmiştir. S0 sulama koşullarında bakteri uygulamaları, bakteri uygulanmayan kontrol-S0 uygulaması ile karşılaştırıldığında SPAD değerlerinde; BS, PF ve BM uygulamalarında sırasıyla %5 (64.73), %3 (63.76) ve %10 (68.10) oranında artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bunun yanı sıra, artan kuraklık stresi SPAD değerlerinde azalmaya neden olmuş; bakteri uygulanmayan S0 uygulamasına oranla S1, S2, S3 ve S4 uygulamalarında sırasıyla %13, %17, %21 ve %34 oranında azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Buna karşın bakteri uygulamaları ile SPAD değerlerinde ortaya çıkan azalma %1-32 düzeyinde kalmıştır.

Stres koşullarında, bakteri uygulamaları içerisinde bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla değişimin en az gerçekleştiği ve toleransın daha net görüldüğü tür BM uygulamaları olmuştur. Bu uygulamada bakteri uygulanmayan S4 uygulamasına oranla SPAD değerinde %14 (46.46) düzeyinde artış tespit edilmiştir. BS ve PF bakteri uygulamasında ise bu değerler %2 (41.66) ve %4 (42.23) düzeylerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.10. Klorofil (SPAD) değerleri, ortalamaları ve istatistiksel gruplar [%100 (S0-kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3), %0 (S4)]

Bakteri Uygulamaları	Kuraklık Dozları	Klorofil (SPAD)	% Değişim
Kontrol (Bakteri İnoküle Edilmemiş)	S0	61.86±1.23 ^{b-d}	-
	S1	54.33±0.65 ^{fg}	-12.17
	S2	50.96±0.75 ^{g-i}	-17.62
	S3	48.66±1.95 ^{hi}	-21.34
	S4	40.70±0.40 ^k	-34.21
<i>Bacillus subtilis</i> (BS)	S0	64.73±1.19^{a-c}	4.64
	S1	61.76±0.51 ^{b-d}	-0.16
	S2	51.86±1.94 ^{gh}	-16.17
	S3	49.10±2.43 ^{hi}	-20.63
	S4	41.66±2.12 ^k	-32.65
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (PF)	S0	63.76±0.47^{a-c}	3.07
	S1	60.00±1.13 ^{c-e}	-3.01
	S2	56.66±0.21 ^{ef}	-8.41
	S3	49.46±3.25 ^{hi}	-20.05
	S4	42.23±0.99 ^{jk}	-31.73
<i>Bacillus megaterium</i> (BM)	S0	68.10±2.08^a	10.09
	S1	66.00±1.51^{ab}	6.69
	S2	58.50±0.44 ^{d-f}	-5.43
	S3	49.80±1.51 ^{g-i}	-19.50
	S4	46.46±1.86 ^{ij}	-24.89

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Toprak nemi, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda, bitkisel üretimde verimliliği önemli ölçüde etkilemektedir. Yıllık yağışın yetersiz miktarda olmasına bağlı olarak topraktaki düşük nem içeriği, bitkilerde kuraklık stresine neden olmaktadır. Kuraklık, bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden birisidir. Kalafetoğlu ve Ekmekçi (2005), kuraklık stresinin %26'lık payla en büyük dilim içerisinde olduğunu ifade etmektedir. Topraktaki su içeriğinin bitkilerin su azlığından sıkıntı çektiği miktara kadar, belirgin yağışın olmadığı bir periyodu ifade eden kuraklık, toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiler tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir (Özcan vd. 2004). Kuraklık, toprakta bitkiye yarayışlı su miktarının azalması, atmosferik koşulların etkisiyle transpirasyon ve evaporasyon sonucu su yitmesinin sürmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Kuraklık stresi büyümeyi ve verimi olumsuz yönde etkileyerek bitkilerde birçok fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olmaktadır. Bitkiler kuraktan sakınım ve kurağa tolerans şeklinde geliştirdikleri savunma mekanizmaları ile dayanımlarını sağlamaktadırlar. Kuraktan sakınım mekanizmasına sahip bitkilerde, geniş bir kök sistemi meydana gelmekte, stomalar kapanmakta ve daha etkili bir su kullanımı gerçekleşmektedir. Kuraklığa tolerans mekanizmasına sahip bitkiler ise, özellikle düşük su potansiyelinin olduğu durumlarda ozmotik düzenleme ve membran sisteminin korunarak hücresel seviyede bir mekanizma gelişmektedir (Kuşvuran vd. 2011).

Kuraklık stresinin olumsuz etkisini azaltmak ve bitkilerin tolerans düzeylerinin artırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalardan biri de bakteri uygulamalarıdır. Bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin (Plant Growth-Promoting Bacteria-PGPB) kullanımı ile bitkilerde fosfat çözünürlüğü, azot fiksasyonu kullanım etkinliği, bitkisel hormon üretimi gibi farklı mekanizmaların doğrudan yada dolaylı olarak aktif duruma getirilmesi ile bitkilerde kuraklık gibi farklı abiyotik stres koşullarına toleransın arttığı bildirilmektedir (Kloepper and Schroth 1981, Grichko and Glick 2001,

Marulanda *et al.* 2009, Samancoğlu ve Yıldırım 2015, Turhan *et al.* 2020). Bu çalışmada, guarda farklı düzeylerdeki kuraklık stresine toleransın sağlanmasına farklı bakteri türlerinin etkinliği morfolojik ve fizyolojik açıdan değerlendirilmiştir. Kuraklık stresinin ilk olumsuz etkileri büyüme ve gelişmede meydana gelen olumsuzluklardır. Kuraklık stresi sonucu hücrede meydana gelen su kaybı, plazma membranında oluşan çökmeye ve serbest kalan hidrolitik enzimler ise sitoplazmanın otolizine neden olmakta, sonuçta büyümede yavaşlama ve turgorda azalma meydana gelmektedir (Kuşvuran 2010). Su noksanlığı karşısında hücre bölünmesi ve büyümesinde meydana gelen azalma, karbon ve azot metabolizmalarında oluşan değerşimler, bitkilerde yaş ve kuru ağırlık değerlerinin de azalmasına neden olmaktadır (Schillaci *et al.* 2019).

Bu araştırmada, farklı düzeylerde uygulanan kuraklık stresi yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları ile kök yaş ve kuru ağırlıklarında, bitki boyu ve sap kalınlığında değerşen oranlarda azalmaya yol açmış; bu değerşim özelikle S4 uygulamasında belirginleşmiş ve kontrol bitkilerine oranla %61-71 oranında azalma meydana gelmiştir (izelge 4.2 ve izelge 4.3). Bununla birlikte bitki boyu %28 oranında azalma gösterirken, sap kalınlığı bakımından ise bu oran %25 olarak kaydedilmiştir. Bakteri uygulamaları kuraklık stresinin olumsuz etkisini önemli düzeyde azaltmıştır. Özellikle S4 sulama düzeyinde, bakteri uygulanmayan S4 bitkilerine oranla yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları ile kök yaş ve kuru ağırlıkları asında %3-235 düzeyinde iyileşme sağlanmış, bu olumlu etki *Bacillus megaterium* türünde (%59-235) n plana çıkmıştır. Bitki boyu ve sap kalınlığı bakımından ise bu değerler %2-31 düzeyinde olup, *Bacillus subtilis* ırkının daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Besin maddelerinin alımının ve dağıtımının düzenlenmesi, suyun taşınması, znen besin elementlerinin ve antioksidanların bitki dokularında birikmesi, kurak koşullar altında bitki verimliliğini artırmaya yardımcı olabilmektedir (Boomsma and Vyn 2008). Kuraklığa dayanıklı *Bacillus* spp. türlerinin toprağa uygulanması bu bakterilerin bitki köklerindeki popülasyonlarını artırmakta ve hem bakteriyel faaliyetleri hem de bitki büyümesini teşvik etmek için köklere su kaybını önleyici uyarıcı etki yapmaktadır

(Sandhya *et al.* 2011). Bitki köklerinde sayıca artış gösteren *Bacillus* spp. suyun bitki bünyesinde daha fazla tutulmasını sağlayarak, bitkiyi kuraklık stresine bağlı hasara karşı koruyan önemli bir mekanizma olarak görev yapmaktadır (Marulanda *et al.* 2009). Böylece kuraklık stresinin oluşturacağı olumsuz etkiyi hafifletici yönde etkide bulunmaktadır.

Kuraklıktan zarar görmüş bitkilerde N, P ve K⁺ alımı azalırken, *Bacillus* spp. uygulaması kuraklık stresine girmiş bitkilerde makro besin elementlerinin miktarını artırmaktadır (Barnawal *et al.* 2013). Bakteriyel enzimler toprakta ve bitki bünyesinde makro besin elementlerinin bitkiler tarafından kullanılabilir formda birikmesini sağlar (Kang *et al.* 2015, Kuan *et al.* 2016). Bununla birlikte, bu bakteriler kuraklık stresi azaltmak için Na⁺/K⁺ dengesini ayarlayan yüksek duyarlı potasyum taşıyıcı 1'i (HKT1) düzenler (Gassmann *et al.* 1996, Vieira-Pires *et al.* 2013).

Dudeja (2016) and Kaushal (2019), bakterilerin etilen sentezini baskılayan fitohormonların aktivitesi ile kuraklık stresi koşullarında bitki toleransının artabileceğini, bitki büyüme ve gelişmesinde önemli rol oynayan sitokin ve oksin gurubu hormon içeriklerinin olumlu yönde etkilendiğini bildirmişlerdir. Jorjani *et al.* (2011), *Pseudomonas fluorescens* ve *Bacillus coagulans* bakterilerine yer verdikleri çalışmalarında şeker pancarında bakteri uygulamalarının fide boyu, fide kuru ağırlığı ve kök ağırlığı parametrelerini artırdığını belirlemişlerdir. Naveed *et al.* (2014), kuraklık stresi altında iki farklı mısır çeşidinin iki farklı PGPR ile aşılamaı takiben stresi sonucu ortaya çıkan zararlanmanın azaldığını, bunun büyük olasılıkla bakterilerin ürettiği hormonların ve bitkiler ile birlikte bakteriler tarafından sentezlenen stres azaltıcı enzimlerin sonucu olduğunu belirtmiştir. Farklı sulama seviyesinde (%100, 75 ve 50) yetiştirilen marulda su kısıntılarına bağlı olarak yaş ve kuru ağırlık ile verimin azaldığı, fakat uygulanan *Bacillus megaterium* TV-6D ve *Bacillus subtilis* TV-12H bakteri ırkları ile su kısıntılarının bitkilerdeki zararı azalmıştır (Sahin *et al.* 2015). Nohut, fasulye ve buğdayda bakteri uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında bitki büyüme ve gelişimini iyileştirdiği, taze ve kuru ağırlıklarda stres koşullarında ortaya çıkan

azalmanın önemli ölçüde sınırlandırıldığı bildirmiştir (Kasim *et al.* 2013, Kumar *et al.* 2016, Galvao *et al.* 2019).

Kuraklık stresinin büyümeyi engelleyici etkisi yaprak yapısında da kendini gösterirken yaprak alanında da azalmaya neden olmaktadır (Ashraf and Iram 2005). Bitkilerin dokulardaki uygun su içeriğini koruyabilmek için aldıkları önlemler bitki morfolojisine de yansımaktadır. Bunlardan biri de bitkinin yaprak alanını küçülterek kuraklığa karşı bir savunma mekanizması oluşturmasıdır (Çırak ve Esenal 2006). Burada, kuraklık stresi her iki parametrede de değişen oranlarda azalmaya neden olmuştur. Yaprak sayısı bakımından kontrol bitkilerine oranla %3-60; yaprak alanı bakımından ise %17-59 oranında azalma meydana gelmiştir. Ortaya çıkan bu değişim özellikle S4 sulama düzeyinde belirginleşmiş kontrol bitkilerine oranla %60 düzeyinde azalma ortaya çıkmıştır. Bakteri uygulamaları yaprak sayısı ve yaprak alanı bakımından kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmiş; bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine oranla %14-34 düzeyinde azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte bakteri uygulanmayan S4 bitkilerine oranla %37-112 düzeyinde iyileşme belirlenmiştir. Uygulanan bakteri türleri içerisinde en belirgin iyileşme *Bacillus megaterium* türünde (%68 ve %112) görülmüştür. Mısırdaki PGPB uygulamaları ile yaprak kuru ağırlığı kontrol bitkilerine göre %78'den %156 seviyelerine kadar artış göstererek yaprak alan indeksinin pozitif yönde etkilendiği bildirilmiştir (Gholami *et al.* 2012). Tarla şartlarında farklı kısıntılı sulama seviyelerinde (%90, %60 ve %30) yetiştirilen banotu (*Hyoscyamus niger*) bitkisinde su kısıntısının artması ile yaprak sayısının azaldığı, fakat kontrol uygulamaları ile karşılaştırıldığında *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas fluorescens* uygulamalarına bağlı olarak bu sayının artış gösterdiği bildirilmektedir (Ghorbanpour *et al.* 2013).

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ), kuraklık stresinde önemli bir indikatör olarak kabul edilmektedir. Hücre hacmi ile sıkı bir ilişkide olan YOSİ değeri, transpirasyon oranı ile yaprağa sağlanan su arasındaki dengenin sağlanabilmesini gösteren bir değer olarak da düşünülebilir. Bu etki nedeniyle bitki ne kadar su sağlayabilirse kendisini de stresten o

denli kurtarabilmektedir (Dhanda and Sethi 2002). YOSİ'deki bir azalma, turgor kaybının bir yansıması olup, bu daha sonra sınırlı hücre genişlemesine ve sonuç olarak bitki büyümesinde azalmaya neden olmaktadır (Castillo *et al.* 2013). Yine Okunlola *et al.* (2017) YOSİ'nin kuraklığa toleransın belirlenmesinde önemli bir gösterge olduğunu, kuraklık stresi ile birlikte YOSİ değerlerinde azalma meydana geldiğini ifade etmektedir. Nxele *et al.* (2017), YOSİ'nin bitkileri kuraklık toleransı açısından taramak için kullanılacak en kolay tarımsal değişkenlerden biri olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, kuraklık stresi koşullarında YOSİ bakteri uygulanmayan stres bitkilerinde %13-37 oranında azalma gösterirken, bu oran bakteri uygulaması ile %3-29 düzeyinde kalmıştır. Bakteri uygulamaları ile kuraklık stresi altında YOSİ değerleri %6-27 oranında artış göstermiştir (Çizelge 4.7). Stres koşullarında *Bacillus megaterium* uygulanmış guar bitkilerinde YOSİ'de ortaya çıkan iyileşme ön plana çıkmış ve özellikle S4 sulama düzeyinde %26 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır. Kuraklık stresi altında bakteri uygulamaları ile YOSİ'deki artış, bakterilerin guarda yaprak su ilişkilerinin artmış olabileceğini ve devam eden hücre turgor basıncını destekleyebileceğini göstermektedir. *Azospirillum* sp. ile aşılanmış mısırda (Casanovas *et al.* 2002) ve buğdayda (Creus *et al.* 2004) YOSİ değerlerindeki artışın, stomaların kapanmasına neden olan ABA düzeyindeki değişimin kontrol altına alınmasıyla ve bitki su dengesinin korunması ile ilişkilendirmişlerdir. Maş fasulyesinde *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21 uygulaması kuraklık stresi ile azalan YOSİ değerini %23 artırmıştır (Sarma and Saikia 2014). Buğdayda bakteri uygulamaları ile kuraklık stresinde YOSİ değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiş (Chakraborty *et al.* 2013); buğdayda ise kuraklık stresinin YOSİ'yi azalttığı fakat *Bacillus phytofirmans* PsJN uygulamasının kontrol konularına göre bu değeri artırdığı görülmüştür (Naveed *et al.* 2014). Tarla şartlarında farklı kısıntılı sulama koşullarında (%90, %60 ve %30) yetiştirilen banotu (*Hyoscyamus niger*) bitkisinde YOSİ değerinin su kısıntının artması ile azaldığı, fakat kontrol uygulamaları ile karşılaştırıldığında *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas fluorescens* uygulamaları ile artış gösterdiği bildirilmektedir (Ghorbanpour *et al.* 2013). Kuraklık stresi karşısında yaprak su potansiyeli negatif yönde artış göstermiştir. Acosta-Motos *et al.* (2017) kuraklık stresi altındaki bitkilerde önemli derecede negatif yaprak ve gövde suyu potansiyel değerleri ortaya çıktığını ifade etmiştir.

Kuraklık stresi koşullarında bakteri uygulanmayan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla YSP'de ortaya çıkan değişim %29-282 düzeyinde olup; YSP'deki kayıp dolayısıyla negatif yöndeki artışın en fazla görüldüğü uygulama S4 sulama düzeyinde meydana gelmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; bakteri uygulaması yaprak su potansiyelini %14-49 oranında pozitif yönde artırmış ve *Bacillus megaterium* uygulaması diğer bakterilere göre kontrole göre daha etkili olmuştur. Creus *et al.* (2004), buğdayda kuraklık stresi altında *Azospirillum brasilense* Sp245 uygulamasının YOSİ ve YSP değerlerini önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca Pereyra *et al.* (2012), koleoptil ksilemde morfolojik değişikliklerin bir sonucu olarak buğday fidelerinin *Azospirillum* ile aşılmasının ozmotik stres altında daha iyi su durumu sağladığını belirtmiştir.

Stres karşısında hücre membranlarında meydana gelen zararlanma ortama iyonların sızmasına neden olmaktadır. Bu prensip doğrultusunda ölçümleri yapılan guarda membran zararlanma indeksindeki (MZİ) artış, bitkinin stresten etkilenme düzeyinin de bir göstergesi olarak düşünülmektedir. Stres koşullarında hücre yapısının korunması, membran proteinlerinin özelliklerine, lipit bileşiklerinin yapısına ve bunların mekanizmalarındaki aktiviteye bağlıdır. Oksidatif stres genellikle aktif oksijen türevlerinin yoğunluğuna bağlı olarak membran proteinleri ve lipitlerin yapısında meydana gelen bozulmalar nedeniyle hücre zararlanmasına neden olmaktadır. Artan stres koşullarına bağlı olarak MZİ değerleri de artış göstermiştir. Bu değerler %6-19 arasında değişmekle birlikte en yüksek değer kontrol S4 uygulamasında belirlenmiştir. Kuraklık stresi ile birlikte bakteri uygulaması MZİ değerlerinde %16-46 oranında azalmaya neden olmuş ve bu azalma en etkin olarak *Bacillus megaterium* uygulamasında belirlenmiştir.

Kuraklık stresi klorofil içeriğinde (SPAD) değişen oranlarda azalmaya neden olmuştur. Kontrol bitkilerine oranla stres bitkilerinde %12-34 oranında azalma meydana gelmiş; en belirgin değişim S4 uygulamasında (%34 azalma) belirlenmiştir. Klorofil içeriğindeki azalmanın klorofil degradasyonundaki artma veya klorofil sentezindeki

azalmadan kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Santos 2004). Bakteri uygulamaları klorofil içeriğinde meydana gelen azalmayı önemli düzeyde sınırlandırmıştır. Kontrol bitkilerine oranla bakteri uygulanan stres bitkilerinde ortaya çıkan azalma %1-32 oranlarında ortaya çıkmış ve bakteri uygulanmayan stres bitkilerine oranla %1-24 düzeyinde iyileşme sağlanmıştır. Kuraklık koşullarında üç farklı bakteri kullanımının yer aldığı ve etkinliklerinin incelendiği bu çalışmada; stresin olumsuz etkisini tolere etme konusunda en başarılı bakteri türü *Bacillus megaterium* olmuş ve S4 uygulama koşullarında %14 düzeyinde klorofil içeriğinde artışa neden olmuştur.

Radhakrishnan *et al.* (2017) and El-Esawi (2018) kuraklık, tuzluluk gibi oksidatif stresin pigmentlerin sentezini önlediğini ve fotosentezi azalttığını, bakterilerin ise stres altındaki bitkilerde fotosentetik pigment sentezini uyararak fotosentezi artırdığını, klorofil biyosentetik yollarının güçlendirilmesi yoluyla da stres kaynaklı olumsuz etkileri azalttığını belirtmişlerdir. Kurak şartlarda yetiştirilen *Platycladus orientalis* (top mazı) bitkisine *Bacillus subtilis* bakteri uygulaması ile bitkide aminoasitler, organik asitler, şekerler ve yaprak su potansiyeli ile yaprak oransal su içeriğinde artış olduğu bildirilmiştir (Liu *et al.* 2013). Yapılan başka bir çalışmada kırmızıbiber ve domates bitkilerine uygulanan PGPB'ler ile bitkilerde makro ve mikro element miktarı ile klorofil değerinin bakteri uygulanmamış bitkilere göre artış olduğu belirlenmiştir (Islam *et al.* 2013). Farklı su kısıtlamaları altında yetiştirilen *Hyoscyamus niger* bitkisine uygulanan *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens* bakterilerin bitkilerde klorofil değeri, prolin ve yaprak oransal su içeriği ile antioksidan enzim aktivitesini artırdığı bildirilmiştir. Uygulamalar arasında en fazla prolin miktarının *Pseudomonas fluorescens* uygulanmış %90 su kısıtı konusunda, kök ve gövde de alkaloid veriminin *Pseudomonas putida* uygulanmış %30 su kısıtı konusunda belirlenmiştir (Ghorbanpour *et al.* 2013). Kurak şartlarda yetiştirilen *Arabidopsis thaliana* bitkisinde *Azospirillum brasilense* uygulaması ile bitkide fotosentetik ve fotoprotektif pigmentlerin uyarılarak bitkide fotosenteze bağlı verim kayıplarının önüne geçilmiştir (Cohen *et al.* 2015).

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkan kuraklık gibi abiyotik stres koşulları bitkisel üretimi önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir. Bu doğrultuda bitkilerin kuraklığa toleransının artırılması, kısıtlı sulama koşullarında verimin artırılması için maliyeti düşük ve özellikle çevre dostu uygulamalar ile önlemler alınması gerekmektedir. Günümüzde abiyotik stres koşullarında etkin bir bitki yetiştiriciliği için bakteri uygulamalarının da dahil olduğu PGPB uygulamaları dikkat çekmektedir. Bu araştırmada, tam (S0) ve kısıtlı sulama (S1, S2, S3 ve S4) seviyelerinde yetiştirilen guar bitkilerinde bitki gelişimini teşvik eden *Bacillus subtilis* QST 713, *Pseudomonas fluorescens* PF1 ve *Bacillus megaterium* bakteri uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında olumlu yönde etkileri olduğu belirlenmiştir. Özellikle *Bacillus megaterium* bakteri uygulaması, bitki büyüme ve gelişmesi, yaprak oransal su içeriği, yaprak su potansiyeli, klorofil içeriği (SPAD) gibi morfolojik ve fizyolojik özellikleri iyileştirici etkisi ile ön plana çıkmıştır. Bu bakteri türünü sırasıyla *Pseudomonas fluorescens* PF1 ve *Bacillus subtilis* QST 713 izlemiştir.

Sonuç olarak; yürütölen bu çalışmada bitkide kısıtlı sulama seviyeleri nedeniyle ortaya çıkan kuraklık stresinden kaynaklanan zararlanmanın bakteri uygulamaları ile sınırlandırıldığına ve bitkide morfolojik ve fizyolojik parametreler bakımından iyileşme sağlandığına dair bulgular elde edilmiştir. Her üç bakteri türünün de yeni çalışmalara konu edilerek farklı kültür bitkilerinde denenmesi, özellikle çalışmaların tarla koşullarına aktarılarak verim ve kalite özellikleri üzerinde yeni araştırmaların yapılması bakteri türlerinin kuraklık stresi üzerindeki etkilerinin daha net görülmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J. and Hernandez, J.A. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Alveroğlu, V., 2014. Bazı bakteri (*Serratia marcescens* ve *Stenotrophomonas maltophilia*) ve potasyum nitrat uygulamalarının biber bitkisinin tuza toleransı üzerine etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 105 sf.
- Anonim 2018a. Cedriks SL (sıvı formülasyon) <http://www.agrobestgrup.com/ilac.php?dilkod=TR&ilacid=167&kat=cedriks>
Erişim tarihi: 21.12.2018
- Anonim 2018b. Serenade SC (süspansiyon konsantre) <https://www.tarim.bayer.com.tr/tr/products/products-a-z/serenade-sc.php>
Erişim tarihi: 21.12.2018
- Anonim 2018c. Albit (sıvı formülasyon) <http://albit.com.tr/tr/etken-maddesi>
Erişim tarihi: 21.12.2018
- Ashraf, M., and Iram, A. 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200(6), 535-546.
- Aydın, A., Yıldırım, E., Karaman, M.R., Turan, M., Demirtaş, A., Şahin, F., Güneş, A., Esringü, A., Dizman, M. ve Tutar, A. 2012. Humik asit, PGPR ve kimyasal gübre uygulamalarının brokoli (*Brassica oleracea*) bitkisinin bazı verim parametreleri üzerine etkisi. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1, 309-316.
- Barnawal, D., Maji, D., Bharti, N., Chanotiya, C.S., and Kalra, A. 2013. ACC deaminase-containing *Bacillus subtilis* reduces stress ethylene-induced damage and improves mycorrhizal colonization and rhizobial nodulation in *Trigonella foenum-graecum* under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 809-822.
- Berkeley, R.W.C. and Logan, N. 1997. *Bacillus, alicyelobacillus and paenibacillus*, principles and practice of clinical bacteriology, Chichester: Wiley; 185p.
- Bochow, H., Dolej, S., Lyr, H., Russell, P.E., Dehne, H.W. and Sisler, H.D. 1999. Mechanisms of tolerance induction in plants by root colonising *Bacillus subtilis* isolates. in *Modern fungicides and antifungal compounds II*. 12th International Reinhardtsbrunn Symposium, Friedrichroda, Thuringia, Germany, 24-29 May 1998, 411-416.
- Boomsma, C.R., and Vyn, T.J. 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? *Field Crops Research*, 108, 14-31.
- Casanovas, E.M., Barassi, C.A. and Sueldo, R.J. 2002. Azospirillum inoculation mitigates water stress effects in maize seedlings. *Cereal Research Communications*, 30(3-4), 343-349.
- Castillo, G., Cruz, L.L., Hernandez-Cumplido, J., Oyama, K., Flores-Ortiz, C.M., Fornoni, J., Valverde, P.L. and Nunez-Farfan, J. 2013. Geographic association and temporal variation of chemical and physical defense and leaf damage in *Datura stramonium*. *Ecological Research*, 28(4), 663-672.
- Chinnaswamy, A., Coba de la Peña, T., Stoll, A., de la Peña Rojo, D., Bravo, J., Rincón, A., Lucas, M.M. and Pueyo, J.J. 2018. A nodule endophytic *Bacillus megaterium*

- strain isolated from *Medicago polymorpha* enhances growth, promotes nodulation by Ensifer medicae and alleviates salt stress in alfalfa plants. *Annals of Applied Biology*, 172(3), 295-308.
- Chakraborty, U., Chakraborty, B.N., Chakraborty, A.P. and Dey, P.L. 2013. Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(5), 789-803.
- Cohen, A.C., Bottini, R., Pontin, M., Berli, F.J., Moreno, D., Boccanlandro, H., Travaglia, C.N. and Piccoli, P.N. 2015. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. *Physiologia Plantarum*, 153(1), 79-90.
- Creus, C.M., Sueldo, R.J. and Barassi, C.A. 2004. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Canadian Journal of Botany*, 82(2), 273-281.
- Çırak, C. ve Esendal, E. 2006. Soyada Kuraklık Stresi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(2), 231-237.
- Dahaji, A.P., Masalehi, F. and Akhgar, A. 2020. Improved growth and nutrition of sorghum (*Sorghum bicolor*) plants in a low-fertility calcareous soil treated with plant growth-promoting rhizobacteria and Fe-EDTA. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 31-42.
- Demirbağ, Z. ve Demir, İ. 2005. Genel mikrobiyoloji laboratuvarı uygulama kitabı, KATÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Esen Matbaacılık, Trabzon, 126s.
- Dhanda, S.S. and Sethi, G.S. 2002. Tolerance to drought stress among selected indian wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science*, 139, 319-326.
- DŁugokęcka, E. and Kacperska-Palacz, A. 1978. Re-examination of electrical conductivity method for estimation of drought injuries. *Biologia Plantarum*, 20(4), 262-267.
- Dudeja, S.S. 2016. Beneficial effects and molecular diversity of endophytic bacteria in legume and nonlegumes. In *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity* (pp. 245-256). Springer, New Delhi.
- El-Esawi, M.A., Alaraidh, I.A., Alsahli, A.A., Alamri, S.A., Ali, H.M. and Alayafi, A.A. 2018. *Bacillus firmus* (SW5) augments salt tolerance in soybean (*Glycine max* L.) by modulating root system architecture, antioxidant defense systems and stress-responsive genes expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 375-384.
- Esringü, A., Kotan, R., Bayram, F., Ekinci, M., Yıldırım, E., Nadaroğlu, H. ve Katırcıoğlu, H. 2016. Sarımsak yetiştiriciliğinde farklı bakteri biyoformölasyonu uygulamalarının bitki gelişimi parametreleri, verim ve enzim düzeyleri üzerine etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 214-227.
- Fan, S. and Blake, T.J. 1997. Comparison of polyethylene glycol 3350 induced osmotic stress and soil drying for drought simulation in three woody species. *Trees*, 11(6), 342-348.
- Ferreira, N.C., Mazzuchelli, R.D.C.L., Pacheco, A.C., Araujo, F.F.D., Antunes, J.E.L. and Araujo, A.S.F.D. 2018. *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. *Ciência Rural*, 48(8), 1-4.
- Gassmann, W., Rubio, F. and Schroeder, J.I. 1996. Alkali cation selectivity of the wheat root high-affinity potassium transporter HKT1. *The Plant Journal*, 10, 869-882.

- Gholami, A., Biyari, A., Gholipour, M. and Asadi Rahmani, H. 2012. Growth promotion of maize (*Zea mays* L.) by plant-growth-promoting rhizobacteria under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(9), 1263-1272.
- Ghorbanpour, M., Hatami, M. and Khavazi, K. 2013. Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of *Hyoscyamus niger* under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology*, 37(3), 350-360.
- Islam, M.R., Sultana, T., Joe, M.M., Yim, W., Cho, J.C. and Sa, T. 2013. Nitrogen-fixing bacteria with multiple plant growth-promoting activities enhance growth of tomato and red pepper. *Journal of Basic Microbiology*, 53(12), 1004-1015.
- Iyer, A., Mody, K. and Jha B. 2005. Characterization of an exopolysaccharide produced by a marina *Enterobacter cloacae*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 43(5), 467-471.
- İmriz, G., Özdemir, F., Topal, İ., Ercan, B., Taş, M.N., Yakışır, E. ve Okur, O. 2014. Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR)'ler ve etki mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 12(2), 1-19.
- Jani, M., Heydari, A., Zamanizadeh, H.R., Rezaee, S. and Naraghi, L. 2011. Development of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus coagulans* based bioformulations using organic and inorganic carriers and evaluation of their influence on growth parameters of sugar beet. *Journal of Biopesticides*, 4(2), 180-185.
- Jorjani, M., Heydari, A., Zamanizadeh, H. R., Rezaee, S. and Naraghi, L. 2011. Development of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus coagulans* based bioformulations using organic and inorganic carriers and evaluation of their influence on growth parameters of sugar beet. *Journal of Biopesticides*, 4(2), 180.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçi, Y. 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review). *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kang, S.M., Radhakrishnan, R., Lee, K.E., You, Y.H., Ko, J.H., Kim, J.H and Lee, I.J. 2015. Mechanism of plant growth promotion elicited by *Bacillus* sp. LKE15 in oriental melon. *Acta Agriculturae Scandinavica-Section B Soil and Plant Science*, 65, 637-647.
- Karatekin, M., 2014. Kireçli bir toprağın fosfor yararlılığına *Mikoriza* ve *Bacillus* sp. 189 aşılması ile kükürt uygulamalarının etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71 sf.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekci, Y., 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review). *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., Abd El- Daim, I.A. and Meijer, B. 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growthpromoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 122-130.
- Kaushal, M. 2019. Portraying rhizobacterial mechanisms in drought tolerance: a way forward toward sustainable agriculture. In *PGPR amelioration in sustainable agriculture* (pp. 195-216). Woodhead Publishing.
- Khan, N., Ali, S., Tariq, H., Latif, S., Yasmin, H., Mehmood, A. and Shahid, M. A. 2020. Water Conservation and Plant Survival Strategies of Rhizobacteria under Drought Stress, *Agronomy*, 10, 1683.

- Köksal, E.S., Üstün, H. ve İlbeyi, A. 2010. Bodur yeşil fasulyenin sulama zamanı göstergesi olarak yaprak su potansiyeli ve bitki su stres indeksi sınır değerleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 25-36.
- Kuan, K.B., Othman, R., Rahim, K.A. and Shamsuddin, Z.H. 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. *PLoS ONE* 11(3), e0152478.
- Kumar, P., Pandey, P., Dubey, R.C. and Maheshwari, D. K. 2016. Bacteria consortium optimization improves nutrient uptake, nodulation, disease suppression and growth of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) in both pot and field studies. *Rhizosphere*, 2, 13-23.
- Kumari, S., Vaishnav, A., Jain, S., Varma, A. and Choudhary, D.K. 2016. Induced drought tolerance through wild and mutant bacterial strain *Pseudomonas simiae* in mung bean (*Vigna radiata* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(1), 4.
- Kuşvuran, Ş. 2010. Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 356 sf.
- Kuşvuran, Ş., Daşgan, H.Y. ve Abak, K. 2011. Farklı kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 21(3), 209-219.
- Kuşvuran, A. and Kusvuran, S. 2019. Using of microbial fertilizer as biostimulant alleviates damage from drought stress in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) seedlings. *International Letters of Natural Sciences*, 76, 147-157.
- Kloepper, J.W. and Schroth, M.N. 1981. Relationship of in vitro antibiosis of plant growth-promoting rhizobacteria to plant growth and the displacement of root microflora. *Phytopathology*, 71(10), 1020-1024.
- Logan, N.A. 2002. Turnbull, bacillus and recently derived genera. In: PR Murray, Rogel Berkeley, Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing, 305 p.
- Liu, F., Xing, S., Ma, H., Du, Z. and Ma, B. 2013. Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 9155-9164.
- Maheshwari, D. 2010. Plant growth and health promoting bacteria. Potential of PGPR in Agricultural Innovations. Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Erzurum, 45-79.
- Marulanda, A., Barea, J.M., and Azcon, R. 2009. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AMfungi and bacteria) from dry environments. Mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 115-124.
- Moradi, A., Zarei, T., Kazemeini, S. A., Akhgar, A. and Rahi, A. A. 2020. The role of ACC deaminase producing bacteria in improving sweet corn (*Zea mays* L. Var saccharata) productivity under limited availability of irrigation water. *Scientific Reports*, 10, 20361.
- Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z.A. and Ashraf, M. 2012. Microbial ACC-deaminase biotechnology: perspectives and applications in stress agriculture. In *Bacteria in Agrobiolgy: Stress Management* (pp. 141-185). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Naveed, M., Mitter, B., Reichenauer, T.G., Wieczorek, K. and Sessitsch, A. 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by *Burkholderia phytofirmans* PsJN and *Enterobacter* sp. FD17. *Environmental and Experimental Botany*, 97, 30-39.
- Nxele, X., Klein, A. and Ndimba, B.K. 2017. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany*, 108, 261-266.
- Okunlola, A.I., Ogungbite, O.C. and Hassan, G.F. 2017. Growth and nutritional qualities of three ocimum species as affected by methods of propagation. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 82(1), 36-46.
- Özcan, S., Babaoğlu, M. ve Gürel, E. 2004. Bitki Biyoteknolojisi Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları, Konya.
- Pereyra, M.A., Garcia, P., Colabelli, M.N., Barassi, C.A. and Creus, C.M. 2012. A better water status in wheat seedlings induced by *Azospirillum* under osmotic stress is related to morphological changes in xylem vessels of the coleoptile. *Applied Soil Ecology*, 53, 94-97.
- Pirlak, L. and Kose, M. 2009. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 32(7), 1173-1184.
- Pignata, G., Niñirola, D., Casale, M., Turco, P.E.L., Egea-Gilabert, C., Fernández, J.A. and Nicola, S. 2016. Inherent quality and safety of watercress grown in a floating system using *Bacillus subtilis*. *The Horticulture Journal*, 85(2), 148-153.
- Preston, G.M. 2004. Plant perceptions of plant growth-promoting *Pseudomonas*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 359, 907-918
- Radhakrishnan, R., Hashem, A. and Abd_Allah, E.F. 2017. *Bacillus*: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Frontiers in Physiology*, 8, 667.
- Sahin, U., Ekinici, M., Kiziloglu, F. M., Yildirim, E., Turan, M., Kotan, R. and Ors, S. 2015. Ameliorative effects of plant growth promoting bacteria on water-yield relationships, growth, and nutrient uptake of lettuce plants under different irrigation levels. *Hortscience*, 50(9), 1379-1386.
- Saikia, J., Sarma, R.K., Dhandia, R., Yadav, A., Bharali, R., Gupta, V.K. and Saikia, R. 2018. Alleviation of drought stress in pulse crops with ACC deaminase producing rhizobacteria isolated from acidic soil of Northeast India. *Scientific Reports* 8(1), 1-16.
- Sandhya, V., Ali, S. Z., Grover, M., Reddy, G., and Bandi, V. 2011. Drought tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, 6, 1-14.
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S. and Bhatti, A.S. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34, 635-648.
- Samancıoğlu, A., Yıldırım, E. ve Şahin, Ü. 2016. Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri uygulamalarının farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanada fide gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(3), 332-338.
- 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.) subjected to water stress. *Field Crops Research*, 86, 81-90.

- Sankar, B., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R. And Panneerselvam, R. 2008. Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62(1), 125-129.
- Santos, C.V. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 93-99.
- Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P. and Samiyappan, R. 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(1), 203-209.
- Sarma, R.K. and Saikia, R. 2014. Alleviation of drought stress in mung bean by strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. *Plant and Soil*, 377(1-2), 111-126.
- Shaharoon, B., Arshad, M. and Zahir, Z.A. 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*, 42(2), 155-159.
- Shakir, M.A., Asghari, B. and Muhammad, A. 2012. Rhizosphere bacteria containing ACC-deaminase conferred drought tolerance in wheat grown under semi-arid climate. *Soil and Environment*, 31(1), 108-112.
- Schillaci, M., Gupta, S., Walker, R. and Roessner, U. 2019. The role of plant growth-promoting bacteria in the growth of cereals under abiotic stresses. In *Root Biology- Growth, Physiology, and Functions*. IntechOpen.
- Soyuçok, A., Ekiz, T. ve Kılıç, G.B. 2016. Ekzopolisakkaritlerin özellikleri ve gıda sanayindeki önemi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 332-344.
- Tiwari, S., Lata, C., Chauhan, P.S. and Nautiyal, C.S. 2016. *Pseudomonas putida* attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in *Cicer arietinum* L. during drought stress and recovery. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99, 108-117.
- Topçal, F., Dıġrak, M. ve Gündoġan, R. 2014. Toprakta izole edilen *Bacillus* türlerinin tanımlanması ve bakteriosin üretimlerinin belirlenmesi. *Adıyaman University Journal of Science*, 4(2), 57-67
- Toro, M., Azcon, R. and Barea, J. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability ((sup32) P) and nutrient cycling. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(11), 4408-4412.
- Turhan, E., Kiran, S., Ates, Ç., Ates, O., Kusvuran, S. and Ellialtıoġlu, S.S. 2020. Ameliorative effects of inoculation with *Serratia marcescens* and grafting on growth of eggplant seedlings under salt stress, *Journal of Plant Nutrition*, 43(4), 594-603.
- Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* gray and drought sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediates water stress. *Plant Science*, 168, 223-231.
- Vardharajula, S., Zulfikar Ali, S., Grover, M., Reddy, G. and Bandi, V. 2011. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, 6(1), 1-14.
- Vieira-Pires, R.S., Szollosi, A., and Morais-Cabral, J.H. 2013. The structure of the KtrAB potassium transporter. *Nature*, 496, 323-327.

- Vimal, S.R., Gupta, J. and Singh, J.S. 2018. Effect of salt tolerant *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under soil salinity: A comparative study. *Microbiology Research*, 9(1), 26-32.
- Yadav, V. K., Raghav, M., Sharma, S. K. and Bhagat, N. 2020. Rhizobacteriome: promising candidate for conferring drought tolerance in crops. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 14(1), 73-92.
- Yüksel, B. ve Aksoy, Ö. 2017. Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 10(2), 01-05.
- Zahir, Z.A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S.M. and Asghar, H.N. 2009. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. *Archives of Microbiology*, 191(5), 415-424.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlknur DÜLGER
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Üsküdar Burhan Felek Lisesi, 2010

Lisans : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, 2014

Yüksek Lisans: Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı, 2021

Yayınları (Uluslararası Kongre-Özet Bildiri)

- 1- Kuşvuran, A., Çürük, İ. Kuşvuran, Ş. 2019. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) taub.)’da farklı bakteri uygulamalarının kuraklığa tolerans üzerindeki etkisi. ISPEC International Conference on Engineering & Natural Sciences-4, Proceedings Book, October 18-20, Ankara-Turkey, s. 11-12. (ÖZET BİLDİRİ)