FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA BAKTERİ AŞILAMASININ VE ORGANİK POLİMER UYGULAMASININ TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE MISIR BİTKİSİNİN (*Zea mays* L.) GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU

Doktora Tezi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı
Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT
2020
Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA BAKTERİ AŞILAMASININ VE ORGANİK POLİMER UYGULAMASININ TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE MISIR BİTKİSİNİN (*Zea mays* L.) GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
Toprak Bilimi Bilim Dalı

ERZURUM
2020

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ ONAY FORMU

FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA BAKTERİ AŞILAMASININ VE ORGANİK POLİMER UYGULAMASININ TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE MISIR BİTKİSİNİN (*Zea Mays* L.) GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'ın danışmanlığında, Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma, 15/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Toprak Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak **oybirliği** / ~~**oy çokluğu**~~ **(.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT İmza :

Üye : Prof.Dr. Taşkın ÖZTAŞ İmza :

Üye : Prof.Dr. Mustafa TAN İmza :

Üye : Prof.Dr. Razaman ÇAKMAKÇI İmza :

Üye : Prof.Dr. Mehmet Ali BOZKURT İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 16.01./2020 tarih ve ..03../..59..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA BAKTERİ AŞILAMASININ VE ORGANİK POLİMER UYGULAMASININ TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE MISIR BİTKİSİNİN (*Zea mays* L.) GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

Bu araştırmanın amacı, kaba, orta ve ince bünyeli topraklara bakteri aşılamasının ve toprak düzenleyici olarak polivinil alkol (PVA) uygulamasının toprak fiziksel özellikleri ve mısır bitkisinin gelişimi üzerine olan etkilerini ortaya koymaktır. Araştırmada, farklı tekstürlü toprak örnekleri kullanılarak laboratuvar koşullarında bitkili ve bitkisiz olarak iki deneme yürütülmüştür. Bitkisiz denemede, toprak örneklerine; *Bacillus arenosi* (BA), *Bacillus megaterium* (BM), *Bacillus subtilis* (BS) bakterileri aşılanmış ve polivinil alkol uygulanmış; 20, 40, 60, 80 ve 100 gün olmak üzere 5 inkübasyon periyodunda çalışılmıştır. Mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) yer aldığı ikinci denemede aynı toprak ve muamele grupları hazırlanmış, 60 günlük yetiştirme periyodu sonunda hasat edilen mısır bitkisinin gelişim durumu değerlendirilmiştir. Araştırmada, toprak fiziksel özelliklerinden; hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, dispersiyon oranı, ortalama ağırlık çapı ve özgüsel geçirgenlik değeri tayin edilmiştir. Yetiştirilen mısır bitkisinin; bitki boy uzunluğu, gövde çapı, yaş ve kuru ağırlık parametreleri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, bakteri aşılaması ve PVA uygulaması, toprak hacim ağırlığı ve dispersiyon oranında azalmaya; agregat stabilitesinde ise artmaya neden olmuştur. Ortalama ağırlık çap değerleri ise PVA uygulaması ile azalırken bakteri aşılaması ile yükselmiştir. Toprakların özgüsel geçirgenliğinin PVA ilavesi ile arttığı, ancak bakteri aşılaması ile azaldığı belirlenmiştir. Bakteri aşılaması ve PVA uygulamasının mısır bitkisinin; boy uzunluğu, gövde çapı, yaş ve kuru ağırlık değerleri üzerinde dolaylı olarak olumlu etkilerde bulunduğu kaydedilmiştir. Genel olarak uygulamalar, kaba bünyeli topraklarda daha etkili sonuçlar ortaya koymuştur. Bu araştırmanın sonucunda, toprakların fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ve bitki yetiştiriciliğinde bakteri aşılaması ve PVA uygulamasının pozitif yönde önemli bir etki meydana getirdiği tespit edilmiştir.
2020, 100 sayfa

Anahtar Kelimeler: Polivinil alkol, bakteri, toprak strüktürü, mısır bitkisi

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EFFECTS OF BACTERIA INOCULATION AND ORGANIC POLYMER APPLICATION ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PLANT (*Zea mays* L.) GROWTH ON DIFFERENT TEXTURED SOILS

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition
Department of Earth Science

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

The aim of this study was to determine the effects of bacteria inoculation and as a soil conditioner polyvinyl alcohol (PVA) application on coarse, medium and fine soils, on soil physical properties and corn plant growth. In the research, two different experiments were carried out under the laboratory conditions as plant and non-plant using soil samples. *Bacillus arenosi* (BA), *Bacillus megaterium* (BM), *Bacillus subtilis* (BS) and PVA treatments were applied to soil samples and the experiment was carried out for 5 incubation periods of 20, 40, 60, 80 and 100 days. In the second experiment in which corn plant (*Zea mays* L.) was used, the same soil and treatment groups were prepared. At the end of the 60-day growing period, the growth status of the harvested corn plant was evaluated. In this research, bulk density, aggregate stability, dispersion ratio, mean weight diameter and intrinsic permeability values were determined from physical properties of soils. Length, stem diameter, wet and dry weight parameters of the corn plant grown in the experiment were determined. According to the results of this study, it was found that bacteria inoculation and PVA application caused a decrease in soil bulk density and dispersion ratio; increase in aggregate stability. Mean weight diameter values decreased with PVA application and increased with bacteria inoculation. The intrinsic permeability of soils increased with the addition of PVA, but there was a decrease in bacteria inoculation. Bacteria inoculation and PVA application were found to have indirectly positive effects on corn; length, stem diameter, wet and dry weight values. In general, applications have shown more effective results in coarse soils. As a result of this research, it was determined that bacteria inoculation and PVA applications had a positive effect on the improvement of physical properties of soils and plant cultivation.

2020, 100 pages

Keywords: Polyvinyl alcohol, bacteria, soil structure, *Zea mays* L.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamda, bilgi ve tecrübeleri ile desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her yönüyle örnek aldığım değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a teşekkür ederim.

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü öğretim üyeleri ve çalışanlarına, tez izleme komitesi üyeri; Sayın Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ'a, Sayın Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI'ya ve Sayın Prof. Dr. Mustafa TAN'a, çalışmalarım esnasında bilimsel katkılarından ötürü Sayın Prof. Dr. Serdar BİLEN'e, Sayın Prof. Dr. Özlem BARIŞ'a ve Sayın Ziraat Yüksek Mühendisi Erdem BUCUĞA'ya şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca, bütün çalışmalarımda daima desteği ile yol aldığım, yaşantıma hassas bir maneviyat ve çalışma disiplini kazandıran, her yönüyle rehber aldığım kıymetli babam Sayın Prof. Dr. Nasrullah HACIMÜFTÜOĞLU'na ve Anneme, abim Sayın Prof. Dr. Ahmet HACIMÜFTÜOĞLU'na, eşime ve tüm aileme en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU
Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Materyal 18
3.1.1. Araştırma konusu toprak örnekleri ve örnekleme alanlarının tanımı 18
3.1.1.a. Araştırma alanının iklim özellikleri 20
3.1.2. Araştırma konusu bitki 21
3.1.3. Araştırmada kullanılan bakteriler 21
3.1.4. Toprak düzenleyici 21
3.2. Yöntemler 22
3.2.1. Toprak analiz yöntemleri 22
3.2.1.a. Toprak tekstürü 22
3.2.1.b. Toprak reaksiyonu 22
3.2.1.c. Kireç içeriği 22
3.2.1.d. Organik madde 22
3.2.1.e. Katyon değişim kapasitesi 23
3.2.1.f. Elektriksel iletkenlik 23
3.2.1.g. Hacim ağırlığı 23
3.2.1.h. Tane yoğunluğu 23
3.2.1.ı. Toplam porozite 23
3.2.1.i. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası 24
3.2.1.j. Agregat stabilitesi 24
3.2.1.k. Ortalama ağırlık çapı 24

3.2.1.l. Özgüsel geçirgenlik 25
3.2.1.m. Dispersiyon oranı 25
3.2.2. Bitki analiz yöntemleri 26
3.2.2.a. Bitki boy uzunluğu ve gövde çapı 26
3.2.2.b. Bitki yaş ve kuru ağırlığı 26
3.2.2.c. Yaprak klorofil yoğunluğu 26
3.2.3. Biyolojik yöntemler 26
3.2.3.a. Bakteri inkübasyonu ve besi yerinin hazırlanması 26
3.2.3.b. Bakteri sayımı 28
3.3. Denemenin Kurulması 28
3.3.1. Toprak örneklerine polivinil alkol uygulaması 29
3.3.2. Bakteri aşılaması 29
3.3.3. Bitkisiz ve bitkili koşullarda yürütülen denemelerin hazırlanması 29
3.4. İstatistiksel Değerlendirme 31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 32
4.1. Araştırma Konusu Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 32
4.2. Uygulamaların Bakteri Popülasyonuna Etkisi 33
4.3. Hacim Ağırlığı 37
4.4. Agregat Stabilitesi 41
4.5. Dispersiyon Oranı 51
4.6. Ortalama Ağırlık Çapı 60
4.7. Özgüsel Geçirgenlik 65
4.8. Bitki Biyokütle Parametreleri 69
4.9. Klorofil 83
5. SONUÇ 87
KAYNAKLAR 88
ÖZGEÇMİŞ 101

SİMGELER DİZİNİ

AF	Agregat fraksiyonu
AS	Agregat stabilitesi
BA	*Bacillus arenosi*
BM	*Bacillus megaterium*
BS	*Bacillus subtilis*
C	Kil
CL	Killi Tın
DO	Dispersiyon oranı
HA	Hacim ağırlığı
İP	İnkübasyon periyodu
KDK	Katyon değişim kapasitesi
OAÇ	Ortalama ağırlık çap
ÖG	Özgüsel geçirgenlik
SL	Kumlu Tın

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Mikroorganizmaların (*Pseudomonas* hücresi) kum tanesinin yüzeyine bağlanması ve bakteriyel mikroagregatlar 8
Şekil 2.2. Mikroorganizma ve topraklar arasındaki interaksiyon üzerine etki eden faktörler 8
Şekil 2.3. Kum tanesi yüzeyinde *Bacillus pasteurii* bakterisinin muamelesi öncesi ve sonrası 9
Şekil 3.1. Toprak örneklemesinin yapıldığı alanlar 20
Şekil 3.2. Petri kutularına hazırlanan 'Nutrient agar' besi yerlerinde çoğaltılan *Bacillus arenosi*, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis* bakteri kültürleri. 27
Şekil 3.3. Nutrient broth'da bakterilerin çoğaltılması ve inkübasyon süreci. 28
Şekil 3.4. Mısır (*Zea mays* L.) tohumunun saksıya ekimi 30
Şekil 3.5. Hazırlanan deneme saksılarının genel görünümü 31
Şekil 3.6. Bitki çıkışları 31
Şekil 4.1. Bakteri aşılaması yapılan toprak örneklerinin 60 günlük inkübasyon periyodu sonundaki bakteri popülasyonu 36
Şekil 4.2. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprak örneklerinin 60 günlük inkübasyon periyodu sonundaki hacim ağırlığı 40
Şekil 4.3. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun AS değerleri 46
Şekil 4.4. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun AS değerleri 48
Şekil 4.5. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun agregat stabilitesi 49
Şekil 4.6. 60 günlük İP da 4-2 mm; 2-1 mm ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonlarında farklı muamelelere bağlı olarak gelişen dispersiyon oran değerleri 59
Şekil 4.7. 60 günlük inkübasyon sonunda farklı muamelelere bağlı olarak OAÇ değerlerinde meydana gelen değişim. 64

Şekil 4.8. 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda farklı muamelelere bağlı olarak toprakların özgüsel geçirgenlik değerleri 67
Şekil 4.9. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait boy uzunluğu değerleri 74
Şekil 4.10. Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları 75
Şekil 4.11. Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları 76
Şekil 4.12. Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları 77
Şekil 4.13. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait gövde çapı değerleri 78
Şekil 4.14. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait yaş ağırlık değerleri 79
Şekil 4.15. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait kuru ağırlık değerleri 81
Şekil 4.16. 60 günlük bitki yetiştirme periyodu sonunda farklı muamelelere bağlı olarak mısır bitkisi klorofil değerlerinde meydana gelen değişim 86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Polivinil alkole ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler. 21
Çizelge 4.1. Toprakların bazı temel fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları 33
Çizelge 4.2. Bakteri popülasyonu değerlerine ait varyans analizi 33
Çizelge 4.3. Ortalama bakteri popülasyonu değerleri 34
Çizelge 4.4. Bakteri aşılı toprakların inkübasyon periyotlarındaki bakteri popülasyonu 35
Çizelge 4.5. Toprakların hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analizi 37
Çizelge 4.6. Toprakların ortalama hacim ağırlığı değerleri 37
Çizelge 4.7. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların farklı inkübasyon periyotlarındaki hacim ağırlığı değerleri 38
Çizelge 4.8. Toprakların agregat stabilitesi değerlerine ait varyans analizi 42
Çizelge 4.9. Toprakların ortalama agregat stabilitesi değerleri 42
Çizelge 4.10. Toprakların agregat stabilitesi değerleri 44
Çizelge 4.11. Toprakların dispersiyon oranı değerlerine ait varyans analizi 52
Çizelge 4.12. Toprakların ortalama dispersiyon oranı değerleri 52
Çizelge 4.13. Toprakların dispersiyon oranı değerleri 53
Çizelge 4.14. Toprakların OAÇ değerlerine ait varyans analizi 60
Çizelge 4.15. Toprakların ortalama OAÇ değerleri 61
Çizelge 4.16. Toprakların ortalama ağırlık çap değerleri 62
Çizelge 4.17. Toprakların ÖG değerlerine ait varyans analizi 65
Çizelge 4.18. Toprakların ortalama özgüsel geçirgenlik değerleri 65
Çizelge 4.19. Toprakların özgüsel geçirgenlik değerleri 66
Çizelge 4.20. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait bazı parametrelerin varyans analiz tablosu 71
Çizelge 4.21. Farklı toprak ve uygulamaların mısır bitkisine ait bazı parametreler üzerine etkisi 71
Çizelge 4.22. Mısır bitkisi uzunluğu, gövde çapı, kök-gövde yaş ağırlık ve kök-gövde kuru ağırlık değerleri 72

Çizelge 4.23. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerlerine ait varyans analizi 83
Çizelge 4.24. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değerleri 83
Çizelge 4.25. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerleri 84

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir toprak verimliliği, başarılı bir toprak yönetiminin sonucudur. Doğal tarımsal faaliyetlerde toprak-bitki sistemi çevre koşullarına kolay bir şekilde adaptasyon sağlarken, yoğun tarımla birlikte toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri bozulmaya başlamış, bitkilerin yetiştirildiği çevre koşullarında gelişen bozulmaya bağlı olarak toprak verimliliğinde önemli oranda düşüşler ortaya çıkmıştır. Tarım topraklarının bitkisel üretim potansiyellerinin dikkate alınarak planlı kullanımı ve yönetimi, olumsuz koşulların ortadan kaldırılmasında, kaliteli ve güvenli üretim için önemlidir.

Günümüz modern tarım sistemlerinde toprağın verim parametrelerini düzenlemek maksadıyla çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yöntemler uygulanmaktadır. Bu uygulamalar toprakta verimin devamlılığı kadar, ekolojik dengenin muhafaza edilmesi konusunu da gündeme getirmektedir. Özellikle bilinçsiz olarak yapılan kimyasal gübreleme kısa vadede ürün artışı sağlasa dahi uzun vadede hem insan sağlığını tehdit etmekte hem de toprakların fiziksel ve kimyasal niteliklerine zarar vermektedir. Yenilenemeyen bir kaynak olarak toprakların, ekosistem açısından hayati bir rolü olduğu bilinci ile mutlaka muhafaza edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple uygun kimyasal gübrelemenin yanında, toprağın fiziksel ve kimyasal olarak kalite indekslerini yükseltebilecek organik ve mikrobiyolojik gübre kullanımını da yaygınlaştırmak gereklidir. Toprakların verim parametrelerinin optimum düzeye yaklaşması, toprakların strüktür başta olmak üzere, fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ile mümkündür. Toprak tanelerinin çeşitli bağlayıcı unsurlar sayesinde bir araya gelerek oluşturdukları yapının sürdürülebilirliği, agregasyon derecesinin önemli bir göstergesidir. Toprağa ilave edilen organik artıkların toprağın organik madde miktarını artırması ve bu süreçte ortamdaki mikrobiyal popülasyonun yükselmesi toprak strüktürünün gelişimini artıracak, bitkisel üretim için optimum koşulların oluşmasına katkı sağlayacaktır.

Toprak verimliliğinin korunması ve devamlılığı, uygun bir tarımsal tekniğe ve ekolojik dengenin muhafaza edilmesine bağlıdır. Toprak strüktürünün sürdürülebilirliği ekosistemin sürdürülebilirliği açısından anahtar bir rol üstlenmektedir. Toprak strüktürü

toprakta su tutulma oranını, suyun akışını, kök gelişimini, besin elementi elverişliliğini ve havalanmayı kontrol eder ve düzenler (Lal 1991; Tate 1995; Young *et al.* 1998; Bronick and Lal 2005). Stabil agregatlar; erozyon direnci, suyun kullanılabilirliği ve kök gelişimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Yüzeyinde stabil agragatlara sahip olan topraklar, diğer topraklara nazaran su erozyonuna daha dayanıklı olup, bu topraklar yüksek infilitrasyon kapasitesine sahiptir. Stabil olmayan agregatlar, yağış ve sulama sürecinde gevşeyerek dispers olup, kuruma sonrasında strüksüz bir durumun ortaya çıkmasına neden olabilir (Canbolat 1990). Fiziksel dağılma, toprağa hava ve su girişini sağlayan toprak gözeneklerini tıkayarak fide gelişimini de sınırlandırır. Parçalanma sonucunda, yüzey akışı ve erozyon artarken yarayışlı su miktarı azalır. Agregatlaşmış topraklar diğer topraklara nazaran daha fazla su tutma kapasitesine sahip olup, bitki kök gelişimi için uygun bir ortamın gelişmesini sağlar. Büyük stabil agregatlar degradasyonu sınırlandırır ve rüzgarla taşınmaya karşı küçük ve zayıf olanlara nazaran daha sağlam bir durum sergiler. Agregat stabilitesi; toprakta organik madde içeriği, biyolojik aktivite ve toprak besin döngüsünün önemli bir göstergesidir (USDA 2001).

Toprak strüktürü toprağın birçok fiziksel ve biyolojik süreci üzerinde etkili olup, strüktürün devamlılığı sürdürülebilir tarımsal ekosistem açısından önemlidir. Gelişmiş bir toprak strüktürü, organik madde miktarının artışı ile toprak hava-su ilişkilerini düzenleyerek, kök çevresinin bitki gelişimi için daha avantajlı bir duruma gelmesini, bitki kök penetrasyonunun artmasını, kaymak tabakası oluşumunun azalmasını ve besin döngüsünü etkiler. Uygun toprak strüktürü ve yüksek agregat stabilitesi; toprak verimliliği, bitkisel üretkenlik (Rampazzo *et al.* 1998; Pardo *et al.* 2000), infiltrasyon, hava - su dengesi ve erodibilite açısından önemlidir (Lal 1991; Young *et al.* 1998; Bronick and Lal 2005; Ingham 2009). Toprak strüktürü, biyolojik aktiviteyi, bitki gelişimini ve besin döngüsünü kontrol ederek, toprağın strüktürel formasyonunu ve stabilizasyonunu sağlayan fauna ve floraya besin kaynağı olan organik materyallerin toprakta sürekliliğini sağlar (Denis and Caron 1998). Bu nedenle agregasyon ve degredasyona neden olan faktörlerin bilinmesi, buna göre toprak yönetim uygulamalarına karar verilmesi ve uygulanması önemlidir (Bossuyt *et al.* 2000; Bronick and Lal 2005; Charman and Murphy 2007; Lal 2015).

Toprak agregatlarının oluşmasında organik ve inorganik toprak kolloidleri çimentolayıcı etki gösterir (Canbolat ve Demiralay 1995). Martinez *et al.* (2008) bitki artığı ilavesinin daha stabil agregatların oluşumunu desteklediğini ifade etmiştir. Toprakta meydana gelen agregatlaşma ve agregatların stabilitesi; mikrobiyal topluluklar, topraktaki organik ve inorganik mineraller, yüzeyde birikmiş olan bitkisel artıkların doğası ve ekosistemdeki değişikliklere bağlı olabilmektedir. Agregat stabilizasyonundaki esas ajan, organik materyallerdir ki bunlar; bitki, hayvan ve mikrobiyal artıkların parçalanma ürünleridir (Lynch and Bragg 1985; Martens and Frankenberger 1992; Schlecht-Pietsch *et al.* 1994). Bu ürünlerin kalitesi ve miktarı agregat formasyonu ve stabilizasyonu üzerinde etkilidir (Lynch and Bragg 1985).

Toprak düzenleyiciler olarak yapay organik polimerler, toprak agregatlarının oluşumunda çimentolayıcı veya yapıştırıcı olarak strüktürel yapının ortaya çıkmasında çok önemli bir işlevi yerine getirmektedir (Tisdall and Oades 1982). Sentetik polimerlerin toprağa ilavesi toprağın hidrolik ve fiziksel özelliklerindeki bozulmayı engeller. Çünkü agregat stabilitesi ve toprak strüktüründeki gelişim toprakta önemli bir düzenleyici etki meydana getirir. PVA gibi sentetik polimerlerin toprağa ilavesi, toprağın fiziksel özelliklerinde iyileşme sağlayarak, agregat stabilitesi ve toprak strüktürünü geliştirmektedir (Sivapalan 2002; Hernandez *et al.* 2018).

Toprak yapısı üzerinde etkili olan mikrobiyal popülasyonun kompozisyonu ve aktivitesi toprak özelliklerinden etkilenir (Tabuchi *et al.* 2008). Toprakta mikrobiyal topluluklar; pH (Rousk *et al.* 2009), arazi kullanımı (Tardy *et al.* 2015), sıcaklık (Pries *et al.* 2017) ve karbon rezervi (Whitman *et al.* 2016) ile ilişkilidir. Toprak; sıcaklığı, pH değeri, nem içeriği, tekstürü ve bitki kök gelişimi topraktaki faydalı mikroorganizmaların gelişimini etkiler (Hayes 2010). Bu mikroorganizmaların toprakta farklı oranlarda bulunmaları ve ortaya koyduğu aktivitelerinin bir sonucu olarak, organik materyalin bozunumu, organik ürünlerin kazanımı, yeni sekonder tanelerin oluşumu ile birlikte mikrobiyotik toprak kabuğu ve agregasyon olumlu yönde etkilenir (Valentin *et al.* 1999; Malam Issa *et al.* 1999; Belnap *et al.* 2001; Chenu and Stotzky 2002). Tarla denemeleri, mikrobiyotik toprak kabuğunun toprağın fiziksel özelliklerini etkilediğini, agregat stabilitesinin

gelişiminde mikrobiyotik katmanın etkin bir rol oynadığını göstermiştir (Malam Issa *et al.* 1999).

Bu araştırma Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklara mikrobiyolojik olarak farklı bakterileri aşılamalarının, toprak düzenleyici olarak polivinil alkol uygulamasının toprak fiziksel özellikleri ve mısır bitkisinin gelişimi üzerine olan etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprak, çeşitli canlıların çoğalmaları ve varlıklarını sürdürmeleri için mevcut çevre şartlarına göre uygun koşulları sunan ortamdır. Bu canlı varlıklar, toprağın fiziksel ve kimyasal niteliklerinin gelişmesinde ve verimliliği üzerinde büyük rol oynar. Mikroorganizmalar, toprakta organik kalıntıların ayrışmasında ve mineralizasyonunda etkili olur. Bu süreçte oluşan ara ürünler ile toprağa yoğun bir biyokimyasal ve fiziksel nitelik kazandırır. Bu durumdan hem toprak yapısı hem de başta bitkiler olmak üzere toprak ortamındaki diğer canlılar olumlu yönde etkilenir.

Tarım topraklarında strüktürün gelişimi; toprak kalitesinde ve bitkisel üretimde anahtar faktördür (Six *et al.* 2000; Díaz-Zorita *et al.* 2002; Bronick and Lal 2005). Agregat stabilitesi, agregasyon derecesi, dispersiyona karşı sergilenen direnç gibi faktörler, toprak strüktürünün korunmasında ve devamlılığında önemli göstergelerdir (Seybold 2001; Xiao *et al.* 2014). Toprağı oluşturan tekstür, organik madde, mikroorganizmalar ve elektrolit gibi unsurlar agregatların, dolayısıyla strüktürün oluşumunda önemli rol oynar.

Toprak, fauna ve floraya ortam sağlayan kompleks bir ekosistem olup (Bonkowski *et al.* 2009; Muller *et al.* 2016), bu ortamda tekstür gibi abiyotik faktörler, karbon mineralizasyonu ve mikrobiyal popülasyonun aktivitesi üzerinde etkili olur (Girvan *et al.* 2003; Hamarashid *et al.* 2010; Hassan and El-Kamali 2015). Kaba, orta ve ince bünyeli topraklar ile organik topraklar mikroorganizmalar için farklı yaşam ortamları sunar (Hamarashid *et al.* 2010). Mikrobiyal aktivite genellikle toprağın tekstürü, nem içeriği, besin maddesi konsantrasyonu ve kullanışlılığı ile ilişkilidir (Hamarashid *et al.* 2010). Toprakların fiziko-kimyasal karakteristikleri, mikrobiyal toplulukların kompozisyonu, aktivitesi ve biyokütle seviyesi üzerinde etkili olur (Dick 1994).

Toprak ortamının tarımsal yönden üretkenliği, büyük oranda topraktaki mikrobiyal popülasyonun fonksiyonuna bağlıdır (O'Donnell *et al.* 1994). Toprakta mikrobiyal toplulukların çeşit ve miktarı, toprak kalite indeksinin önemli bir göstergesi olup, tarımsal

sistemlerin yönetiminde etkilidir (Elliott *et al.* 1996; Mäder *et al.* 2002; Hoorman 2016). Vejetasyonun çeşitliliği ve yoğunluğu, toprak özellikleri, su içeriğindeki değişkenlik, sıcaklık ve organik maddenin kullanışlılığı toprak mikrobiyal popülasyonunu etkileyen temel faktörlerdir (McCulley and Burke 2004). Toprak özellikleri, bitki yetiştirme yöntemi (toprak işleme ve ürün rotasyonu gibi) ve diğer çevresel faktörler rizosferdeki mikrobiyal yoğunluğun kompozisyonu üzerinde etkilidir (Smalla *et al.* 2001). Toprak yönetim uygulamaları ve yetiştirilen bitki türüne bağlı olarak faydalı mikroorganizmalardan olan toprak bakteri popülasyonunda değişiklik görülmektedir (Girvan *et al.* 2003). Bakteriler optimum su, besin ve çevre koşullarına bağlı olarak çoğalıp, popülasyonları optimum koşullarda yaklaşık 15-30 dakikada 2 katına çıkabilmektedir. Toprak ortamındaki mevcut faydalı bakteriler organik içeriği kullanılabilir besin maddesine çevirdiği için topraktaki varlığı ve aktiviteleri önemlidir (Badalucco and Kuikman 2001). Bu durumdan toprak üretkenliği ve ürün verimi ile birlikte toprak agregasyonu da olumlu yönde etkilenebilmektedir (Hayes 2010; Hoorman 2016).

Karbon ve azot, toprak özellikleri ve çevresel kalite üzerinde etkili olan en önemli unsurlar olduğundan (Six *et al.* 1999; Franzluebbers 2002; Nayak *et al.* 2007), bu elementlerin kaynağı durumundaki toprak organik maddesi, toprak fiziksel özellikleri ve bitki gelişimi açısından çok önemlidir (Amezketa 1999). Topraktaki organik materyallerin, mikroorganizmalar yoluyla ayrıştırılması sonucu ortaya çıkan polisakarit ve poliüronid gibi sentezleme ürünler, flokülasyonu ve agregatların stabilitesini etkiler (Demiralay 1978; Oades 1984; Bedini *et al.* 2009; Hua *et al.* 2014).

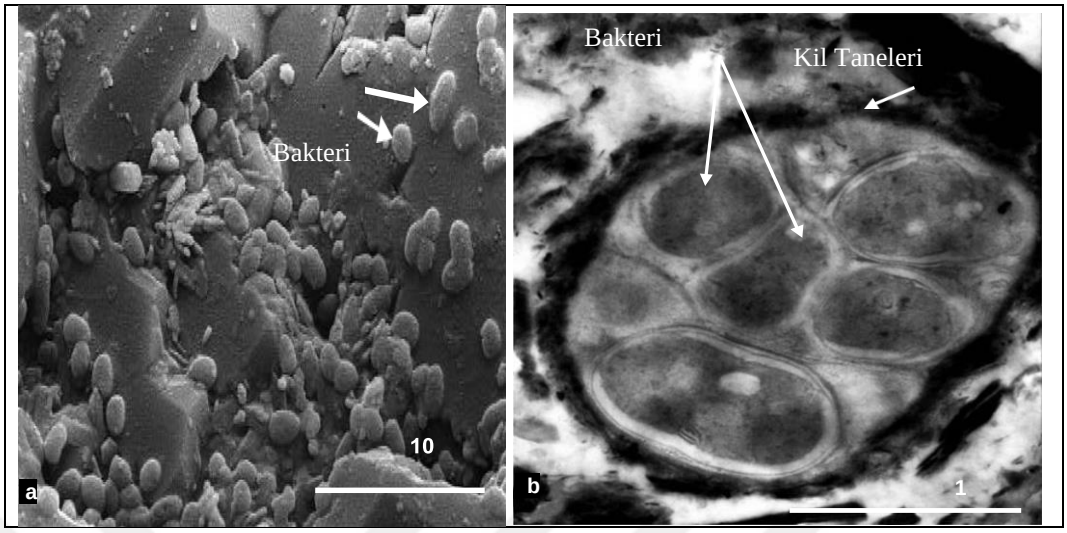
Toprak agragat stabilitesi mekanizmasının ilk aşamalarından birisi, toprak tanelerinin mikrobiyal sakkaritler gibi organik polimerler yoluyla birbirlerine yapışmalarıdır (Cheshire 1979; Tisdall and Oades 1982; Bronick and Lal 2005). Bu durum makro ve mikro agregatlar ile toprak strüktürünün gelişiminde önemli bir rol oynar (Barry *et al.* 1991; Heitner 1994; Ben-Hur and Keren 1997; Hoorman 2011).

Chaney and Swift (1986) topraklara mikrobiyal polimerler olan alginat ve ksantan ilavesinin 1 günden kısa bir süre içinde toprakta suya dayanıklı agregasyonu artırdığını tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki polimer ilavesi toprak agregasyonunu önemli oranda yükseltmektedir (Martens and Frankberger 1992).

Martens and Frankberger (1992) bakteri içeren 7 çeşit mikrobiyal polimer ilavesinin, toprak solunumunu teşvik edici etki göstermesine bağlı olarak agregat stabilitesini artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca inkübasyonun ikinci haftasında ilave edilen polimerlerin hızla ayrıştığını, ancak maksimum agregat stabilitesindeki artışın 3. ve 4. haftalarda olduğunu vurgulamışlardır.

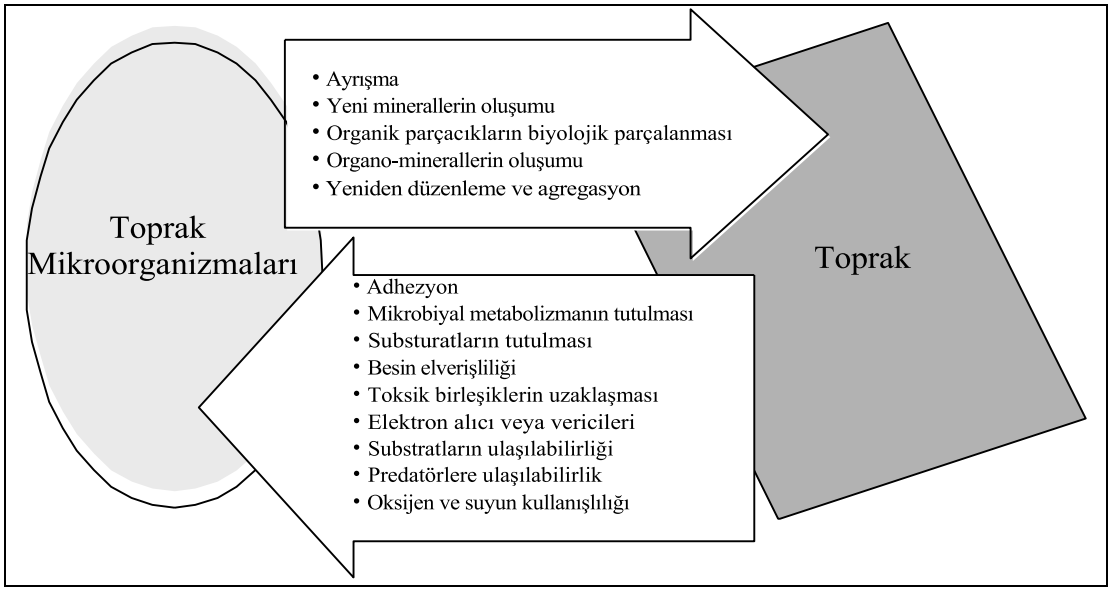
Topraktaki organik madde, bütün tekstür gruplarında, toprakların fiziksel özelliklerini etkilemektedir (Haynes *et al.* 1991) ancak, organik maddenin agregat oluşumundaki etkisi kil içeriği düşük olan topraklarda daha belirgindir (Hillel 1982). Kaba bünyeli topraklarda, toprak organik karbonu toprak strüktürü üzerinde daha yüksek bir etki oluşturur (Kay 1998). Toprakta artan kil, toprak organik karbonu ile birleşerek stabilizasyonu artırır (Sollins *et al.* 1996).

Toprakta mikroorganizmaların, kum veya bitki artığı gibi kendi hücrelerinden daha büyük kısımlara adsorbe olduğu, bu durumda bakterilerin söz konusu unsurlara yapışarak, ‘Bakteriyel mikro agregat’ olarak adlandırılan hücresel bir kabuk montu oluşturduğu Chenu and Stotzky (2002) tarafından vurgulanmıştır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Bu oluşumda, toprak çözeltisinin yüksek iyonik gücü veya hücre dışı polimerler sayesinde polimer köprüleri, su ve katyon köprüleri önemli olmaktadır (Stotzky 1986; Theng and Orchard 1995).



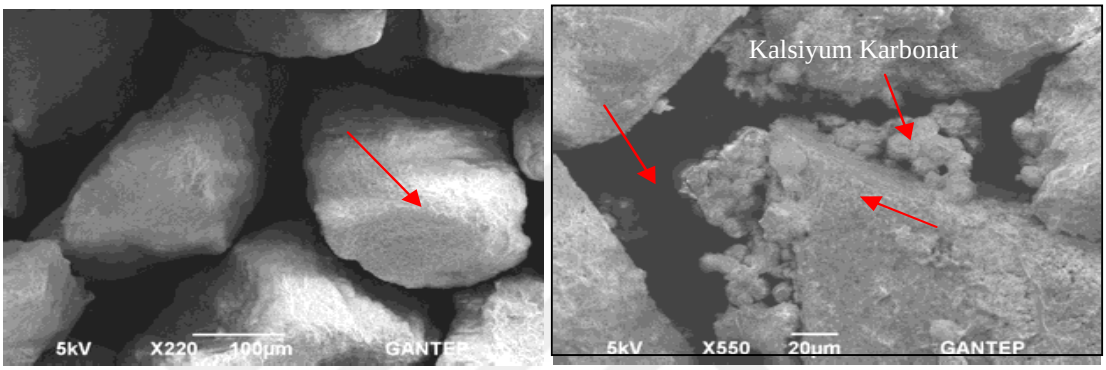
Şekil 2.1. Mikroorganizmaların (*Pseudomonas* hücresi) kum tanesinin yüzeyine bağlanması (Roberson *et al.* 1993) ve bakteriyel mikroagregatlar (Chenu *et al.* 2001).

Toprak mikroorganizmaları serbest bıraktığı hücre dışı enzimler, hidrojen bağı ve hidroskopik interaksiyon vasıtasıyla kil minerallerine hızla adsorbe olurlar (Quiquampoix *et al.* 1995).



Şekil 2.2. Mikroorganizma ve topraklar arasındaki interaksiyon üzerine etki eden faktörler (Chenu and Stotzky 2002)

Sıdık *et al.* (2015), organik ve kumlu topraklara; *Bacillus pasteurii*, üre, ve $CaCl_2$ uygulayarak inkübasyona bırakmışlar ve deney sonunda bakteriyel kalsiyum karbonat oluşumunun kumlu topraklarda çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sürecin sonunda, kum tanelerinin yüzeyinde kalsiyum karbonat birikiminin olduğu ve *Bacillus pasteurii* bakterilerinin yoğunlaştığı kaydedilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kum tanesi yüzeyinde *Bacillus pasteurii* bakterisinin muamelesi öncesi ve sonrası (Sıdık *et al.* 2015).

İnşaat mühendisliği alanında da zeminlerin iyileştirmesinde, diğer yöntemlerden farklı olarak biyolojik teknikler kullanılabilmektedir. Çeşitli mikroorganizmaların kullanıldığı bu yeni yaklaşım ile zeminlerin birçok özelliği iyileştirilebilmektedir.

Zayıf zeminler genellikle düşük dayanım ve yüksek sıkışabilirlik karakteristiklerine sahiptir (Huat 2006; Ho and Chan 2011). Kullanıma uygun inşaat sahalarının azalmasıyla birlikte farklı zemin iyileştirme metotları geliştirmiştir. Bu metotlar kullanılarak zayıf zeminler iyileştirilmekte ve üzerine çeşitli yapılar inşa edilebilmektedir. Ancak son yıllarda, zemin iyileştirme metotları çeşitli çevre sorunlarını gündeme getirmiş, bu durum sürdürülebilir ve doğa dostu bir biyolojik zemin iyileştirme tekniği olan mikrobiyal kaynaklı kalsit çökelmesi (MICP) yöntemini öne çıkartmıştır (Sharma and Ramkrishnan 2016; Dhami *et al.* 2012; Ng *et al.* 2012). Ayrıca Ivanov and Chu (2008), mikrobiyal zemin iyileştirmenin maliyetinin, kimyasal enjeksiyon tekniğine göre oldukça ucuz olduğunu vurgulamışlardır.

Biyolojik zemin iyileştirme yönteminde bir dizi kimyasal işlemler sonucunda kalsiyum karbonat çökelmesi sağlanmaktadır. Sıvı besiyerinde bakteri aracılığı ile aşağıda açıklanan ilk reaksiyon (1) sonucunda amonyum ve karbonat ortaya çıkmakta, daha sonra ikinci reaksiyonda (2) kültür ortamına $CaCl_2$ stok çözelti eklendiğinde karbonat iyonları kalsiyum ile reaksiyona girmekte ve kalsiyum karbonat çökelmesi meydana gelmektedir (Cheng and Cord-Ruwisch 2014).

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{-2} \quad (2.1)$$

$$Ca^{+2} + CO_3^{-2} \rightarrow CaCO_3 \quad (2.2)$$

Bu süreçte bakterilerin çeşitli fizyolojik aktiviteleri sayesinde alkalin bir ortam oluşmakta ve kalsiyum çökelmesi meydana gelmektedir (Hammes and Verstraete 2002). Yapılan başka çalışmalarda *Bacillus arenosi* (Akoğuz vd 2018), *Bacillus megaterium* (Lian *et al.* 2006) ve *Bacillus subtilis* (Barabesi 2007; Dilow 2010) bakterilerinin de kalsit oluşumunda benzer bir etki meydana getirdiği ifade edilmektedir.

Mikrobiyal kaynaklı kalsit çökelmesi ile toprakların birçok özelliği iyileştirilebilmektedir. Biyolojik uygulamanın başlıca etkileri, kum ve kilde sıkılığın ve kesme dayanımının artırılması, kumda permeabilitenin düşürülmesi, killi zeminlerde sıkışabilirliğin azaltılması, kumlarda sıvılaşma direncinin artırılmasını içermektedir (Bing 2015).

Akoğuz vd (2018), *Bacillus arenosi* K64 izolatını kullandıkları çalışmalarında, farklı irilikteki materyalleri (kaba kum, kaba kum - çakıl karışımı ve silis kumu) %50 nispi sıkılıkta kalıplara yerleştirilmiştir. Biyolojik ortam iyileştirmesi üzerine farklı besiyerlerin etkisi SEM ve XRD analizleriyle incelemiş ve inkübasyonun sonunda kaba kum ve kaba kum - çakıl materyalinde farklı besiyerlerinin biyolojik iyileştirmeyi etkilediğini, SEM ve XRD analizleri ile taneler arasında kalsit yapılarının oluştuğunu ve buna bağlı olarak silis kumunda 25,5 kPa serbest basınç dayanımını belirlemişler ve sonuç

olarak *Bacillus arenosi* kullanılarak yapı mühendisliğinde biyolojik toprak iyileştirmesinin yapılabileceğini çalışmalarında vurgulamışlardır.

Martin (1944), bakteri ve mantarların farklı topraklarda meydana getirdiği agregasyon gelişimini araştırmış ve sonuçta araştırma konusu bakteri türleri arasında en yüksek agregasyon gelişimini *Bacillus subtilis* bakterisinde, mantar türleri arasında ise en yüksek agregasyon gelişimini *Fungus cladosporium* türünde olduğunu tespit etmiştir. Araştırmacı yaptığı bu çalışmalarda enerji kaynağı olarak şeker kullanmıştır.

Martin *et al.* (1965), *Chromobacterium violaceum*, *Bacillus subtilus*, *Bacillus polymyxa*, *Agrobacterium radiobacter* ve çeşitli *Azotobacter indicus* türü bakteriler tarafından hücre dışı polimerlerin üretildiğini bulmuşlar, 5 mg g^{-1} oranında toprağa ilave ettikleri zaman 60 günlük inkübasyonun sonunda toprak parçacıklarının stabilizasyonunu ve suya dayanıklı agragasyonu önemli oranda artırdığını tespit etmişlerdir.

Hadas *et al.* (1994), agregat stabilitesi üzerine bakteri, mantar ve organik madde ilavesinin etkilerini incelemek amacıyla 12 haftalık deneme süresince, bakterilerin ilk üç hafta içinde yeniden takviye edilmesine bağlı olarak agregasyonun arttığını, üç haftanın sonunda ise azalarak durduğunu, mantar ve C:N oranı yüksek organik madde ilave edilmiş topraklardaki agregat stabilitesinin ise 6. haftadan sonra artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Baran vd (1996), araştırmalarında, killi tın tekstüründeki toprağa peat uygulaması ile birlikte bakteri (*Rhizobium meliloti*) ve mantar (*Aspergillus niger*) aşılamasının agregat stabilitesi üzerine etkileri çalışılmıştır. Bakteri ve mantar aşılanan ve aşılanmayan topraklar, 20 ± 1°C'de 90 gün süresince inkübasyona bırakılmış, 1., 30., 60. ve 90. günlerde örnekler alınarak agregat stabiliteleri belirlenmiştir. Bakteri ve mantar aşılanmış ve aşılanmamış, peat karıştırılan ve karıştırılmayan toprak örneklerinde, 30. gün sonunda en yüksek agregat stabiliteleri elde edilmiş, meydana gelen artışlar istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bulunmuştur. Mantar, bakteriye göre, bütün örneklerin agregat

stabilitesinde daha fazla artışa neden olmuştur. Peat karıştırılan toprak örneklerinin agregat stabiliteleri peat karıştırılmayan topraklara göre daha düşük bulunmuştur.

Abiven *et al.* (2007) araştırmalarında agregat bağlayıcı çeşitli ajanların, farklı organik materyallerin ayrıştırılmasındaki rolünü değerlendirmişlerdir. Kontrollü koşullar altında, siltli tın tekstür sınıfıdaki bir toprakta agregat stabilitesi, sıcak su ile ekstrakte edilebilir polisakarit, C mineralizasyonu, mantar ve mikrobiyal biyokütle dinamiklerini ölçmüşlerdir. Toprak agregat stabilitesi tayininde, hızlı ve yavaş ıslatma ile birlikte mekanik parçalanmayı da içeren üç yöntem kullanılmıştır. Araştırıcılar yavaş ıslanmada agregat stabilitesinin organik materyallerdeki polisakkarit içeriği ile iyi bir ilişki ortaya koyduğunu vurgulamışlardır.

Sönmez ve Yılmaz (2016) araştırmalarında, beş farklı biyogübrenin tekli ve kombinasyonlar halinde toplamda 11 farklı muamelenin killi tın tekstür sınıfındaki toprağa uygulanması sonrasında agregat oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalarını sera koşullarında, saksı denemesi olarak 90 günlük inkübasyon süresince yürütmüşlerdir. Araştırma sonucuna göre, biyogübre uygulamaları makro– agregatların miktarında önemli artış meydana getirmiştir. *Bacillus subtilis* PA1+*Paenibacillus azotofixans* PA2 (BCP) ve *Bacillus megaterium* KBA10+*Pantoea agglomerans* RK-134+*Pseudomonas fluorescens* FDG-37 (BMF) uygulamaları >4 mm, mikoriza (*Glomus* spp.) uygulaması 4–2 mm ve 2–1 mm, alg ve vermikompost (750 kg da^{-1}) uygulamaları ise 2–1 mm boyuta sahip agregatların miktarında kontrole göre önemli düzeyde artış meydana getirmiştir. Çalışmada >4 mm boyuta sahip agregatların miktarında özellikle vermikompost ile yapılan uygulamalarla önemli düzeyde artışlar elde edilmiştir.

Alam *et al.* (2018) toprağa *Bacillus subtilis* aşılamasının toprağın mekanik özellikleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmada, toprağa sıkıştırma (compaction test) ve serbest basınç deneyi (unified compression test - UCT) uygulanmıştır. Yapılan sıkıştırma testlerinde *Bacillus subtilis* ile aşılanan toprağın UCT değerinin arttığı vurgulanmıştır.

Utama *et al.* (2018) araştırmalarında tınlı kum tekstüründeki bir toprağa bakteri ve üç farklı seviyede kompoze organik madde uygulamasının toprağın agregat stabilitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, 60 günlük inkübasyon sonunda araştırma konusu toprakta yüksek agregasyon tespit edilmiştir. Bu duruma bakteriler tarafından üretilen ve toprak taneleri arasında yapıştırıcı ve bağlayıcı olarak etkili olan ekzopolisakaritlerin sebep olduğu vurgulanmıştır.

Kusuma *et al.* (2016) çalışmalarında, ekzopolisakarit üreterek agregasyon üzerinde etkili olan *Lactobacillus fermentum* bakterisinin kumlu tın tekstüründeki toprağa uygulaması sonrasında, toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. *Lactobacillus fermentum'*un kontrol dahil 4 farklı seviyede uygulanması ile 30 günlük inkübasyon periyodu sonunda, araştırma konusu toprağın agregasyonu üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Agregasyon parametresi olarak ortalama ağırlık çapının değerlendirildiği çalışmada bu değerin bakteri aşılamalarının uygulama seviyelerine bağlı olarak sırasıyla 0,48 mm, 1,27 mm, 1,43 mm ve 2,05 mm olduğu kaydedilmiştir. Araştırma konusu bakterinin ayrıca P, K ve organik madde artışına da olumlu yönde katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

Vandevivere and Baveye (1992); Abdel Aal *et al.* (2010) araştırmalarında topraklara bakteri ilavesinin exopolimerik maddelerin ve mikrobiyal biyokütlenin toprak porlarını tıkadığını ve buna bağlı olarakta toprak geçirgenliğini önemli sevide azalttığını tespit etmişlerdir.

Topraklara bakteri ilavesi bitki gelişiminde besin döngüsü açısından önemli bir rol oynar (Elo *et al.* 2000). Wu *et al.* (2004), bakterilerin mısır bitkisi (*Zea mays* L.) gelişimi üzerine etkilerini araştırdıkları bir çalışmada topraklara *Bacillus megaterium* ilavesinin 87 günlük inkübasyonun sonunda bitki gelişimini yaklaşık %18 artırdığını tesbit etmişlerdir.

Turan *et al.* (2012), bitki gelişimini teşvik eden çeşitli rizobakterilerin (PGPR) verimlilik üzerine etkinliğini araştırdığı çalışmalarında, topraklara inoküle edilen; *Bacillus subtilis* OSU-142, *Bacillus megaterium* M3 ve *Azospirillum brasilense* Sp245 uygulamalarının

verimi sırasıyla %24, %19, %19 oranında artırdığını, çoklu ortak inokülasyonda ise bitki veriminin %33 yükseldiğini tespit etmişlerdir. *Paenibacillus polymyxa* RC05 ve *Bacillus megaterium* RC07 bakterilerinin tek olarak inoküle edilmesinin ise bitki verimliliği üzerinde zayıf bir etki oluşturduğunu; buna karşılık OSU-142, M3 ve Sp245'in tekli veya çoklu muamelelerinin toprakta kararsız ve kısmen kararsız halde bulunan P konsantrasyonunu artırarak bitki organlarının gelişimini teşvik ettiğini rapor etmişlerdir.

Myresiotis *et al.* (2014) bakteri aşılamasının mısır bitki kök gelişimini yaklaşık %38 – 65 civarında arrtırdığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, *Bacillus subtilis* GB03 izolatı ve *Bacillus subtilis* FZB24 izolatlarının hem ayrı, hem de ortak kombinasyonlarının mısır bitkisine (*Zea mays* L.) yapılan aşılamalarında bitki gelişimini önemli seviyede artırdığı rapor edilmiştir.

Thakur *et al.* (2017), bakteriyel etkiniğin bitki gelişimi ilişkisini araştırdıkları çalışmada (*Zea mays* L.) mısır bitkisi tohumlarına *Bacillus arenosi* bakterisini inoküle etmiş ve neticesinde bitki gelişiminin artığını tespit etmişlerdir. Araştırıcılar inkübasyon süresi neticesinde kontrol grubuna göre *Bacillus arenosi* inoküle edilen (*Zea mays* L.) mısır bitkisi boyunun %9, kuru ağırlığının %49, kök uzunluğunun %30, kök kuru ağırlığının ise %93 arttığını rapor etmişlerdir.

Mohite (2013), bir bitki büyüme hormonu olan indol asetik asit (IAA) üzerine çeşitli bakterilerin etkinliğini araştırdığı çalışmasında, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis* bakterilerinin IAA üretimini artırarak bitki fiziksel gelişimini teşvik ettiğini ve buna bağlı olarak bitki klorofil yoğunluğunun yükseldiğini ifade etmiştir. Bu araştırmada 5 günlük inkübasyonun sonunda kontrol grubu bitkilerinin krofil yoğunluğunun 0,01 (g/l), *B. megaterium* inoküle edilen bitkilerin krolofil yoğunluğunun 0,019 (g/l), *B. subtilis* inoküle edilen bitkilerin krolofil yoğunluğunun ise 0,011 (g/l) olduğu belirlenmiştir. 10 günlük inkübasyonda bu değerin kontrol grubunda 0,049 (g/l), *B. Megaterium*'da 0,035 (g/l), *B. Subtilis*'de ise 0,061 (g/l) olduğu, 15 günlük inkübasyonda ise bu değerin kontrol grubu topraklarda yetişen bitkilerde 0,057 (g/l) ye, *B. megaterium* inoküle edilen

topraklarda yetişen bitkilerde 0,07 (g/l)'ye ve *B. subtilis* inoküle edilen topraklarda yetişen bitkilerde ise 0,066 (g/l)'ya yükseldiği rapor edilmiştir.

Aksakal (2009), Erzurum yöresinde yaygın olarak bulunan dört büyük toprak grubuna (Vertisol, Entisol, Mollisol, Aridisol); polivinil alkol (PVA), hümik asit (HA) ve poliakrilamid (PAM) uygulamalarının toprakların bazı fiziksel ve hidrolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmış; PVA, HA ve PAM uygulamalarının toprakların geometrik ortalama agregat stabilitesi, hava ve su geçirgenliği, hidrolik iletkenlik, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem miktarını artırdığını; dispersiyon oranı, hacim ağırlığı ve mekaniksel stabilite değerlerini ise azalttığını belirlemiştir. Ayrıca, her üç muamele faktörünün toprakların geometrik ortalama çap (GOÇ) ve farklı agregat büyüklük sınıfında yer alan agregatların stabilitesini önemli seviyede artırdığı ve oransal olarak en fazla artışın <0,42 mm agregat sınıfında meydana geldiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada, muamelelerin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkinlik sıralaması PVA>PAM>HA olarak belirlenmiştir.

Laz (2011) araştırmasında, polivinilalkol (PVA), poliakrilamid (PAM), hümik asit (HA) ve hidrojel (HJ)'in bazı toprak özellikleri ile bitki gelişimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Toprak örneğine ağırlık esasına (w/w) göre 0, 0,0005, 0,0010, 0,0015 ve 0,0020 g/g PVA, PAM, HA ve HJ uygulandıktan sonra bazı toprak özellikleri ile bitki gelişim parametrelerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, PVA, PAM, HA ve HJ uygulamalarının toprak özelliklerini geliştirdiği ve bitki gelişimini pozitif yönde etkilediği vurgulanmıştır.

Yapay toprak düzenleyici olarak toprağa PVA ilavesinin agregat stabilitesi değerini yükselttiği ve buna bağlı olarak su geçirgenliği değerinin de arttığı tespit edilmiştir (Han *et al.* 2009). Sen *et al.* (1995) topraklara artan dozlarda PVA uygulamasının toprağın suya dayanıklı agregat miktarını ve su tutma kapasitesini önemli düzeylerde artırdığını belirlemişlerdir.

PVA ilavesi kumlu topraklarda su tutma kapasitesini artırmaktadır (Yin *et al.* 2016). Yin *et al.* (2016) kumlu topraklara PVA ilavesinin su tutma kapasitesini artırarak *Arabidopsis thaliana* bitkisi gelişimini teşvik ettiğini ve biyokütle özelliklerini geliştirdiğini ifade etmektedir. Benzer bir çalışmada Marsh and Groenevelt (1992), toprağa PVA ilavesinin toprakta fosfor kaybını azaltarak mısır bitkisi gelişimini etkilediğini belirtmektedir.

Stefanson (1973); Painuli and Pagliali (1990) PVA uygulamasının toprağın strüktürel yapısını önemli bir seviyede stabilize ettiğine dikkat çekmektedir. Sen *et al.* (1995); Abd El-Rehim *et al.* 2004 kumlu topraklara artan dozlarda PVA uygulamasının toprağın suya dayanıklı agregat miktarını ve su tutma kapasitesini önemli düzeylerde artırdığını belirlemişlerdir.

Topraklara uygulanan polimerlerin, özellikle kaba bünyeli topraklarda agregat stabilitesini yükselttiği (Bronick and Lal 2005; Chizoba and Chinyere 2006; Kukal *et al.* 2007) ve su tutma kapasitesini artırdığı (Abd El-Rehim *et al.* 2004; Abedi- Koupai and Asadkazemi 2006) tespit edilmiştir.

Sarı ve Öztaş (2017), polivinilalkol (PVA) uygulamasının farklı tekstür sınıfındaki [kil (C), tın (L), kumlu tın (SL)] toprakların strüktürel stabilite ölçütleri (agregat stabilitesi) üzerine etkilerini ve yapay yağmurlama koşulları altında yüzey akış kayıplarının azaltılmasındaki etkinliğini belirlemek amacıyla yürüttükleri araştırmalarında, araştırma konusu farklı tekstürlü 3 toprağa PVA uygulamasının 4mm den küçük agregatların oranını artırırken daha büyük agregatlarda azalmaya sebep olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmada kontrol toprakları OAÇ değerleri sırasıyla 2,82 mm, 2,67 mm ve 2,78 mm olarak hesaplamıştır. PVA uygulaması her üç toprakta özellikle <0,25 mm; 0,25-0,5 mm; 0,5-1 mm agregat fraksiyonlarının oransal miktarlarını önemli düzeyde artırırken; 4 mm'den büyük agregat fraksiyonlarının miktarını ise önemli düzeyde azaltmıştır. Bu değişimlerden dolayı PVA uygulaması her üç toprakta da OAÇ değerlerinde önemli düzeyde düşüşlere neden olmuş ve PVA uygulaması sonrasında OAÇ değerleri 1,55 mm, 2,11 mm ve 2,08 mm olarak hesaplamıştır.

Yapay toprak düzenleyici polimer uygulamaları bitki gelişimini pozitif yönde etkilediği farklı araştırmacılar tarafından da ifade edilmektedir (Hernandez *et al.* 2018). Zlatkovic and Raskovic (1998) PVA uygulamasının agregasyon ve bitki gelişimi üzerine etkisini incelemiş, suda çözünen polimerlerin artan dozlarda ilavesinin agregasyonun gelişimi ve bitki gelişimi üzerine önemli pozitif etkiler meydana getirdiğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma konusu toprak örnekleri ve örnekleme alanlarının tanımı

Bu araştırmada kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü üç toprak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan kumlu tın tekstürlü toprak; Erzurum ilinde Sakalıkesik ovasının doğusunda Atatürk Üniversitesi kampüs yerleşkesinin güney batı sınırından, killi tın tekstürlü toprak; Erzurum ovasında Karasu havzasında yer alan Atatürk Üniversitesi çiftlik arazisinden, kil tekstürlü toprak; Daphan ovasında İspir yol ayrımından örneklenmiştir (Şekil 3.1). Örnekleme 20 cm'lik üst toprak derinliğinden bozulmuş olarak yapılmıştır. USDA (1999)'ya göre Sakalıkesik ovasından örneklenen kumlu tın tekstürlü toprak Entisoller sırasında (ordo), Karasu ovasından örneklenen killi tın tekstürlü toprak İnceptisoller sırasında ve Daphan ovasından örneklenen kil tekstürlü toprak ise Vertisoller sırasında sınıflandırılmıştır (Özgül 2003).

Araştırma konusu örneklerin alındığı alanların toprak, topoğrafya ve fizyografik konumları dikkate alınarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

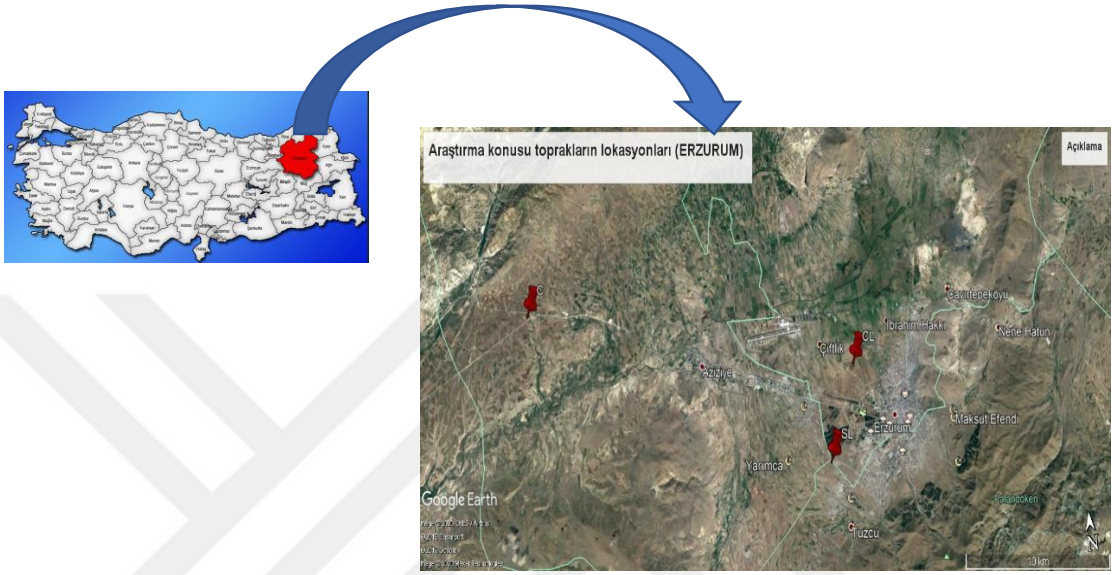
Sakalıkesik Ovası, Doğu Anadolu Bölgesinde, Yukarı Fırat Havzasında olup, Erzurum Ovası'nın güneybatı bölümünü oluşturmakta ve 39° 46' – 39° 58' kuzey enlemleri ile 41° 00' – 41° 15' doğu boylamları arasında yer almaktadır. 1750-2000 m kotlarında bulunan araştırma sahasının yüzölçümü 15600 ha olup, doğu-batı istikametindeki uzunluğu 18-20 km, kuzey-güney istikametindeki genişliği ise 8-10 km'dir (Anonim 1987). Araştırma sahasının güneyinde; Tuzcu, Tepeköy, Börekli, Taşlıgüney, batısında; Dereboğaz, Güzelyurt, Özbek, Ağören ve Söğütlü Köyleri, Kuzeyinde; Gezköy, Havaalanı, Ilıca ilçe merkezi ve Karasu Nehri ve doğusunda ise Atatürk Üniversitesi arazileri ile Erzurum İli İmar Bölgesi yer almaktadır. Sakalıkesik ovasının, Sakalıkesik köyünün doğusu ile Taşlıgüney köyünün kuzeyinde yer alan kısmı killi, kumlu, marnlı kireçtaşı

tabakalarından ve kısmen de çakıl ve kum depolarından oluşmuş plio kuvarterner formasyonudur. Bu formasyon ovada en üst kotlarda yer almaktadır (Atalay 1978). Ovanın Yarımca Köyü ile Atatürk Üniversitesi arazileri ve güneyindeki Palandöken etekleri arasında kalan kısmı ise çakıl ve kumdan oluşmuş kuvaterner formasyonudur. Ovanın geriye kalan büyük bir kısmı, (Pulur Çayı yatağı ve kollarının sağ ve sol sahilleri) ise mil ve kumdan oluşmuş kuvaterner formasyonudur (Atalay 1978).

Daphan ovası, Erzurum kent merkezinin 25 km batısında, Erzurum – Erzincan karayolu üzerinde yer almakta ve izdüşüm alanı olarak 108234,9 da'lık bir alanı kaplamaktadır. Ova, doğuda birbirini takip eden Körpınarlar, Karababa çayırı ve Çubuklu dereleri, batıda Serçeme deresinin doğu teras yamaçları, kuzeyde, doğu-batı istikametinde yer alan Kumlu Tepe ve Deve Oturağı tepelerinin güney yamaçları ve güneyde ise Daphan düzlüğünün Karasu çayına bakan yamaçları ile sınırlandırılmıştır. Ovada, genel olarak üç farklı fizyografik ünite göze çarpar. Kuzeydeki tepelerin eteklerinde, fazla derin olmayan kuru dereler ile yarılmış, oldukça homojen meyilli bir kesim, orta kısımda hemen hemen düz bir kesim, güneyde ise yer yer oldukça derin vadiler ile parçalanmış, kompleks eğimli bir kesim bulunur. Ovanın büyük bölümü, gölsel üst miosen depozitleri üzerinde yer alan, üst pliosen yaşlı aglomera, bazalt, tüfit, killi kireç taşı, kumtaşı ve çakıltaşı bileşimli alüviyal ve kuzey kesimler ise benzer bileşimli kolufluviyal materyallerden oluşmuştur (Altınlı 1963).

Erzurum ovasının kuzey bölümünü oluşturan Karasu ovası, Doğu Anadolu bölgesinde Fırat nehrinin üst havzasında yer alan Karasu çayı drenaj alanının bir kısmından ibaret olup, Erzurum şehir merkezinin kuzeyinde yer almaktadır. Ovanın deniz seviyesinden yüksekliği 1750–1830 m'ler arasında değişmektedir. Karasu ovası toprakları kolüvial ve alüvial ana materyalden oluşmuştur. Ovanın kuzey ve güney yamaçları kolüvial, taban araziler ise civardaki volkanik tüf ve bazalt ihtiva eden materyalin parçalanması ve farklı zamanlarda sularla taşınması sonucunda meydana gelmiş, çoğunlukla genç yaşlı, alüvial özelliklere sahip topraklardan oluşmuştur. Ayrıca ovanın orta bölümünde Karasu çayının her iki yanında, taban suyu seviyesi yüksek ve sazlık-kamış turbaları bulunan 2209 ha'lık

organik kökenli topraklar da yer almaktadır (Kılıç 1977). Günümüzde bu alanlarda organo-mineral topraklar meydana gelmiştir (Kurtoğlu 1997).



Şekil 3.1. Toprak örneklemesinin yapıldığı alanlar

3.1.1.a. Araştırma alanının iklim özellikleri

Toprak örnekleme noktalarını kapsayan araştırma alanının yer aldığı Erzurum, Türkiye'nin kuzey doğusunda, 39,89 Kuzey enlemi, 41,23 Doğu boylamında denizden 1870 m yükseklikte yer almaktadır. Gece ile gündüz sıcaklıkları arasında ki farkın oldukça yüksek olduğu, yazları sıcak ve kurak, kışları ise uzun ve soğuk geçen karasal bir iklime sahip olan Erzurum, Türkiye'nin sıcaklık ortalaması en düşük illerinden birisidir. Bölgede yıllık ortalama yağış 432 mm, ortalama sıcaklık değeri ise 5,7°C olarak ölçülürken, ortalama nispi nem %63,9, ortlama buharlaşma 1058,8 mm, 20 cm için ortalama toprak sıcaklığı değeri ise ortalama 8,5°C olarak ölçülmüştür (Anonim 2019).

3.1.2. Araştırma konusu bitki

Araştırmada, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümünden temin edilen mısır (*Zea mays* L. *indentata* Sturt. P1547) tohumu kullanılmıştır.

3.1.3. Araştırmada kullanılan bakteriler

Denemede mikrobiyolojik olarak 3 ayrı bakteri kullanılmıştır. *Bacillus arenosi* (BA) K64 izolatı Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümündeki Moleküler Biyoloji ve Bakteriyoloji Laboratuvarından, *Bacillus megaterium* (BM) M3 İzolatı ve *Bacillus subtilis* (BS) OSU 142 izolatı ise Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Mikrobiyolojisi Anabilim dalından temin edilmiştir.

3.1.4. Toprak düzenleyici

Araştırmada, toprak düzenleyici olarak suda çözünebilir yapay organik polimer olan polivinil alkol (PVA) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Polivinil alkole ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler (Çataltaş 1985; Hallensleben 2000; Williams 2015; Schnepf *et al.* 2017)

Kimyasal formülü	$[CH_2CH(OH)]_n$
Moleküler Formül	C_2H_4O
Moleküler ağırlığı (dalton)	45000
pH	5 – 8
Tane yoğunluğu (g cm^{-3})	1,19 – 1,31
Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	0,4 – 0,6
Çözünme sıcaklığı (°C)	58 ~ 85
Çözünebilirliği (%)	97,5 – 99,5
Erime noktası	200°C (392 °F; 473 K)
Dağılma süresi (saniye)	44 (pH 1,2, pH 6,8)
Çözünme süresi (dakika)	1,30 (pH 1,2, pH 6,8)
Viskozite (mPas)	115
Rengi ve yapısı	Şeffaf, granüler

3.2. Yöntemler

3.2.1. Toprak analiz yöntemleri

Laboratuvar koşullarında hava kurusu duruma gelmeleri sağlanan toprak örneklerinden temel analizler için kullanılacak alt örnekler 2 mm'lik ve deneme konusu örneklerde <4 mm'lik eleklerden elenerek analiz ve denemeler için hazırlanmıştır.

3.2.1.a. Toprak tekstürü

Toprakların tekstürleri Bouyoucos hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

3.2.1.b. Toprak reaksiyonu

Toprak reaksiyonu (pH), 1:2,5'luk toprak-su oranında cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (McLean 1982).

3.2.1.c. Kireç içeriği

Toprakların $CaCO_3$ eşdeğeri kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak saptanmıştır (Nelson 1982).

3.2.1.d. Organik madde

Toprakların organik madde içerikleri Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson and Sommers 1982).

3.2.1.e. Katyon değişim kapasitesi

Toprakların katyon değişim kapasitesi (KDK), topraklar üzerinde sodyum asetatla (1 N, pH=8,2) sodyum adsorbsiyonu sağlandıktan sonra, amonyum asetatla (1 N, pH=7,0) doyurulması ve solüsyondaki sodyumun ICP OES spektofotometresinde okunması ile belirlenmiştir (Rhoades 1982).

3.2.1.f. Elektriksel iletkenlik

Toprakların elektriksel iletkenlik değerleri, saturasyon macunundan sağlanan ekstraksiyonda elektriki kondüktivite aleti ile belirlenmiştir (Demiralay 2013).

3.2.1.g. Hacim ağırlığı

Toprakların hacim ağırlığı (HA), silindir yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay 2013).

3.2.1.h. Tane yoğunluğu

Toprakların tane yoğunluğu, piknometre yöntemiyle belirlenmiştir (Demiralay 2013).

3.2.1.ı. Toplam porozite

Toprakların toplam porozitesi, hacim ağırlığı ve tane yoğunluğu değerleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Demiralay 2013).

$$TP = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_p})100$$

TP: Toplam porozite, %; ρ_b**:** Hacim ağırlığı, g/cm^3 ;ρ_p**:** Tane yoğunluğu, g/cm^3

3.2.1.i. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası

Toprak örneklerinin tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası, basınç ekstratörü kullanılarak ilgili parametrelere ait ağırlık esasından nem içerikleri tayin edilmiştir. (Demiralay 2013).

3.2.1.j. Agregat stabilitesi

Agregat stabilitesi (AS), Kemper yöntemi ile Yoder tipi ıslak eleme aleti ile yapılan eleme sonrasında elde edilen verilerden, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Kemper and Rosenau 1986).

$$AS = \frac{(P_1 - P_{2)}}{(P - P_{2)}} 100$$

AS: Agregat stabilitesi (%); P_1: Stabil agregat + Kum (g); P_2: Kum (g) ; P: Fırın kurusu toprak (g)

3.2.1.k. Ortalama ağırlık çapı

Toprakların ortalama ağırlık çap (OAÇ) değerleri, bir elek setinde, kuru eleme yöntemiyle aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır (Demiralay 2013).

$$\text{OAÇ} = \sum_{i=1}^{n} (X_i \, W_i)$$

n : Fraksiyon sayısı; X_i : Her bir büyüklük fraksiyonunun ortalama çapı, mm;
W_i : Fraksiyonun oran değeri

3.2.1.l. Özgüsel geçirgenlik

Çelik silindire (5x5 cm) yerleştirilen toprak örneklerinin alttan ıslatma ile doygun duruma gelmeleri sağlandıktan sonrasında sabit su seviyeli su geçirgenliği cihazında 20, 40 ve 60 dakikalık sürelerde toplanan su miktarlarından bulunan hidrolik iletkenlik (k) değerlerinden özgüsel geçirgenlik (ÖG) değerleri hesaplanmıştır (Demiralay 2013).

$$k = \frac{QL}{Ath}\ cm/sn$$

$$\text{ÖG} = k\frac{n}{\rho_w g}\ 10^8\ \mu m^2$$

Q: Toprak örneğinden geçen suyun hacmi, cm^3; L: Toprak sütununun yüksekliği, cm; A: Toprak sütununun kesit alanı, cm^2; t: Q hacmindeki suyun toplanma süresi, sn; h: Hidrolik yükseklik, cm; n: Viskozite, g $(cm\ sn)^{-1}$; ρ_w: test sıcaklığındaki suyun yoğunluğu, g cm^{-3}; g: Yerçekimi ivmesi, $(cm\ sn)^{-2}$

3.2.1.m. Dispersiyon oranı

Analizde, araştırma konusu toprak örneklerinden eleme ile 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0,5 mm arası fraksiyonlar hazırlanmıştır. Birinci aşamada bu fraksiyonlardan 20 şer g fırın kurusu örnek tartılmış, dispersiyon işlemine tabi tutulmadan bir sedimentasyon silindirine aktarılarak üzerine 1000 ml saf su yavaşça doldurulmuş, silindir alt üst edilerek karıştırılmış ve 40. sn'de süspansiyondaki silt+kil yoğunluğu hidrometre ile tespit edilmiştir.

2. aşamada aynı fraksiyonlardan 20 g fırın kurusu örnek tartılarak, üzerine saf su (200 ml) ve kalgon çözeltisi (5 ml) ilave edilmiş ve 60 dakika çalkalama sonrasında örnekler 0,05 mm elek açıklığına sahip bir elek üzerine dökülerek su altında elenmiştir. Eleme sonrasında elek üstünde kalan kumun kuru ağırlığı belirlenerek toplam örnek ağırlığından

(20 g) çıkartılmış ve dispersiyon sonrası toplam silt+kil içeriği belirlenmiştir. Birinci aşamada belirlenen silt+kil içeriği, ikinci aşamadaki silt+kil içeriğine oranlanmış ve dispersiyon oran değeri hesaplanmıştır (Demiralay 2013).

3.2.2. Bitki analiz yöntemleri

3.2.2.a. Bitki boy uzunluğu ve gövde çapı

Bitki yetiştirme periyodunun sonunda saksı içeriği su ile yıkanarak bitkilerin kökleriyle beraber topraktan ayrılması sağlanmış ve bir uzunluk skalası yardımıyla bitkilerin kök boğazından yaprak ucuna kadar boy uzunluğu ölçülmüştür. Hasat edilen bitkilerin gövde çapı kök boğazının hemen üzerinden bir kumpas yardımıyla belirlenmiştir (Kacar 2014).

3.2.2.b. Bitki yaş ve kuru ağırlığı

Bitki yaş ve kuru ağılık değerleri standart yönteme göre belirlenmiştir (Kacar 2014).

3.2.2.c. Yaprak klorofil yoğunluğu

Klorofil içeriği, yapraktaki klorofil miktarını dolaylı olarak ölçen, taşınabilir klorofil metre cihazı (Minolta SPAD-502) ile ölçülmüştür (Markwell *et al.* 1995).

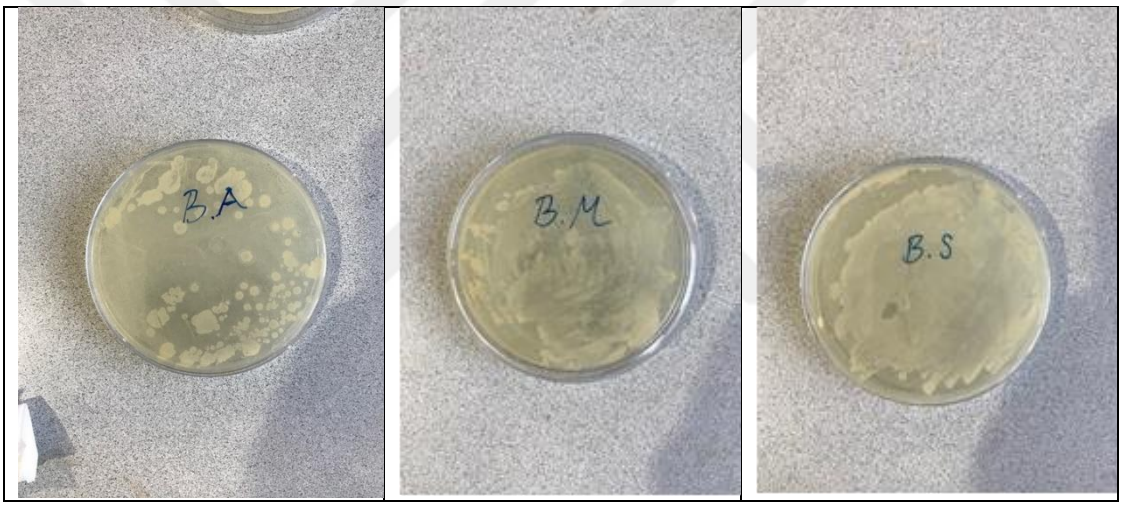
3.2.3. Biyolojik yöntemler

3.2.3.a. Bakteri inkübasyonu ve besi yerinin hazırlanması

Bakterileri çoğaltmak için, 28 g/lt oranında ‘Nutrient agar’ besi yeri hazırlanmış, steril edilerek petri kaplarına dökülmüştür. ‘Nutrient Agar’ besi yeri cam balona konularak steril saf su ilave edilmiş ve 1 lt’ye tamamlanmıştır. Otoklava yerleştirilerek 121°C’de 15 dakika steril edildikten sonra soğumaya bırakılan besi yeri yaklaşık 40°C’de,

katılaşmadan petri kaplarına dökülmüş (Şekil 3.3) ve oda sıcaklığında soğuması beklenmiştir (Kızıloğlu ve Bilen 1997). Stok olarak bulunan ve -70°C'de muhafaza edilen bakteri kültürlerinden çoğaltma yapılmış, nutrient agar besi yerine saf kültür ekimi yapılarak 5 gün süre ile 28-30°C'de inkübe edilmiştir (Gürgür ve Halkman 1988).

Bakteri kültürlerini çoğaltmak için 121°C'de 15 dakika steril edilmiş nutrient broth besi yeri üzerine inkübasyon sonrası hazırlanan bakteriler aktarılmış ve yaklaşık 48 saat (50-60 devir / dakika) çalkalayıcı inkübatörde inkübe edilerek (Şekil 3.4) ekime hazır hale getirilmiştir (Kızıloğlu ve Bilen 1997).



Şekil 3.2. Petri kutularına hazırlanan 'Nutrient agar' besi yerlerinde çoğaltılan *Bacillus arenosi, Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis* bakteri kültürleri

Şekil 3.3. Nutrient broth'da bakterilerin çoğaltılması ve inkübasyon süreci

3.2.3.b. Bakteri sayımı

Hazırlanan aşılama materyalinin 1 ml'sindeki bakteri sayımı için dilüsyon metoduna göre dilüsyonlar hazırlanmış ve elde edilen dilüsyonlardan Breed metoduna göre, sadece bakteri aşılanan toprak örnekleri üzerinde, mikroskobik sayım yapılmıştır. Bunun için besi yeri üzerinde petri kutularında gelişmiş olan bakteriler bir spatula ile besi yerinin üstünden kazınarak steril saf su ile steril tüplere aktarılmış ve 40 ml'ye tamamlanmıştır. 10 dk vortekste karıştırılmış, sonrasında otomatik steril pipet yardımıyla 4 ml alınarak başka bir steril tüpe aktarılmış ve tekrar steril saf su ile 40 ml ye tamamlanmıştır. Bu seyreltme işlemi 5 defa tekrarlanarak 10^{-5}'lik dilüsyon elde edilmiştir. Seyreltme işleminin sonunda son dilüsyondan (10^{-5}) steril mikro pipet ile 0,01ml alınarak Breed metoduna göre mikroskobik sayım yapılmıştır (Güngör ve Halkman 1988; Kızıloğlu ve Bilen 1997).

3.3. Denemenin Kurulması

Araştırma, bitkili ve bitkisiz koşullarda hazırlanan denemeler üzerinden yürütülmüştür. Her iki denemede de kontrol toprağı ile birlikte PVA ilaveli ve bakteri aşılanmış toprak örnekleri kullanılmıştır.

3.3.1. Toprak örneklerine polivinil alkol uygulaması

Araştırmada toprak düzenleyici olarak kullanılan polivinil alkol (PVA), 65°C sıcaklığa sahip suyun içinde eritilerek, deneme topraklarına ağırlık esasına göre %0,1 g/g oranında püskürtme yolu ile ilave edilmiştir. PVA ilaveli örnekler 2 gün boyunca üstü kapalı olarak bekletilmiş, daha sonra üstü açılarak oda sıcaklığında kurutulmuştur. PVA uygulama dozu daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Mori *et al.* 1996; Yamatsu *et al.* 2006; Mollasalehi 2013).

Toprak düzenleyici olarak denemede kullanılan PVA, mikrobiyolojik olarak kullanılan bakterilerin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde bir referans materyal olarak değerlendirilmiştir.

3.3.2. Bakteri aşılaması

Bacillus arenosi K64 izolatı, *Bacillus megaterium* M3 İzolatı ve *Bacillus subtilis* OSU 142 izolatı, besi yerlerinde çoğaltılmıştır. Farklı tekstürel özelliklere sahip toprakların tarla kapasitesi nem seviyesine gelmesi için gerekli olan steril saf su miktarı belirlenmiş ve içerisine 10 ml bakteri çözeltisi ile enerji kaynağı olarak %0,25 oranında (Martin 1944) şeker ilave edilmiştir. Elde edilen çözeltilerin bakteri konsantrasyonu türbidimetre ile 10^8 CFU konsantrasyona ayarlanmış ve topraklara bakteri ekimi gerçekleştirilmiştir.

3.3.3. Bitkisiz ve bitkili koşullarda yürütülen denemelerin hazırlanması

Bitkisiz olarak kurulan deneme, 3 toprak (<4 mm); kontrol, bakteriler (BA, BM, BS) ve PVA dahil 5 muamele; 20, 40, 60, 80 ve 100 gün olmak üzere 5 inkübasyon periyodunda (İP) sera koşullarında tam şansa bağlı faktöriyel deneme planına göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Her inkübasyon periyodunun sonunda toprak örneği 4, 2, 1 ve 0,5 mm'lik eleklerden oluşan bir elek takımında elenerek 3 ayrı fraksiyon (4-2 mm, 2-1 mm, 1-0,5 mm arası fraksiyonlar) hazırlanmıştır (3 × 5 × 5 × 3 × 3).

Mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) yer aldığı ikinci deneme, 3 toprak (<4 mm); kontrol, bakteriler (BA, BM, BS) ve PVA dahil 5 muamele, 60 günlük yetiştirme periyodunda sera koşullarında tam şansa bağlı faktöriyel deneme planına göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür (3 × 5 × 1 × 3).

Bu çalışmada bitkili ve bitkisiz toplam 270 adet saksı kullanılmıştır. Araştırma toprakları konulmadan önce bu saksılar bol su ile yıkanmış ve alkolden geçirilmiştir. Saksıların taban kısmına kaba filtre kağıdı uygun ebatlarda yerleştirilmiştir. Daha sonra 4 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örnekleri, 121°C'de 15 dakika otoklavda steril edilmiştir. Bitkisiz saksılar için ise 2'şer kg steril toprak saksılara yerleştirilmiştir. Bitkili denemede saksılara 4'er kg steril toprak yerleştirilmiş, yüzeyden 3 cm derinliğe araştırma konusu mısır tohumları ekilmiştir (Şekil 3.5). Çimlenme öncesinde dışarıdan bir bulaşma olmaması için steril folyo kağıdı ile saksılar kapatılmıştır (Şekil 3.6). Çimlenme başladıktan sonra saksıların üzerindeki folyolar açılmıştır (Şekil 3.7). Her iki denemede de saksıların yarayışlı suyun %50'si kullanıldığında saf suyla sulama yapılmıştır.

Şekil 3.4. Mısır (*Zea mays* L.) tohumunun saksıya ekimi

Şekil 3.5. Hazırlanan deneme saksılarının genel görünümü

Şekil 3.6. Bitki çıkışları

3.4. İstatistiksel Değerlendirme

Araştırma konusu analiz sonuçları üzerinde, varyans analizi ve ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testi ($P<0,05$) SPSS paket programı (Version 20) kullanılarak yapılmıştır (Dowdy and Weardin 1983; SPSS 2011).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Konusu Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu araştırmada, kaba bünyeli toprak kumlu tın (SL) tekstür sınıfında (%55 kum, %31 silt, %14 kil), orta bünyeli toprak killi tın (CL) tekstür sınıfında (%32 kum, %35 silt, %33 kil) ve ince bünyeli toprak ise kil (C) tekstür sınıfında (%25 kum, %32 silt, %43 kil) yer almaktadır.

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların organik madde içerikleri sırasıyla %1,4; %1,3 ve %1,6; pH düzeyleri 7,5, 7,4 ve 7,4; elektriki iletkenlikleri 1,25 dS/m, 1,20 dS/m, 1,02 dS/m; $CaCO_3$ olarak kireç içeriği %0,42, %0,40 ve %0,57; KDK değerleri 22,0 cmol kg^{-1}, 29,4 cmol kg^{-1} ve 47,3 cmol kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Toprakların organik madde içeriklerinin az sınıfında (Ülgen ve Yurtseven 1974), pH düzeylerinin nötr (Ülgen ve Yurtseven 1974), tuzsuz ve az kireçli olduğu (Ülgen ve Yurtseven 1974) kaydedilmiştir.

Toprağın doygun durum, tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası nem içeriğinin sırasıyla kumlu tın tekstürlü toprakta %42, %28,6 ve %9,79; killi tın tekstürlü toprakta %55,6, %32,1 ve %17,4 ve kil tekstürlü toprakta ise %77,7, %42,6 ve %26,2 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Toprakların temel fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Toprak Özellikleri	Toprak Bünyesi		
	Kaba	Orta	İnce
Kum (%)	55	32	25
Silt (%)	31	35	32
Kil (%)	14	33	43
Tekstür sınıfı	Kumlu tın - SL	Killi tın - CL	Kil - C
Organik madde (%)	1,40	1,30	1,6
pH	7,5	7,4	7,4
EC (dS/m)	1,25	1,20	1,02
$CaCO_3$ (%)	0,42	0,40	0,57
KDK, (cmol kg^{-1})	22,0	29,4	47,3
Doygun durum (%)	42,0	55,6	77,7
Tarla kapasitesi (%)	28,6	32,1	42,6
Devamlı solma noktası (%)	9,79	17,4	26,2

4.2. Uygulamaların Bakteri Popülasyonuna Etkisi

Bitkisiz koşullarda yürütülen denemede araştırma konusu toprakların farklı inkübasyon periyotlarındaki bakteri popülasyonu değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bakteri popülasyonu değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	57238,9	239,427**
Bakteri	2	66121,7	276,583**
İnkübasyon periyodu	4	43323,3	181,219**
T×M	8	27075,7	113,256**
T×İP	8	7760,9	32,463**
M×İP	16	1025,7	4,290**
T×M×İP	32	1988,6	8,318**
Hata	150	239,1	

**: ($p<0,01$)

Çizelge 4.2'ye göre, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu ve interaksiyonlar %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Ortalama bakteri popülasyonu değerleri

Varyasyon kaynağı		Bakteri popülasyonu (10^5 cfu/ml)
Toprak	SL	183 ± 84,63B
	CL	171 ± 56,37C
	C	239 ± 69,75A
Bakteri çeşidi	BA	242 ± 49,21A
	BM	172 ± 51,96B
	BS	179 ± 81,78B
İnkübasyon periyodu (gün)	20	145 ± 69,93D
	40	166 ± 52,06C
	60	216 ± 60,16B
	80	224 ± 57,97B
	100	236 ± 69,75A

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge 4.3'den görüleceği gibi, ortalama bakteri popülasyonu değerleri arasında yapılan çoklu karşılaştırma testine göre; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü üç toprağın birbirlerinden farklı ($p<0,05$) olduğu bulunmuştur. Muamele grubunda BM ve BS bakterilerinin aşılandığı toprakların ortalama bakteri popülasyonu değerleri birbirlerinden istatistiksel olarak farksız, BA bakterisinin aşılandığı toprakların ortalama bakteri popülasyonu değerleri ise diğer ikisinden farklı ($p<0,05$) bulunmuştur. İnkübasyon periyoduna bağlı olarak yapılan çoklu karşılaştırma testinde, topraklarda 60 ve 80 günlük inkübasyon sürelerindeki ortalama bakteri popülasyonu birbirlerinden farksız diğer inkübasyon sürelerinde ise farklı bulunmuştur (Çizelge 4.3).

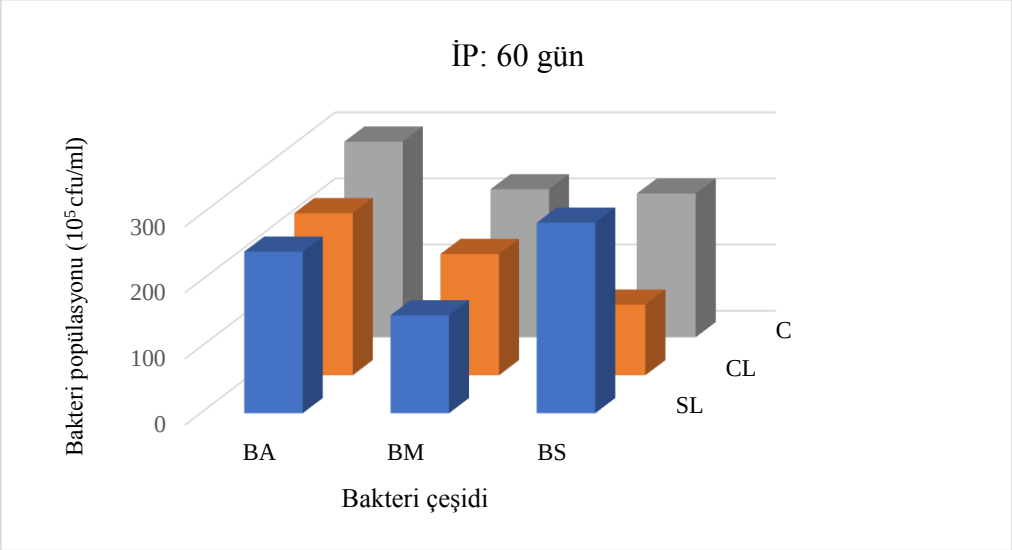
BA, BM ve BS bakterilerinin aşılandığı kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda bakteri popülasyonu değerleri Çizelge 4.4'de, 60 günlük inkübasyon periyodu sonuçlarına ait grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bakteri aşılı toprakların inkübasyon periyotlarındaki bakteri popülasyonu

İ.P. (gün)	Bakteri çeşidi	Bakteri popülasyonu (10^5 cfu/ml)		
		SL	CL	C
20	BA	142,3 ± 2,52^{a}	185,3 ±5,03^{a}	247,3 ± 7,02^{a}
	BM	49,0 ± 2,0^{b}	161,3±3,51^{b}	186,3 ± 61,8^{b}
	BS	51,0 ± 3,0^{b}	80,0 ± 8,0^{c}	202,0 ± 8,62^{ab}
40	BA	164,3 ± 1,52^{a}	194,7 ±2,51^{a}	255,7 ± 2,08^{a}
	BM	102,7 ± 3,05^{c}	166,7±6,11^{b}	186,7 ± 54,6^{ab}
	BS	124,0 ± 8,0^{b}	96,0 ± 2,0^{c}	204,0 ± 3,46^{b}
60	BA	244,3 ± 5,13^{b}	245,0 ±8,19^{a}	295,7 ± 6,02^{a}
	BM	148,0 ± 8,0^{c}	183,3±9,45^{b}	223,7 ± 8,50^{b}
	BS	288,0 ± 11,8^{a}	106,7 ±5,03^{c}	217,3 ± 15,1^{b}
80	BA	259,3 ± 14,7^{b}	246,7 ± 10,2^{a}	299,3 ± 5,03^{a}
	BM	153,0 ± 7,55^{c}	192,7 ± 16,8^{b}	229,7 ± 21,7^{b}
	BS	289,7 ± 11,9^{a}	122,0 ± 2,0^{c}	231,0 ± 3,60^{b}
100	BA	267,0 ± 14,9^{b}	268,0 ± 8,71^{a}	316,0 ± 6,93^{a}
	BM	162,0 ± 9,17^{c}	205,3 ± 16,8^{b}	240,7 ± 17,0^{b}
	BS	306,0 ± 21,1^{a}	124,7 ± 6,42^{c}	243,0 ± 4,35^{b}

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge 4.4'den görüleceği gibi araştırma konusu toprak örneklerinde inkübasyon periyoduna bağlı olarak her üç toprakta da bakteri popülasyonları artmıştır. Her inkübasyon periyodunda BA ve BM bakterileri için genel olarak en düşük bakteri popülasyonu, kumlu tın tekstürlü toprakta, en yüksek değerler de kil tekstürlü toprak örneklerinde tayin edilmiştir. BS bakteri popülasyonu 60, 80 ve 100 günlük inkübasyonlarda kumlu tın tekstürlü toprakta en yüksek olup bunu kil ve killi tın tekstürlü topraklar izlemiştir.



Şekil 4.1. Bakteri aşılaması yapılan toprak örneklerinin 60 günlük inkübasyon periyodu sonundaki bakteri popülasyonu

Abiyotik bir etken olarak toprak tekstürü; organik madde içeriği, mikrobiyal biyokütle ve diğer birçok toprak özelliği üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden birisidir (Scott and Robert 2006). Toprak tekstürü karbon depolanmasında ve bitki besin elementlerinin tutulması ve kullanışlılığında anahtar rol oynar (Hamarashid *et al.* 2010). Heritage *et al.* (2003), farklı toprak tekstürlerinde, mikroorganizmaların dağılımının toprak nemi ve besin içeriği ile alakalı olduğunu ve killi toprakların daha yüksek su ve besin tutma özelliğine sahip olmasının mikrobiyal popülasyonu artırdığını ifade etmektedir. Carney and Matson (2005), ince bünyeli toprakların mikrobiyal biyokütle gelişimini kaba bünyeli topraklara nazaran daha fazla desteklediğini tespit etmiştir. Farklı araştırmalarda toprak tekstürünün, bakteri popülasyonu ve mikrobiyal topluluklar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır (Critter *et al.* 2002; Garbeva *et al.* 2004; Fang *et al.* 2005; Paul 2007; Popelářová *et al.* 2008).

Bu araştırmada da toprak tekstürünün bakteri popülasyonu üzerinde farklı etkiler ortaya koyduğu, özellikle *Bacillus arenosi* aşılamasının topraklarda bakteri popülasyonunu önemli oranda artırdığı kaydedilmiştir. Ayrıca, kil tekstürlü toprağın ortalama bakteri popülasyonu değeri, kumlu tın ve killi tın tekstürlü topraklara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Hacim Ağırlığı

Araştırma konusu toprakların hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.5'den görüleceği gibi, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu ve interaksiyonlar %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Toprakların hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	0,843	15670,868**
Muamele	4	0,177	3292,657**
İnkübasyon periyodu	4	0,007	121,583**
T×M	8	0,020	372,541**
T×İP	8	0,00025	5,227**
M×İP	16	0,00037	7,068**
T×M×İP	32	0,00016	3,104**
Hata	150	0,00022	

**: (p<0,01)

Çizelge 4.6. Toprakların ortalama hacim ağırlığı değerleri

Varyasyon kaynakları		Hacim ağırlığı (g/cm^3)
Toprak	SL	1,25 ± 0,08A
	CL	1,15 ± 0,06B
	C	1,04 ± 0,03C
Muamele	Kontrol	1,26 ± 0,13A
	PVA	1,12 ± 0,07B
	BA	1,12 ± 0,08B
	BM	1,12 ± 0,08B
	BS	1,12 ± 0,08B
İnkübasyon periyodu (gün)	20	1,17 ± 0,11A
	40	1,16 ± 0,10A
	60	1,15 ± 0,11A
	80	1,14 ± 0,11A
	100	1,13 ± 0,11A

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelgede görüleceği gibi, yapılan ortalamalar arası çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlara göre; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların ortalama hacim ağırlığı değerleri istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Muamele grubundan kontrol toprakları, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan toprakların ortalama hacim ağırlığı değerlerinden istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$) bulunmuştur. İnkübasyon periyoduna bağlı olarak yapılan çoklu karşılaştırma testinde kontrol toprakları ve uygulama yapılan bütün topraklar istatistiksel olarak birbirlerinden farksız bulunmuştur (Çizelge 4.6.).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyonları sonrasında hacim ağırlığı değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların farklı inkübasyon periyotlarındaki hacim ağırlığı değerleri

İnkübasyon periyodu (gün)	Muamele	Hacim ağırlığı (g/cm^3)		
		SL	CL	C
20	Kontrol	$1,43 \pm 0,01^{a}$	$1,27 \pm 0,01^{a}$	$1,11 \pm 0,01^{a}$
	PVA	$1,23 \pm 0,01^{b}$	$1,18 \pm 0,01^{b}$	$1,04 \pm 0,0^{b}$
	BA	$1,24 \pm 0,01^{b}$	$1,13 \pm 0,01^{c}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
	BM	$1,24 \pm 0,01^{b}$	$1,13 \pm 0,01^{c}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
	BS	$1,25 \pm 0,01^{b}$	$1,13 \pm 0,01^{c}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
40	Kontrol	$1,42 \pm 0,02^{a}$	$1,27 \pm 0,01^{a}$	$1,12 \pm 0,01^{a}$
	PVA	$1,19 \pm 0,01^{c}$	$1,17 \pm 0,0^{b}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
	BA	$1,24 \pm 0,01^{b}$	$1,12 \pm 0,01^{c}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
	BM	$1,23 \pm 0,01^{b}$	$1,12 \pm 0,01^{c}$	$1,03 \pm 0,01^{b}$
	BS	$1,24 \pm 0,02^{b}$	$1,12 \pm 0,01^{c}$	$1,04 \pm 0,01^{b}$
60	Kontrol	$1,41 \pm 0,01^{a}$	$1,26 \pm 0,01^{a}$	$1,10 \pm 0,01^{a}$
	PVA	$1,17 \pm 0,01^{c}$	$1,17 \pm 0,01^{b}$	$1,03 \pm 0,0^{b}$
	BA	$1,24 \pm 0,01^{b}$	$1,10 \pm 0,01^{d}$	$1,02 \pm 0,01^{b}$
	BM	$1,23 \pm 0,01^{b}$	$1,11 \pm 0,01^{c}$	$1,02 \pm 0,01^{b}$
	BS	$1,23 \pm 0,0^{b}$	$1,10 \pm 0,01^{d}$	$1,02 \pm 0,01^{b}$

Çizelge 4.7. (devam)

80	Kontrol	1,41 ± 0,01^{a}	1,26 ± 0,01^{a}	1,10 ± 0,01^{a}
	PVA	1,16 ± 0,0^{c}	1,15 ± 0,01^{b}	1,02 ± 0,01^{b}
	BA	1,23 ± 0,01^{b}	1,09 ± 0,01^{cd}	1,03 ± 0,01^{b}
	BM	1,22 ± 0,0^{b}	1,10 ± 0,01^{c}	1,02 ± 0,01^{b}
	BS	1,22 ± 0,01^{b}	1,08 ± 0,01^{d}	1,02 ± 0,01^{b}
100	Kontrol	1,42 ± 0,01^{a}	1,27 ± 0,01^{a}	1,10 ± 0,01^{a}
	PVA	1,15 ± 0,01^{d}	1,15 ± 0,0^{b}	1,02 ± 0,01^{bc}
	BA	1,23 ± 0,01^{b}	1,08 ± 0,01^{c}	1,03 ± 0,01^{b}
	BM	1,21 ± 0,02^{bc}	1,08 ± 0,01^{c}	1,01 ± 0,01^{c}
	BS	1,20 ± 0,01^{c}	1,07 ± 0,01^{d}	1,02 ± 0,01^{c}

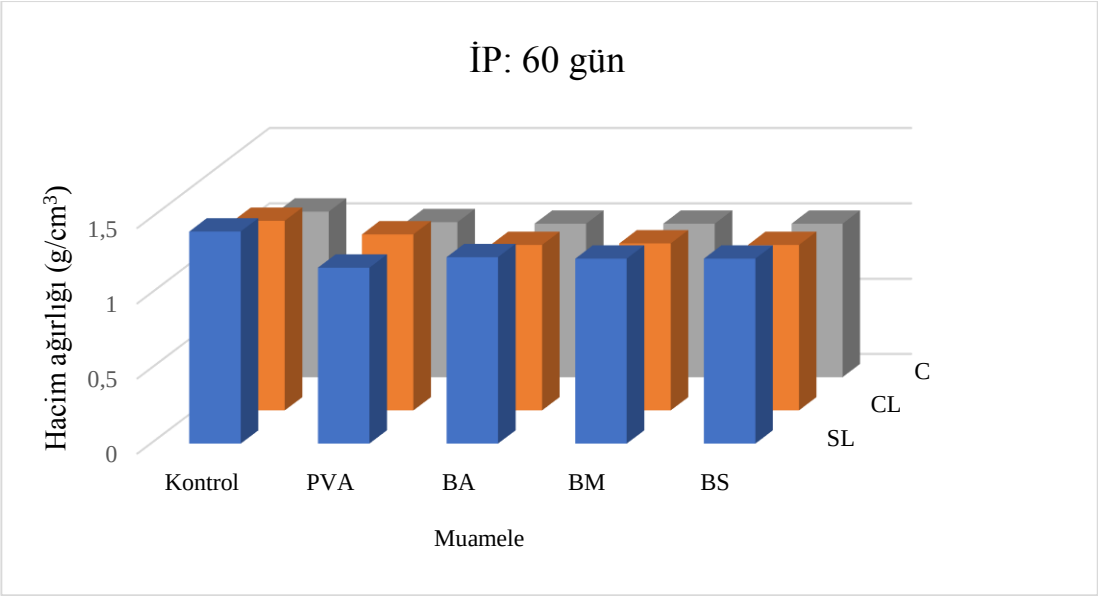
Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Kumlu tın tekstürlü toprağın 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait hacim ağırlığı değerleri 1,41-1,43 g/cm^3 arasında değişmiştir. Her bir inkübasyon periyodunda kontrol grubuna ait hacim ağırlığı değerleri diğer muamelelerden elde edilen HA değerlerinden önemli seviyede (p<0,05) farklı bulunmuştur. PVA uygulamasında 20 günden 100 güne değişen 5 inkübasyon periyodunda sırasıyla 1,23; 1,19; 1,17; 1,16 ve 1,15 g/cm^3 hacim ağırlığı değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler her bir inkübasyon periyodundaki diğer muamelelere göre bulunan hacim ağırlığı değerlerinden daha düşüktür. Araştırmada kullanılan BA, BM ve BS bakterilerinin aşılandığı örneklerin hacim ağırlığı değerleri arasında 100 günlük periyot hariç, diğer periyotlar için bir fark bulunamamıştır. 100 günlük periyotta BS bakterisinin aşılandığı toprağın hacim ağırlığı diğer uygulamalardan farklı (p<0,05) bulunmuştur. Bakteri aşılanan toprakların HA değeri, PVA uygulamasının 20 günlük periyotta ortaya koyduğu HA değerine yakın değerlere sahip olmuştur (Çizelge 4.7).

Killi tın tekstürlü toprağın 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait hacim ağırlığı değeri 1,26-1,27 g/cm^3 arasında değişmiş ve her bir inkübasyon periyodunda diğer muamelelerden sağlanan hacim ağırlığı değerlerinden önemli seviyede (p<0,05) farklı oldukları bulunmuştur. PVA uygulamasında enyüksek hacim ağırlığı 20 günlük periyotta 1,18 g/cm^3, en düşük hacim ağırlığı değeri ise 100 günlük periyotta 1,15 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. PVA uygulanan her bir inkübasyon periyodunda tespit edilen hacim

ağırlığı değerlerinin kontrol topraklarına göre düşük, bakteri aşılamasına göre yüksek olduğu kaydedilmiştir. Araştırmada kullanılan BA, BM ve BS bakterilerinin aşılandığı örneklerin hacim ağırlığı değerleri arasında 20 ve 40 günlük periyotlarda bir fark tespit edilememiştir. Ancak 60 günlük periyotta BA ve BS, BM den, 80 ve 100 günlük periyotlarda ise BS, BA ve BM den farklı olup, en düşük hacim ağırlığı değerlerini vermiştir (Çizelge 4.7).

İnce bünyeli toprağın 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait ortalama hacim ağırlığı değerleri 1,10-1,12 g/cm^3 arasında değişmiş ve her bir inkübasyon periyodunda diğer muamelelerde belirlenen ortalama hacim ağırlığı değerlerinden önemli seviyede ($p<0,05$) farklı oldukları tespit edilmiştir. PVA uygulamasında en yüksek hacim ağırlığı 20 günlük periyotta 1,04 g/cm^3, en düşük hacim ağırlığı değeri ise 100 günlük periyotta 1,02 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan BA, BM ve BS bakterilerinin aşılandığı örneklerin ortalama hacim ağırlığı değerleri arasında 20, 40, 60 ve 80 günlük inkübasyon periyotlarında bir fark görülmezken, 100 günlük periyotta BM ve BS; BA'dan farklı ($p<0,05$) olup, en düşük hacim ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (Çizelge 4.7; Şekil 4.2)



Şekil 4.2. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprak örneklerinin 60 günlük inkübasyon periyodu sonundaki hacim ağırlığı

Topraklara organik madde ilavesi toprak strüktürünü geliştirirken hacim ağırlığı değerini düşürmektedir (Bronick and Lal 2005). Aksakal ve Öztaş (2010), polivinil alkol (PVA), hümik asit ve poliakrilamid uygulamalarının hacim ağırlığı değerlerini önemli düzeyde ($p<0,01$) düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Li *et al.* (2002), toprak fiziksel özellikleri ile mikrobiyal popülasyon arasında önemli bir ilişkinin olduğunu vurguladıkları çalışmalarında, mısır bitkisi yetiştirdikleri kumlu tın tekstürlü toprakların mikrobiyal popülasyonları ile toprak hacim ağırlığı değeri arasında negatif yölü bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır.

Toprak ortamında mikrobiyal biyokütle ve toplam azot içeriği, hacim ağırlığı ile güçlü bir nagatif ilişkiye sahiptir (Rowse and Stone 1980). Toprak sıkışması hacim ağırlığını artırırken, mikrobiyal aktivite ise sıkışmayı azaltarak hacim ağırlığında düşmeyi sağlar (Smeltzer *et al.* 1986; Dick *et al.* 1988; Torbert and Wood 1992). Başka bir çalışmada Canbolat *et al.* (2006), toprakta bakteriyel aktivite ve popülasyonun toprak hacim ağırlığı değerini düşürdüğünü vurgulamışlardır.

Yapılan çalışmalarda elde edilen verilere paralel olarak, kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklara aşılanan bakteri ve uygulanan PVA'nın toprak hacim ağırlığı değerini düşürdüğü belirlenmiştir.

4.4. Agregat Stabilitesi

Araştırma konusu toprakların agregat stabilitesi değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Toprakların agregat stabilitesi değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	13717,940	8223,990**
Muamele	4	14166,318	68443,416**
İnkübasyon periyodu	4	4253,356	2549,914**
Agregat fraksiyonu (AF)	2	380,867	228,332**
T × M	8	763,978	458,009**
T × İP	8	374,918	224,765**
T × AF	4	103,779	62,216**
T × M × İP	48	348,579	208,975**
T × M × AF	24	56,411	33,819**
T × İP × AF	24	163,816	98,209**
T × M × İP × AF	96	51,170	30,677**
Hata	675	1,668	

**: (p<0,01)

Çizelge 4.8'e göre, varyas kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu, fraksiyon ve interaksiyonlar %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Toprakların ortalama agregat stabilitesi değerleri

Varyasyon kaynağı		Ortalama agregat stabilitesi (%)
Toprak	SL	48,47 ± 25,08A
	CL	40,11 ± 23,83B
	C	35,08 ± 22,69C
Muamele	Kontrol	24,17 ± 3,73D
	PVA	85,81 ± 8,95A
	BA	31,93 ± 10,49BC
	BM	33,76 ± 12,83B
	BS	30,45 ± 9,66C
Agregat fraksiyonu (mm)	4-2	42,51 ± 25,42A
	2-1	40,43 ± 24,44A
	1-0,5	40,73 ± 23,61A
İnkübasyon periyodu (gün)	20	35,60 ± 25,66C
	40	37,57 ± 24,55BC
	60	42,30 ± 23,22B
	80	42,60 ± 24,99B
	100	48,04 ± 22,19A

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge'den görüleceği gibi, yapılan ortalamalar arası çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; agregat stabilitesi bakımından kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p<0,05$) farklı bulunmuştur. Muamele grubundan kontrol, PVA ve BS topraklarının ortalama AS değerleri farklı ($p<0,05$), BA ve BM aşılanan toprakların ortalama AS değeri ise farksız bulunmuştur. Fraksiyonların ortalama AS değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark ortaya çıkmamıştır. İnkübasyon periyoduna bağlı olarak yapılan ortalamalar arası çoklu karşılaştırma testinde, 20 günlük inkübasyon süresindeki ortalama AS değeri 40 günden; 60 gün ortalama AS değeri de 80 günden farksız bulunurken, 100 günlük ortalama AS değerinin ise diğer periyotlardan önemli seviyede ($p<0,05$) farklı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.9).

Araştırma konusu toprakların 2-1 mm fraksiyonu ve 20, 60 ve 100 günlük inkübasyon periyotlarındaki agregat stabiliteleri;

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyon periyodu sonrasında, 4-2, 2-1 ve 1-0,5 mm fraksiyonlarında belirlenen agregat stabilitesi değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Fraksiyonlara ait ortalama agregat stabilitesi değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığından, toprakların 2-1 mm fraksiyonu ile inkübasyon periyodu konularından da istatistiksel olarak farklı bulunan; 20, 40 ve 60 günlük periyotların sonunda belirlenen agregat stabilitesi değerleri aşağıda değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.10. Toprakların agregat stabilitesi değerleri

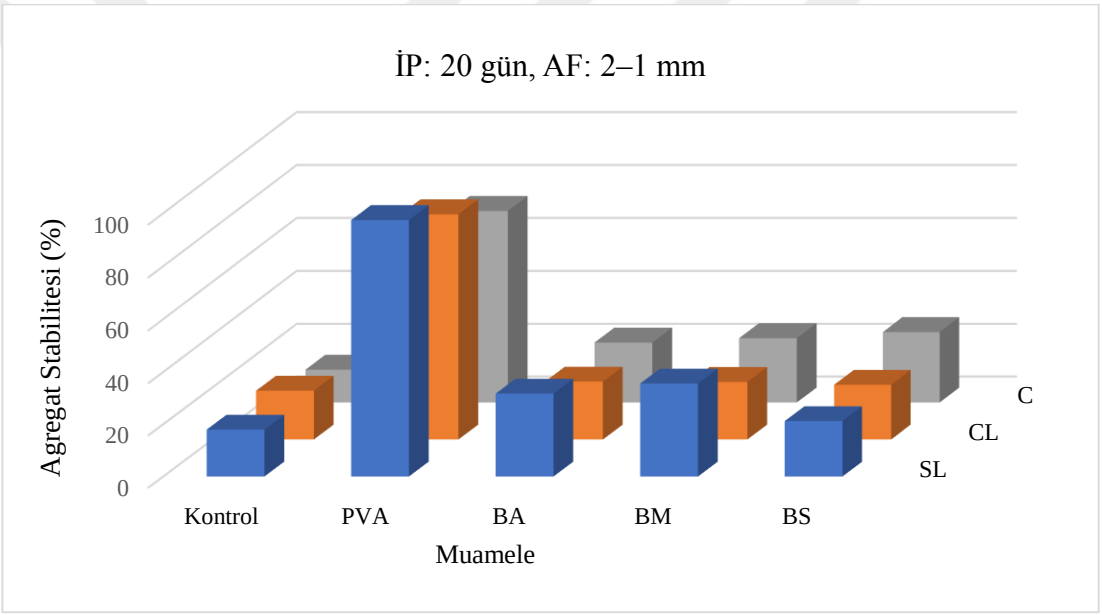
İnkübasyon periyodu (gün)	Fraksiyon (mm)	Muamele	Agregat Stabilitesi (%)		
			SL	CL	C
20	4-2	Kontrol	26,78 ± 1,14^{d}	20,43 ± 0,98^{c}	13,23 ± 0,93^{e}
		PVA	97,56 ± 0,99^{a}	94,33 ± 0,85^{a}	75,54 ± 0,96^{a}
		BA	36,80 ± 1,92^{b}	24,29 ± 1,05^{b}	28,18 ± 0,80^{b}
		BM	35,66 ± 1,31^{b}	25,40 ± 1,00^{b}	22,31 ± 1,00^{d}
		BS	30,75 ± 2,98^{c}	25,46 ± 0,86^{b}	25,09 ± 1,54^{c}
	2-1	Kontrol	17,92 ± 1,10^{e}	18,67 ± 1,30^{c}	12,54 ± 0,97^{d}
		PVA	97,39 ± 0,85^{a}	85,40 ± 0,63^{a}	72,54 ± 1,52^{a}
		BA	31,70 ± 1,24^{c}	22,15 ± 0,82^{b}	22,79 ± 1,74^{c}
		BM	35,55 ± 1,17^{b}	22,03 ± 1,23^{b}	24,44 ± 1,45^{c}
		BS	21,20 ± 2,51^{d}	20,92 ± 0,93^{b}	26,77 ± 1,77^{b}
	1-0,5	Kontrol	17,10 ± 1,48^{d}	16,27 ± 0,79^{d}	14,36 ± 0,85^{c}
		PVA	95,97 ± 1,13^{a}	73,20 ± 1,82^{a}	67,78 ± 0,61^{a}
		BA	25,69 ± 1,67^{c}	23,43 ± 0,68^{b}	14,47 ± 1,86^{c}
		BM	35,10 ± 0,86^{b}	17,6 ± 1,05^{cd}	20,38 ± 1,27^{b}
		BS	26,33 ± 0,97^{c}	18,93 ± 1,28^{c}	21,44 ± 1,40^{b}
40	4-2	Kontrol	28,32 ± 1,88^{c}	21,83 ± 1,34^{d}	22,77 ± 1,07^{b}
		PVA	94,01 ± 1,43^{a}	93,35 ± 1,14^{a}	82,02 ± 1,27a
		BA	34,96 ± 1,05^{b}	25,61 ± 1,25^{c}	22,33 ± 0,80^{b}
		BM	35,66 ± 1,30^{b}	27,71 ± 1,25^{b}	22,46 ± 0,83^{b}
		BS	28,32 ± 0,81^{c}	27,31 ±1,13^{bc}	21,20 ± 1,55^{b}
	2-1	Kontrol	19,23 ± 0,98^{e}	22,09 ± 0,92^{d}	20,65 ± 0,40^{d}
		PVA	91,06 ± 0,97^{a}	82,43 ± 1,69^{a}	81,41 ± 1,51^{a}
		BA	26,42 ± 1,65^{c}	24,99 ± 1,02^{c}	22,59 ± 0,64^{c}
		BM	36,47 ± 0,64^{b}	29,46 ± 0,87^{b}	22,35 ± 1,05^{c}
		BS	21,54 ± 1,69^{d}	24,63 ± 1,02^{c}	28,37 ± 0,92^{b}
	1-0,5	Kontrol	19,06 ±1,07^{d}	21,68 ± 1,78^{e}	18,31 ± 0,93^{d}
		PVA	94,77 ± 0,89^{a}	66,70 ± 3,12^{a}	78,27 ± 1,11^{a}
		BA	25,73 ± 2,00^{c}	32,19 ± 0,83^{c}	27,92 ± 1,33^{b}
		BM	31,80 ± 1,49^{b}	38,09 ± 0,93^{b}	22,20 ± 1,86^{c}
		BS	26,44 ± 0,61^{c}	24,95 ± 0,99^{d}	22,35 ± 0,96^{c}
60	4-2	Kontrol	31,31 ± 1,73^{d}	25,96 ± 0,94^{d}	22,49 ± 1,22^{c}
		PVA	88,50 ± 1,29^{a}	86,12 ± 0,85^{a}	77,37 ± 1,79^{a}
		BA	46,67 ± 1,20^{c}	26,49 ±1,11^{cd}	26,90 ± 1,12^{b}
		BM	58,60 ± 1,08^{b}	28,64 ± 1,57^{b}	21,40 ± 0,86^{c}
		BS	45,67 ± 1,93^{c}	28,24 ± 0,8^{bc}	21,75 ± 0,54^{c}
	2-1	Kontrol	22,93 ± 1,22^{d}	25,11 ± 0,91^{d}	20,23 ± 0,85^{d}
		PVA	87,50 ± 0,91^{a}	88,74 ± 1,68^{a}	77,15 ± 0,86^{a}
		BA	47,53 ± 1,80^{b}	27,83 ± 1,09^{b}	28,48 ± 1,14^{b}

Çizelge 4.10. (devam)

		BM	48,59 ± 1,36^{b}	27,80 ± 1,21^{b}	20,31 ± 0,79^{d}
		BS	43,92 ± 2,89^{c}	26,92 ±1,54^{bc}	23,43 ± 0,82^{c}
		Kontrol	22,51 ± 1,84^{d}	25,01 ± 0,84^{d}	22,15 ± 1,91^{d}
		PVA	87,40 ± 0,63^{a}	89,14 ± 0,84^{a}	71,90 ± 1,64^{a}
	1-0,5	BA	50,57 ± 1,62^{c}	34,26 ± 0,88^{b}	25,08 ± 0,81^{c}
		BM	56,22 ± 0,83^{b}	33,89 ± 0,85^{b}	22,64 ± 1,79^{d}
		BS	51,14 ± 1,19^{c}	28,99 ± 1,45^{c}	29,29 ± 1,82^{b}
		Kontrol	30,48 ± 1,02^{e}	24,32 ± 0,47^{d}	19,36 ± 0,99^{d}
		PVA	97,21 ± 0,86^{a}	88,25 ± 0,97^{a}	84,62 ± 0,75^{a}
	4-2	BA	46,64 ± 1,61^{c}	32,30 ± 1,52^{b}	25,54 ± 1,37^{b}
		BM	51,17 ± 0,82^{b}	31,04 ± 0,91^{b}	22,95 ± 1,85^{c}
		BS	43,07 ± 1,35^{d}	27,14 ± 0,86^{c}	22,51 ± 0,62^{c}
		Kontrol	21,88 ± 2,22^{d}	26,32 ± 0,84^{c}	18,30 ± 0,88^{e}
		PVA	95,25 ± 0,95^{a}	87,12 ± 0,85^{a}	83,50 ± 1,29^{a}
80	2-1	BA	47,12 ± 1,34^{b}	28,43 ± 1,16^{b}	28,08 ± 1,42^{b}
		BM	41,83 ± 1,43^{c}	27,63 ±1,35^{bc}	20,47 ± 1,31^{d}
		BS	45,52 ± 1,81^{b}	27,26±0,76^{bc}	24,91 ± 0,54^{c}
		Kontrol	23,52 ± 2,29^{e}	25,66 ± 1,34^{c}	20,38 ± 0,62^{d}
		PVA	92,35 ± 1,68^{a}	86,52 ± 0,41^{a}	84,12 ± 1,43^{a}
	1-0,5	BA	45,54 ± 1,94^{d}	35,80 ± 1,46^{b}	22,91 ± 1,16^{c}
		BM	52,60 ± 1,77^{b}	34,23 ± 0,96^{b}	21,18 ± 2,1^{dc}
		BS	48,81 ± 1,05^{c}	26,48 ± 0,89^{c}	30,62 ± 0,48^{b}
		Kontrol	33,62 ± 1,89^{e}	25,43 ± 0,64^{e}	22,38 ± 1,67^{e}
		PVA	96,82 ± 1,28^{a}	91,04 ± 1,11^{a}	97,42 ± 1,09^{a}
	4-2	BA	46,33 ± 1,68^{c}	42,53 ± 0,69^{c}	27,71 ± 0,44^{c}
		BM	60,00 ± 1,12^{b}	47,73 ± 0,51^{b}	38,41 ± 1,95^{b}
		BS	42,37 ± 1,82^{d}	38,28 ± 0,75^{d}	25,38 ± 0,79^{c}
		Kontrol	25,05 ± 1,69^{d}	25,05 ± 0,87^{e}	21,20 ± 1,43^{e}
		PVA	96,43 ± 1,25^{a}	83,36 ± 0,62^{a}	74,86 ± 1,52^{a}
100	2-1	BA	46,45 ± 1,73^{c}	46,11 ± 1,23^{b}	36,76 ± 0,77^{c}
		BM	49,06 ± 1,32^{b}	43,71 ± 1,31^{c}	41,44 ± 0,85^{b}
		BS	46,97 ± 1,00^{bc}	41,30 ± 0,99^{d}	28,57 ± 1,01^{d}
		Kontrol	26,50 ± 1,81^{d}	22,07 ± 1,39^{e}	22,41 ± 0,65^{e}
		PVA	95,66 ± 1,27^{a}	81,92 ± 1,02^{a}	67,45 ± 0,76^{a}
	1-0,5	BA	46,73 ± 1,29^{c}	45,91 ± 0,89^{c}	35,72 ± 0,79^{d}
		BM	51,39 ± 1,36^{b}	49,26 ± 0,79^{b}	44,35 ± 0,83^{b}
		BS	51,10 ± 1,26^{b}	41,36 ± 0,99^{d}	38,23 ± 0,81^{c}

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Kumlu tın tekstürlü toprağın 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda, 2-1 fraksiyonunun en düşük AS değeri (%17,92) kontrol toprağında, en yüksek değer (%97,39) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%21,20) BS, en yüksek AS değeri (%35,55) ise BM aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.3). Kumlu tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda bütün muamelelerin ve kontrol topraklarının AS değeri istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,01$). Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %443, %77, %98 ve %18 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.



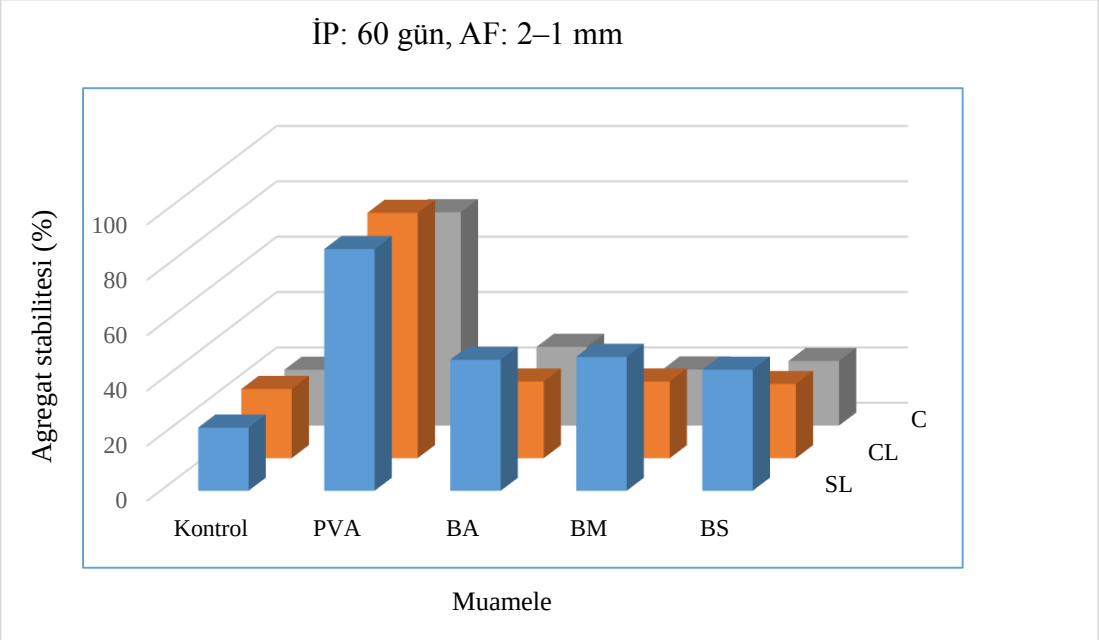
Şekil 4.3. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun AS değerleri

Killi tın tekstürlü toprağın 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%18,67) kontrol toprağında, en yüksek değer (%85,40) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%20,92) BS, en yüksek AS değeri (%22,15) ise BA aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.3). Killi tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda PVA uygulanan topraklar ve kontrol toprakları istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler istatistiksel olarak farksızdır. Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM

ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %357, %19, %18 ve %12 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

İnce bünyeli toprağın 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%12,54) kontrol toprağında, en yüksek değer (%72,54) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%22,79) BA, en yüksek AS değeri (%26,77) ise BS aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.3). İnce bünyeli toprağın bu fraksiyonunda BA ve BM aşılanan toprakların AS değerleri istatistiksel olarak farksız, diğer bütün muameleler istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %478, %82, %95 ve %113 oranında artmıştır.

Kumlu tın tekstürlü toprağın 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%22,93) kontrol toprağında, en yüksek değer (%87,50) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%43,92) BS, en yüksek AS değeri (%48,59) ise BM aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.4). Kumlu tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda BA ve BM aşılanan topraklar istatistiksel olarak farksız, diğer bütün muameleler farklıdır ($p<0,05$). Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %282, %107, %112 ve %92 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.



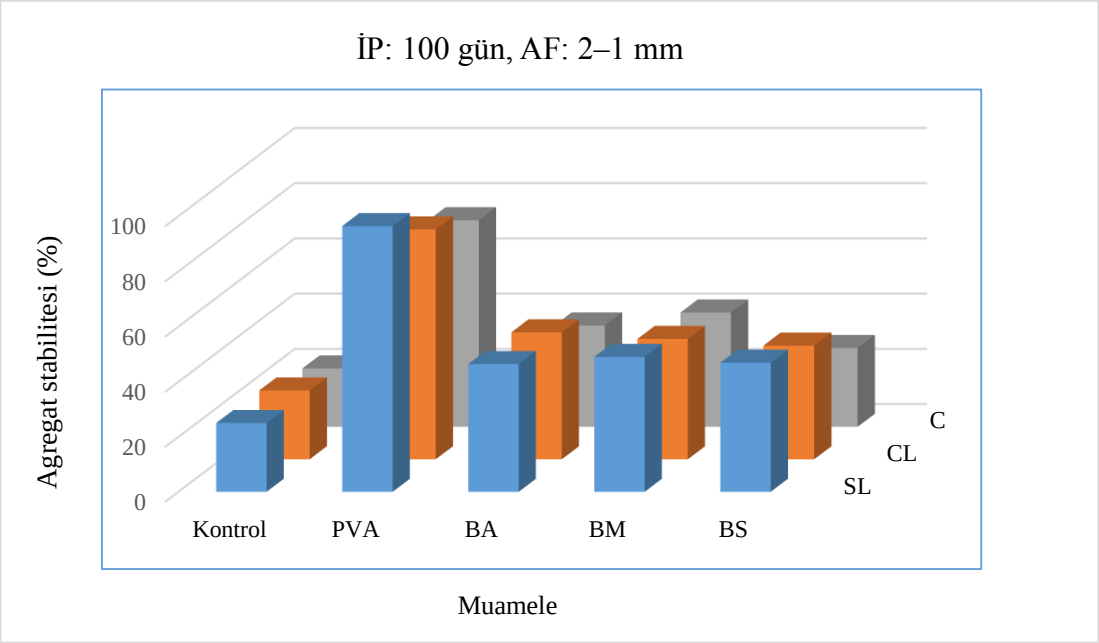
Şekil 4.4. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun AS değerleri

Killi tın tekstürlü toprağın 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%25,11) kontrol toprağında, en yüksek değer (%88,74) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%26,92) BS, en yüksek AS değeri (%27,83) ise BA aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.4). Killi tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda PVA uygulanan topraklar ve kontrol toprakları istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler istatistiksel olarak farksızdır. Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %253, %11, %11 ve %7 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

İnce bünyeli toprağın 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%20,23) kontrol toprağında, en yüksek değer (%77,15) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%20,31) BM, en yüksek AS değeri (%28,48) ise BA aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.4). İnce bünyeli toprağın bu fraksiyonunda BM aşılanan topraklar ve kontrol toprakları AS değerleri istatistiksel olarak farksız, diğer bütün muameleler istatistiksel olarak farklıdır

(p<0,05). Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %281, %41, %0,5 ve %16 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

Kumlu tın tekstürlü toprağın 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%25,05) kontrol toprağında, en yüksek değer (%96,43) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%46,45) BA, en yüksek AS değeri (%49,06) ise BM aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.5). Kumlu tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda BM ve BS aşılanan topraklar istatistiksel olarak farksız, diğer bütün muameleler farklıdır (p<0,05). Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %285, %85, %96 ve %88 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.



Şekil 4.5. PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda 2-1mm fraksiyonunun agregat stabilitesi

Killi tın tekstürlü toprağın 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%25,05) kontrol toprağında, en yüksek değer (%83,36) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%41,30) BS, en yüksek

AS değeri (%46,11) ise BA aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.5). Killi tın tekstürlü toprağın bu fraksiyonunda bütün muameleler istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$) bulunmuştur. Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %233, %84, %74 ve %65 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

Kil tekstürlü toprağın 100 günlük inkübasyon periyodu sonunda en düşük AS değeri (%21,20) kontrol toprağında, en yüksek değer (%74,86) ise PVA uygulamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük AS değeri (%28,57) BS, en yüksek AS değeri (%41,44) ise BM aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.10; Şekil 4.5). İnce bünyeli toprağın bu fraksiyonunda bütün muameleler istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$) bulunmuştur. Agregat stabilitesi değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %253, %73, %95 ve %35 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

Toprakların AS değerleri incelendiğinde inkübasyon periyotlarında kontrol gruplarına göre muamalelere bağlı olarak bütün fraksiyonlarda artış olduğu kaydedilmiştir. İnkübasyon süresinin agregat stabilitesi üzerine etkisini araştıran Aksoy (1968), inkübasyonun ilk 4 haftası içinde agregasyonun hızla arttığını, daha sonra bu artışın azalmaya başladığını belirtirken, benzer bir çalışmada Gür (1981), 90 günlük inkübasyon süresinde agregatlaşmanın sürekli arttığını ifade etmiştir. Aksoy (1968) ve Gür (1981)'ün sonuçlarına paralel olarak bu araştırmada 100 günlük inkübasyon periyodunda AS değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Araştırmaya ait AS değerleri incelendiğinde, bakteri aşılanan toprakların AS değerlerinde kontrol grubu topraklarına göre önemli bir artış olduğu görülmektedir. Toprak bakterileri, toprak tanelerini birbirine bağlayarak topraktaki mikroagregatları meydana getirirler (Ingham 2009). Bakteriler toprak agregasyonunun gelişimini ve toprak strüktürünün iyileşmesini sağlayarak; su döngüsü, besin döngüsü ve ekosistem açısından önemli bir etki ortaya koyarlar. Birçok bakteri toprak parçacıklarının yüzeyini kaplayan polisakarit veya glikoprotein tabakalarını üretirler. Bu maddeler kum, silt ve kil parçacıklarını

yapıştırarak mikroagregatların ve toprak strüktürünün gelişiminde önemli bir rol oynar (Hoorman 2011). Bu bulgulara paralel olarak, yürütülen bu çalışmada, farklı tekstürel özelliklere sahip topraklara bakteri aşılamasına bağlı olarak AS değerinin arttığı belirlenmiştir.

Mikroorganizmaların primer ve sekonder toprak taneleri ile yüzey temasının oluştuğu, bunların; yüzeye transfer, doğrudan yüzeye temas oluşumu ve yapıştırıcı mikrokoloni veya biofilm formunda olduğu Chenu and Stotzky (2002) tarafından ifade edilmiştir. Tiessen and Stewart (1988), mikroorganizmaların sıklıkla 2 veya daha fazla agregatı ve taneleri birbirine bağlandığını ortaya koymuş ve elektron mikroskobu ile hücreler ortadan kaybolduktan sonra dahi bu bağlanma etkisinin devam ettiğini göstermiştir. Agregasyonun gelişiminde mikrobiyal yapışma ve bağ oluşumu, bakterilerin fizyolojik ve yüzey özelliklerine bağlıdır (Huysman and Verstraete 1993; Grasso *et al.* 1996; Dufrêne and Rouxhet 1996).

Araştırmada ele alınan topraklarda en yüksek AS değeri PVA ilave edilen topraklarda tespit edilmiştir. PVA ve Poliakrilamid gibi sentetik polimerlerin toprağa ilavesi, toprağın fiziksel özelliklerinde iyileşme sağlayarak, agregat stabilitesi ve toprak strüktürü üzerinde düzenleyici bir etki meydana getirdiği farklı araştırmacılar tarafından da vurgulanmıştır (Sivapalan 2002; Chenu and Stotzky 2002).

Önce ki çalışmalarda elde edilen verilere paralel olarak, farklı tekstürel özellik gösteren topraklara aşılanan bakteri ve uygulanan PVA'nın, toprak agregat stabilitesi değerini artırdığı belirlenmiştir.

4.5. Dispersiyon Oranı

Araştırma konusu toprakların dispersiyon oranı (DO) değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Toprakların dispersiyon oranı değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	44,762	481,409**
Muamele	4	11177,773	120216,390**
İnkübasyon periyodu	4	13409,784	144221,551**
Agregat fraksiyonu	2	687,194	7390,734**
T × M	8	62,047	667,311**
T × İP	8	599,123	6443,541**
T × AF	4	21,421	230,384**
T × M × İP	48	306,022	3291,246**
T × M × AF	24	12,768	137,323**
T × İP × AF	24	96,964	1042,840**
T × M × İP × AF	96	14,992	161,236**
Hata	450	0,093	

**: ($p<0,01$)

Çizelge 4.11'e göre, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu, fraksiyon ve interaksiyonlar %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Toprakların ortalama dispersiyon oranı değerleri

Varyasyon kaynakları		Ortalama dispersiyon oranı (%)
Toprak	SL	16,6 ± 15,3A
	CL	17,3 ± 13,0A
	C	17,4 ± 12,2A
Muamele	Kontrol	27,8 ± 14,5A
	PVA	2,50 ± 2,40C
	BA	18,3 ± 10,9B
	BM	17,9 ± 11,1B
	BS	18,9 ± 11,5B
Agregat fraksiyonu (mm)	4-2	15,4 ± 13,1B
	2-1	16,9 ± 12,8AB
	1-0,5	18,9 ± 14,6A
İnkübasyon periyodu (gün)	20	30,9 ± 15,9A
	40	23,3 ± 13,0B
	60	14,5 ± 7,10C
	80	10,9 ± 6,30D
	100	6,10 ± 3,50E

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır ($P<0,05$)

Çizelgeden görüleceği gibi, yapılan çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlara göre; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların ortalama DO değerleri istatistiksel olarak farklı değildir. Muamele grubundan kontrol toprakları ve PVA uygulanan toprakların ortalama DO değerleri farklı ($p<0,05$); BA, BM ve BS aşılanan toprakların ortalama DO değerleri ise farksız bulunmuştur. Farklı fraksiyonlardan 4-2 mm ve 1-0,5 mm büyüklüğü ortalama DO değeri istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), 2-1 mm büyüklüğünde ise farksızdır. Araştırma konusu topraklarda, uygulanan inkübasyon periyodu ortalama DO değerlerinin istatistiksel olarak önemli seviyede ($p<0,05$) farklı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.12).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyon periyodu sonrasında farklı fraksiyonlara (4-2, 2-1 ve 1-0,5 mm) ait DO değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Toprakların dispersiyon oranı değerleri

İnkübasyon periyodu (gün)	Agregat fraksiyonu (mm)	Muamele	Dispersiyon oranı (%)		
			SL	CL	C
20	4-2	Kontrol	$55,0 \pm 2,64^{a}$	$40,8 \pm 0,54^{a}$	$47,6 \pm 0,43^{a}$
		PVA	$1,86 \pm 0,06^{d}$	$1,52 \pm 0,02^{d}$	$4,01 \pm 0,02^{e}$
		BA	$36,0 \pm 0,20^{c}$	$30,6 \pm 0,17^{c}$	$37,1 \pm 0,17^{b}$
		BM	$37,2 \pm 0,10^{b}$	$30,7 \pm 0,12^{c}$	$33,5 \pm 0,15^{c}$
		BS	$39,0 \pm 0,18^{b}$	$38,5 \pm 0,37^{b}$	$26,7 \pm 0,05^{d}$
	2-1	Kontrol	$58,8 \pm 0,66^{a}$	$38,1 \pm 0,07^{a}$	$42,5 \pm 0,51^{a}$
		PVA	$2,35 \pm 0,12^{e}$	$2,62 \pm 0,12^{e}$	$4,89 \pm 0,12^{e}$
		BA	$40,5 \pm 0,50^{c}$	$28,9 \pm 0,09^{d}$	$32,1 \pm 0,08^{b}$
		BM	$37,7 \pm 0,11^{d}$	$32,5 \pm 0,11^{c}$	$27,1 \pm 0,07^{c}$
		BS	$46,2 \pm 0,13^{b}$	$36,1 \pm 0,10^{b}$	$25,6 \pm 0,10^{d}$
	1-0,5	Kontrol	$58,6 \pm 0,60^{a}$	$41,5 \pm 0,47^{a}$	$46,1 \pm 0,94^{a}$
		PVA	$2,22 \pm 0,13^{e}$	$7,39 \pm 0,12^{e}$	$9,02 \pm 0,12^{e}$
		BA	$44,1 \pm 0,36^{c}$	$23,3 \pm 0,09^{d}$	$29,8 \pm 0,11^{b}$
		BM	$42,0 \pm 0,11^{d}$	$36,5 \pm 0,11^{c}$	$24,1 \pm 0,06^{c}$
		BS	$49,0 \pm 0,18^{b}$	$39,9 \pm 0,10^{b}$	$20,9 \pm 0,10^{d}$

Çizelge 4.13. (devam)

		Kontrol	35,2 ± 1,01[a]	40,1 ± 1,03[a]	32,1 ± 0,93[a]
		PVA	1,80 ± 0,06[e]	1,54 ± 0,03[e]	6,63 ± 0,03[e]
	4-2	BA	13,0 ± 0,08[c]	23,1 ± 0,06[c]	21,1 ± 0,08[b]
		BM	10,0 ± 0,14[d]	31,0 ± 0,43[b]	19,9 ± 0,29[c]
		BS	18,6 ± 0,10[b]	19,2 ± 0,05[d]	16,6 ± 0,08[d]
		Kontrol	33,1 ± 0,12[a]	41,5 ± 0,54[a]	33,1 ± 0,08[a]
40		PVA	3,10 ± 0,12[e]	3,69 ± 0,11[e]	6,47 ± 0,11[e]
	2-1	BA	15,2 ± 0,11[c]	26,0 ± 0,18[c]	26,0 ± 0,12[c]
		BM	10,1 ± 0,13[d]	25,1 ± 0,29[d]	28,8 ± 0,11[b]
		BS	22,1 ± 0,41[b]	28,9 ± 0,10[d]	22,1 ± 0,1[0d]
		Kontrol	42,1 ± 0,12[a]	48,1 ± 0,93[a]	48,6 ± 0,49[a]
		PVA	2,00 ± 0,12[e]	8,09 ± 0,11[e]	9,09 ± 0,11[d]
	1-0,5	BA	21,4 ± 0,11[b]	34,2 ± 0,13[c]	40,1 ± 0,07[b]
		BM	14,3 ± 0,12[d]	36,0 ± 0,11[b]	36,1 ± 0,08[c]
		BS	20,1 ± 0,11[c]	33,2 ± 0,11[d]	35,8 ± 0,11[c]
		Kontrol	19,1 ± 0,07[a]	20,1 ± 0,87[a]	20,1 ± 0,07[a]
		PVA	1,83 ± 0,03[e]	1,54 ± 0,04[c]	1,33 ± 0,02[d]
	4-2	BA	10,1 ± 0,09[c]	15,3 ± 0,17[b]	11,1 ± 0,07[c]
		BM	12,3 ± 0,24[b]	15,4 ± 0,05[b]	13,3 ± 0,04[b]
		BS	9,40 ± 0,07[d]	16,0 ± 0,11[b]	13,3 ± 0,05[b]
		Kontrol	23,4 ± 0,07[a]	21,8 ± 0,54[a]	22,4 ± 0,10[a]
		PVA	1,60 ± 0,09[e]	1,53 ± 0,10[e]	3,30 ± 0,10[d]
60	2-1	BA	12,1 ± 0,10[d]	18,1 ± 0,10[b]	16,1 ± 0,08[c]
		BM	16,0 ± 0,18[b]	14,5 ± 0,10[d]	19,1 ± 0,10[b]
		BS	15,1 ± 0,09[c]	16,0 ± 0,21[c]	19,2 ± 0,09[b]
		Kontrol	23,7 ± 0,49[a]	22,3 ± 0,46[a]	24,2 ± 0,52[a]
	1-0,5	PVA	1,50 ± 0,09[d]	1,40 ± 0,10[e]	3,06 ± 0,10[d]
		BA	20,1 ± 0,08[c]	16,7 ± 0,10[b]	17,9 ± 0,10[c]
		BM	21,4 ± 0,10[b]	13,4 ± 0,10[d]	17,9 ± 0,10[c]
		BS	21,3 ± 0,09[b]	15,1 ± 0,06[c]	20,1 ± 0,06[b]

Çizelge 4.13. (devam)

	4-2	Kontrol	11,2 ± 0,17[a]	19,2 ± 0,06[a]	23,4 ± 0,04[a]
		PVA	1,03 ± 0,02[d]	0,92 ± 0,03[e]	1,03 ± 0,09[e]
		BA	8,07 ± 0,08[b]	9,59 ± 0,06[d]	11,6 ± 0,09[c]
		BM	7,01 ± 0,17[c]	10,8 ± 0,03[c]	9,35 ± 0,02[d]
		BS	8,06 ± 0,07[b]	12,1 ± 0,07[b]	12,1 ± 0,08[b]
	2-1	Kontrol	14,5 ± 0,47[a]	20,2 ± 0,11[a]	24,3 ± 0,11[a]
		PVA	0,86 ± 0,11[e]	0,89 ± 0,11[d]	3,22 ± 0,11[d]
80		BA	9,03 ± 0,12[d]	10,8 ± 0,12[c]	12,8 ± 0,12[b]
		BM	11,9 ± 0,12[b]	10,8 ± 0,09[c]	10,6 ± 0,10[c]
		BS	11,1 ± 0,10[c]	11,2 ± 0,09[b]	12,8 ± 0,10[b]
	1-0,5	Kontrol	16,8 ± 0,57[a]	19,9 ± 0,11[a]	23,8 ± 0,11a
		PVA	0,81 ± 0,11[d]	0,83 ± 0,11[e]	1,82 ±0,11d
		BA	11,1 ± 0,10[b]	13,3 ± 0,12[c]	14,9 ± 0,12c
		BM	11,2 ± 0,12[b]	9,98 ± 0,09[d]	14,9 ± 0,10c
		BS	9,20 ± 0,39[c]	14,3 ± 0,10[b]	17,9 ±0,10b
	4-2	Kontrol	9,05 ± 0,06[a]	8,10 ± 0,08[a]	8,03 ± 0,04[a]
		PVA	0,20 ± 0,01[e]	0,33 ± 0,26[d]	0,64 ± 0,02[e]
		BA	6,03 ± 0,10[b]	6,02 ± 0,02[c]	6,65 ± 0,04[b]
		BM	4,02 ± 0,20[c]	6,14 ± 0,02[b]	5,30 ± 0,04[d]
		BS	6,05 ± 0,70[b]	6,20 ± 0,04[b]	6,06 ± 0,10[c]
	2-1	Kontrol	13,6 ± 0,52[a]	10,1 ± 0,11[a]	10,2 ± 0,81[a]
		PVA	0,21 ± 0,11[d]	0,31 ± 0,06[e]	3,17 ± 0,11[e]
100		BA	8,05 ± 0,05[b]	7,93 ± 0,12[b]	6,33 ± 0,08[c]
		BM	7,10 ± 0,10[c]	7,16 ± 0,08[c]	5,06 ± 0,08[d]
		BS	8,02 ± 0,02[b]	5,97 ± 0,06[d]	8,06 ± 0,07[b]
	1-0,5	Kontrol	12,4 ± 0,11[a]	12,1 ± 0,11[a]	12,3 ± 0,52[a]
		PVA	0,20 ± 0,11[c]	0,28 ± 0,06[d]	0,57 ± 0,11[d]
		BA	4,05 ± 0,07[b]	7,02 ± 0,11[b]	8,06 ± 0,06[b]
		BM	4,02 ± 0,18[b]	6,58 ± 0,08[c]	6,06 ± 0,07[c]
		BS	3,95 ± 0,10[b]	6,60 ± 0,06[c]	8,07 ± 0,08[b]

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge 4.13'den görüleceği gibi, kumlu tın tekstürlü toprağın 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %9 - %55; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %13,6 - %58,8 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %12,4 - %58,6 arasında bulunmuştur. PVA uygulanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %0,2 - %1,86; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %0,21 - %3,1 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %0,2 - %2,22 arasında bulunmuştur. BA aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,03 - %36; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %8,05 - %40,5 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %4,05 - %44,1arasında bulunmuştur. BM aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %4,02 - %37,2; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %7,10 - %37,7 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %4,02 - %42 arasında bulunmuştur. BS aşılanan örneklerinin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,05 - %39; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %8,02 - %46,2 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %3,95 - %49 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.13).

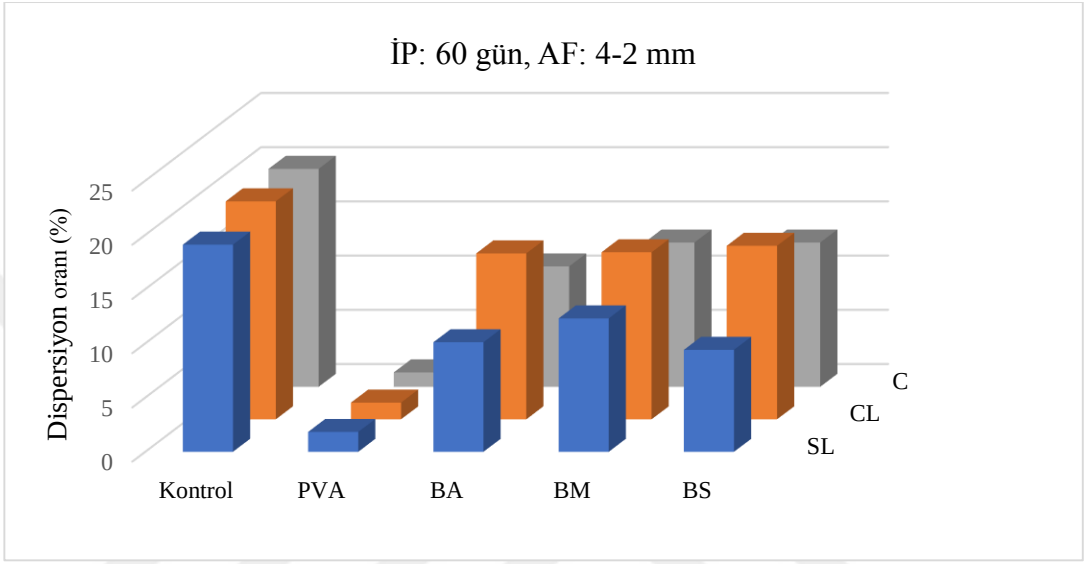
Killi tın tekstürlü toprağın 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %8,10 - %40,8; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %10,1 - %41,5 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %12,1 - %48,1 arasında değişmiştir. PVA uygulanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %0,33 - %1,54; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %0,31 - %3,69 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %0,28 - %8,09 arasında bulunmuştur. BA aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,02 - %30,6; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %7,93 - %28,9 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %7,02 - %34,2 arasında değişmiştir. BM ilaveli örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,14 - %30,7; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %7,16 - %32,5 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %6,58 - %36,5 arasında bulunmuştur. BS aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,20 - %38,5; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %5,97 - %36,1 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %6,60 - %39,9 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.13).

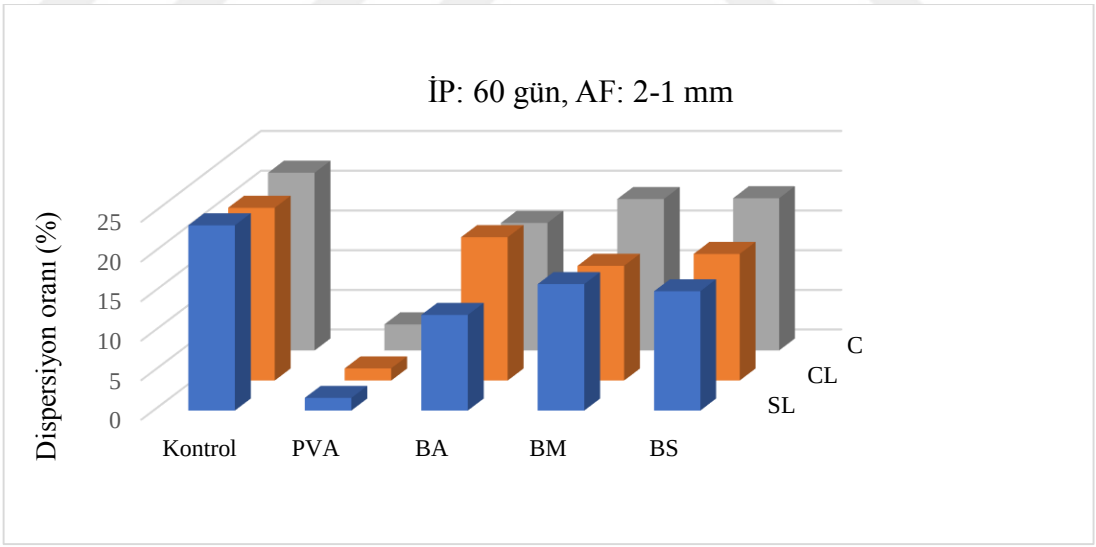
Kil tekstürlü toprağın 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %8,03 - %47,6; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %10,2 - %42,5 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %12,3 - %48,6 arasında bulunmuştur. PVA uygulanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %0,64 - %6,63; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %3,17 - %6,47 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %6,57 - %9,09 arasında bulunmuştur. BA aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,65 - %37,1; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %6,33 - %32,1 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %8,06 - %40,1 arasında bulunmuştur. BM aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %5,30 - %33,5; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %5,06 - %28,8 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %6,06 - %36,1 arasında bulunmuştur. BS aşılanan örneklerin dispersiyon oran değerleri 4-2 mm agregat fraksiyonunda %6,06 - %26,7; 2-1 mm agregat fraksiyonunda %8,06 - %25,6 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonunda ise %8,07 - %35,8 arasında değişmiştir (Çizelge 4.13).

PVA uygulanan ve bakteri aşılanan toprakların, 5 farklı inkübasyon periyodu kapsamında, farklı agregat fraksiyonlarının dispersiyon oran değerleri değerlendirildiğinde, genel eğilim inkübasyon süresinin artmasına bağlı olarak dispersiyon oran değerinin azalması yönündedir. Söz konusu inkübasyon periyotlarında her üç agregat fraksiyonun kontrol örnekleri için belirlenen dispersiyon oran değeri diğer muamelere ait örneklerden daha yüksek oran değerlerine sahip olmuşlardır. Bu durum, PVA uygulaması ve bakteri aşılamasının etkinliğini desteklemiştir. PVA uygulaması yapılan topraklardan 5 İP sonunda sağlanan 4-2, 2-1 ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonları üzerinde yapılan DO değerleri, diğer muamelerden önemli seviyede düşük bulunmuştur. Bu durum, PVA uygulamasının toprak strüktür stabilitesi üzerine beklenen pozitif katkıyı sağladığını ortaya koymuştur.

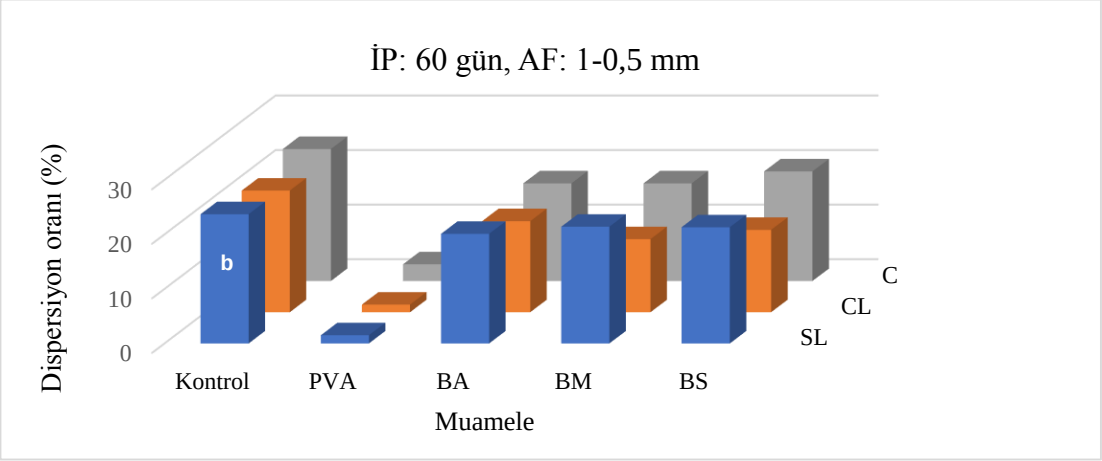
Bakteri aşılanan topraklardan, 5 İP sonunda sağlanan 4-2, 2-1 ve 1-05 mm agregat fraksiyonları üzerinde yapılan DO değerleri, kontrol ve PVA uygulamalarından sağlanan dispersiyon oran değerleri arasında yer almıştır. Araştırmada kullanılan bakteriler dispersiyon oran değerine göre toprak strüktür stabilitesini genel olarak benzer oranlarda

etkilemiştir. Ancak kumlu tın tekstürlü toprakta bu etki daha belirgin olmuştur. Yürütülen araştırmada, dispersiyon oranı üzerindeki söz konusu bu eğilimler 60 günlük inkübasyon periyoduna ait sonuçlar esas alınarak Şekil 4.6'da verilmiştir.





Şekil 4.6. 60 günlük İP da 4-2 mm; 2-1 mm ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonlarında farklı muamelelere bağlı olarak gelişen dispersiyon oran değerleri (devam)



Şekil 4.6. 60 günlük İP da 4-2 mm; 2-1 mm ve 1-0,5 mm agregat fraksiyonlarında farklı muamelelere bağlı olarak gelişen dispersiyon oran değerleri

Dispersiyon oranı, toprak degradasyonunun önemli parametrelerinden birisidir. Toprak degradasyonu tarım alanlarının en büyük problemlerindendir (Tefera *et al.* 2002). Toprak degradasyonu ekosistemin niteliğinde bir gerilemeye sebep olur. Erozyon, organik maddenin ve biyoçeşitliliğin azalması, verimliliğin düşmesi ve element içeriğinde meydana gelen dengesizlik, asitleşme ve tuzlulaşma gibi etkenler degradasyonu hızlandırır. Agregat stabilitesinin yükselmesi ise degradasyonu azaltır (Lal 2015).

Toprak degradasyonunun neticesinde strüktürel yapıda bozulma başlar (Chan *et al.* 2003). Agregatların dispers olması ile meydana gelen toprak strüktüründeki bozulma ve toprak organik karbon içeriğinin eksilmesi toprak yüzey erodibilitesinin artmasında önemli etkenlerdir (Charman and Murphy 2007). Toprak organik madde miktarı arttıkça, toprak agregasyonu ve strüktürel yapısı gelişirken dispers olmaya karşı direnci yükselir (Obalum *et al.* 2017).

Agregat stabilitesi; toprakta organik madde içeriği, biyolojik aktivite ve toprak besin döngüsünün önemli bir göstergesidir. Agregatlaşmış topraklar yüksek poroziteye sahip oldukları için, diğer topraklara nazaran daha fazla su tutar ve kök gelişimi için daha uygun bir ortam oluşturur. Stabil agregatlar degradasyona ve dispersiyona karşı sağlam bir yapı meydana getirir (USDA 2001).

Yapılan çalışmalarda elde edilen verilere paralel olarak, bu çalışmada da, kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklara aşılanan bakteri ve PVA uygulamasının toprak agregat stabilitesi değerlerini yükselttiği, dispersiyon oranı değerlerini ise özellikle PVA ilave edilen topraklarda çok yüksek oranda düşürdüğü kaydedilmiştir.

4.6. Ortalama Ağırlık Çapı

Araştırma konusu toprakların ortalama ağırlık çap değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.14'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Toprakların OAÇ değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	0,882	4031,400**
Muamele	4	0,161	734,536**
İnkübasyon periyodu	4	0,873	3991,659**
T × M	8	0,112	513,478**
T × İP	8	0,025	112,844**
M × İP	16	0,009	39,048**
T × M × İP	32	0,018	81,787**
Hata	150	0,00	

**: ($p<0,01$)

Çizelge 4.14'e göre, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu ve interaksiyonlar %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Toprakların ortalama OAÇ değerleri

Varyasyon kaynakları		Ortalama ağırlık çapı (mm)
Toprak	SL	0,90 ± 0,08B
	CL	1,10 ± 0,17A
	C	1,07 ± 0,22A
Muamele	Kontrol	0,92 ± 0,11C
	PVA	0,84 ± 0,1D
	BA	1,10 ± 0,17B
	BM	1,09 ± 0,14B
	BS	1,17 ± 0,16A
İnkübasyon periyodu (gün)	20	1,06 ± 0,19A
	40	1,07 ± 0,20A
	60	1,06 ± 0,17A
	80	0,96 ± 0,18B
	100	0,96 ± 0,15B

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelgeden görüleceği gibi, yapılan çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlara göre; killi tın ve kil tekstürlü toprakların ortalama OAÇ değerleri istatistiksel olarak farksız, kumlu tın tekstürlü topraklarda ise farklıdır (p<0,05). Muamele grubundan kontrol, PVA ve BS toprakları ortalama OAÇ değerleri farklı (p<0,05); BA ve BM aşılanan toprakların ortalama OAÇ değerleri ise farksız bulunmuştur. İnkübasyon periyoduna bağlı olarak yapılan çoklu karşılaştırma testinde toprakların 20, 40 ve 60 gün ortalama OAÇ değerleri istatistiksel olarak farksız, 80 ve 100. gün ortalama OAÇ değerinden ise önemli seviyede (p<0,05) farklıdır (Çizelge 4.15).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyonları sonrasında OAÇ değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Toprakların ortalama ağırlık çap değerleri

İnkübasyon periyodu (gün)	Muamele	Ortalama ağırlık çapı (mm)		
		SL	CL	C
20	Kontrol	0,86 ± 0,0^{c}	1,05 ± 0,01^{c}	1,03 ± 0,0^{d}
	PVA	0,85 ± 0,01^{d}	0,98 ± 0,01^{d}	0,77 ± 0,01^{e}
	BA	0,92 ± 0,01^{b}	1,19 ± 0,01^{b}	1,42 ± 0,02^{a}
	BM	0,91 ± 0,0^{b}	1,26 ± 0,01^{a}	1,10 ± 0,02^{c}
	BS	0,93 ± 0,01^{a}	1,27 ± 0,01^{a}	1,34 ± 0,01^{b}
40	Kontrol	0,91 ± 0,01^{c}	1,06 ± 0,01^{d}	0,87 ± 0,01^{c}
	PVA	0,85 ± 0,01^{d}	0,99 ± 0,01^{e}	0,76 ± 0,03^{d}
	BA	0,94 ± 0,01^{b}	1,10 ± 0,01^{c}	1,35 ± 0,0^{b}
	BM	0,99 ± 0,01^{a}	1,28 ± 0,0^{b}	1,32 ± 0,02^{b}
	BS	0,95 ± 0,01^{b}	1,33 ± 0,01^{a}	1,39 ± 0,01^{a}
60	Kontrol	0,97 ± 0,01^{b}	1,16 ± 0,01^{c}	0,81 ± 0,01^{d}
	PVA	0,84 ± 0,01^{c}	1,03 ± 0,06^{d}	0,77 ± 0,02^{e}
	BA	1,02 ± 0,01^{a}	1,31 ± 0,01^{a}	1,12 ± 0,02^{c}
	BM	1,02 ± 0,02^{a}	1,17 ±0,01^{bc}	1,16 ± 0,02^{b}
	BS	1,01 ± 0,01^{a}	1,21 ± 0,01^{b}	1,33 ± 0,01^{a}
80	Kontrol	0,79 ± 0,01^{d}	0,83 ± 0,01^{c}	0,90 ± 0,01^{d}
	PVA	0,75 ± 0,00^{e}	0,71 ± 0,0^{d}	0,81 ± 0,01^{e}
	BA	0,81 ± 0,01^{c}	1,14 ± 0,02^{b}	1,11 ± 0,03^{b}
	BM	0,90 ± 0,01^{b}	1,14 ± 0,02^{b}	1,08 ± 0,02^{c}
	BS	1,01 ± 0,01^{a}	1,22 ± 0,02^{a}	1,22 ± 0,01^{a}
100	Kontrol	0,84 ± 0,01^{c}	0,87 ± 0,01^{d}	0,83 ± 0,0^{d}
	PVA	0,81 ± 0,01^{d}	0,79 ± 0,01^{e}	0,8 ± 0,03^{d}
	BA	0,85 ± 0,0^{b}	1,03 ± 0,04^{c}	1,12 ± 0,02^{b}
	BM	0,84 ± 0,01^{c}	1,14 ± 0,02^{b}	1,08 ± 0,02^{c}
	BS	0,91 ± 0,01^{a}	1,24 ± 0,02^{a}	1,17 ± 0,01^{a}

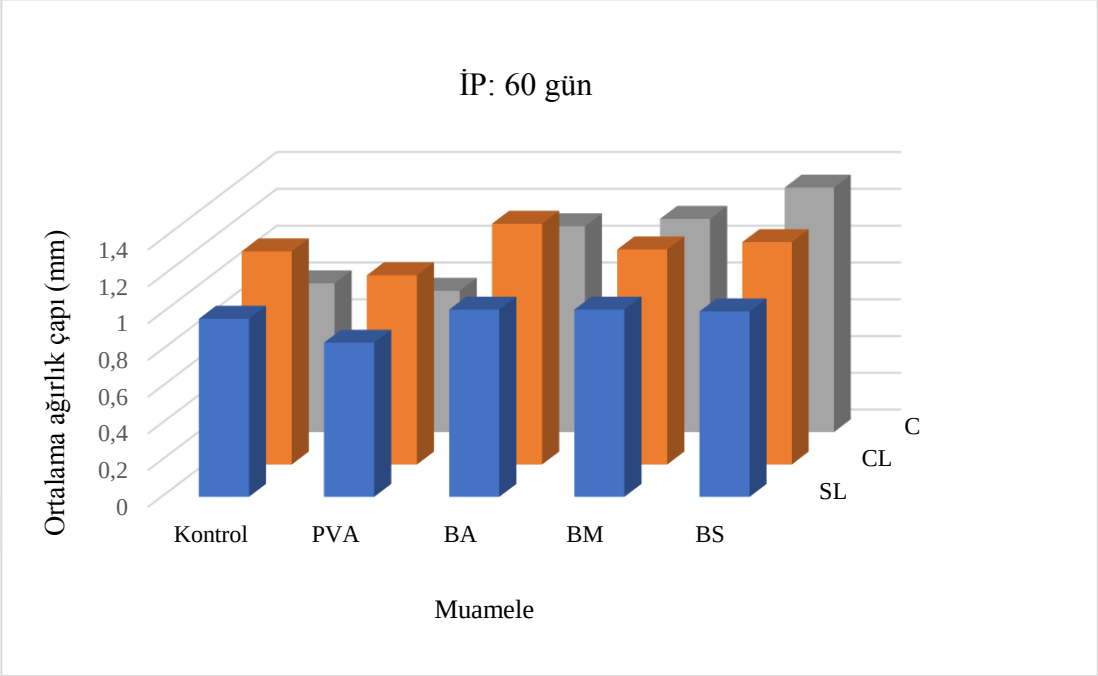
Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Kumlu tın tekstürlü toprağın 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait OAÇ değerleri 0,79 - 0,97 mm arasında değişmiş olup, bu değerler sırasıyla 80 ve 60 günlük periyotlarda tespit edilmiştir. Her inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait OAÇ değeri PVA uygulanan toprakların OAÇ değerinden yüksek, bakteri aşılanan toprakların OAÇ değerlerinden ise düşük bulunmuştur. Her iki durumda da ortalamalar arasındaki farklılığın yapılan çoklu karşılaştırma testine göre önemli ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. PVA uygulamasında belirlenen OAÇ değeri, 5 inkübasyon periyodunda da kontrol

toprakları ve bakteri aşılanan örneklerin OAÇ değerlerine göre daha düşük olduğu, ortalamalar arasında yapılan çoklu karşılaştırma testine göre bu farklılığında %5 seviyesinde önemli olduğu kaydedilmiştir. Araştırmada kullanılan BA, BM ve BS bakterilerinin aşılandığı örneklerin OAÇ değerleri kontrol ve PVA uygulanan toprakların OAÇ değerlerinden yüksek bulunmuştur. İlgili periyotlarda genel olarak BS bakterisinin aşılandığı toprağın OAÇ değeri, BA ve BM bakterilerinin aşılandığı toprakların OAÇ değerlerinden, 40 ve 60 günlük periyotlar hariç, daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.16).

Killi tın tekstürlü toprağın 5 farklı inkübasyon periyodunda kontrol toprağına ait OAÇ değerleri PVA uygulanan toprakların OAÇ değerlerinden yüksek, bakteri aşılanan toprakların OAÇ değerlerinden düşük bulunmuştur. inkübasyon periyotlarında killi tın tekstürlü kontrol toprağının OAÇ değerlerinin, diğer muamelelerden sağlanan OAÇ değerlerinden önemli seviyede ($p<0,05$) farklı olduğu kaydedilmiştir. Her bir inkübasyon periyodunda PVA uygulamalı örneğin OAÇ değeri diğer örneklerin OAÇ değerlerinden düşük olup, kumlu tın tekstürlü topraktaki duruma benzer bir durum ortaya koymuştur. Bakteri aşılanan toprak örneklerinin OAÇ değerleri, kontrol ve PVA uygulanan toprakların OAÇ değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. BS bakterisinin aşılandığı toprağın OAÇ değeri 60 günlük periyot hariç, diğer bakteri aşılamalarının yapıldığı örneklerin OAÇ değerinden yüksek bulunmuştur. BA bakterisinin aşılandığı toprak örneğinin OAÇ değerleri, 60 günlük periyot hariç, diğer iki bakteri aşılamasının yapıldığı toprağın OAÇ değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.16).

İnce bünyeli toprakta kontrol ve PVA toprakları ile bakteri aşılanan toprak örneklerinin inkübasyon periyodu sonunda belirlenen OAÇ değerleri, kumlu tın ve killi tın tekstürlü topraklardakine benzer bir eğilim ortaya koymuştur. PVA uygulamalı örneklerin OAÇ değerleri kumlu tın tekstürlü toprağa göre, 80 günlük periyot hariç, daha düşük değerlere sahip olmuştur. Bakteri aşılamasında ise genel olarak tersi bir durum kaydedilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. 60 günlük inkübasyon sonunda farklı muamelelere bağlı olarak OAÇ değerlerinde meydana gelen değişim.

Toprak mikroorganizmaları, toprak karbon döngüsünde ve mineralizasyonunda önemli bir rol oynayarak toprak verimliliği üzerinde önemli bir etki meydana getirir (Trivedi *et al.* 2013; Tardy *et al.* 2015). Tekstür ve organik karbon agregat stabilitesi üzerinde en önemli etkenlerdir (Abiven *et al.* 2009). Toprak organik karbonu ile ortalama ağırlık çap değeri arasında pozitif bir ilişki vardır (Erktan *et al.* 2015; Tuo *et al.* 2017). Organik karbonun mineralizasyonuna bağlı olarak toprak agregat stabilitesi yükselir. Ortalama ağırlık çap agregat stabilitesinin önemli bir göstergesidir (Seybold 2001; Xu *et al.* 2006; Liu *et al.* 2014) ve OAÇ makroagregatların oransal dağılımı ile paralellik gösterir (Kihara *et al.* 2011). Sarı ve Öztaş (2017), topraklara PVA ilavesinin küçük fraksiyonların agregat stabilitesi değerini artırmasına bağlı olarak OAÇ değerinin azaldığını ifade etmektedir.

Mevcut çalışmalarda elde edilen verilere paralel olarak, bu çalışmada da, farklı tekstürel özellik gösteren topraklara aşılanan bakterilerin agregat stabilitesini artırdığı ve buna bağlı olarak da OAÇ değerlerinin yükseldiği, PVA ilavelerinde ise küçük fraksiyonların agregat stabilitesinin yükselmesine bağlı olarak OAÇ değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

4.7. Özgüsel Geçirgenlik

Araştırma topraklarının özgüsel geçirgenlik değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.17'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Toprakların ÖG değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	9,607	36513,823**
Muamele	4	189,418	719916,611**
İnkübasyon periyodu	4	0,009	34,892**
T × M	8	3,193	12135,423**
T × İP	8	0,00013	0,655
M × İP	16	0,001	4,774**
T × M × İP	32	0,00013	0,455
Hata	150	0,00022	

**: (p<0,01)

Çizelge 4.18'e göre, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele, inkübasyon periyodu ve toprak × muamele ve muamele × inkübasyon periyodu interaksiyonu %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.18. Toprakların ortalama özgüsel geçirgenlik değerleri

Varyasyon kaynakları		Özgüsel geçirgenlik, (μm^2)
Toprak	SL	1,65 ± 2,17A
	CL	1,32 ± 1,98B
	C	0,94 ± 1,38C
Muamele	Kontrol	0,63 ± 0,23B
	PVA	4,96 ± 0,96A
	BA	0,31 ± 0,10D
	BM	0,32 ± 0,11C
	BS	0,29 ± 0,11E
İnkübasyon periyodu, gün	20	1,29 ± 1,91D
	40	1,29 ± 1,91D
	60	1,30 ± 1,90C
	80	1,31 ± 1,90B
	100	1,32 ± 1,90A

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge'den görüleceği gibi, yapılan çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlara göre; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların ortalama ÖG değerleri istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Muamele grubundan kontrol toprakları ve bütün uygulama topraklarının ortalama ÖG değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p<0,05$). İnkübasyon periyoduna bağlı olarak yapılan çoklu karşılaştırma testinde, araştırma konusu topraklarda, 20 ve 40 günlük periyotlarda ortalama ÖG değerleri istatistiksel olarak farksız, 60, 80 ve 100 günlük periyotlarda ortalama ÖG değerleri ise farklıdır ($p<0,05$) (Çizelge 4.18).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 20, 40, 60, 80 ve 100 günlük inkübasyonları sonrasında ÖG değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Toprakların özgüsel geçirgenlik değerleri

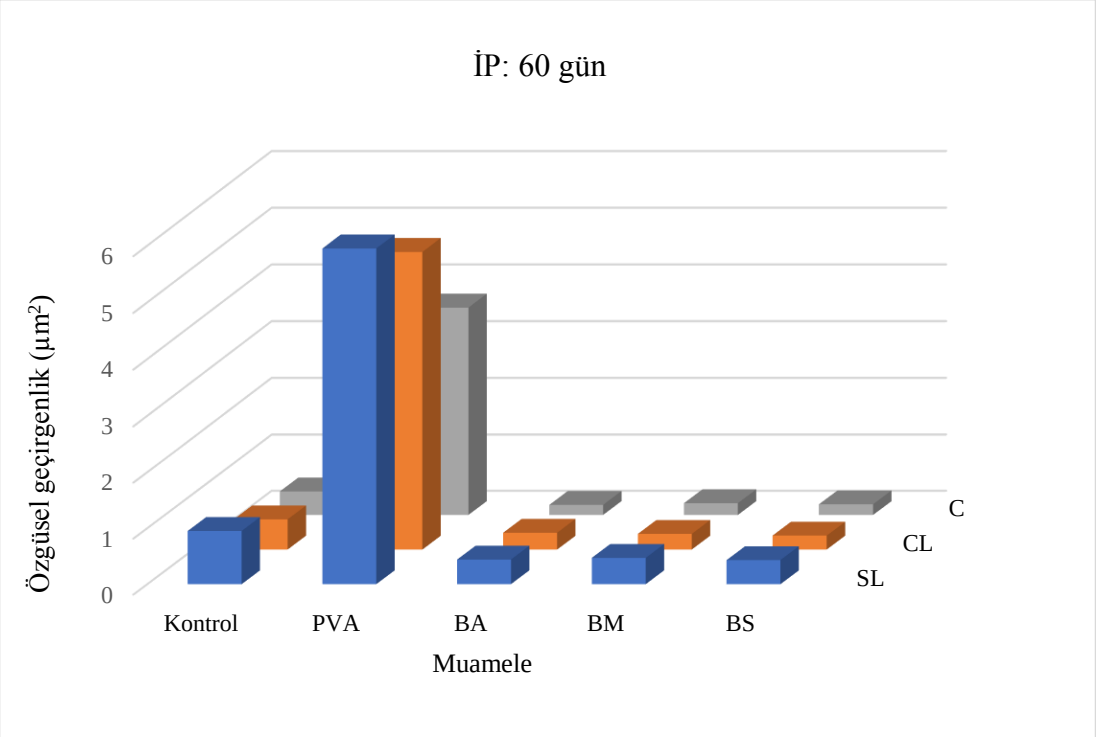
İnkübasyon periyodu (gün)	Muamele	Özgüsel geçirgenlik (μm^2)		
		SL	CL	C
20	Kontrol	$0,94 \pm 0,01^{b}$	$0,53 \pm 0,01^{b}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$
	PVA	$5,96 \pm 0,01^{a}$	$5,28 \pm 0,04^{a}$	$3,67 \pm 0,02^{a}$
	BA	$0,43 \pm 0,03^{cd}$	$0,27 \pm 0,01^{c}$	$0,15 \pm 0,01^{d}$
	BM	$0,45 \pm 0,03^{c}$	$0,26 \pm 0,01^{c}$	$0,19 \pm 0,01^{c}$
	BS	$0,41 \pm 0,06^{d}$	$0,22 \pm 0,01^{d}$	$0,17 \pm 0,01^{d}$
40	Kontrol	$0,95 \pm 0,06^{b}$	$0,54 \pm 0,00^{b}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$
	PVA	$5,94 \pm 0,03^{a}$	$5,26 \pm 0,02^{a}$	$3,67 \pm 0,02^{a}$
	BA	$0,42 \pm 0,02^{d}$	$0,28 \pm 0,01^{c}$	$0,17 \pm 0,01^{d}$
	BM	$0,47 \pm 0,03^{c}$	$0,27 \pm 0,01^{c}$	$0,21 \pm 0,01^{c}$
	BS	$0,43 \pm 0,01^{d}$	$0,23 \pm 0,01^{d}$	$0,16 \pm 0,01^{d}$
60	Kontrol	$0,95 \pm 0,02^{b}$	$0,54 \pm 0,01^{b}$	$0,42 \pm 0,01^{b}$
	PVA	$5,95 \pm 0,06^{a}$	$5,27 \pm 0,01^{a}$	$3,67 \pm 0,01^{a}$
	BA	$0,44 \pm 0,01^{c}$	$0,30 \pm 0,01^{c}$	$0,18 \pm 0,01^{d}$
	BM	$0,47 \pm 0,01^{c}$	$0,28 \pm 0,02^{d}$	$0,21 \pm 0,02^{c}$
	BS	$0,43 \pm 0,01^{c}$	$0,25 \pm 0,01^{e}$	$0,19 \pm 0,01^{d}$
80	Kontrol	$0,95 \pm 0,01^{b}$	$0,54 \pm 0,01^{b}$	$0,42 \pm 0,01^{b}$
	PVA	$5,96 \pm 0,06^{a}$	$5,28 \pm 0,01^{a}$	$3,69 \pm 0,01^{a}$
	BA	$0,46 \pm 0,01^{c}$	$0,30 \pm 0,01^{c}$	$0,20 \pm 0,01^{d}$
	BM	$0,48 \pm 0,01^{c}$	$0,29 \pm 0,01^{c}$	$0,24 \pm 0,01^{c}$
	BS	$0,46 \pm 0,01^{c}$	$0,26 \pm 0,01^{d}$	$0,21 \pm 0,01^{d}$

Çizelge 4.19. (devam)

100	Kontrol	$0,95 \pm 0,01^{b}$	$0,54 \pm 0,01^{b}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$
	PVA	$5,96 \pm 0,02^{a}$	$5,25 \pm 0,02^{a}$	$3,69 \pm 0,02^{a}$
	BA	$0,47 \pm 0,02^{d}$	$0,31 \pm 0,02^{c}$	$0,22 \pm 0,01^{d}$
	BM	$0,50 \pm 0,01^{c}$	$0,32 \pm 0,02^{c}$	$0,25 \pm 0,01^{c}$
	BS	$0,47 \pm 0,01^{d}$	$0,27 \pm 0,01^{d}$	$0,22 \pm 0,01^{d}$

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü toprakların inkübasyon periyotları sonunda belirlenen hidrolik iletkenlik değerlerinden özgüsel geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır. Kontrol grubu toprakların ÖG değeri, PVA uygulaması yapılan örneklerin ÖG değerlerinden düşük, bakteri aşılaması yapılan örneklerin ÖG değerlerinden yüksek bulunmuştur. Kontrol örnekleri dahil, PVA uygulaması ve bakteri aşılaması yapılan toprakların ÖG değerleri kumlu tın tekstürlü toprakta en yüksek olup, bunu killi tın ve kil tekstürlü topraklar izlemiştir (Çizelge 4.19; Şekil 4.8).



Şekil 4.8. 60 günlük inkübasyon periyodu sonunda farklı muamelelere bağlı olarak toprakların özgüsel geçirgenlik değerleri

Toprak strüktürü ve toprağın tekstürel özellikleri toprak su geçirgenliğini, kullanışlı su kapasitesini ve depolanma kapasitesini etkiler (Pachepsky and Rawls 2003). İnce bünyeli topraklar diğer topraklara nazaran daha düşük su geçirgenliğine sahiptir (Chaudhari 2001).

Yapılan farklı araştırmalarda agregat stabilitesinin artması ile geçirgenliğin, inflitrasyonun ve havalanmanın arttığı, toprağın gevşeme ve dağılmaya karşı direncinin yükseldiği ortaya konulmuştur (Oades 1976; Barry *et al.* 1991). Agregasyon ve gözenekler arasındaki bağlantı toprak geçirgenliğini artırır (Franzluebbers 2002; Nissen and Wander 2003).

Yapay toprak düzenleyici olarak toprağa PVA ilavesinin agregat stabilitesi değerini yükselttiği ve buna bağlı olarak su geçirgenliği değerinin de arttığı tespit edilmiştir (Han *et al.* 2009). Levy *et al.* (1992), topraklara ilave edilen polimerlerin infiltrasyon oranını ve agregat stabilitesi değerlerini artırdığını tespit etmişlerdir.

Toprak gözeneklerindeki biyolojik tıkanma toprakların hidrolik iletkenlik değerlerini düşürür (Ragusa *et al.* 1994). Mikrobiyolojik canlıların toprak mikro gözeneklerde birikimi ve mikrobiyal metabolik ürünler olarak bilinen hücre dışı polimerik maddelerin toprak gözeneklerini tıkaması toprak geçirgenliğini azaltır (Baveye *et al.* 1998; Ghatak *et al.* 2018) Birçok çalışmada mikrobiyal biyokütlenin artması ile toprak hidrolik iletkenliğinin azaldığı ifade edilmektedir (Magesan *et al.* 1995; Seki *et al.* 1996).

Çeşitli kimyasal ve mekanik bazı uygulamalarla toprak gözeneklerinde meydana gelen tıkanıklık aşılarak hidrolik iletkenlik geliştirilebilmektedir. Örneğin Shaw *et al.* (1985), %5 oranında sodyum hipoklorit ilavesinin toprakta bakterileri öldürdüğünü ve exopolisakkarit biyofilm tabakanın çözülerek hidrolik iletkenlik değerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı tekstürel özellik gösteren topraklara ilave edilen PVA'nın ve bakterileri aşılamalarının toprak özgüsel geçirgenliği üzerinde oluşturduğu etki

değerlendirilmiş daha önce yapılan çalışmalara paralel olarak PVA'nın toprak özgüsel geçirgenliğini yükselttiği, bakteri aşılamasının ise düşürdüğü kaydedilmiştir.

4.8. Bitki Biyokütle Parametreleri

Araştırma konusu topraklarda yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) bitkisine ait biyolojik parametrelerin (bitki boy uzunluğu, gövde çapı, kök-gövde yaş ağırlık, kök-gövde kuru ağırlık) varyans analiz sonuçları Çizelge 4.20'de, varyasyon kaynakları ortalama değerleri ise Çizelge 4.21'de verilmiştir. Çizelge 4.21'e göre muamele grubunda bitki bitki boy uzunluğu %1 düzeyinde, bitki gövde çapı varyasyon kaynaklarından toprak ve muamele gruplarında %1 düzeyinde, bitki yaş ağırlığı varyasyon kaynaklarından toprakta %5, muamelede %1 düzeyinde, bitki kuru ağırlığı ise varyasyon kaynaklarından; toprak ve muamelede %1, toprak × muamele interaksiyonunda ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Varyasyon kaynaklarından; toprak ve muamelelere ait bitkilerin ortalama; boy, çap, yaş ağırlık ve kuru ağırlık değerleri arasında yapılan çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir. Bitki boy uzunluğu değerleri üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklarda yetişen mısır bitkisinin ortalama boy uzunluğu değerleri istatistiksel olarak birbirlerinden farksızdır. Muamele grubundan; kontrol toprağı ile PVA uygulanan ve BA aşılanan topraklarda yetiştirilen bitkilerde boy uzunlukları istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer uygulamalarda farksız bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Bitki kök boğazı çap değerleri üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklarda yetişen mısır bitkisinin ortalama çapları istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Muamele grubundan; kontrol toprağı ile PVA uygulanan ve BS aşılanan topraklarda yetiştirilen bitkilerde gövde çapı, istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer uygulamalarda farksız bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Bitki yaş ağırlığına ait ortalama değerler üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklarda yetişen mısır bitkisinin ortalama yaş ağırlık değerleri istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Muamele grubundan; kontrol toprağı ile PVA uygulanan ve BS aşılanan topraklarda yetiştirilen bitkilerde yaş ağırlık, istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer uygulamalarda farksız bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.20. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait bazı parametrelerin varyans analiz tablosu

		Bitki uzunluğu		Gövde çapı		Yaş ağırlık		Kuru ağırlık	
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Toprak (T)	2	48,267	2,799	0,500	8,128**	8,979	5,028*	0,091	6,236**
Muamele (M)	4	229,389	13,302**	0,642	10,422**	22,908	12,828**	0,183	12,593**
T × M	8	31,072	1,802	0,094	1,532	1,806	1,011	0,035	2,427*
Hata	30	17,244		0,062		1,786		0,015	

**: P<0,01; *: P<0,05; ns: önemli değil

Çizelge 4.21. Farklı toprak ve uygulamaların mısır bitkisine ait bazı parametreler üzerine etkisi

Varyasyon kaynağı		Ortalama boy uzunluğu (cm)	Ortalama gövde çapı (mm)	Ortalama yaş ağırlık (g)	Ortalama kuru ağırlık (g)
Toprak	SL	61,8 ± 7,40A	2,90 ± 0,33AB	7,04 ± 1,69AB	0,51 ± 0,16AB
	CL	58,3 ± 6,26A	2,74 ± 0,36B	6,19 ± 1,64B	0,43 ± 0,09B
	C	60,9 ± 5,11A	3,10 ±0,34A	7,73 ± 2,41A	0,59 ± 0,25A
Muamele	Kontrol	52,7 ± 3,46C	2,50 ± 0,31C	5,14 ± 1,08C	0,34 ± 0,05C
	PVA	58,3 ± 5,40B	2,82 ± 0,34B	6,04 ± 1,39BC	0,43 ± 0,07BC
	BA	61,3 ± 3,64AB	3,02 ± 0,30AB	7,38 ± 1,10B	0,54 ± 0,11B
	BM	65,2 ± 6,15A	3,04 ± 0,19AB	7,00 ± 1,20B	0,52 ± 0,12B
	BS	64,1 ± 3,91A	3,20 ± 0,32A	9,38 ± 2,21A	0,72 ± 0,27A

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Çizelge 4.22. Mısır bitkisi uzunluğu, gövde çapı, kök-gövde yaş ağırlık ve kök-gövde kuru ağırlık değerleri

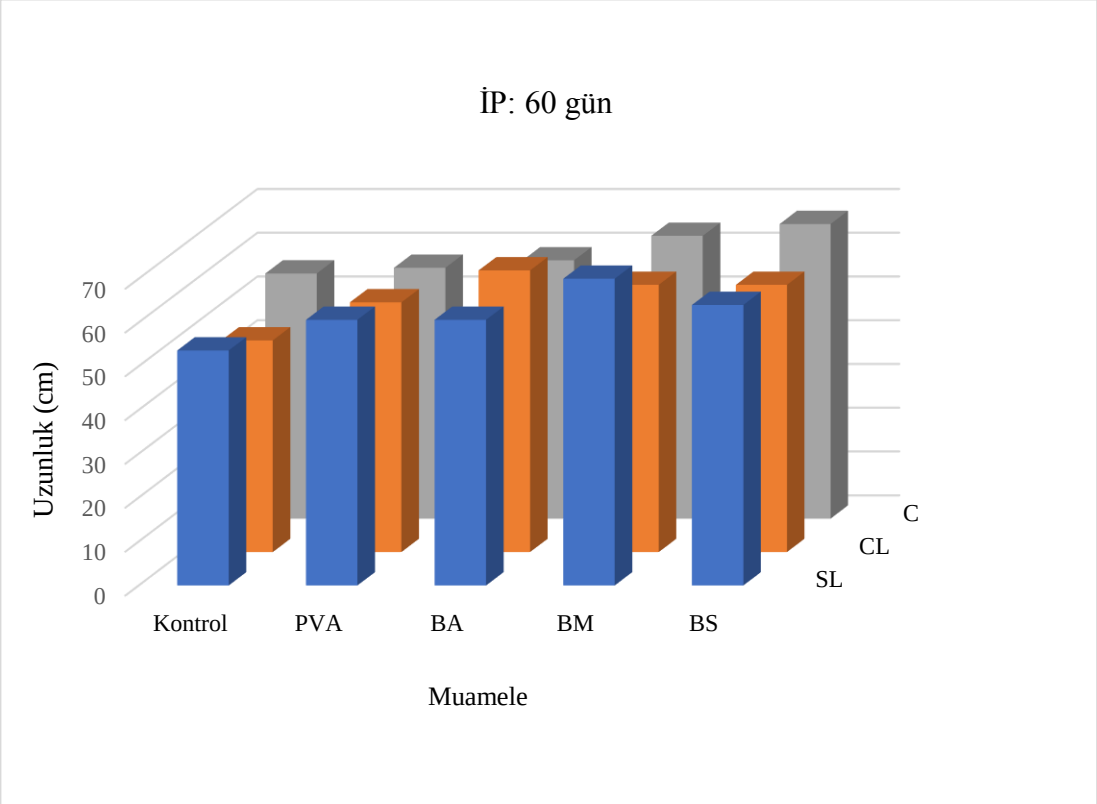
Muamele	Toprak bünyesi											
	SL				CL				C			
	Boy (cm)	Çap (mm)	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)	Boy (cm)	Çap (mm)	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)	Boy (cm)	Çap (mm)	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)
Kontrol	53,6 ± 0,57^{b}	2,33 ± 0,3^{b}	5,13 ± 0,65^{b}	0,29 ± 0,01^{c}	48,3 ± 0,57^{c}	2,31 ± 0,02^{b}	4,25 ± 1,38^{c}	0,35 ± 0,07^{b}	56,0 ± 1,0^{b}	2,86 ± 0,05^{a}	6,05 ± 0,05^{b}	0,39 ± 0,01^{b}
PVA	60,6 ± 9,07^{ab}	3,0 ± 0,2^{a}	6,82 ± 2,16^{ab}	0,45 ± 0,12^{bc}	57,0 ± 4,58^{b}	2,43 ± 0,28^{b}	5,0 ± 0,71^{bc}	0,39 ± 0,06^{ab}	57,3 ± 1,15^{b}	3,04 ± 0,05^{a}	6,30 ± 0,05^{b}	0,45 ± 0,02^{b}
BA	60,6 ± 1,52^{ab}	3,03 ± 0,11^{a}	7,01 ± 1,12^{ab}	0,55 ± 0,18^{ab}	64,3 ± 3,51^{a}	2,90 ± 0,10^{a}	7,51 ± 1,12^{a}	0,52 ± 0,10^{a}	59,0 ± 4,0^{b}	3,13 ± 0,55^{a}	7,61 ± 1,43^{b}	0,56 ± 0,05^{b}
BM	70,0 ± 9,0^{a}	3,16 ± 0,05^{a}	7,33 ± 1,63^{ab}	0,59 ± 0,08^{ab}	61,0 ± 3,0^{ab}	2,90 ± 0,26^{a}	6,33 ± 0,88^{ab}	0,41 ± 0,06^{ab}	64,6 ± 0,57^{a}	3,06 ± 0,15^{a}	7,33 ± 1,15^{b}	0,54 ± 0,16^{b}
BS	64,0 ± 2,64^{ab}	3,0 ± 0,10^{a}	8,19 ± 0,35^{a}	0,69 ± 0,05^{a}	61,0 ± 2,0^{ab}	3,16 ± 0,15^{a}	7,85 ± 0,20^{a}	0,49 ± 0,09^{ab}	67,3 ± 4,50^{a}	3,43 ± 0,49^{a}	11,38 ± 3,11^{a}	0,99 ± 0,30^{a}

Ayrı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (P<0,05)

Bitki kuru ağırlığına ait ortalama değerler üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda; kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklarda yetişen mısır bitkisinin ortalama kuru ağırlık değerleri istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$) bulunmuştur. Muamele grubundan; kontrol toprağı ile PVA uygulanan ve BS aşılanan topraklarda yetiştirilen bitkilerde kuru ağırlık, istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer uygulamalarda farksız bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine uygulanan muameleler ile araştırma konusu topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunluğu, gövde çapı, kök-gövde yaş ağırlık ve kök-gövde kuru ağırlık değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük boy uzunluğu değeri (53,6 cm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri muameleleri içerisinde en yüksek değer (70,0 cm) BM, en düşük boy uzunluğu değeri (60,6 cm) ise BA aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.9; 4.10). Kontrol toprağında ve BM aşılanan toprakta bitki boy uzunlukları istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler farksızdır. Bitki boy uzunluğu değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %13, %13, %31 ve %19 oranında daha yüksek bulunmuştur.

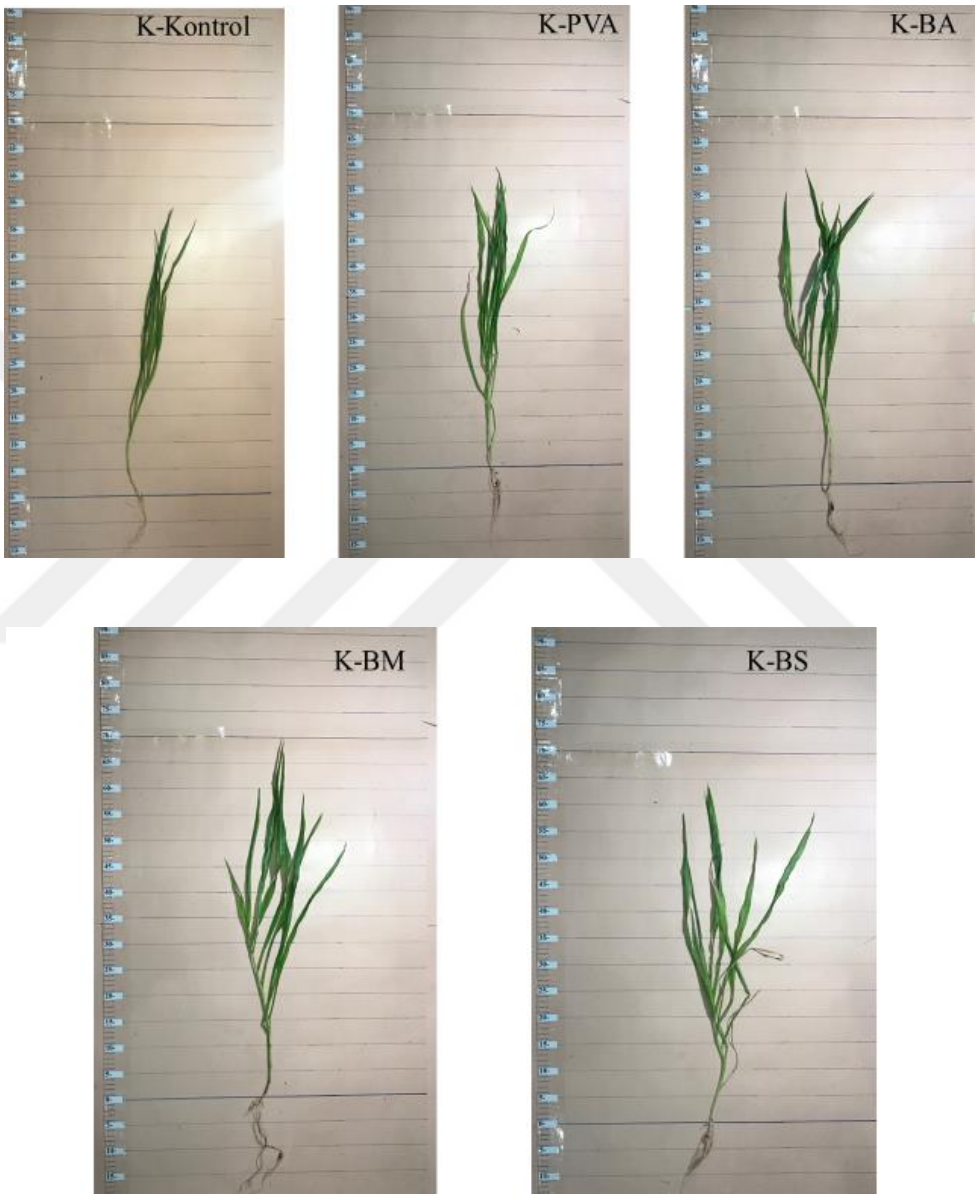


Şekil 4.9. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait boy uzunluğu değerleri

Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük boy uzunluğu değeri (48,3 cm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (64,3 cm) BA, en düşük boy uzunluğu değeri (61,0 cm) ise BM ve BS aşılanan topraklarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.9; 4.11). Kontrol ve PVA uygulanan topraklar ile BA aşılanan toprakta bitki boy uzunlukları istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler farksızdır. Bitki boy uzunluğu değerleri kontrol grubuna göre PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %18, %33, %26 ve %26 oranında daha yüksek çıkmıştır.

Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük boy uzunluğu değeri (56,0 cm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (67,3 cm) BS, en düşük boy uzunluğu değeri (59,0 cm) ise BA aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.9; 4.12). Kontrol ve PVA uygulanan topraklar ile BA aşılanan toprakta bitki boy uzunlukları istatistiksel olarak kendi içinde farksız, BM

ve BS aşılanan topraklardan farklıdır ($p<0,05$). Bitki boy uzunluğu değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %2, %5, %15 ve %20 oranında daha yüksek bulunmuştur.



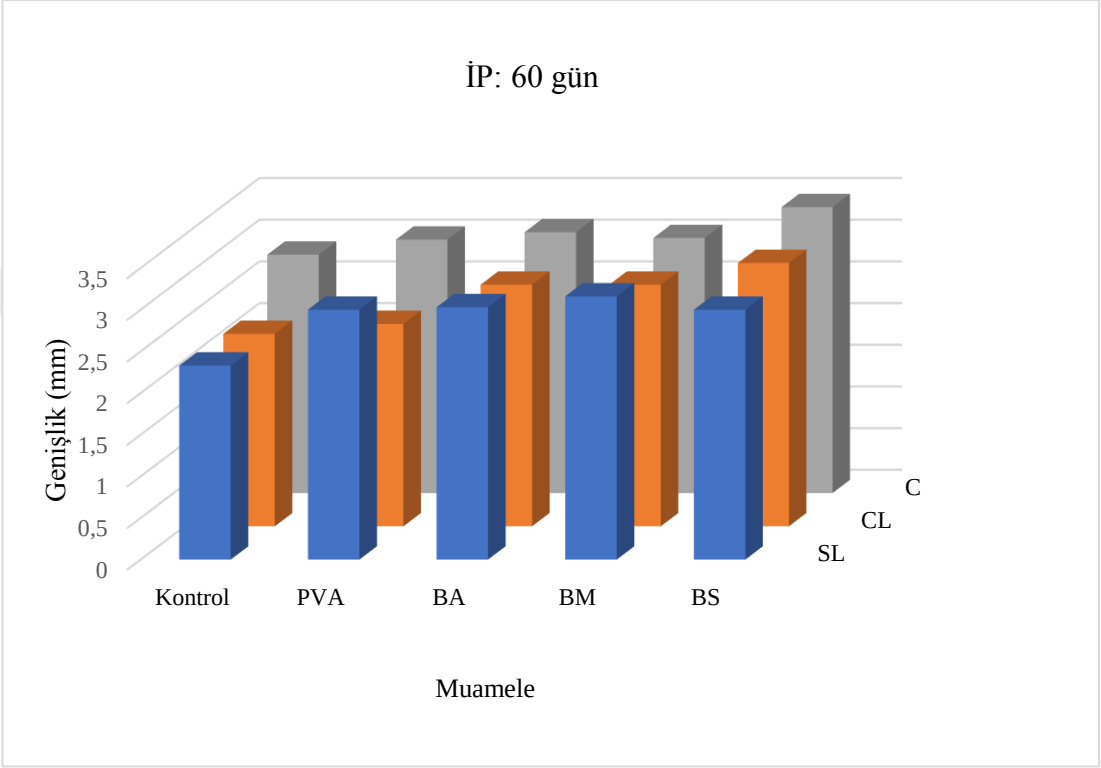
Şekil 4.10. Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları

Şekil 4.11. Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları

Şekil 4.12. Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait boy uzunlukları

Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük gövde çapı değeri (2,33 mm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (3,16 mm) BM, en düşük gövde çapı değeri (3,0 mm) ise BS aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.13). Kontrol toprağında bitki gövde çapı diğer muamelelerden istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), muameleler ise kendi içinde farksızdır.

Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla %29, %30, %36 ve %29 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

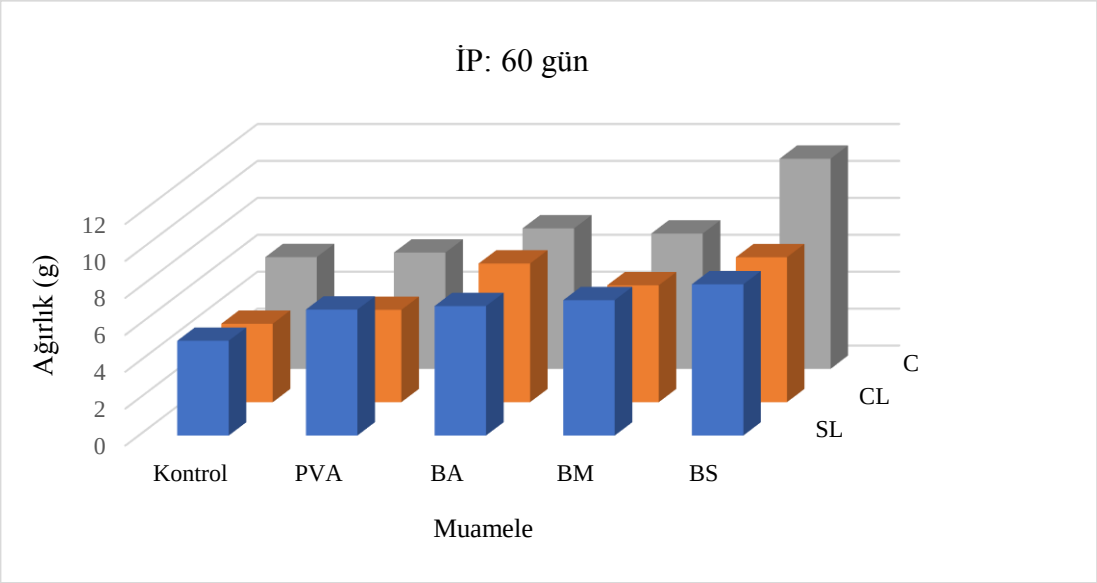


Şekil 4.13. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait gövde çapı değerleri

Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük gövde çapı değeri (2,31 mm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (3,16 mm) BS, en düşük gövde çapı değeri (2,90 mm) ise BA ve BM aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.13). Kontrol toprağı ve PVA ilave edilen toprakta, bitki gövde çapı istatistiksel olarak farksız, bakteri aşılanan muamelelerden farklıdır ($p<0,05$). Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla %5, %26, %26 ve %37 oranında daha yüksek bulunmuştur.

Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük gövde çapı değeri (2,86 mm) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (3,43 mm) BS, en düşük gövde çapı değeri (3,06 mm) ise BM aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.13). Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %6, %9, %7 ve %20 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur. Ancak ortalama gövde çapı değerleri bakımından muameleler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunamamıştır.

Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük yaş ağırlık değeri (5,13 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (8,19 g) BS, en düşük yaş ağırlık değeri (7,01 g) ise BA aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.14). Kontrol toprağı ve BS aşılanan toprakta yetişen bitkilerin yaş ağırlığı istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler kendi içinde farksızdır. Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %33, %37, %43 ve %60 oranında daha yüksek bulunmuştur.



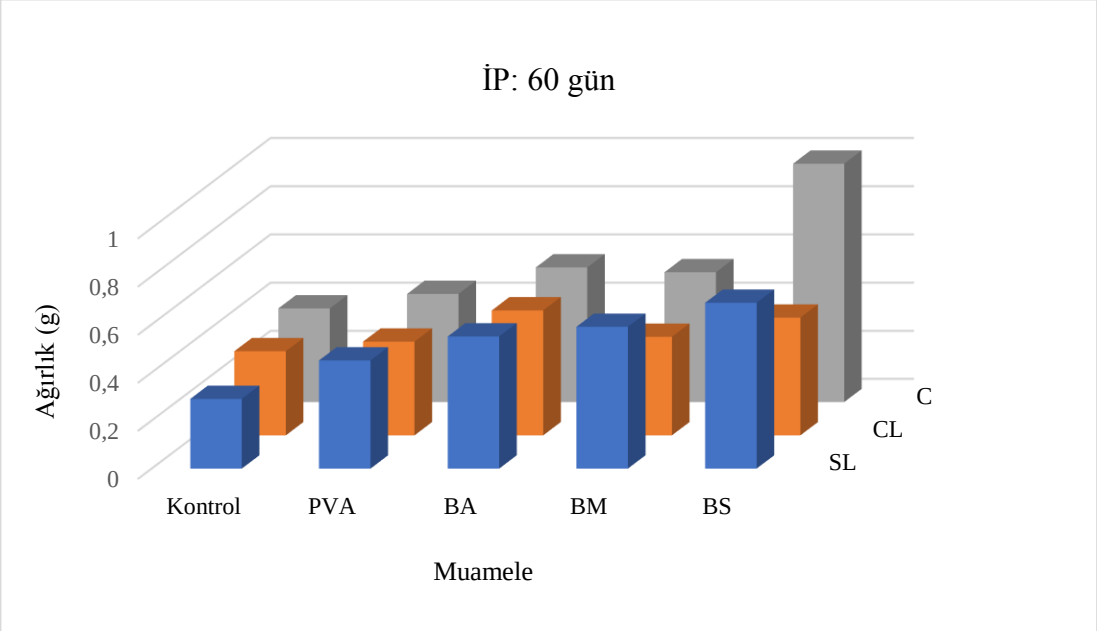
Şekil 4.14. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait yaş ağırlık değerleri

Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük yaş ağırlık değeri (4,25 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer

(7,85 g) BS, en düşük yaş ağırlık değeri (6,33 g) ise BM aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.14). Kontrol ve PVA uygulanan topraklar ile BM aşılanan toprakta yetişen bitkilerin yaş ağırlığı istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler farksızdır. Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %18, %77, %49 ve %85 oranında daha yüksek bulunmuştur.

Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük yaş ağırlık değeri (6,05 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (11,38 g) BS, en düşük yaş ağırlık değeri (7,33 g) ise BM aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.14). BS aşılanan toprakta bitki yaş ağırlığı değeri diğer muamelelerden istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Bitki gövde çapı değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla %4, %26, %21 ve %88 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kumlu tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük kuru ağırlık değeri (0,29 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (0,69 g) BS, en düşük kuru ağırlık değeri (0,55 g) ise BA aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.15). Kontrol ve PVA uygulanan topraklar ile BS aşılanan toprakta yetişen bitkilerin kuru ağırlığı istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler farksızdır. Bitki gövde çapı değerlerinin kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %55, %90, %103 ve %138 oranında arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.15. 60 günlük yetişme periyodu sonunda mısır bitkisine ait kuru ağırlık değerleri

Killi tın tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük kuru ağırlık değeri (0,35 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (0,52 g) BA, en düşük kuru ağırlık değeri ise BM (0,41 g) aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.15). Kontrol toprağı ve BA aşılanan toprakta yetişen bitkilerin kuru ağırlığı istatistiksel olarak farklı ($p<0,05$), diğer muameleler kendi içinde farksızdır. Bitki kuru ağırlık değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %11, %49, %17 ve %40 oranında artış göstermiştir.

Kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük kuru ağırlık değeri (0,39 g) kontrol toprağında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları içerisinde en yüksek değer (0,99 g) BS, en düşük kuru ağırlık değeri (0,54 g) ise BM aşılanan toprakta tespit edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.15). BS aşılanan toprakta bitki kuru ağırlığı değeri diğer muamelelerden istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$). Bitki kuru ağırlık değerleri kontrol grubuna göre, PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla; %15, %44, %38 ve %154 oranında artmıştır.

Mikrobiyal besin dönüşümü, bitki gelişiminde anahtar role sahiptir (Schimel and Bennett, 2004). Bakteri aşılaması; bitki gelişimini hızlandırır (Lugtenberg *et al.* 2002) ve bitkisel hormonlar üreterek kök gelişimini teşvik eder (Bothe *et al.* 1992; Kloepper *et al.* 1980).

Mikrobiyal aktivite; bitkilerin hormonel sinyallerini etkileyerek (Verbon and Liberman 2016), patojenik mikrobiyal oluşumu engelleyerek (Mendes *et al.* 2013) ve toprak kaynaklı besinlerin bio yararlılığını artırarak bitkisel gelişimini teşvik eder (van der Heijden *et al.* 2008). Bu araştırmada elde edilen veriler, toprağa aşılanan BA, BM ve BS bakterilerinin bitki gelişimini pozitif yönde etkilediğini göstermektedir.

Bacillus megaterium bitki gelişimini hızlandırmaktadır (De Freitas *et al.* 1997). Turan *et al.* (2012), yayınladığı çalışmasında *Bacillus subtilis* OSU-142, *Bacillus megaterium* M3, *Azospirillum brasilense* Sp245 ve karışık uygulamanın verimi sırasıyla %24, %19, %19 ve %33 artırdıklarını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, yukarıdaki çalışmalara paralel olarak *Bacillus megaterium* aşılamasının bitki gelişim özelliklerini pozitif yönde etkilediği kaydedilmiştir. Virendra and Ahlawat (2004) Yeni Delhi'de yaptıkları ve 2 yıl süren çalışmalarında topraklara inoküle ettikleri *Bacillus subtilis* bakterisinin mısır bitkisi (*Zea mays* L.) gelişimini kontrol grubuna göre önemli seviyede artırdığını tespit etmiştir.

Yin *et al.* (2016), kumlu topraklara PVA ilavesinin su tutma kapasitesini artırarak *Arabidopsis thaliana* bitkisi gelişimini teşvik ettiğini ve biyokütle özelliklerini geliştirdiğini ifade etmektedir. Benzer bir çalışmada Marsh and Groenevelt (1992), toprağa PVA ilavesinin toprakta fosfor kaybını azaltarak mısır bitkisi gelişimini etkilediğini belirtmektedir.

Bacillus megaterium bitki kök gelişimini hızlandırmaktadır (Çakmakçı *et al.* 1999; De Freitas *et al.* 1997). *Bacillus megaterium* ve *Bacillus polymyxa* bakteri aşılamalarının da bitki gelişimini teşvik ettiği vurgulanmıştır (Kundu and Gaur 1980; Tiwari *et al.* 1989; Rodríguez *et al.* 1996).

Bu araştırmada bakteri aşılaması ve PVA uygulamalarının; mısır bitki boy uzunluğu, gövde çapı, yaş ve kuru ağırlıklarını artırdığı, uygulanan muamelelerin bitki gelişimini teşvik ettiği kaydedilmiştir.

4.9. Klorofil

Araştırma konusu topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.23'de ve varyasyon kaynakları ortalama değerleri Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynağı	S.D.	K.O.	F
Toprak	2	14,482	8,481**
Muamele	4	27,242	15,954**
T × M	8	0,868	0,508**
Hata	30	1,708	

**: ($p<0,01$)

Çizelge 4.23'e göre, varyasyon kaynaklarından; toprak, muamele ve toprak × muamele interaksiyonu %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.24. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değerleri

Varyasyon kaynakları		Ortalama klorofil değeri (μg cm^{-2})
Toprak	SL	22,9 ± 2,02AB
	CL	21,6 ± 2,12C
	C	23,6 ± 1,81A
Muamele	Kontrol	20,6 ± 1,12B
	PVA	21,1 ± 1,32B
	BA	23,4 ± 1,29A
	BM	24,3 ± 2,05A
	BS	24,2 ± 1,40A

Çizelge 4.24'den görüleceği gibi, yapılan çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlara göre; kumlu tın ve kil tekstürlü topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değerleri istatistiksel olarak farksız, killi tın tekstürlü toprakta yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değeri farklıdır ($p<0,05$). Muamele grubundan kontrol toprakları ve PVA uygulanan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değeri; BA, BM ve BS aşılanan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi ortalama klorofil değerlerinden istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p<0,05$).

Kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklar üzerine PVA uygulaması ve bakteri (BA, BM ve BS) aşılaması ile 60 günlük bitki yetiştirme periyodu sonrasında mısır bitkisi klorofil değerleri Çizelge 4.25'de verilmiştir.

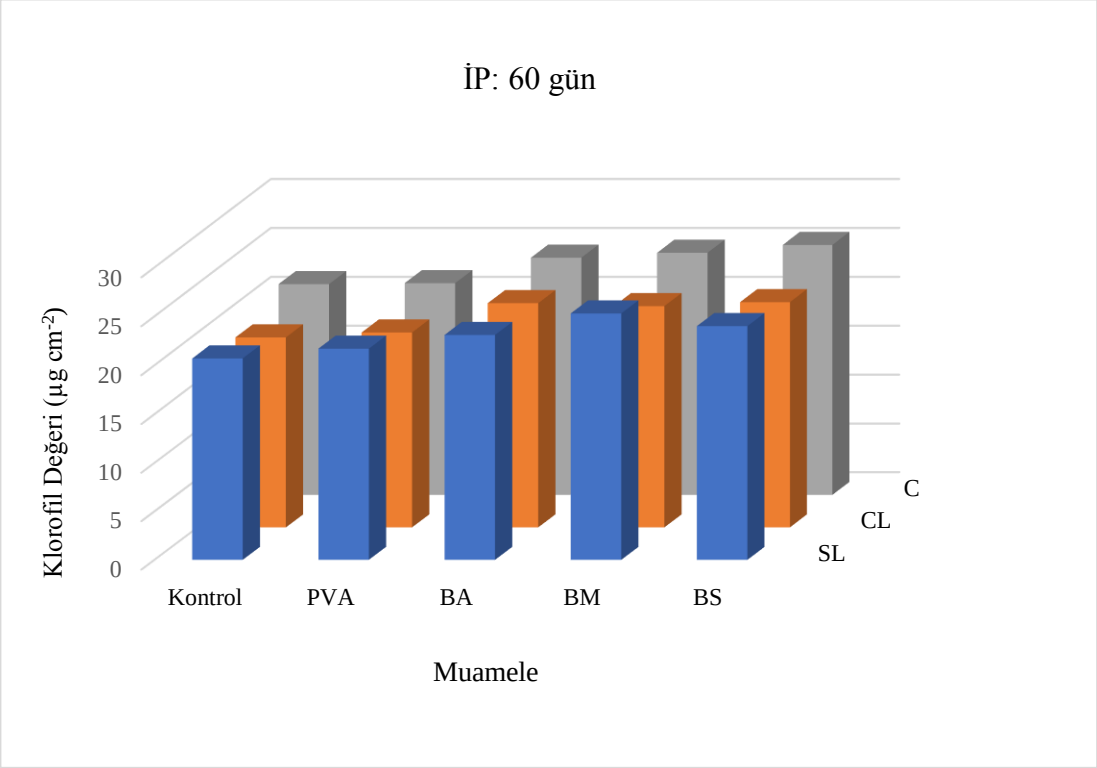
Çizelge 4.25. Topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerleri

Muamele	Klorofil konsantrasyonu (μg cm^{-2})		
	SL	CL	C
Kontrol	$20,7 \pm 0,95^{c}$	$19,5 \pm 0,65^{b}$	$21,6 \pm 0,40^{b}$
PVA	$21,7 \pm 1,83^{bc}$	$20 \pm 0,21^{ab}$	$21,7 \pm 0,89^{b}$
BA	$23,1 \pm 1,59^{abc}$	$23 \pm 1,04^{a}$	$24,3 \pm 1,25^{a}$
BM	$25,3 \pm 1,26^{a}$	$22,7 \pm 3,04^{a}$	$24,8 \pm 0,87^{a}$
BS	$24 \pm 0,94^{ab}$	$23,1 \pm 1,47^{a}$	$25,6 \pm 0,11^{a}$

Kumlu tın tekstürlü toprakta yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük klorofil değeri (20,7 μg cm^{-2}) kontrol toprağında, en yüksek değer (25,3 μg cm^{-2}) BM aşılamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük klorofil değeri (23,1 μg cm^{-2}) ise BA aşılanan toprakta yetiştirilen mısır bitkisinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.25; Şekil 4.16). BM aşılanan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Klorofil değerleri kontrol grubuna göre; PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla, %4, %10, %18 ve %13 oranında daha yüksek değerler bulunmuştur.

Killi tın tekstürlü toprakta 60 günlük bitki yetiştirme periyodu sonunda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük klorofil değeri (19,5 µg cm^{-2}) kontrol toprağında, en yüksek değer (23,1 µg cm^{-2}) ise BS aşılamasında tespit edilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük klorofil değeri (22,7 µg cm^{-2}) ise BM aşılanan toprakta yetiştirilen mısır bitkisinde kaydedilmiştir (Çizelge 4.25; Şekil 4.16). Kontrol toprağında yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerinin diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Klorofil değerleri kontrol grubuna göre; PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla, %2, %15, %14 ve %15 oranında daha yüksek bulunmuştur.

Kil tekstürlü toprakta 60 günlük bitki yetiştirme periyodu sonunda yetiştirilen mısır bitkisine ait en düşük klorofil değeri (21,6 µg cm^{-2}) kontrol toprağında, en yüksek değer (25,6 µg cm^{-2}) BS aşılamasında kaydedilmiştir. Bakteri aşılamaları arasında en düşük klorofil değeri (24,3 µg cm^{-2}) ise BA aşılanan toprakta yetiştirilen mısır bitkisinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.25; Şekil 4.16). Kontrol toprağında ve PVA ilave edilen toprakta yetiştirilen mısır bitkisi klorofil değerinin diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Klorofil değerleri kontrol grubuna göre; PVA uygulanan ve BA, BM ve BS aşılanan topraklarda sırasıyla, %0,5, %11, %13 ve %15 oranında daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.16. 60 günlük bitki yetiştirme periyodu sonunda farklı muamelelere bağlı olarak mısır bitkisi klorofil değerlerinde meydana gelen değişim

Toprakta yaşayan birçok bakteri, bitki gelişimini teşvik etmekte ve bitki klorofil içeriğinin yükselmesine dolaylı olarak katkı sağlamaktadır (Mohite 2013). Chandra and Singh (2004), toprakta mikroflora özelliklerinde ki gelişimin, *Phaseolus aureus* L. bitkisi kök uzunluğu, biyokütle özellikleri ve klorofil içeriğini artırdığını ifade etmiştir. Benzer bir çalışmada Poupin *et al.* (2013), *Burkholderia phytofirmans* bakterisinin *Arabidopsis thaliana* bitkisi yaş ağırlığı, kuru ağırlık, kök yoğunluğu ve klorofil içeriğini artırdığını belirtmiştir. Kumlu tın tekstürlü topraklar üzerinde yapılan başka bir çalışmada topraklara PVA ilavesinin bitki klorofil içeriğini artırdığı belirlenmiştir (Yin *et al.* 2016). Mohite (2013), topraktaki bakterilerin bitki gelişimini teşvik ettiğini ve bitki klorofil içeriğini yükselttiğini ifade etmektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen verilere paralel olarak, bu çalışmada da, farklı tekstürel özellik gösteren topraklara aşılanan bakterilerin ve PVA uygulamalarının mısır bitkisi klorofil miktarında ki artışı teşvik ettikleri kaydedilmiştir.

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada kumlu tın, killi tın ve kil tekstürlü topraklara polivinil alkol (PVA) ile *Bacillus arenosi*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis* bakteri aşılamalarının toprakların fiziksel özellikleri üzerinde meydana getirdiği etki değerlendirilmiştir. Araştırma konusu bakterilerin ortaya koyduğu etkinin değerlendirilmesinde bir referans materyal olarak kullanılan PVA, ilave edildiği toprakların fiziksel özelliklerini en üst seviyede geliştirirken, farklı bakteri aşılamaları da toprakların birçok fiziksel niteliğini geliştirmiştir.

Bu araştırma ile toprakların fiziksel özelliklerinden; kütle yoğunluğu, agregat stabilitesi, dispersiyon oranı, ortalama ağırlık çapı ve özgüsel geçirgenlik değerleri tayin edilmiştir. Denemede yetiştirilen mısır bitkisinin biyokütle özelliklerinden bitki boy uzunluğu, gövde çapı, yaş ve kuru ağırlık parametreleri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, PVA uygulaması ve bakteri aşılaması, toprak kütle yoğunluğu ve dispersiyon oranında azalmaya; toprak taneleri arasında meydana getirdiği bağlayıcı etkiyle agregat stabilitesinde artmaya neden olmuştur. Ortalama ağırlık çap değerleri ise PVA uygulaması ile azalırken bakteri aşılaması ile yükselmiştir. Toprakların özgüsel geçirgenlik değerlerinin PVA ilavesi ile yükseldiği fakat bakteri aşılamalarında toprak gözeneklerinde meydana gelen tıkanmalara bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. PVA uygulaması ve bakteri aşılamasının mısır bitkisinin gelişimini destekleyerek; bitki boy uzunluğu, gövde çapı, yaş ve kuru ağırlık değerlerini artırdığı kaydedilmiştir. Bu araştırmanın sonuçları genel olarak, PVA uygulamasının ve bakteri aşılamasının kaba bünyeli topraklarda daha etkili sonuçlar ortaya koyduğunu göstermiştir.

Bu araştırmanın verileri dikkate alınarak toprakların fiziksel özelliklerinin geliştirilmesinde ve bitki yetiştiriciliğinde PVA uygulamasının yanı sıra *Bacillus arenosi*, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus subtilis* bakteri aşılamalarının pozitif yönde önemli bir etki oluşturduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Abd El-Rehim, H.A., Hegazy E.S.A. and Abd El-Mohdy H.L., 2004. Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase plant performance. J. Appl. Polym. Sci., 93(3), 1360-1371.

Abdel Aal, G.Z., Atekwana E.A. and Atekwana E.A., 2010. Effect of bioclogging in porous media on complex conductivity signatures. J. Geophys. Res., 115.

Abedi-Koupai, J. and Asadkazemi J., 2006. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. Iranian Polym. J., 15(9), 715-725.

Abiven, S., Menasseri S. and Chenu C., 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - a literatüre analysis. Soil Bio. Biochem., (41), 1–12.

Abiven, S., Menasseri S., Angers D.A., and Leterme P., 2007. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. European J. Soil Sci., 58(1), 239-247.

Akoğuz, H., Çelik S. and Ozlem B., 2018. Zeminlerin biyolojik iyileştirilmesinde *viridibacillus arenosi* bakterisinin zemin ortamına olan etkisinin gözlemlenmesi. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 53-66.

Aksakal, E. and Oztas T., 2010. Polivinil alkol, hümik asit ve poliakrilamid uygulamalarının strüktürel stabilite ve toprak kayıpları üzerine etkileri. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 20-22 Mayıs, Cilt: III Sayfa: 953-962.

Aksakal, E.L., 2009. Polimer (PVA ve PAM) ve Hümik Asit (HA) Uygulamalarının Donma-Çözülme Süreçlerine Maruz Kalan Toprakların Stabilite Ölçütleri Üzerine Etkileri. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilimdalı Doktora Tezi, Erzurum.

Aksoy, N. 1968. Mikroorganizmalarla Aşılama ve Fumigasyonun, Muhtelif Rutubet Seviyelerinde İnkübasyona Tabi Tutulan, Bazı Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Topraklarının Agregatlaşmalarına Olan Etkileri. Atatürk Ü. Yay. No. 184, Ziraat Fak. Yay. No.93.

Alam, S.F.I., Harianto T. and Nur S.H., 2018. The effect of *Bacillus subtillis* bacterial addition on soil unified compression test (UCT) value with culture variation. Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, pp. (28), 2.

Altınlı, İ.E., Pamir H.N. ve Erentüz C., 1963. 1/500000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Erzurum Paftası. MTA. Ens. Yay., Ankara.

Amezketa, E., 1999. Soil aggregate stability: a review. J. Sustain. Agric., 14 (2-3), 83-151.

Anonim, 1987. Erzurum Projesi Sakalıkesik Sulaması Planlama Revize ve Ek Alan Arazi Sınıflandırma Raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, VIII. Bölge Müdürlüğü, Erzurum.

Anonim, 2019. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Erzurum Bölge Müdürlüğü Raporları.

Atalay, İ., 1978. Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi, Atatürk Üniversitesi Yayınları No:543, Edebiyat Fakültesi Yayınları No:91, Araştırma Kitapları Serisi No:81, Sevinç Matbaası, Ankara.

Badalucco, L. and Kuikman P.J., 2001. Mineralization and immobilization in the rhizosphere. In: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds). The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil–plant interface. Marcel Dekker, New York, pp 159–196.

Barabesi, C., Galizzi A., Mastromei G., Rossi M., Tamburini E. and Perito B., 2007. *Bacillus subtilis* gene cluster involved in calcium carbonate biomineralization. J. Bacteriol. 189(1), 228–235.

Baran, A., Karaca A., ve Haktanır K., 1996. Bakteri (*Rhizobium meliloti*) ve mantarın (*Aspergillus niger*) peat karıştırılan ve karıştırılmayan killi tınlı bir toprağın agregat stabilitesi üzerine etkileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2), 143–146.

Barry, P.V., Stott D.E., Turco R.F. and Bradford J.M., 1991. Orcanic polymers effect on soil shear strength and detachment by single raindrops. Soil Sci. Soc. Amer. J., 55(3), 799-804.

Baveye, P., Vandevivere P., Hoyle B.L., DeLeo P.C. and de Lozada D.S., 1998. Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials, Crit. Rev. Env. Sci. Technol., (28), 123–191.

Bedini, S., Pellegrino E., Avio L., Pellegrini S., Bazzoffi P., Argese E., Giovannetti M., 2009. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biol. Biochem., 41 (7), 1491.

Belnap, J., Prasse R. and Harper K.T., 2001. Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants. In: Belnap, J., Lange, O.L. (Eds.), Biological Soil Crusts : Structure, Function and Management. Ecological Studies, vol. 150. Springer, Berlin, pp. 281–299.

Ben-Hur, M., and Keren R., 1997. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. Soil Sci. Soc. Amer. J., 61(2), 565-570.

Bing, L.I., 2015. Geotechnical Properties Of Geotechnical Properties of Biocement Treated Sand and Clay School of Civil and Environmental Engineering. Nanyang Technological University, Doctoral thesis.

Bonkowski, M., Villenave C., Griffiths B., 2009. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. Plant Soil, (321), 213–233.

Bossuyt, H., Denef K., Six J., Frey S.D., Merckx R. and Paustian K., 2000. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. App. Soil Ecology, (16), 195–208.

Bothe, H., Ko¨rsgen H., Lehmacher T. and Hundeshagen B., 1992. Differential effects of *Azospirillum*, auxin and combined nitrogen on growth of the roots of wheat. Symbiosis, (13), 167–179.

Bronick, C.J., and Lal R., 2005. Soil structure and management: A review. Geoderma, 124(1-2), 3-22.

Çakmakci R., Kantar F. and Algur O.F., 1999. Sugar beet and barley yields in relation to *Bacillus polymyxa* and *Bacillus megaterium* var. phosphaticum inoculation. J. Plant Nutr. Soil Sci., (162), 437-442.

Canbolat, M., 1990. Iğdır yöresi topraklarında kaymak sertliği (kırılma değeri) ile ilgili araştırmalar, Erzurum.

Canbolat, M.Y. and Demiralay İ., 1995. Organik materyal ilave edilmiş toprakların agregat stabilitesi, briket hacim ağırlığı ve kırılma değeri arasındaki ilişkiler. Türkiye Toprak İlmi Derneği Toprak ve Çevre Sempozyumu. Cilt II. Yayın No: 7, ss: A-116 - A-124, Ankara.

Canbolat, M.Y., Bilen S., Cakmakci R., Sahin F. and Aydin A., 2006. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. Biol. Fertil. Soils, (42), 350–357.

Carney, K.M. and Matson P.A., 2005. Plant communities, soil microorganisms, and soil carbon cycling: does altering the world belowground matter to ecosystem functioning. Ecosystems, (8), 928–940.

Çataltaş, A.İ., 1985. Kimyasal Proses Endüstrileri 2 İTÜ., Kimya-Metalurji Fak. Yay. No. 286-289, İstanbul.

Chan, K.Y., Heenan D.P. and So H.B., 2003. Sequestration of carbonand changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. Aust. J. Exp. Agric, (43), 325–334.

Chandra R. and Singh K.K., 2004. Impact of anaerobically treated and untreated (raw) distillery effluent irrigation on soil microflora, growth, total chlorophyll and protein contents of *Phaseolus aureus* L. J. Envir. Biol., 25(4), 381-385.

Chaney, K. and Swift R.S., 1986. Studies on aggregate stability. I. Reformation of soil aggregates. J. Soil Sci., (37), 329-335.

Charman, P. and Murphy B., (2007). Soils: Their Properties and Management, third ed. Oxford University Press, Melbourne, Australia, 461 pp.

Chaudhari, S.K., 2001. Saturated hydraulic conductivity, dispersion, swelling, and exchangeable sodium percentage of different textured soils as influenced by water quality. Commun. Soil Sci. Plant Analysis, 32(15), 2439-2455.

Cheng, L. and Cord-Ruwisch R., 2014. Upscaling effects of soil improvement by microbially induced calcite precipitation by surface percolation. Geomicrobiol. J., 31(5), 396–406.

Chenu, C. and Stotzky, G., 2002. Interactions between microorganisms and soil particles: An overview. In: Huang P, Bollag J, Senesi N. (eds). Interactions Between Soil Particles and Microorganisms: Impact on the Terrestrial Ecosystem. Manchester, UK: John Wiley & Sons, 1–40.

Chenu, C., Hassink J. and Bloem J., 2001. Short-term changes in the spatial distribution of microorganisms in soil aggregates due to glucose additions. Biol. and Fertil. of Soils, (34), 5.

Cheshire, M.V., 1979. Nature and origin of carbohydrates in soil. Academic Press, London, pp 7-12.

Chizoba, E.R. and Chinyere M.J.S., 2006. Effect of humic acids on size distrubution of aggregates in soils of different clay content. EJEAFChe., 5(3), 1419-1428.

Critter, S., Freitas S. and Airoldi C., 2002. Comparison between microorganism counting and a calorimetric method applied to tropical soils. Thermochim. Acta, (394), 133–144.

De Freitas, J.R., Banerjee M.R., Germida J.J., 1997. Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). Biol. Fertil. Soils, (24), 358–364

Demiralay, 1978. Toprak Fiziği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi Ders Teksiri. Erzurum.

Demiralay, İ., 2013. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 143, Erzurum.

Denis, A.A., Caron J., 1998. Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedback. Biogeochemistry, (42), 55-72.

Dhami, N.K., Reddy S.M., and Mukherjee A., 2012. Biofilm and microbial applications in biomineralization concrete, advanced topics in biomineralization. Thapar University, Patiala India, Dr. Jong Seto (Ed.), 7.

Díaz- Zorita, M., Perfect E. and Grove J.H., 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. Soil and Til. Res., (64), 3–22.

Dick, R.P., 1994. Soil Enzyme Activities as Indicators of Soil Quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. and Stewart, B.A., Eds., Defining Soil Quality for a Sustain. Enviro. Soil Sci. Soci. of America, Madison, pp. 107 – 124.

Dick, R.P., Myrold D.D. and Kerle E.A., 1988. Microbial bio-mass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitatedskid trail soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., (52), 512–516.

Dillow, C., 2010. Bacteria can fill cracks in aging concrete. Popsci.com.

Dowdy, S. and Wearden S., 1983. Statistics for Res. John Wiley & Sons, Inc. USA.

Dufreˆne, Y.F. and Rouxhet P.G., l996. Surface composition, surface properties, and adhesiveness of *Azorpirillum brasilense* - variation during growth, Can. J. Microbiol., (42), 548.

Elliott, L.F., Lynch J.M. and Papendick R.I., 1996. The microbial component of soil quality. In Soil Biochem., vol. 9. Eds G Stotzky and JM Bollag, pp. 1–21, Marcel Dekker, New York.

Elo, S., Maunuksela L., Salkinoja-Salonen M., Smolander A. and Haahtela K., 2000. Humus bacteria of Norway spruce stands: plant growth promoting properties and birch, red fescue and alder colonizing capacity. FEMS Microbiol. Ecol., (31), 143–152.

Erktan, A., Cécillon L., Graf F., Roumet C., Legout C. and Rey F., 2015. Increase in soil aggregate stability along a Mediterranean successional gradient in severely eroded gully bed ecosystems: combined effects of soil, root traits and plant community characteristics. Plant and Soil, 398(1–2), 121–137.

Fang, M., Kremer R.J., Motavalli P.P. and Davis G., 2005. Bacterial diversity in rhizospheres of nontransgenic and transgenic corn. App. Envir. Microbiol., (71), 4132–4136.

Franzluebbers, A.J., 2002. Ecology and The Cycling of Carbon and Nitrogen. Marcel Dekker. Madison Avenue., New York. pp. 374-377.

Garbeva P., van Veen J.A., van Elsas J.D., 2004. Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. Ann. Rev. Phytopathol., (42), 243–270.

Gee, G.W. and Bauder J.W., 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd edition. Agronomy, 383-411.

Ghatak, S., Roy D. and Vinoth G., 2018. Effect of microbial activities on permeability of sand. Proceedings of geoshanghai ınternational conference: Geoenvir. and geohazard, 424-433.

Girvan, M.S., Bullimore J., Pretty J.N., Osborn A.M. and Ball A.S., 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. Appl. Envir. Microbiol., (69), 1800–1809.

Grasso, D., Smets B.F., Strevett K.A., Machinist B.D., van Oss C.J., Giese R.F. and Wu W., l996. Impact of physiological state on surface thermodynamics and adhesion of *Preudononar aeruginora*, Envir. Sci. Technol., (30), 3604.

Gür, K. 1981. Muş ve Van Yöresi topraklarında Mantar (mikrofungus) Dağılımı ve Bunlardan *Aspergillus versicolor* ile *Penicillium chrysogenum'*un Toprakların Agregat Stabilitesi ve Kırılma Değeri Üzerine Etkileri. Atatürk Ün. Z.F. Doçentlik Tezi, (Yayınlanmamış), Erzurum.

Gürgün, V. ve Halkman A.K., 1988. Mikrobiyolojide sayım yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yay. No: 7, San Matbaası, Ankara.

Hadas, A. and Portnoy R., 1994. Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. J. Envir. Quality. 23(6), 1184 – 1189.

Hallensleben, M.L., 2000. Polyvinyl Compounds, Others. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.

Hamarashid, N.H., Othman M.A. and Hussain M.H., 2010. Effects of soil texture on chemical compositions, microbial populations and carbon mineralization in soil. Egypt. J. Exp. Biol., 6(1), 59 – 64.

Hammes, F. and Verstraete W., 2002. Key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. Envir. Sci. Biotechnol., (36), 118-136.

Han, X., Chena S., Hub X., 2009. Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinylalcohol coating. Sci. Direct, Desalination, (240), 21-26.

Hassan, H.I. and El-Kamali H.H., 2015. Effect of Soil Physico-Chemical Properties and Plant Type on Bacterial Diversity in Semi-Arid Parts in Central Sudan. Part I: Omdurman North Region. Open Access Library J., 2: e1863.

Hayes C, 2010. The Basics of Beneficial Soil Microorganisms. BioWorks Technical Bulletin. Microorganisms, 7-11.

Haynes, R.J., Swift R.S. and Stephen R.C., 1991. Influence of mixed cropping rotations pasture-arable on organic matter content water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. Soil and Till. Res., (19), 77-87.

Heitner, H.I., 1994. Encyclopedia of Chemical Technology, In eds, Kroschwitz, J.I., and Howe-Grant, M., 4th edn., vol. 11. John Wiley & Sons, pp:61.

Heritage, J., Evans E. and Killington R., 2003. Microbiology in action. Cambridge University Press.

Hernandez, H., Maldonado A.J., Mendoza A.B., Ortiz H.O., Pliego G.C., Aspeytia D.S. and Morales S.G., 2018. Chitosan-pva and copper nanoparticles improve growth and over express the SOD and JA genes in tomato plants under salt stress. Agronomy, 8(9), 175.

Hillel, D., 1982. Introduction to Soil Phyics. Academic Press Limited, 14-28 oval road, London.

Ho, M.H., and Chan C.M., 2011. Some mechanical properties of cement stabilized Malaysian soft clay. World Acad. Sci. Eng. Technol., (74), 24–31.

Hoorman, J.J., 2016. Role of Soil Bacteria. Ohio State University Extension. Ohioline, https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-36.

Hoorman, J.J., Sa, J.C.M., and Reeder, R.C. 2011. The Biology of Soil Compaction (Revised & Updated), J. of No-till Agri., 9(2), 583-587.

Hua, K.K., Zhu B., Wang X.G., Guo X.S., Wang D.Z. and Guo Z.B., 2014. Effect of long-term fertilization on soil aggregate associated dissolved organic nitrogen on sloping cropland of purple soil. Plant Soil Envir., 60(2), 51.

Huat, B.K., 2006. Deformation and shear strength characteristics of some tropical peat and organic soils. Pertanika J. Sci. Technol., 14(1), 61–74.

Huysman, F. and Verstraete W., l993. Effect of cell surface characteristics on the adhesion of bacteria to soil particles, Biol. Fertil. Soils, (16), 2l.

Ingham, E.R., 2009. Soil Biology Primer, Chapter 4: Soil Fungus. Ankeny IA: Soil and Water Conserv. Soci. Pg. 22-23.

Ivanov, V. and Chu J., 2008. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ. Envir. Sci. Bio. Tech., (7), 139-153.

Kacar, B., 2014. Kolay Uygulanabilir Bitki Analizleri. Nobel yayınları. S.60

Kay, B.D., 1998. Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal R., Kimble J.M., Follett R.F. and Stewart, B.A. (Eds.), Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 169–197.

Kemper, W.D. and Rosenau R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. 2nd edition. Agronomy, 425-442.

Kihara, J.A., Bationo D.N., Mugendi C., Martius C. and Vlek P.L.G., 2011. Conservation tillage, local organic resources and nitrogen fertilizer combinations affect maize productivity, soil structure and nutrient balances in semi-arid Kenya. Nutr. Cycl. Agroecosyst, 90(2), 213.

Kılıç, M., 1977. Erzurum-Karasu vadisinde yer alan organik maddece zengin toprakların bazı morfolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti, sınıflandırılması ve haritalanması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Erzurum.

Kızıloğlu, T. ve Bilen S., 1997. Toprak Mikrobiyolojisi Laboratuvar Uygulamaları. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ders Yayınları No: 198.

Kloepper, J.W., Leong J., Teintze M. and Schroth M.N., 1980. Enhanced plant growth by siderophore produced by plantgrowth-promoting rhizobacteria. Nature, (286), 885–886.

Kukal, S.S., Kaur M., Bawa S.S. and Gupta N., 2007. Water-drop stability of PVA - treated natural soil aggregates from different land uses. Catena, 70(3), 475-479.

Kundu, B.S. and Gaur A.C., 1980. Effect of phosphobacteria on the yield and phosphate uptake of potato crop. Current Sci., 49(4), 159.

Kurtoğlu, İ. 1997. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Çiftliğinde Erzurum Peatı olarak tanımlanan topraklarda 37 yıl (1959-1996) süresince meydana gelen değişimin incelenmesi. Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Erzurum.

Kusuma, C.A., Wicaksono K.S. and Prasetya B., 2016. Improvement of physical and chemical properties of sandy loam soil through the application of *Lactobacillus fermentum* bacteria. J. Tanah dan Sumberdaya Lahan, 3(2), 401-410.

Lal, R., 1991. Soil structure and sustainability. J. Sust. Agric., (1), 67-92.

Lal, R., 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, (7), 5875–5895.

Laz, O., 2011. Toprak düzenleyici polimer ve hümik asit uygulamalarının bazı toprak özellikleri ile bitki gelişimi üzerine etkisi. Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Erzurum.

Levy, G.J., Levin J., Ben-Hur M. and Shinberg I., 1992. Polymer effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. Soil Sci. Soc. Amer. J., (56), 902-907.

Li, C.H., Ma B.L, and Zhang T.Q., 2002. Soil bulk density effects on soil microbial populations and enzyme activities during the growth of maize (*Zea mays* L.) planted in large pots under field exposure. Canadian J. Soil Sci., 82(2), 147-154.

Lian, B., Hu Q., Chen J., Ji J. And Teng H., 2006. Carbonate biomineralization induced by soil bacterium *Bacillus megaterium*. Geochim. Cosmochim. Acta., 70(22), 5522-5535.

Liu, Z.X., Chen X.M., Jing Y., Li Q.X., Zhang J.B. and Huang Q.R, 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena, (123), 45.

Lugtenberg, B., Chin-A-Woeng T.F. and Bloemberg, G., 2002. Microbe–plant interactons: principles and mechanisms. Antonie vanLeeuwenhoek, (81), 373–383.

Lynch, J.M. and Bragg E., 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. Adv. Soil Sci., (2), 134–170.

Mäder P., Flieβbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. and Niggli U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Sci., (296), 1694–1697.

Magesan, G.N., Vogeler I., Scotter D.R., Clothier B.E. and Tillman R.W., 1995. Solute movement through two unsaturated soils Aust. J. Soil Res., (33), 585-596.

Malam, I.O., Trichet J., Défarge C., Couté A. and Valentin C., 1999. Morphology and microstructure of microbiotic soil crusts on a tiger bush sequence (Niger, Sahel). Catena, (37), 175–196.

Markwell, J., John C.O. and Jennifer L.M., 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photo. Res., (46), 467-472.

Marsh, M.H. and Groenevelt P.H., (1992). Effect of surface application of polyvinyl alcohol on phosphorus losses in runoff and on corn growth. J. Envir. Quality, (21), 36-40.

Martens, D.A. and Frankenberger Jr., W.T., 1992. Decomposition of bacterial polymers in soil and their influence on soil structure. Biol. Fert. Soils, (13), 65–73.

Martin, J.P., Ervin J.O. and Sheperd R.A, 1965. Decomposition and binding action of polysaccharides from *Azotobacter indies* (Beijerinckia) and other bacteria in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., (29), 397-400.

Martin, P.J., 1944. Microorganisms and Soil Aggregation: I. Origin and Nature of Some of the Aggregating Substances. Published with the Approval of the Director of the Idaho Agri. Exp. Station Res. Paper No: 173.

Martinez, E., Fuentes J.P., Silva P., Valle S. and Acevedo E., 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. Soil Till. Res., (99), 232–244.

McCulley, R.L. and Burke L.C., 2004. Microbial Community Composition across the Great Plains: Landscape versus Regional Variability. SSSA Journal., (68), 106-115.

McLean, E.O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy, No: 9. 199-224, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.

Mendes, R., Garbeva P. and Raaijmakers J.M., 2013. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. FEMS Microbiol. Rev., (37), 634–663.

Mohite, B., 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. J. Soil Sci. Plant Nutr., (13), 3.

Mollasalehi, S., 2013. Fungal Biodegradation of Polyvinylalcohol in Soil and Compost Environments. The University of Manchester Faculty of Life Sciences. The Doctoral Thesis.

Mori, T., Sakimoto M., Kagi T. and Sakai T., 1996. Degradation of vinyl alcohol oligomers by Geotrichum Sp. Wf9101. Bioscience, Biotech. and Biochem., (60), 118-190.

Muller, D.B., Vogel C., Bai Y. and Vorholt J.A., 2016. The Plant Microbiota: Systems-Level İnsights and Perspectives. Annual Review of Genetics. Vol. 50 ed. Bonini N.M., editor. (Palo Alto, CA: Annual Reviews), 211–234.

Myresiotis, C.K., Vryzas Z. and Papadopoulou-Mourkidou E., 2015. Effect of specific plant- growth- promoting rhizobacteria (PGPR) on growth and uptake of neonicotinoid insecticide thiamethoxam in corn (*Zea mays* L.) seedlings. Pest Manag. Sci., 71(9), 1258-66.

Nayak, D.R., Babu Y.J. and Adhya T.K., 2007. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition. Soil Biol. Biochem., 39(8), 1897.

Nelson, D.W. and Sommers L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. methods of soil analysis. part 2. Chemical And Microbiological Properties. 2nd edition. Agronomy No: 9: 539-579, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.

Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agronomy, 181-197.

Ng, W.S., Lee M.L. and Hii S.L., 2012. An overview of the factors affecting microbial-induced calcite precipitation and its potential application in soil improvement. World Acad. Sci. Eng. Technol., (62), 723–729.

Nissen, T.M. and Wander M.M., 2003. Management and soil-quality effects on fertilizer-use efficiency and leaching. Soil Sci. Soc. Am. J., (67), 1524–1532.

O'Donnell, A.G., Goodfellow M., and Hawksworth D.L., 1994. Theoretical practical aspects of the quantification of biodiversity among microorganism. Philos. Trans. R. Soc. Lond., (345), 65–73.

Oades, J.M., 1976. Prevention of crust formation in soils by polyvinyl alcohol. Aust. J. Soil Res., (14), 139-148.

Oades, J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant and Soil, (76), 319-337.

Obalum, S.E., Chibuike G.U., Peth S. and Ouyang Y., 2017. Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. Envir. Moni. and Asses., 189(4), 176.

Özgül M., 2003. Erzurum yöresinde yaygın olarak bulunan büyük toprak gruplarının sınıflandırılması ve haritalandırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilimdalı Doktora Tezi, Erzurum.

Pachepsky, Y.A. and Rawls W.J., 2003. Soil structure and pedotransfer functions. Eur. J. Soil Sci., (54), 443–451.

Painuli, D.K. and Pagliali M., 1990. Effect of Polyvinyl Alcohol, Dextran and Humic Acid on Some Physical Properties of a Clay and Loam Soil. I. Cracking and Aggregate Stability, Agrochimica, 34(1-2), 117-130.

Pardo, A., Amato M., Chiaranda F.Q., 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chick-pea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. Eur. J. Agron., (13), 39–45.

Paul, E.A., 2007. Perspective in soil microbiology, ecology and biochemistry. In: "Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, (Paul EA. ed.)", Academic Press and Elsevier Inc. Burlington. (3), 3–24.

Popelářová, E., Voříšek K. and Strnadová S., 2008. Relations between activities and counts of soil microorganisms. Plant Soil Envir., 54(4), 163–170.

Poupin, M.J., Timmermann T., Vega A., Zuniga A. and Gonzales B., 2013. Effects of the plant growth-promoting bacterium *Burkholderia phytofirmans* psjn throughout the life cycle of *Arabidopsis thaliana.* PLoS One, 8(7), e69435.

Pries, C.E.H., Castanha C., Porras R.C. and Torn M.S. 2017. The whole-soil carbon flux in response to warming. Science (355), 1420–1423.

Quiquampoix, H., Abadie J., Baron M.H., Leprince F., Maromoto-Pintro P., Ratcliffe R. G. and Staunton S., l995. Mechanisms and consequences of protein adsorption on soil mineral surfaces, ACS Symp. Ser., 602, 32l.

Ragusa, S.R., de Zoysa D.S. and Rengasamy P., 1994. The effect of microorganisms, salinity and turbidity on hydraulic conductivity of irrigation channel soil. Irrig. Sci., 15(4), 159-166.

Rampazzo, N., Blum W.E.H., Wimmer B., 1998. Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils. Bod-enkultur, (49), 69–84.

Rhoades, J.D., 1982. Cation Exchange Capacity. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy No: 9, 149-157, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.

Roberson, E.B., Chenu C. and Firestone M.K., l993. Microstructural changes in bacterial exopolysaccharides during desiccation. Soil Biol. Biochem., (25), l299.

Rodríguez, C.E.A., Gonzµles A.G., López J.R., Di Ciacco C.A., Pacheco B.J.C. and Parada J.L., 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxain* the semiarid region of Argentina. Soils and Fertilizers, 59(7), 800.

Rousk, J., Brookes P.C. and Bååth, E. (2009). Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. Appl. Envir. Microbiol., (75), 1589–1596.

Rowse, H.R. and Stone D.A., 1980. Deep cultivation of a sandyclay loam. II. Effects on soil hydraulic properties and on root growth, water extraction and water stress in 1977, especially of broad beans. Soil Till. Res., (1), 173–185.

Sarı S. ve Öztaş T., 2017. Polivinilalkol (PVA) uygulamasının strüktürel stabilite ölçütlerive yüzey akış kayıpları üzerine etkisi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 48(1), 17-24.

Schimel, J.P. and Bennett J. 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. Ecology, (85), 591–602.

Schlecht-Pietsch, S., Wagner U. and Anderson T.H., 1994. Changes in composition of soil polysaccharides and aggregate stability after carbon amendments to different textured soils. Appl. Soil Ecol. (1), 145–154.

Schnepf, M.J., Mayer M., Kuttner C., Tebbe M., Wolf D., Dulle M., Altantzis T., Formanek P., Förster S., Bals S., König T.A.F. and Fery A., 2017. Nanorattles with tailored electric field enhancement. Nanoscale, 9(27), 9376–9385.

Scott J. and Robert J., 2006. Soil texture and nitrogen mineralization potential across a riparian toposequence in a semi-arid savanna. Soil Boil. Biochem., 38(6), 1325-1333.

Seki, K., Miyazaki T. and Nakano M., 1996. Reduction of hydraulic conductivity due to microbial effects. J-stage, (181), 137-144.

Sen, K.K., Bhadoria P.B.S. and Datta B., 1995. Influence of soil conditioners on soil physical-properties and maize growth. Tropical Agriculture, 72(1), 23-27.

Seybold, C.A., 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessments. Catena, 44(1), 37.

Sharma, A. and Ramkrishnan R., 2016. Study on effect of microbial ınduced calcite precipitates on strength of fine grained soils. Perspect. Sci., (8), 198–202.

Shaw, J.C., Bramhill B., Wardlaw N.C. and Costerton J.W., 1985. Bacterial fouling in a model core system, Appl. Envir. Microbiol., (49), 693–701.

Sıdık, W., Çanakçı H. and Kılıç İ.H., 2015. An Investigation of bacterial calcium carbonate precipitation in organic soil for geotechnical applications. IJST, Trans. of Civil Engin., (39), 201-205.

Sivapalan, S., 2002. Potential use of polyacrylamides (PAM) in reclaiming some problem soils. In Williamson, David and Tang, C and Rate, Andrew, Eds. Proceedings Australian Society of Soil Science National Conference, pages pp. 158-159, Perth, Western Australia, Australia.

Six, J., Elliott E.T. and Paustian K., 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Amer. J., 63(5), 1350.

Six, J., Elliott E.T. and Paustian K., 2000. Soil structure and soilorganic matter: II. A normalized stability index and the effectof mineralogy. Soil Sci. Soc. Amer. J., (64), 1042–1049.

Smalla, K., Wieland G., Buchner A., Zock A., Parzy J., Kaiser S., Roskot N., Heuer H., Berg G., 2001. Bulk and Rhizosphere Soil Bacterial Communities Studied by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis: Plant-Dependent Enrichment and Seasonal Shifts Revealed. Appl. and Envir. Microbiol., Oct. 2001, Vol. 67, No. 10 P. 4742–4751.

Smeltzer, D.L., Bergdahl D.R. and Donnelly J.R., 1986. Forest ecosystem response to artificially induced soil compaction. II. Selected soil microorganism populations. Can. J. For. Res., (16), 870–872.

Sollins, P., Homann P. and Caldwell B.A., 1996. Stabilization anddestabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. Geoderma (74), 65–105.

Sönmez, M. ve Yilmaz, E., 2016. Biyo – Gübre uygulamalarının agregat oluşumu üzerindeki rolü. The role of Bio – Fertilizer amendments on aggregate formation. Mediter. Agri. Sci., (29), 131–137.

SPSS, 2011. SPSS for Windows, Version 20, SPSS Inc., USA.

Stefanson, R.C., 1973. Polyvinyl alcohol as a stabilizer of surface soils. Soil Sci., 115(6), 420-428.

Stotzky, G. (l986). Influence of Soil Mineral Colloids on Metabolic Processes, Growth, Adhesion And Ecology of Microbes and Viruses. In Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes, Vol. l7, ed. Huang, P. M. and Schnitzer, M., Soil Science Society of America, Madison, WI, p. 305.

Tabuchi H., Kato K. and Nioh I., 2008. Season and soil management affect soil microbial communities estimated using phospholipid fatty acid analysis in a continuous cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) cropping system. Soil Sci. and Plant Nut., (54), 369–378.

Tardy, V., Spor A., Mathieu O., Lévèque J., Terrat S. and Plassart P., Regnier M., Bardgett R.D., van der Putten W.H., Roggero P.P., Seddaiu G., Bagella S., Lemanceau P., Ranjard L., Maron P., 2015. Shifts in microbial diversity through land use intensity as drivers of carbon mineralization in soil. Soil Biol. Biochem., (90), 204–213.

Tate, R.L., 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York.

Tefera, B., Ayele G., Atnafe Y., Jabba, M.A. and Dubale, P. 2002. Nature and Causes of Land Degradation in The Oromiya Region: A Review. Socio-Economics and Policy Research Working Paper 36. Nairobi: Inter. Livestock Res. Inst. (ILRI).

Thakur, R., Sharma K.C., Gulati A., Sud R.K. and Gulati A., 2017. Stress-Tolerant *Viridibacillus arenosi* Strain IHB B 7171 from Tea Rhizosphere as a Potential Broad-Spectrum Microbial Inoculant. Indian J. Microbiol., 57(2), 195–200.

Theng, B.K.G. and Orchard V. A. 1995. Interactions of clays with microorganisms and bacterial survival in soil: A physicochemical perspective. In Enrivonmental Impact of Soil Component Interactions. Metals, Other Inorganics and Microbial Activities, Vol. 2, ed. Huang, P. M., Berthelin, J., Bollag, J. M., Mc Gill, W. B. and Page, A. L., CRC Lewis, Boca Raton, FL, p. l23.

Tiessen, H., Stewart J.W.B., 1988. Light and electron microscopy of stained microaggregates: the role of organic matter and microbes in soil aggregation. Biogeochem., (5), 312-322.

Tisdall, J.M. and Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil. Sci., (33), 141-163.

Tiwari, V.N., Lehriand L.K. and Pathak A.N., 1989. Effect of inoculating crops with phospho-microbes. Exper. Agri., 25(1), 47-50.

Torbert, H.A. and Wood C.W., 1992. Effects of soil compactionand water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. Commun. Soil Sci. Plant Anal., (23), 1321–1331.

Trivedi, P., Anderson I.C. and Singh B.K., 2013. Microbial modulators of soil carbon storage: integrating genomic and metabolic knowledge for global prediction. Trends Microbiol., (21), 641–651.

Tuo, D., Xu M., Li Q. and Liu S., 2017. Soil Aggregate stability and associated structure affected by long-term fertilization for a loessial soil on the loess plateau of China. Pol. J. Envir., 26(2), 827-835.

Turan, M., Gulluce M., Wirén N.V. and Sahin F., 2012. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth–promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. J. Plant Nut. Soil Sci., 175(6), 818-826.

Ülgen N. ve Yurtseven N., 1974. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Teknik Yayınlar Serisi, 28, Kemal Matbaası.

USDA, 1999. United States Department Of Agriculture. Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition.

USDA, 2001. Natural Resources Conservation Service. Rangeland Soil Quality-Aggregate Stability. Soil Quality Information Sheet 3. Grazing Lands Technology Institute, and National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service.

Utama, D., Gofar N. and Napoleon A., 2018. Improving aggregate stability of a loamy sand soil using aggregate stabilizing bacteria and organic matter. J. Tanah dan I., 42(2), 161-167.

Valentin, C., d'Herbes J.M. and Poesen J., 1999. Soil and water components of banded vegetation patterns. Catena, (37), 1–24.

van der Heijden, M.G.A., Bardgett R.D. and van Straalen N.M., 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. Ecol. Lett., (11), 296–310.

Vandevivere, P. and Baveye P., 1992. Relationship between transport of bacteria and their clogging efficiency in sand columns. Appl. Envir. Microbiol., (58), 2523-2530.

Verbon, E.H. and Liberman L.M., 2016. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. Trends Plant Sci., (21), 218–229.

Virendra, K. and Ahlawat I.P.S., 2004. Carry-over effect of biofertilizers and nitrogen applied to wheat (*Triticum aestivum*) and direct applied N in maize (*Zea mays* L.) in wheat-maize cropping system. Indian J. of Agro., 49(4), 233 – 236.

Whitman, T., Pepe-Ranney C., Enders A., Koechli C., Campbell A., Buckley D.H. and Lehmann J., 2016. Dynamics of microbial community composition and soil organic carbon mineralization in soil following addition of pyrogenic and fresh organic matter. ISME J., (10), 2918–2930.

Williams, K., 2015. Polyethylene Glycol-Polyvinyl Alcohol Graft Copolymer: A Peroxide-Free Binder. American Pharmaceutical, November 30.

Wu, S.C., Cao Z.H., Li Z.G., Cheung K.C. and Wong M.H., 2004. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, (125), 155–166.

Xiao L., Liu G.B., Xue S. and Zhang C., 2014. Fractal features of soil profiles under different land use patterns on the loess plateau, China. J. Arid Land., 6(5), 550.

Xu, M.X., Zhao Y.G., Liu G.B. and Wilson G., 2006. Identification of soil quality factors and indicators for the Loess Plateau of China. Soil Sci., 171(5), 400.

Yamatsu, R.A., Haruyuki M. and Imanaka A.T., 2006. Isolation and characterization of a novel poly (vinyl alcohol) - degrading bacterium, Sphingopyxis sp. PVA3. Appl. Micro. Biotech., (72), 804.

Yin, Z., Cao J., Li Z. and Qiu D., 2016. Optimizing the interaction between poly(vinylalcohol) and sandy soil for enhanced water retention performance. The Royal Soci. Chemis., (6), 13377–13383.

Young, I.M., Blanchart E., Chenu C., Dangerfield M., Fragoso C., Grimald M., Ingram J. and Monrozier L.J., 1998. The interaction of soil biota and soil structure under global change. Glob. Change Biol., (4), 703–712.

Zlatkovic, S. and Raskovic L., 1998. The effect of polyacrylamide, polyvinyalcohol and carboxymethylcellulose on the aggregation of the soil and on the growth of the plants. Working and Living Envir. Protection, 1(3), 17-23.

ÖZGEÇMİŞ

Fazıl HACIMÜFTÜOĞLU 1983 yılında Trabzon'da doğdu. 2000 yılında Erzurum İmam Hatip Lisesini, 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi lisans ve 2011 yılında yüksek lisans programlarını bitirdi. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümüne Araştırma Görevlisi olarak intisap eden HACIMÜFTÜOĞLU akademik görevine devam etmektedir.