



**ORGANİK GÜBRELEMEYLE YETİŞTİRİLEN
SİLAJLIK MISIRDA FARKLI SULAMA
REJİMLERİNİN SU VERİMLİLİĞİ TOPRAK
ÜRETKENLİĞİ VE CO₂ SALIMINA ETKİSİ**

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

**Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
Doktora Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı
2025**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI

**ORGANİK GÜBRELEMEYLE YETİŞTİRİLEN SİLAJLIK MISIRDA FARKLI
SULAMA REJİMLERİNİN SU VERİMLİLİĞİ TOPRAK ÜRETKENLİĞİ VE CO₂
SALIMINA ETKİSİ**

(The Effect of Different Irrigation Regimes on Water Productivity Soil Fertility and CO₂
Emission in Silage Maize Grown with Manuring)

DOKTORA TEZİ

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Erzurum
Temmuz, 2025

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU tarafından hazırlanan “Organik Gübrelemeyle Yetiştirilen Silajlık Mısırdaki Farklı Sulama Rejimlerinin Su Verimliliği Toprak Üretkenliği ve CO₂ Salımına Etkisi” başlıklı çalışması 22 / 07 / 2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM CANBOLAT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Sedat KARAMAN <i>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Talip Çakmakcı <i>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Alper NUHOĞLU

Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2021-9525

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.

ETİK BİLDİRİMİ VE İNTİHAL FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Üstün ŞAHİN* danışmanlığında sunulan “Organik Gübrelemeyle Yetiştirilen Silajlık Mısırdaki Farklı Sulama Rejimlerinin Su Verimliliği Toprak Üretkenliği ve CO₂ Salımına Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	11	30
Kuramsal Temeller	21	30
Materyal ve Yöntem	14	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	7	20
Sonuç ve Öneriler	2	20
Tezin Geneli	11	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU	Prof.Dr. Üstün ŞAHİN
22.7.2025	22.7.2025
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Doktora sürecimin her aşamasında bilgi birikimi, tecrübesi ve yol göstericiliğiyle bana ilham veren; bilimsel rehberliğinin yanı sıra maddi ve manevi desteğini de esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e en derin teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez izleme jürisinde yer alarak yapıcı değerlendirmeleriyle çalışmamın gelişimine katkılar sağlayan Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM CANBOLAT ve Sayın Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZIOĞLU hocalarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Arazi uygulamalarının gerçekleştirilmesinde sağladıkları altyapı ve lojistik destek nedeniyle Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'ne ve kıymetli personeline, ayrıca ahır gübresinin temininde katkı sunan Erzurum Büyükşehir Belediyesi Tarımsal Hizmetler Daire Başkanlığı ile Canlı Hayvan Pazarı Şube Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarım süresince özverili desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Mehmet ALTUN'a; özellikle hasat döneminde büyük katkılar sağlayan Öğr. Gör. Cahide Sude TAŞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Ekrem SULUKAN'a, Ziraat Yüksek Mühendisi Enes ŞAHİNOĞLU'na, Arş. Gör. Handan UĞUZ'a, Arş. Gör. Kübra EKİNCİ'ye, Arş. Gör. Ali KAYA'ya, Arş. Gör. Cenk KESKİN'e, doktora öğrencisi Muhammet ALTUN'a, Ziraat Yüksek Mühendisi Metehan AYDIN'a ve Latif ÜNAL'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Sahada ve laboratuvarında yürüttüğüm tüm çalışmalarda desteğini esirgemeyen, her daim yanımda olan kıymetli eşim Samiratou ABDOULAYE MAMANE'ye gönülden teşekkür ederim.

Tüm eğitim sürecim boyunca yanımda olan, sevgileri, duaları ve desteğiyle beni daima güçlü kılan kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, doktora eğitimime verdiği destekten dolayı Türkiye Bursları Programı'na (YTB) ve bu araştırmaya FDK-2021-9525 numaralı proje ile finansal katkı sağlayan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (BAP) teşekkür ederim.

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ORGANİK GÜBRELEMEYLE YETİŞTİRİLEN SİLAJLIK MISIRDA FARKLI SULAMA REJİMLERİNİN SU VERİMLİLİĞİ TOPRAK ÜRETKENLİĞİ VE CO₂ SALIMINA ETKİSİ

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Amaç ve Yöntem: Çalışmada, ahır gübresi (AG) uygulamasında damla sulama ile farklı sulama rejimlerinde, mineral gübrelemeyle kıyaslayarak, silajlık mısır bitkisinin su tüketimi, su verimliliği, silaj verimi, kuru madde verimi, ürün kalitesi, bitki besin içeriği (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn), bitki fizyolojisi (SPAD, stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği, yaprak alan indeksi, membran zararlanma indeksi), toprak kimyasal (pH, EC, CaCO₃, organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O, değişebilir Ca, Mg, Na ve K, ve KDK, ESP, Fe, Cu, Mn, Zn) fiziksel (kütle ve tane yoğunluğu, porozite, ıslak agregat stabilitesi) ve hidrolik (tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su, infiltrasyon) özellikleri ile toprakta karbon stoku değişimleri ve topraktan CO₂ salımları araştırılmıştır. Amaç, organik maddesi iyileştirilmiş toprak koşullarda farklı sulama rejimleriyle toprak karbon yönetimiyle silajlık mısırdaki su verimliliğinin artırılması ile birim verim başına CO₂ salınımlarının azaltılmasıdır. Deneme iki faktörle (gübre x sulama) 3 tekerrürlü olarak toplam 18 parselde 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilmiştir. İlk yıl ekimden önce uygulanan ahır gübresi ile toprakta yaklaşık %4 organik madde içeriği sağlanmıştır. Sulama rejimleri (ET_c – Yağış) değerleri toplamı yaklaşık 25 mm (S1), 50 mm (S2) ve 75 mm (S3)'ye ulaştığında toprakta eksilen nemin tarla kapasitesine tamamlanması şeklinde uygulanmıştır. ET_c değerleri günlük iklim verileriyle CROPWAT yazılımında Penman–Monteith (FAO) yöntemiyle hesaplanmıştır.

Bulgular: İki yıllık ortalamada, AG uygulamasında MG'ye göre gerçek bitki su tüketimi (ET_a) %4,8 daha düşük belirlenmiştir. AG uygulamasında ve sık sulama koşullarında yüzey toprak tabakasında ve bitkide artan makro-mikro element içerikleri ve bitki fizyolojik özelliklerindeki iyileşme ve gelişen toprak fiziksel ve hidrolik özellikleri verim artışını desteklemiştir. Böylece, AG-S1 uygulaması daha fazla büyümeyle desteklenmiş 14,2 t/da'lık ortalama verimle MG-S1'e göre %42 daha fazla verim artışına ek olarak azalan su tüketimiyle de 35,1 kg/m³ ile %48,1 daha yüksek su verimliliği sağlamıştır. AG uygulaması ham proteini artırıp, ADF ve NDF'yi düşürerek kaliteyi de artırmıştır. Toprakta sezon boyunca gerçekleşen dengeli karbon stok azalmaları, CO₂ salımındaki değişimlerin daha üniform olmasına katkı sağlamıştır. İkinci yıl yapılan doğrudan ölçümlere göre AG-S1 uygulaması (0,788 g/m²/h) MG-S1 uygulamasına göre sezonluk ortalama CO₂ salımını %163,5 artırmıştır. Ancak artan verim, birim verim başına CO₂ salınımlarında artışı sınırlandırmıştır.

Sonuç: AG-S1 uygulaması gelişen bitki ve toprak sağlığı, daha fazla üretim ve su verimliliği açısından silajlık mısır yetiştiriciliğine en uygun seçenek olarak değerlendirilirken, sık sulamayla daha yüksek verimlerin elde edilmesinin birim verim başına CO₂ salımlarını da azaltılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gübre yönetimi, CO₂ salımı, Tarımsal verimlilik, Su verimliliği, Sürdürülebilir tarım.

Temmuz 2025, 233 sayfa

ABSTRACT

PhD DISSERTATION

THE EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION REGIMES ON WATER PRODUCTIVITY SOIL FERTILITY AND CO₂ EMISSION IN SILAGE MAIZE GROWN WITH MANURING

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Supervisor: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Aim and Method: In the study, water consumption, water productivity, fresh biomass yield, dry matter yield, product quality, plant nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn), plant physiology (SPAD, stomatal conductivity, leaf relative water content, leaf area index, membrane damage index), soil chemical properties (pH, EC, CaCO₃, organic matter, total Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O, exchangeable Ca, Mg, Na and K, CEC, ESP, Fe, Cu, Mn, Zn), physical properties (bulk and particle densities, porosity, wet aggregate stability), and hydraulic properties (field capacity, permanent wilting point, available water content, infiltration), changes in soil carbon stock, and CO₂ emissions from the soil were investigated in different irrigation regimes with drip irrigation in cattle manure (M) treatment, compared to mineral (F) fertilization. The objective is to improve water use efficiency in silage maize and reduce CO₂ emissions per unit yield through soil carbon management under enhanced soil conditions with different irrigation regimes. The experiment was conducted with two factors (fertilizer x irrigation) in 3 replications, totaling 18 plots in 2021 and 2022. Cattle manure was applied before planting in the first year, providing approximately 4% organic matter content in the soil. Irrigation regimes were applied in such a way that the current soil moisture was brought to field capacity when the sum of (ET_c – precipitation) values reached approximately 25 mm (IR1), 50 mm (IR2) and 75 mm (IR3). ET_c values were calculated using daily climate data in CROPWAT software using the Penman–Monteith (FAO) method.

Findings: The two-year average actual evapotranspiration (ET_a) was determined to be 4.8% lower in the M treatment compared to the F treatment. Increased macro and micro element contents in the surface soil layer and plants, along with improved physiology, soil physical, and hydraulic properties, supported the increase in yield in the M treatment with frequent irrigation. Thus, the M-IR1 treatment provided a 42% higher yield increase than F-IR1 with an average yield of 14.2 t/da supported by higher growth. Additionally, it resulted in a 48.1% higher water efficiency with 35.1 kg/m³ due to reduced water consumption. The M treatment increased crude protein and decreased ADF and NDF, thus improving quality. Season-long balanced carbon stock reductions in the soil also resulted in approximately uniform changes in CO₂ emissions. According to direct measurements in the second year, the M-IR1 treatment (0.788 g/m²/h) increased seasonal average CO₂ emissions by 163.5% compared to the F-IR1 treatment. However, increased yield limited the increase in CO₂ emissions per unit yield.

Conclusion: While the M-IR1 treatment was evaluated as the most suitable option for silage maize cultivation in terms of improved plant and soil health, higher production, and water productivity, it was also determined that obtaining higher yields with frequent irrigation could also reduce CO₂ emissions per unit yield.

Keywords: Fertilizer management, CO₂ emission, Agricultural productivity, Water productivity, Sustainable agriculture

July 2025, 233 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİMİ VE İNTİHAL FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xviii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Silajlık Mısırın Önemi Verim ve Kalitesine İlişkin Araştırmalar.....	4
Mısırdaki Sulama Miktarlarının Verime ve Su Verimliliğine Etkileri Üzerine Araştırmalar	6
Ahır Gübresinin Üretime ve CO ₂ Salımına Etkisi	11
MATERYAL VE METOT.....	19
Deneme Alanı.....	19
Deneme Alanı İklim Özellikleri.....	19
Deneme Tarlası Toprak Özellikleri.....	21
Sulama Suyu Kaynakları.....	23
Sulama Sistemi.....	23
Bitki Materyali	24
Metot	24
Deneme Düzeni ve Konuları	24
Deneme Tarlasında Kültürel İşlemler	25
Sulama Uygulamaları.....	27
Gerçek Evapotranspirasyon, Su ve Sulama Suyu Verimliliğinin Belirlenmesi	33
Toprak Örnekleme, Analiz ve Hesaplamalar	34
Toprak Fiziksel Analizleri.....	34
Toprak Kimyasal Analizleri.....	35
Toprak Hidrolik Özellikleri.....	39

Toprakta organik karbon stokunun belirlenmesi.....	39
CO ₂ Salımının Tahminlenmesi ve CO ₂ Salımlarının Ölçülmesi.....	40
Bitkide Fiziksel, Fizyolojik Ölçümler ve Kimyasal Analizler.....	41
Bitkide Fiziksel Ölçümler	42
Bitkide Kimyasal Analizler.....	43
Bitkide Fizyolojik Ölçümler	44
İstatiksel Analizler	46
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	47
Sulama Suyu Miktarı	47
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	48
Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa).....	52
Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (IWP)	55
Toprak Kimyasal Özellikleri.....	56
Toprak Fiziksel Özellikleri	85
Toprak Hidrolik Özellikleri.....	93
Toplam İnfiltrasyon ve İnfiltrasyon Hızı	96
Toprak Organik Karbon Stok Değişimleri, Hesaplanan ve Ölçülen CO ₂ Salımları	99
2022 yılı CO ₂ salımları ve toprak nemi, H ₂ O salımı, toprak ve hava sıcaklığıyla ilişkileri	106
Bitki Ölçümleri	110
Bitki Fiziksel Özellikleri.....	110
Bitki Boyu	110
Gövde Çapı	111
Silajlık Ot Verimi.....	112
Kuru Madde Verimi	113
Bitki Kimyasal Özellikleri	114
ADF (asit detarjan lif), NDF (nötr detarjan lif) ve ham protein oranı	114
Bitkide makro-mikro element içerikleri.....	118
Bitki Fizyolojik Ölçümleri	124
SONUÇ ve ÖNERİLER	131
KAYNAKLAR.....	135
EKLER	155
EK 1. Su verimliliği değeri varyans analizi	155
EK 2. Sulama suyu verimliliği değeri varyans analizi.....	155
EK 3. Toprak pH değeri varyans analizi.....	156

EK 4. Toprak EC değeri varyans analizi.....	157
EK 5. Toprak CaCO ₃ içeriği varyans analizi	158
EK 6. Toprak organik madde içeriği varyans analizi.....	159
EK 7. Toprak toplam Kjeldahl-N içeriği varyans analizi	160
EK 8. Toprak NO ₃ -N içeriği varyans analizi	161
EK 9. Toprak P ₂ O ₅ içeriği varyans analizi.....	162
EK 10. Toprak K ₂ O içeriği varyans analizi	163
EK 11. Toprak değişebilir Ca içeriği varyans analizi	164
EK 12. Toprak değişebilir Mg içeriği varyans analizi	165
EK 13. Toprak değişebilir Na içeriği varyans analizi.....	166
EK 14. Toprak değişebilir K içeriği varyans analizi.....	167
EK 15. Toprak KDK değeri varyans analizi	168
EK 16. Toprak ESP değeri varyans analizi.....	169
EK 17. Toprak Fe içeriği varyans analizi	170
EK 18. Toprak Cu içeriği varyans analizi.....	171
EK 19. Toprak Mn içeriği varyans analizi	172
EK 20. Toprak Zn içeriği varyans analizi	173
EK 21. Toprak kütle yoğunluğu değeri varyans analizi.....	174
EK 22. Toprak tane yoğunluğu değeri varyans analizi.....	175
EK 23. Toprak porozite değeri varyans analizi.....	176
EK 24. Toprak ıslak agregat stabilitesi değeri varyans analizi	177
EK 25. Toprak tarla kapasitesi değeri varyans analizi.....	178
EK 26. Toprak solma noktası değeri varyans analizi.....	179
EK 27. Toprak yarayışlı su miktarı varyans analizi.....	180
EK 28. Deneme başı karbon stoku varyans analizi.....	181
EK 29. Mayıs ayı sonu karbon stoku varyans analizi	181
EK 30. Haziran ayı sonu karbon stoku varyans analizi	181
EK 31. Temmuz ayı sonu karbon stoku varyans analizi.....	182
EK 32. Ağustos ayı sonu karbon stoku varyans analizi.....	182
EK 33. Hasat karbon stoku varyans analizi	182
EK 34. Sezonluk karbon stoku varyans analizi.....	183
EK 35. Mayıs ayı potansiyel karbon salımı varyans analizi	183
EK 36. Haziran potansiyel karbon salımı varyans analizi	183
EK 37. Temmuz ayı potansiyel karbon salımı varyans analizi.....	184
EK 38. Ağustos ayı potansiyel karbon salımı varyans analizi	184

EK 39. Eylül ayı potansiyel karbon salımı varyans analizi	184
EK 40. Sezonluk potansiyel karbon salımı varyans analizi	185
EK 41. 2022 yılı toprak işleme ekim dönemi, sulama dönemi ve sezonluk ortalama CO ₂ salımı varyans analizi.....	185
EK 42. 2022 yılı sezonluk ortalama H ₂ O salımı varyans analizi.....	185
EK 43. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak nemi (5 cm) varyans analizi	185
EK 44. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak nemi (10 cm) varyans analizi	185
EK 45. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak nemi (20 cm) varyans analizi	186
EK 46. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak sıcaklığı (5 cm) varyans analizi	186
EK 47. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak sıcaklığı (10 cm) varyans analizi	186
EK 48. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak sıcaklığı (20 cm) varyans analizi	186
EK 49. 2022 yılı sezonluk ortalama hava sıcaklığı varyans analizi.....	186
EK 50. Bitki boyu varyans analizi	186
EK 51. Bitki gövde çapı varyans analizi.....	187
EK 52. Silajlık ot verimi varyans analizi	187
EK 53. Kuru madde verimi varyans analizi	187
EK 54. ADF oranı varyans analizi	188
EK 55. NDF oranı varyans analizi	188
EK 56. Ham protein oranı varyans analizi	188
EK 57. Bitki N içeriği varyans analizi	189
EK 58. Bitki P içeriği varyans analizi.....	189
EK 59. Bitki K içeriği varyans analizi	189
EK 60. Bitki Ca içeriği varyans analizi.....	190
EK 61. Bitki Mg içeriği varyans analizi	190
EK 62. Bitki Na içeriği varyans analizi	190
EK 63. Bitki Fe içeriği varyans analizi	191
EK 64. Bitki Cu içeriği varyans analizi	191
EK 65. Bitki Mn içeriği varyans analizi	191
EK 66. Bitki Zn içeriği varyans analizi.....	192
EK 67. Klorofil içeriği (SPAD) varyans analizi	192
EK 68. Stoma iletkenliği varyans analizi.....	192
EK 69. Yaprak oransal su içeriği varyans analizi	193
EK 70. Yaprak alan indeksi varyans analizi	193
EK 71. Membran zararlanma indeksi varyans analizi	193
EK 72. WP ve IWP için gübre uygulamaları t testi sonuçları.....	193

EK 73. Toprak özelliklerine ait gübre uygulamaları t testi sonuçları	194
EK 74. Karbon stoku için gübre uygulamaları t testi sonuçları	195
EK 75. Potansiyel karbon salımı için gübre uygulamaları t testi sonuçları	196
EK 76. 2022 yılı sezonluk ortalama CO ₂ ve H ₂ O salımı için gübre uygulamaları t testi sonuçları	196
EK 77. 2022 yılı sezonluk ortalama toprak nemi ve sıcaklığı (5, 10 ve 20 cm) için gübre uygulamaları t testi sonuçları	196
EK 78. 2022 yılı sezonluk ortalama hava sıcaklığı için gübre uygulamaları t testi sonuçları	196
EK 79. Bitki özellikleri için gübre uygulamaları t testi sonuçları.....	197
EK 80. 2021 yılı AG-S1 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	199
EK 81. 2021 yılı AG-S2 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	200
EK 82. 2021 yılı AG-S3 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	201
EK 83. 2021 yılı MG-S1 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	202
EK 84. 2021 yılı MG-S2 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	203
EK 85. 2021 yılı MG-S3 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	204
EK 86. 2022 yılı AG-S1 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	205
EK 87. 2022 yılı AG-S2 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	206
EK 88. 2022 yılı AG-S3 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon.....	207
EK 89. 2022 yılı MG-S1 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	208
EK 90. 2022 yılı MG-S2 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	209
EK 91. 2022 yılı MG-S3 uygulamasında infiltrasyon hızı ve toplam infiltrasyon	210
EK 93. Bitki parametreleri arasında Pearson korelasyon analizi	212
ÖZGEÇMİŞ.....	213

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Deneme Alanı Uzun Yıllar ve 2021 ile 2022 Yılları Vejetasyon Periyodu İklim Verileri	20
Tablo 2. Deneme Alanı Toprağının Deneme Öncesi Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri ...	22
Tablo 3. Deneme Tarlası Toprağının Deneme Öncesi Bazı Kimyasal Özellikleri	22
Tablo 4. Denemede Kullanılan Ahır Gübresinin Özellikleri	26
Tablo 5. 2021 Yılında Konulu Sulama Öncesi ve Konulu Sulama Döneminde Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm)	47
Tablo 6. 2022 Yılında Konulu Sulama Öncesi ve Konulu Sulama Döneminde Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm)	47
Tablo 7. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Su Verimliliği (WP) Değerlerine (kg/m ³) Etkisi	55
Tablo 8. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Sulama Suyu Verimliliği (IWP) Değerlerine (kg/m ³) Etkisi	56
Tablo 9. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında pH'ya Etkisi	66
Tablo 10. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında EC'ye (dS/m) Etkisi	67
Tablo 11. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında CaCO ₃ 'a (%) Etkisi	68
Tablo 12. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Hasat Organik Madde İçeriğine (%) Etkisi	69
Tablo 13. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Toplam Kjeldahl-N İçeriğine (%) Etkisi	70
Tablo 14. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında NO ₃ -N İçeriğine (mg/kg) Etkisi	71
Tablo 15. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında P ₂ O ₅ İçeriğine (kg/da) Etkisi	72
Tablo 16. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında K ₂ O İçeriğine (kg/da) Etkisi	73
Tablo 17. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Ca İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	74

Tablo 18. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Mg İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	75
Tablo 19. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Na İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	76
Tablo 20. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir K İçeriğine (cmol/kg) Etkisi.....	77
Tablo 21. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında KDK Değerine (cmol/kg) Etkisi	78
Tablo 22. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında ESP Değerine (%) Etkisi	79
Tablo 23. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi	80
Tablo 24. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi.....	82
Tablo 25. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi.....	83
Tablo 26. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	84
Tablo 27. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Kütle Yoğunluğuna (g/cm ³) Etkisi.....	88
Tablo 28. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tane Yoğunluğuna Etkisi.....	90
Tablo 29. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Poroziteye (%) Etkisi	91
Tablo 30. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Islak Agregat Stabilitésine (%) Etkisi	92
Tablo 31. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tarla Kapasitesinde Tutulan Neme (% Pw) Etkisi.....	93
Tablo 32. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Solma Noktasında Tutulan Neme (% Pw) Etkisi.....	95
Tablo 33. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Yarıyışlı Su Miktarına (mm) Etkisi.....	96
Tablo 34. Toplam İnfiltrasyon (D, mm) ve İnfiltrasyon Hızı (I, mm/h) Eşitlikleri (t: dakika)	97

Tablo 35. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Deneme Başında Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	100
Tablo 36. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Mayıs Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	100
Tablo 37. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Haziran Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi .	101
Tablo 38. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Temmuz Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	101
Tablo 39. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Ağustos Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	102
Tablo 40. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Hasatta Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	102
Tablo 41. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Sezonluk Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	103
Tablo 42. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Mayıs Dönemi Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	103
Tablo 43. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Haziran Dönemi Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	104
Tablo 44. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Temmuz Dönemi Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	104
Tablo 45. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Ağustos Dönemi Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	105
Tablo 46. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Eylül Dönemi Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	105
Tablo 47. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Sezonluk Potansiyel CO ₂ Salımları (g/m ² /h)	106
Tablo 48. 2022 Yılı Gübre ve Sulama Uygulamalarında Ortalama CO ₂ ve H ₂ O Salımlarıyla Toprak Nemi, Toprak ve Hava Sıcaklıkları	108
Tablo 49. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Boyuna (cm) Etkisi	111
Tablo 50. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Gövde Çapına (mm) Etkisi	111
Tablo 51. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Silajlık Ot Verimine (t/da) Etkisi.....	112
Tablo 52. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Kuru Madde Verimine (t/da) Etkisi	114
Tablo 53. Gübre ve Sulama Uygulamalarının ADF Oranına (%) Etkisi	115
Tablo 54. Gübre ve Sulama Uygulamalarının NDF Oranına (%) Etkisi	116
Tablo 56. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki N İçeriğine (%) Etkisi.....	119
Tablo 57. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki P İçeriğine (mg/kg) Etkisi.....	120
Tablo 58. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki K İçeriğine (mg/kg) Etkisi	120
Tablo 59. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Ca İçeriğine (mg/kg) Etkisi	121
Tablo 60. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Mg İçeriğine (mg/kg) Etkisi	121

Tablo 61. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Na İçeriğine (mg/kg) Etkisi	122
Tablo 62. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi	122
Tablo 63. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi	123
Tablo 64. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	123
Tablo 65. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	124
Tablo 66. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Klorofil İçeriğine (SPAD) (%) Etkisi	126
Tablo 67. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Stoma İletkenliğine (mmol/m ² s) Etkisi	127
Tablo 68. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Yaprak Oransal Su İçeriğine (%) Etkisi	128
Tablo 69. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Yaprak Alan İndeksine (%) Etkisi	129
Tablo 70. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Membran Zararlanma İndeksine (%) Etkisi	130



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Deneme alanı drone ve uydu görüntüsü.....	19
Şekil 2. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında ölçülmüş günlük yağış değerleri	21
Şekil 3. Deneme öncesi bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin alınması	22
Şekil 4. Damla sulama sistemi	23
Şekil 5. Silajlık mısır DKC 6777 çeşidin ekimine uygun bölgeler	24
Şekil 6. Deneme planı	25
Şekil 7. Doğu Anadolu Canlı Hayvan Pazarı	26
Şekil 8. Ahrır gübresinin parsellere uygulaması	26
Şekil 9. Dik rotovatorle toprak işleme ve pnömomatik mibzerle ekim.....	27
Şekil 10. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda silajlık mısır bitki katsayıları (k_c)	29
Şekil 11. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri.....	30
Şekil 11. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri (devamı)	31
Şekil 12. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri.....	31
Şekil 13. Gravimetrik yöntemle toprak nem örneklenmesi.....	33
Şekil 14. Tekstür analizi.....	35
Şekil 15. Tane yoğunluğunun belirlenmesi.....	35
Şekil 16. Islak agregat stabilitesinin belirlenmesi	35
Şekil 17. pH ölçümü.....	36
Şekil 18. EC ölçümü.....	36
Şekil 19. Organik madde içeriğinin belirlenmesi	36
Şekil 20. CaCO_3 içeriğinin belirlenmesi	37
Şekil 21. Toplam Kjeldahl-N içeriğinin belirlenmesi	37
Şekil 22. $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriğinin belirlenmesi	37
Şekil 23. Fosfor içeriğinin belirlenmesi	38
Şekil 24. Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarının belirlenmesi	39
Şekil 25. Otomatik infiltrometre ve çift silindirli infiltrometre ile infiltrasyon ölçümleri.....	39
Şekil 26. CO_2 salımı, nem ve sıcaklık ölçümleri.....	41

Şekil 27. Silajlık mısır parsellerinde hasat dönemi	42
Şekil 28. Bitki boyu ve gövde çapı ölçümleri	42
Şekil 29. Hassas teraziyle bitki tartımları.....	42
Şekil 30. Kuru maddenin belirlenmesi	43
Şekil 31. NDF ve ADF analizi	43
Şekil 32. Bitkide toplam Kjeldahl N içeriğinin belirlenmesi	43
Şekil 33. Bitkide fosfor içeriğinin belirlenmesi	44
Şekil 34. Klorofil içeriği (SPAD) ölçümü.....	44
Şekil 35. Stoma iletkenliği ölçümü	45
Şekil 36. Yaprak alan ölçümü	45
Şekil 37. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi.....	46
Şekil 38. Membran zararlanma indeksinin belirlenmesi	46
Şekil 39. 2021 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri	48
Şekil 40. 2022 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri	49
Şekil 41. 2021 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri	50
Şekil 42. 2022 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri	51
Şekil 43. 2021 ve 2022 yılları mineral ve ahır gübresi uygulamalarında sulama rejimlerine göre sezonluk gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerleri	53
Şekil 44. 2021 ve 2022 yılları gübre türlerine göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri ..	54
Şekil 45. 2021 ve 2022 yılları sulama rejimlerine göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri	54
Şekil 46. 2021 ve 2022 yılları gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri	54
Şekil 47. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriği ile pH arasındaki ilişki.....	57
Şekil 48. Yüzey tabakada (0-30 cm) pH değeri ile CaCO ₃ içeriği arasındaki ilişki	59
Şekil 49. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriğiyle NO ₃ -N içeriği arasındaki ilişki.....	61
Şekil 50. Yüzey tabakada (0-30 cm) pH değeriyle Ca içeriği arasındaki ilişki	63
Şekil 51. Yüzey tabakada (0-30 cm) Ca içeriğiyle Mg içeriği arasındaki ilişki	64
Şekil 52. Yüzey tabakada (0-30 cm) değişebilir Na içeriğiyle ESP değeri arasındaki ilişki ...	65
Şekil 53. Yüzey tabakada (0-30 cm) tane yoğunluğuyla organik madde içeriği arasındaki ilişki.....	86

Şekil 54. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01).....	87
Şekil 55. Yüzey tabakada (0-30 cm) değişebilir Ca içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01).....	88
Şekil 56. 2021 yılında gübre ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızları	98
Şekil 57. 2022 yılında gübre ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızları	99
Şekil 58. 2022 yılında mineral gübre koşullarında sulama uygulamalarının kümülatif CO ₂ salımlarına etkisi	106
Şekil 59. 2022 yılında ahır gübresi koşullarında sulama uygulamalarının kümülatif CO ₂ salımlarına etkisi	107
Şekil 60. 2022 yılı sezonluk CO ₂ salımlarının hava sıcaklıkları ve H ₂ O salımları ile 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerindeki nem ve sıcaklık değerleriyle ilişkileri.....	109
Şekil 61. Ham protein oranı ile ADF arasındaki ilişki.....	117
Şekil 62. Ham protein oranı ile NDF arasındaki ilişki.....	118
Şekil 63. N içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki	125
Şekil 64. Fe içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki	126

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ADF	: Asit detarjan lif
AS	: Islak agregat stabilitesi
°C	: Santigrat derece
cmol	: Santimol
dS	: Desisimens
Dw	: Derine sızma
EC	: Elektriksel iletkenlik
ESP	: Değişebilir sodyum yüzdesi
ETa	: Gerçek bitki su tüketimi
ETc	: Bitki su tüketimi
ETo	: Referans bitki su tüketimi
IWP	: Sulama suyu verimliliği
KDK	: Katyon değişim kapasitesi
KY	: Kütle yoğunluğu
NDF	: Nötr deterjan lif
OM	: Organik madde
P	: Toplam fosfor
Por	: Porozite
SN	: Solma Noktası
TK	: Tarla kapasitesi
TN	: Toplam kjeldahl azot
TY	: Tane yoğunluğu
WP	: Su verimliliği
YS	: Yarayışlı su

GİRİŞ

Su, yaşamın devamlılığı için hayati bir kaynaktır ve çevresel ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliği için de önemlidir. Dünya yüzeyinin büyük bir kısmı suyla kaplı olmasına rağmen, bu suyun yalnızca %2,5'i tatlı su ve bu tatlı suyun sadece %0,3'ü yaşamsal faaliyetler için kullanılabilir durumdadır. Bu durum, tatlı suyun ne kadar değerli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Su, yenilenebilir bir kaynak gibi görünse de, aslında sınırlıdır. Nüfus artışı, kontrolsüz kentleşme, endüstrileşme, fosil yakıtların yoğun kullanımı, sürdürülemez tarımsal uygulamalar ve çevre bilincinin eksikliği gibi insan kaynaklı etkiler, bu sınırlı kaynağın yeterliliğini her geçen gün daha da zorlamaktadır. Araştırmalar, yakın gelecekte su kıtlığının artacağını, su savaşlarının olabileceğini, üretimde aksamaların yaşanacağını ve ekonomik sorunların ortaya çıkacağını öngörmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgeler başta olmak üzere, dünyanın büyük bir kısmında tatlı su yetersizliği büyük endişe yaratmaktadır. Artan dünya nüfusu ve küresel ısınmanın etkileri bu endişeleri daha da artırmaktadır. Önümüzdeki yıllarda, 1,8 milyar insanın su kıtlığı olan bölgelerde yaşayacağı ve dünya nüfusunun büyük bir kısmının su kıtlığı sorunlarıyla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini ve korunmasını gerektirmektedir. Su yönetimi, su kaynaklarının optimum ve faydalı kullanımını sağlamak ve olumsuz etkilerini kontrol altına almak için politika geliştirme, planlama, kalite koruma, yatırım, izleme, izin verme, denetim, yaptırım ve koordinasyon faaliyetlerini içermektedir. Sürdürülebilir su kullanımı, suyun israf edilmeden ve çevre ile uyumlu bir şekilde etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, su tüketim oranlarının azaltılması ve suyun etkin ve yeniden kullanımına ilişkin yöntemlerin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

2024 yılında Türkiye'nin nüfusu 85 664 944 kişi olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin yer altı sularından 18 milyar m³, yer üstü sularından 94 milyar m³ olmak üzere toplam kullanılabilir yıllık su potansiyeli 112 milyar m³ olarak belirtilmektedir (DSİ, 2024). Bu verilere göre, 2024 yılında kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1307 m³'tür. Türkiye, 2000'li yıllar boyunca su sıkıntısı çeken bir ülke konumunda iken devam eden azalış trendiyle, yakın gelecekte su fakiri bir ülke olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2023 tahminlerine göre, Türkiye'nin nüfusunun 2040 yılında 100 milyonu geçeceği ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1000 m³/yıl seviyelerine ineceği öngörülmektedir.

Küresel ısınmanın etkisiyle sıcaklık ve yağış miktarındaki trend değişiklikleri, hidrolojik dengeleri bozmakta ve sonuç olarak tarımsal kuraklığı artırmaktadır. Uluslararası İklim Paneli'nin verilerine göre, gelecekte sıcaklık artışının devam edeceği ve küresel ısınmanın etkisinin daha fazla hissedileceği belirtilmektedir. Küresel ısınma etkisiyle tetiklenen iklim değişikliği süreci bu hızla devam ederse, tatlı su kaynaklarının bölgesel dağılımında ve miktarında önemli ölçüde değişiklikler olacağı belirtilmektedir.

Dünya Ekonomik Forumu'nun 2025 yılı küresel risk raporunda, günümüzün en büyük risk kaynağı olarak su temini krizi belirtilmektedir. Tatlı su kaynaklarının yetersiz olduğu bazı bölgelerde su talep ve temin dengesinin bozulması nedeniyle üretimde sorunlar yaşanmaktadır. Sınırlı su kaynaklarını etkili yönetme açısından havzalar arası su transferi ve sanal su ticareti gibi birçok senaryo önerilmektedir. Ancak bunlar sürdürülebilirliği sınırlı ve ekonomik olmayan yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, su kıtlığını yönetmek için birçok ülke daha sürdürülebilir yaklaşımlar belirlemeye çalışmakta ve bu kapsamda su talep yönetimi ve birim suya karşılık verimi artırmaya yönelik su tasarrufunun önemi giderek daha fazla fark edilmektedir.

Tarım, dünya tatlı su kullanımının %69'una karşılık gelen bir oranla suyu en çok tüketen sektördür. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran daha da artarak %79'ların üzerine çıkmaktadır. Türkiye'de de suyun %77'si tarımda kullanılmaktadır (DSİ, 2024). Türkiye'de 24 milyon hektar ekilebilir tarım arazisinin ekonomik olarak sulanabilir miktarı 8,5 milyon hektar olup, bu alanın 2023 yılı itibarıyla 7,1 milyon hektarı sulamaya açılmıştır. 2027 yılı sonuna kadar 7,63 milyon hektarın sulanması hedef olarak belirlenmiştir (DSİ, 2024). Tatlı su kaynaklarının yetersizliği göz önüne alındığında, ülkemizde kurak ve yarı kurak bölgelerde, sürdürülebilir tarımsal üretim için su tasarrufu büyük önem taşımaktadır.

Tarımda birim suya karşılık üretimin artırılması seçeneklerinin değerlendirilmesi gerekir. Bu kapsamda organik madde içeriği yüksek atık materyallerin kullanımı geçmişten beri önemini korumaktadır. Çiftlik gübresi tarım alanlarında hem verime hem de toprak sağlığına katkısı açısından en yaygın kullanılan organik materyaldir. Yapılan çalışmalar topraktaki azotu etkili kullanan silajlık mısır yetiştiriciliğinde önemli bir azot kaynağı olan organik materyallerle toprağın zenginleştirilmesinin verimi önemli ölçüde artırabileceğini ortaya koymaktadır (Arslan, 2016; Yağmur ve Okur, 2018; Gümüş ve ark., 2022). Ancak, organik maddesi artırılmış koşullarda karbon mineralizasyonunun CO₂ salınımlarını artırdığı da bilinmektedir.

Toprak nemi, organik materyalle toprağa kazandırılan karbonun mineralizasyonunu kolaylaştırarak organik maddeden besin salımını etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Dolayısıyla iyi yönetilmezse, toprakta karbon kaybını artırarak CO₂ salımlarının artmasına neden olmaktadır.

Organik madde katkısı ile yürütülen çalışmaların çoğu organik materyallerin toprak özelliklerine, verime ve kalitesine etkisini incelerken, az sayıda olanı da su verim-işkilerini değerlendirilmiş, ancak hem su verimliliğini artırmada ve hem de CO₂ salınımların azaltmada sulama ile topraktaki organik maddenin yönetiminin nasıl olacağına ilişkin çalışmaların literatürde yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı organik maddesi iyileştirilmiş toprak koşullarda farklı sulama rejimleriyle toprak karbon yönetimiyle silajlık mısırdaki su verimliliğinin artırılması ile birim verim başına CO₂ salınımlarının azaltılmasıdır.



KURAMSAL TEMELLER

Silajlık Mısırın Önemi Verim ve Kalitesine İlişkin Araştırmalar

Mısır (*Zea mays L.*), güneş enerjisini etkin bir şekilde kullanabilen ve yüksek kuru madde üreten bir C4 bitkisidir (Karaşahin, 2008). Mısır fazla miktarda su ve besin maddesi tüketmekte, yüksek tüketim, birim alandan yüksek oranda üretim sağlamaktadır. Bu bitki, yüksek kuru madde içeriği ve yeşil ot verimi ile hayvan beslenmesinde önemli bir yem kaynağıdır. Ayrıca, katkı maddesi olmadan silaj yapımına uygun olması, mısırın tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Son yıllarda, mısırın özellikle süt sığırcılığı hayvancılığında verimi artırmak için kullanımı artmıştır (Keskin ve ark., 2018).

Mısır, kimyasal yapısı nedeniyle silaj yapımına en uygun bitkilerden biridir. Araştırmalar mısır, ayçiçeği, koca darı ve sudan otunun silaj kalitesini karşılaştırmış ve en iyi kalitede silajın mısırdan elde edildiğini göstermiştir. Saklama ve kullanım kolaylığı, kayıp oranının düşük olması, yüksek enerji değeri ve kolay sindirilebilir olması mısırın yem değerini daha da artırmaktadır (Olgun ve ark., 2012; Özata ve ark., 2012).

Silajlık mısır, dünya genelinde ve Türkiye'de önemli miktarda üretimi yapılan bir bitkidir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2024 verilerine göre, Türkiye'deki silajlık mısır üretim alanı 504 619,5 ha, toplam üretim miktarı 27 174 901 ton ve ortalama silaj verimi ise hektar başına 53,9 ton olarak belirlenmiştir. Erzurum ili 2024 yılı silajlık mısır üretim alanı 1627,5 ha, toplam üretim 80 790 ton ve ortalama verim 49,6 t/ha'dır (TUIK, 2024).

Mısır, Orta Amerika-Andean bölgesi kökenli bir bitkidir ve gelişme dönemi boyunca günlük ortalama sıcaklığın 15 °C'nin üstünde olması gerekmektedir (Anğın, 2006; Arıtürk, 2008; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Bu, mısırın tipik bir sıcak iklim tahılı olduğunu göstermektedir. Mısırın çimlenmesi için hava sıcaklığının 18-20 °C arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Arıtürk, 2008; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Ancak, bazı kaynaklar mısır bitkisinin 10-11 °C'de çimlenmeye başlayabileceğini ve en uygun büyüme sıcaklığının 25-30°C arasında olduğunu belirtmektedir. İlk gelişme döneminde gündüzleri 19°C, geceleri 13°C'nin altına düşmeyen sıcaklıklar gerektiği ve mısırdaki uygun büyüme sıcaklığının 24-32°C olduğu da belirtilmiştir. Bu bilgiler, mısırın geniş bir sıcaklık aralığında yetişebileceğini ve çeşitli iklim koşullarına uyum sağlayabileceğini göstermektedir (Çakmakçı, 2018).

Silajlık mısır çeşit seçiminde bitkinin yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve oranı önemli faktörlerdir (Yılmaz ve ark., 2020). Bu özellikler, bitkinin besin değerini yükseltmektedir (Atakul ve ark., 2016; Ergül, 2008; Avcı, 2019). Dolayısıyla, bu faktörlerin göz önüne alınması, silajlık mısırın kalitesini ve verimliliğini optimize etmek için önemlidir.

Kuşvuran ve ark. (2015) tarafından 20 farklı mısır çeşidi üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, bitki gelişimi ve verim açısından çeşitler arasında önemli istatistiksel farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre bitki boyları 228-260 cm, sap kalınlıkları 20,1-24,5 mm, yeşil ot verimleri 8461-13190 kg/da, kuru madde verimleri 2838-4163 kg/da ve protein oranları %4,80-7,02 arasında değişkenlik göstermiştir.

Tokat-Zile ekolojik koşullarda 10 farklı silajlık mısır çeşidinin verim ve verim değişkenleri kıyaslamıştır. Araştırma sonucunda, kuru madde verimlerinde çeşitler arasında belirgin bir farklılık tespit edilmiştir, ancak protein oranı açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Kuru madde verimi 850,4-1534,1 kg/da, bitki boyları 239,4-299,4 cm, ADF oranı %31,8-36,9 ve NDF oranı %48,7-59,4 arasında belirlenmiştir (Güven, 2016).

Han *et al.* (2016) tarafından silajlık mısırın verim ve kalite parametreleri incelenmiş, yeşil ot verimleri 7270-8441 kg/da, bitki boyları 286,7-315,6 cm, ham protein oranları %6,50-8,19, ADF oranları %30,5-35,4 ve NDF oranları %53,8-61,8 arasında belirlenmiştir.

İkinci ürün silajlık olarak yetiştirilen bazı silajlık mısır çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının silaj kalitesi üzerine etkileri incelenmiş, ilk yıl ortalama silaj kuru madde oranı %24,3 ikinci yıl %25,4 olarak saptanmıştır (Seydoşoğlu ve Saruhan, 2017).

Uşak-Banaz bölgesinde yetiştirilen bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite özellikleri incelenmiş, bitki boylarının 243,0-274,0 cm, sap kalınlıklarının 24,8-27,8 mm, yeşil ot verimlerinin 9490-13690 kg/da, kuru madde verimlerinin 1897,3-2585,4 kg/da ve protein oranlarının %9,3-14,0 arasında değiştiği belirlenmiştir (Ak, 2017).

Şen (2017) İzmir'in Tire bölgesindeki sekiz farklı silajlık mısır çeşidinin verim ve kalite özelliklerini incelenmiş, yeşil ot verimlerini 6096-7759 kg/da, kuru ot verimleri 1739,2-3809,5 kg/da, protein oranını %9,5-10,6, ADF oranını %23,3-38,5 ve NDF oranını %35,9-49,8 arasında tespit etmiştir.

Yıldız ve Erdoğan (2018) çalışmalarda, Van ili Gevaş ilçesinde Van bölgesinin genel ekolojik koşullarını ve bu koşulların silajlık mısır yetiştiriciliği üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Silajlık mısırın ortalama yeşil ot veriminin 6586,55 kg/da olduğunu belirtmişlerdir.

Menemen/İzmir'de yürütülen bir çalışmada, yedi farklı mısır çeşidi üç farklı olum döneminde hasat edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, en yüksek kuru madde miktarı (357,3 g) ve en yüksek kuru madde oranı (%34) üçüncü hasat zamanında belirlenmiştir. Maksimum koçan oranı %56 ile üçüncü hasat zamanında, maksimum yaprak ve sap oranı değerleri ise sırasıyla %32 ve %60 olarak birinci hasat zamanında elde edilmiştir. Silaj kalite parametreleri olarak en yüksek protein oranı %0,2, ADF %36,3 ve NDF %53,5 ile üçüncü hasat zamanında ölçülmüştür (Çağır, 2020).

Kobak ve Taş (2021) üç farklı silajlık mısır çeşidinin bitki boyu, kuru madde verimi ve protein oranı incelemiştir. Bu çeşitlerin bitki boyu 233,3 ile 274,8 cm arasında, kuru madde verimi 1152 ile 1437 kg/da arasında ve protein oranı ise %5,18 ile 6,25 arasında tespit edilmiştir.

Meşe ve Gülümser (2021) farklı silajlık mısır çeşitlerinin ham protein veriminin 45,7-98,7 kg/da arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Konya'nın Karapınar ilçesinde, dört farklı silajlık mısır çeşidi üzerinde yapılan bir çalışmada, bitki boyu 3,71-3,92 m, ilk koçan yüksekliği 171,2-197,4 cm, toplam yaprak ağırlığı 176,2-236,4 g/bitki, toplam koçan ağırlığı 334,8-394,6 g/bitki, toplam gövde ağırlığı 670,4-798,4 g/bitki, toplam yaş ağırlığı 1181,4-1385,0 g/bitki, nişasta oranı %22,0-26,2, ham protein oranı %5,6-7,3, ADF %28,0-32,0, NDF %47,9-54,6 ve ham yağ oranı %3,1-3,6 arasında belirlenmiştir (Soysal ve ark., 2022).

Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 20 farklı silajlık mısırın agronomik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, bitki boylarının 244,56-314,22 cm, gövde çaplarının 20,23-25,79 mm, yaprak sayılarının 12,16-17,92 adet ve koçan sayılarının 1,0-1,17 adet olduğu belirlenmiştir (Kızılsimşek *et al.* 2024).

Mısırdaki Sulama Miktarlarının Verime ve Su Verimliliğine Etkileri Üzerine Araştırmalar

Tekirdağ koşullarında, silajlık mısırın verimliliğinde iki farklı sulama yöntemi ve üç farklı sulama kısıt oranının (%0, %50 ve %100) etkisi incelenmiş; yeşil ot verimi karık sulamada 9896 kg/da, damla sulamada 9291 kg/da olarak belirlenmiştir. Sulama suyu kullanım verimliliği karık sulamada 20,8-27,0 kg/m³, damla sulamada ise 19,6-21,9 kg/m³ arasında değişmektedir (Arıtürk, 2008).

Silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarına dört farklı sulama düzeyinin (%0, %30, %70 ve %100) etkisi incelenmiş, mevsimlik su tüketiminin 92,3-695,0 mm arasında ve yeşil ot veriminin 1693,8-7028,9 kg/da arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, verim tepki faktörünün 0,75-0,79 arasında olduğu ve tam sulama uygulamasının en yüksek verimi sağladığı tespit edilmiştir (Dağdelen ve ark., 2009a).

Yarı kurak bir bölgede mısırın çeşitli fiziksel özelliklerine, verimine ve su kullanım verimliliğine kısıtlı sulamanın etkisi incelenmiş; mısır bitkisine beş farklı su kısıt düzeyi (%80, %60, %40, %20 ve %0) uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, su kısıtı arttıkça bitkinin boyun ile koçan, yaprak ve gövde veriminin azaldığını göstermiştir. Ayrıca, su kullanım verimliliğinin de düşük olduğu tespit edilmiştir (Kızıloglu *et al.* 2009).

Tekirdağ koşullarında, farklı sulama yöntemlerinin ve su düzeylerinin ikinci ürün silajlık mısırın verim ve verim bileşenleri üzerindeki etkisi araştırılmış, karık ve damla sulama teknikleri ile su ihtiyacının %0, %33, %66 ve %100'ünün karşılandığı durumda bitkinin en yüksek su tüketimi ve yeşil ot veriminin su ihtiyacının tam (%100) karşılandığı koşulda olduğu tespit edilmiş ayrıca, verim tepki faktörü karık sulama yönteminde 1,65 damla sulamada ise 1,47 olarak belirlenmiştir (Okursoy, 2009).

Konya koşullarında iki yıllık bir çalışmada, mısır bitkisinin verim ve su kullanımına farklı sulama suyu seviyelerinin (%100, %75 ve %50) etkisi incelenmiştir. İlk ve ikinci yıllarda, sulama suyu miktarları sırasıyla 839 mm ve 793 mm olarak uygulanmıştır. Bitkinin su tüketimi ise sırasıyla 923 mm ve 859 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, birinci yıl için verim tepki faktörü 0,93, ikinci yıl için ise 1,08 olarak tespit edilmiştir. Su kullanım etkinliği sırasıyla 1,34 kg/m³ ve 1,83 kg/m³, sulama suyu kullanım etkinliği ise 1,45 kg/m³ ve 2,0 kg/m³ olarak tespit edilmiştir (Topak ve ark., 2009).

Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesinde farklı sulama seviyelerinin (I20, I40, I60, I80, I100 ve I120) mısırın su tüketimi, verimliliği ve bazı tarımsal parametreler üzerindeki etkileri incelenmiş, mevsimsel toplam sulama suyu miktarı 55 mm ile 381 mm, ortalama mısır tane verimi 1,93 t/ha ile 10,4 t/ha arasında değişkenlik göstermiş, en yüksek tane verimi ve verim bileşenleri I120 sulama seviyesinde elde edilmiş, en düşük verim ise I20 sulama seviyesinde gözlemiştir (Bozkurt ve Yazar, 2011). Araştırmacılar, en yüksek su kullanım etkinliği değerinin 1,77 kg/m³ ile I120 sulama seviyesinde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, mevsimsel verim tepki faktörünü 1,98 olarak hesaplamışlardır.

Yarı kurak koşullarda farklı sulama suyu miktarlarının mısırın verim ve silaj kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiş, farklı sulama seviyeleri için mevsimsel evapotranspirasyon 434 ile 1003 mm arasında değişkenlik göstermiş, yeşil yem verimi, I25, I50, I75 ve I100 sulama seviyeleri için sırasıyla 35,0, 53,6, 83,3 ve 88,9 t/ha olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, en yüksek verim ve silaj kalitesi tam sulama (I100) seviyesinden elde edildiği bildirilmiştir (Simsek *et al.* 2011).

Arıtürk ve Erdem (2011) tarafından Tekirdağ koşullarında yürütülen bir çalışmada, II. ürün olarak yetiştirilen silajlık mısır bitkisinde farklı sulama yöntemleri ve seviyelerinin verim, su tüketimi ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmada, tam sulama koşullarında karık sulama yönteminde mevsimlik bitki su tüketimi 506 mm, damla sulama yöntemi için ise 429 mm olarak belirlenmiştir. En yüksek yeşil ot verimi, karık sulama yöntemiyle 98,96 t/ha, damla sulama yöntemiyle ise 92,91 t/ha olarak tespit edilmiştir. Sulama suyu ve bitki su tüketimi randımanlarının, su kısıtlı sulama uygulamalarında daha yüksek olduğu gözlemlenmiş ve bu durum, su tasarrufunun sulama randımanını artırabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, bitki su stresi indeksinin sulama zamanlaması ve verim tahmini açısından önemli bir gösterge olduğu belirlenmiştir.

Bursa koşullarında, silajlık mısırın tane verimini ve bazı morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla farklı sulama suyu düzeylerinin (I125, I100, I75, I50, I25 ve I0) etkisi incelenmiş, en yüksek verimin I125 sulama düzeyinde elde edildiği tespit edilmiştir. Ancak, su kaynaklarının kısıtlı olduğu durumlarda, I75 sulama düzeyinin verim açısından en iyi seçenek olduğu ifade edilmiştir (Karasu *et al.* 2015).

Farklı sulama suyu miktarlarının (%100, %70 ve %35) silajlık mısır çeşitlerinin kuru madde verimi ve silaj kalitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada; bitki su tüketiminin, kuru madde veriminin, protein miktarının ve su kullanım randımanının en yüksek seviyelerinin %100 sulama koşulunda olduğu belirtilmiştir (Ucak *et al.* 2016).

Ors *et al.* (2015) damla sulama yöntemiyle yetiştirilen silajlık mısır bitkisinde kısmi kök bölgesi kurutma (PRD) ve tam kök bölgesi sulama (FI) tekniklerinin verim, büyüme, kalite ve sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Üç farklı sulama seviyesi (%115, %100 ve %85 Class-A pan buharlaşması) ve iki sulama aralığı (4 gün ve 8 gün) uygulanmıştır. PRD yöntemi, su miktarını %44 oranında azaltarak sulama suyu tasarrufu sağlamış, ancak verim üzerinde farklı sulama uygulamalarına bağlı değişiklikler gözlemlenmiştir. FI uygulamalarında en yüksek toplam taze ve kuru madde verimi (%115 buharlaşma seviyesinde ve 8 günlük sulama aralığında) elde edilmiştir. PRD uygulamalarında ise en yüksek taze madde verimi (%115 buharlaşma seviyesi, 8 günlük aralık) ve en yüksek

kuru madde verimi (%100 buharlaşma seviyesi, 4 günlük aralık) kaydedilmiştir. En iyi IWUE değerleri, PRD yöntemiyle %100 buharlaşma seviyesinde ve 4 günlük sulama aralığında görülmüştür. Bununla birlikte, sulama yöntemlerinin bitki mineral içeriği, lif oranları ve protein içeriği üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır.

Kobak (2019) tarafından Balıkesir-Manyas ekolojik koşullarında, ikinci ürün olarak yetiştirilen silajlık mısırın dinamik sulama programıyla sulanmasının verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, üç farklı sulama aralığı (3, 6 ve 9 gün) ve üç sulama seviyesi (%75, %100, %125) uygulanmıştır. En yüksek bitki boyu, yeşil ot verimi ve ham protein oranı sırasıyla tam sulama ve %125 su seviyesi uygulamalarında elde edilmiştir. Sulama seviyesinin artması ile birlikte, bitki boyu ve yeşil ot veriminde artış gözlemlenmiştir. Ancak, aşırı sulama uygulamalarında kalite parametrelerinde olumsuz etkiler oluşabileceği vurgulanmıştır.

Akşit (2020) tarafından yüzey altı damla sulama yöntemi kullanılarak sulama seviyelerinin silajlık mısır bitkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada, sulama suyu miktarları ve gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerlendirilmiştir. Araştırma, farklı sulama uygulamaları (%125, %100, %75, %50) altında yürütülmüştür. Gerçek bitki su tüketimi, ilk yıl 457 - 713 mm arasında, ikinci yıl ise 414 - 711 mm arasında bulunmuştur. Tam sulama uygulaması en yüksek verim değerlerini sağlarken, kısıntılı sulama seviyelerinde su kullanım etkinliğinin arttığı gözlenmiştir.

Akın ve Adıgüzel (2020) Erzurum Pasinler ovasında üç yıllık bir süreyle farklı sulama rejimleri ve toprak işleme yöntemlerinin silajlık mısır üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Geleneksel, azaltılmış ve sıfır sürüm olmak üzere üç farklı toprak işleme yöntemi ve dört farklı sulama seviyesi (tam sulama ve %25, %50, %75 oranında kısıntılı sulama) kullanılarak tarla denemesi yürütmüşlerdir. Sulama etkinliği, nötron prob kullanılarak farklı toprak derinliklerinde (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) ölçülmüştür. En yüksek verim sıfır sürüm uygulaması ve %75 kısıntılı sulama yöntemiyle elde edilmiştir. Bu seçeneklerin, silajlık mısır üretiminde ekonomik verim elde edilmesi ve enerji tasarrufu sağlanması açısından bölge üreticilerine önerilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca, %75 kısıntılı sulama uygulamasının su kullanım etkinliğini artırdığı da gözlenmiştir.

Keten (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, Kahramanmaraş ekolojik koşullarında ikinci ürün silajlık mısır ve sorgum bitkilerinde farklı sulama seviyelerinin su-verim ilişkisi, fizyolojik özellikler ve yem kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beş farklı sulama seviyesi (%100, %80, %60, %40 ve %20) uygulanmış ve tam sulama koşulunda en yüksek yeşil ot verimi, bitki boyu, gövde çapı, yaprak sayısı, klorofil içeriği ve protein oranı değerleri elde

edilmiştir. Su kısıtlı koşullarda, bu değerlerin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, su kullanım etkinliği ve sulama suyu kullanım etkinliği değerleri, sulama seviyelerine bağlı olarak değişiklik göstermiştir.

Balıkesir ili Manyas ilçesi ekolojik koşullarında ikinci ürün silajlık mısırın verim ve morfolojik özelliklerine dinamik sulama programının etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı sulama aralığı (3, 6 ve 9 gün) ve üç farklı evapotranspirasyon (ETc) seviyesinin (%75, %100 ve %125) etkisi araştırılmış mevsimlik gerçek evapotranspirasyon 320-582 mm, su kullanım randımanı 3,91-5,82 kg/m³, sulama suyu kullanım randımanı 4,26-6,92 kg/m³, yeşil ot verimi 6087,8-11062,8 kg/da olarak belirlenmiştir (Kobak ve Taş, 2021).

Cakmakci ve Sahin (2021) arıtılmış atık suyun farklı sulama yöntemleriyle uygulanmasının silajlık mısır üzerindeki makro ve mikro element ve ağır metal birikimine etkilerini incelemiştir. 2015 ve 2016 yıllarında yarı kurak iklime sahip Van koşullarında yürütülen araştırmada, yüzey altı damla, yüzey üstü damla ve geleneksel karık sulama yöntemleri kullanılmıştır. Tam sulama (%100), %33 ve %67 kısıtlı sulama uygulamalarıyla birlikte, arıtılmış atık su ve temiz su karşılaştırılmıştır. Arıtılmış atık su kullanımı, bitkide azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), bor (B) ve demir (Fe) gibi besin elementlerinde önemli artışlara yol açmıştır. Ağır metallerde ise (Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) %75 ile %770 arasında değişimler gözlemlenmiştir.

Sulama yöntemi ne olursa olsun, bitkide mikro element birikimi Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd sırasıyla gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda, arıtılmış atık suyun sulama suyu yetersizliği yaşayan bölgelerde alternatif bir sulama kaynağı olarak güvenle kullanılabileceği ve besin elementi takviyesi sağlayabileceği belirlenmiştir.

Çelebi ve Türk (2021) tarafından yürütülen bir araştırmada, Isparta ekolojik koşullarında yüzey altı damla sulama yöntemi kullanılarak farklı sulama seviyelerinin silajlık mısırın verim ve kalite parametrelerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada altı farklı sulama seviyesi (I150, I125, I100, I75, I50 ve I25) uygulanmış ve tam sulama seviyesinde bitki boyu, sap kalınlığı, yeşil ot verimi ve kuru madde veriminde en yüksek değerler elde edilmiştir. Su miktarının azalmasıyla bitki boyu ve verim değerlerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, artan su miktarına bağlı olarak ADF ve NDF oranları artarken, ham protein oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tarı (2022) tarafından yürütölen bir çalışmada, şanlıurfa Harran Ovası ekolojisinde damla sulama sistemi ile farklı sulama seviyelerinin silajlık mısıır bitkisindeki sezonluk evapotranspirasyon (ETc) değlerleri değlendirilmiştir. Çalışmada tam sulama uygulamasında evapotranspirasyon değlerleri ilk yıl için 708,4 mm ve ikinci yıl için 759,1 mm olarak tespit edilmiştir. %50 kısıntılı sulama uygulamasında bu değlerler ilk yıl için 397,3 mm, ikinci yıl için ise 419,2 mm olarak belirlenmiştir.

Yerli *et al.* (2023), arıtılmış atık suyun farklı seviyelerdeki sulama uygulamalarının silajlık mısıır yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim yöntemleri altında araştırmışlardır. İki yıllık deney sonuçlarına göre, atık su kullanımı toprağın organik madde, azot ve bitki tarafından alınabilir fosfor içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Doğrudan ekim yöntemi, bu besin maddelerinin toprakta daha iyi korunmasını sağlayarak toprak verimliliğini geleneksel yöntemle kıyasla daha etkili bir şekilde artırmıştır. Ancak, atık su ile yapılan tam sulama toprağın elektriksel iletkenliğini artırarak tuzluluk sorunlarına neden olmuş, bu durum doğrudan ekim yöntemi ile kısmen hafifletilmiştir. Ayrıca, sulama ile kadmiyum ve nikel gibi ağır metallerin toprakta birikimi gözlemlenmiş, fakat doğrudan ekim ve %67 kısıtlı sulama uygulaması bu birikimi azaltmada etkili olmuştur. Atık su kullanımı, toprak pH'sında düşüşe neden olmuş ve bu da kireç çözünürlüğünü artırarak CaCO₃ seviyesini azaltmıştır.

Altun (2024) farklı sulama rejimlerinde arıtma çamuru uygulamasının silajlık mısıır yetiştirilen koşulda verimlilik parametreleri ve karbon stok değışimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma, dört farklı arıtma çamuru dozu (0, 30, 60, 90 t/ha) ve üç farklı sulama rejimi (ETc - etkili yağış farkı 25 mm, 50 mm ve 75 mm olduğunda sulama) kullanılarak yürütölmüştür. Çalışma sonucunda, arıtma çamuru uygulamasının toprak verimliliği üzerinde olumlu etkiler sağladığı, toprağın organik madde, azot, fosfor ve potasyum içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, arıtma çamuru uygulaması, toprağın porozitesini, agregat stabilitesini ve tarla kapasitesini artırırken, bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimi gibi parametrelerde iyileşmeler sağladığı tespit edilmiştir. Ağır metal içeriğinde de artış olmasına rağmen, bu artışların sınır değlerlerin altında kaldığı belirlenmiştir.

Ahır Gübresinin Üretime ve CO₂ Salımına Etkisi

Ahır gübresi gibi organik materyaller, bir taraftan başta N olmak üzere P, K, Ca, Mg, Cu ve Zn gibi birçok bitki besin elementini bünyesinde bulundurduğundan mineral gübreler gibi bitki beslenmesini sağlarken, diğer taraftan toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini de (su tutma kapasitesi, havalanma, strüktürel stabilite, mikrobiyal aktivite ve verimliliğin artırılması gibi) geliştirerek tarımsal alanların çevreyle birlikte sürdürülebilir

kullanımına katkı sağlamaktadır (Nazlı *et al.* 2014; Arslan, 2016). Organik gübre, topraktaki mikroorganizmaları uyarak bitki besin maddelerini kolayca elde edilebilir hale getirmektedir (Fandika *et al.* 2007). Mikroorganizma aktivitesinin artması, organik maddenin daha hızlı parçalanmasını ve bitkiler için gerekli besin maddelerinin serbest kalmasını sağlamaktadır. Bu durum, bitki beslenmesini iyileştirmekte ve toprak ekosisteminin dengesini korumaktadır (Köleli ve ark., 2006, Sönmez ve ark., 2008).

Geleneksel tarımda uzun yıllardır temel besin kaynağı olarak kullanılan ahır gübresi, toprağın verimliliğini artırmak ve bitki besin ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir role sahip olsa da, bu gübrenin yanlış veya kontrolsüz kullanımı bazı çevresel ve tarımsal riskler de barındırmaktadır (Karaca ve Turgay, 2012; Cüre, 2022).

Ahır gübresi uygulaması, toprağın gevşek ve geçirgen yapısını destekleyerek kök gelişimi için daha uygun bir ortam sağlamaktadır. Toprak partiküllerinin birbirine daha iyi bağlanmasını sağlayarak erozyonu önler ve suyun daha derin katmanlara nüfuz etmesini kolaylaştırır. Böylelikle toprak, suyu uzun süre muhafaza edebilir ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu nemi korumaktadır (Karaca ve Turgay, 2012).

Ahır gübresinin topraktan fazla miktarda besin maddesi sömürme potansiyeli olan bitkiler için daha fazla dozuna ihtiyaç duyulduğunda yıllık besin ihtiyacının karşılanmasında 2-3 ton/da dozunun yeterli olduğu, bitkiye alınabilir azot sağlama süresinin bir yıl fosfor sağlama süresinin 10 yıl ve potasyum sağlama sürecinin 5 yıl olduğu belirtilmiştir (Kızılgöz, 2012).

Ahır gübresinin bilinçsiz kullanımı, çeşitli tarımsal ve çevresel sorunlara yol açabilmektedir. Yeterince olgunlaşmamış gübreler, toprağın azot dengesini bozarak bitkiler için zararlı olabilmektedir. Fazla miktarda uygulandığında ise toprakta tuzluluk oranını artırarak bitkilerin su alımını zorlaştırmakta ve verim kaybına neden olmaktadır. Ayrıca, kontrolsüz ahır gübresi kullanımı, toprakta patojen mikroorganizmaların çoğalmasına zemin hazırlayarak bitki hastalıklarının yayılmasına neden olabilmektedir. Eğimli arazilerde aşırı gübre kullanımı, yağışlarla birlikte yüzey akışı oluşturarak yer altı ve yüzey sularında nitrat kirliliğine yol açabilmektedir. Bu durum hem tarımsal verimliliği azaltmakta hem de çevre sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Kacar ve Katkat, 2018).

Yüksek bir üretim için mineral (kimyasal) gübrelerin yoğun kullanımı toprak yapısına zarar vermekte, toprak asitliğini artırmaktadır. Yapılan araştırmalarda, fazla uygulanan bazı mineral gübrelerin toprağı disperse ettiği vurgulanmaktadır (Yıldız, 2018). Bitkilerin besin ihtiyacının karşılanmasında ticari gübrelerin girdi maliyet sorunları ile toprak yapısı üzerindeki olası negatif etkilerini azaltmak amacıyla organik madde içeren materyallerin tarım alanlarında kullanılması yaygın bir pratiktir. Bu amaçla organik maddesi yüksek kompost, çiftlik gübresi,

stabilize arıtma çamuru, yeşil gübre gibi materyaller organik gübre kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu tarım işletmelerinde, bitkisel üretim alanlarında yaygın şekilde kullanılan ahır gübresi, kolay temin edilebilen bir girdidir.

Türkiye’de 2015 yılı TUİK verilerine göre yılda yaklaşık 208 milyon ton taze hayvan gübresi ve bundan 87 milyon ton olgun gübre üretimi, her yıl 3 milyon hektar alanda kullanılarak, toprakların verimlilik potansiyelini, yetiştirilen bitkilerin verim ve kalitesini artırmaya yeterlidir (Gezgin, 2018). Türkiye’de TUİK 2024 yılı verilerine göre 16 824 208 büyükbaş hayvan (sığır) sayısı ile daha da artan üretim potansiyeli hayvan atıklarının geri dönüştürülebilir değerli bir toprak düzenleyici ve besin kaynağı olarak bitkisel üretim alanlarında tercih edilmesini teşvik etmektedir.

Erzurum ili Türkiye’nin önemli hayvancılık bölgelerinden biri olup 2023 yılı büyükbaş (sığır) hayvan sayısı 517 985 ve Türkiye toplamına oranı %3,1’dir (TUİK, 2024). Erzurum koşullarında giderek artan silajlık mısır yetiştiriciliği, yoğun hayvancılıkla yakından ilgilidir ve kışı uzun geçen bölgede hayvanların barınakta kalış süreleri göz önüne alındığında silajlık mısır, oldukça değerli bir yemdir. İlde silajlık mısır üretim rakamları göz önüne alındığında büyükbaş hayvan işletmelerinden sağlanacak ahır gübresi, silajlık mısır yetiştiriciliğinde mineral gübreler yerine daha ucuz bitki besin kaynağı olarak ekonomik ve çevresel avantajlar sağlayabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada, Yağmur ve Okur (2018) kompost ve ahır gübresi kullanımının mısır bitkisinin kuru madde, makro ve mikro besin maddesi içeriğini mineral gübreye göre artırdığını ve bu artışın organik gübrelerin sağladığı organik asit gibi bileşiklerin besin elementlerinin elverişliliğini artırmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Arslan (2016) tarafından da silajlık mısırın kimyasal gübre uygulanmadan 1000 kg/da katı ahır gübresiyle bile ekonomik düzeyde yeşil ot verimi sağlanabildiği, hatta organik gübrenin kısmi etkisinin 3 yıl boyunca görülebileceği belirtilmiştir. Benzer kapsamda Martínez *et al.* (2017)’de sığır gübresiyle gübrelemenin kurak Akdeniz koşullarında toprak kalitesini iyileştirirken yüksek mısır verimi elde etmek için mineral gübreye bir alternatif olabileceğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmanın yürütüldüğü Erzurum bölgesi gibi kışın don olayı görülen topraklarda ilkbaharda donma-çözülmenin toprak yapısına olası tahribatını giderme noktasında da organik madde etkisiyle sürdürülebilir kazanımlar elde edilebilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda, organik madde eklenmesinin donma-çözülmenin toprakta agregat stabilitesi, hacim ağırlığı ve geçirgenlik üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için iyi bir yol olabileceği ifade edilmiştir (Sahin *et al.* 2008; Sahin *et al.* 2020).

Silaj verimini ve kalitesini artırdığı için mısır bitkisinin azotlu gübreyle olan gereksinimi fazladır. Mineral N, toprak organik maddesinin, bitki kalıntılarının, hayvan gübrelerinin ve diğer organik materyallerin ayrışması sırasında ve ayrıca sentetik N gübrelerin uygulanmasından elde edilmektedir. Yapılan birçok çalışmada artan azot dozlarının mısırdaki bitki boyu, gövde çapı, ham protein oranı, yeşil ot verimini, net ve toplam karlılığı artırdığı, ADF ve NDF oranlarını azalttığı rapor edilmiştir (Çiçek, 2019; Souza *et al.* 2020; Uzun *et al.* 2020). Azot toprakta oldukça hareketlidir ve yağmurlarla veya sulama suyuyla yıkanabildiği gibi gaz halinde atmosfere de kolaylıkla geçebilmektedir.

Topraktaki azot bitkiler tarafından inorganik azot formları olan amonyum (NH_4) ve nitrat (NO_3) halinde alınıp kullanılabilir (Unver *et al.* 2012). Azot uygulamasında buharlaşma, yıkanma, aşırı yağışlar ve denitrifikasyon gibi nedenlerle kayıpların fazla olması uygulanan azotun yeterince bitki tarafından alınamamasına neden olmakta ve dolayısıyla verimde arzu edilen artışlar da sağlanamamaktadır (Çiçek, 2019). Yüksek azot dozlarında amonyağın buharlaşması, nitröz oksit salınması veya nitratın yer altı suyuna sızmasıyla kayıplarını önlemek için gübreleme yönetimi önemlidir (Souza *et al.* 2020). Türkiye’de çoğu bölgede aşırı azot kullanımı ile hem ekonomik kayıplar söz konusu olmakta ve hem de yer altı sularında ve atmosferde kirliliğin artmasının yanın da toprak yapısında bozulma ve tuzlulukta da artışlar görülmektedir (Özyazıcı ve ark., 2009; Arslan, 2016).

Hayvansal gübrenin organik gübre olarak tarım toprağına uygulanması toprak sağlığını ve tarımsal üretimi iyileştirmekte, aynı zamanda sera gazı salınımları üzerinde de önemli etkiye sahip olmaktadır (Shakoor *et al.* 2021). Organik maddenin mineralizasyonu sürecinde topraktan atmosfere nitröz oksit (N_2O) ve CO_2 salınımları gerçekleşmektedir. Nitröz oksit, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemi sürecinde mikrobiyal metabolizmanın bir ürünüdür.

Nitrifikasyon, toprakta amonyak oksidasyon süreci olarak tanımlanmaktadır. Mikrobiyal denitrifikasyon, oksijen talebinin arzını aştığı, su doygunluğu altında veya yerel O_2 tüketiminin çok yüksek olduğu anaerobik mikro ortamlarda nitrat bulunduğunda gerçekleşmektedir (Muñoz *et al.* 2010). Dolayısıyla uygulanan N gübre miktarı arttıkça N_2O üretme ve yayma potansiyeli artmaktadır (Deng *et al.* 2015). Ancak kısıtlı oksijen koşulları altında nitrit dönüşümünün yan ürünü olarak az miktarlarda N_2O oluşmaktadır (Kayıkçıoğlu ve Okur, 2012).

Denitrifikasyonda özellikle topraktaki nitrat miktarı, organik madde miktarı ve toprağın nem durumu etkili olmaktadır. Hatta denitrifikasyonla toprağa uygulanan azotun yaklaşık %10 ila %40'ı kaybolmakta ve ayrıca küresel ısınma potansiyeli açısından tarım topraklarına uygulanan azotun her kilogramına karşılık ortalama olarak 4,65 kg CO₂ salımının olduğu ifade edilmektedir (Deniz, 2019). Sosulski *et al.* (2020)'da topraktan gelen CO₂ salımının atmosferik sıcaklık ve toprak nemine göre toprak NO₃ içeriği ile daha güçlü korelasyon gösterdiğini belirlemişler ve toplam toprak CO₂ salımları ile toprak NH₄ içeriği arasındaki ilişkiyi de negatif bir korelasyon ile tanımlanmışlardır.

Topraktaki organik maddenin bozulmasıyla ilgili CO₂'nin salımı küresel karbon döngüsünün önemli bir bileşenini temsil etmektedir. Toprakta organik karbonun artması mikrobiyal aktiviteyi ve böylece karbonun ayrışmasını teşvik ederek CO₂ salımında artışlarla toprakta var olan karbon deposunda azalışa yol açmaktadır (Kayıkçıoğlu ve Okur, 2012; Deniz, 2019). Mikro canlılar karbonu enerji kaynağı olarak kullanıp CO₂ şeklinde vermektedirler (Karaca, 2021). Dolayısıyla topraktan salınan CO₂, özellikle besin maddelerinin mineralizasyonunu ve organik materyal ayrışma oranını belirlemek için yararlı bir göstergedir. Topraktan CO₂ salımı, organik materyalin ayrışmasında rol oynayan mikroorganizmaların mineralizasyon süreçlerinin ve kök solunumunun bir sonucudur (Muñoz *et al.* 2010; Lai *et al.* 2017). Her iki kaynaktan da yaklaşık eşit CO₂ salımı elde edildiği ifade edilmektedir (Hanson *et al.* 2000).

Toprak sıcaklığındaki bir artış, daha yüksek toprak solunum hızına yol açarken, uzun kuraklık dönemleri toprak solunumunu önemli ölçüde azaltabilir (Sosulski *et al.* 2020). Sıcak ve nemli koşullarda organik maddenin ayrışması ve CO₂ salımı genellikle daha hızlıdır (Okur ve Kayıkçıoğlu, 2008). Kıştan ilkbaharın başlarına kadar, CO₂ salımını etkileyen birincil faktör sıcaklıktır; kurak dönemde toprak nem içeriği, sürecin kontrolünde en önemli rolü oynamaktadır (Lai *et al.* 2017). Hossain *et al.* (2017)'de yüksek sıcaklığın bazı organik materyallerin (solucan gübresi, tavuk gübresi, sığır gübresi ve pirinç samanı) mineralizasyonunu artırdığını belirlemiştir.

Toprak su içeriği, amonyum ve nitrat içerikleri, toprak havası, pH ve mineralize karbon miktarı nitrifikasyon ve denitrifikasyonu etkileyen faktörlerdir (Deniz, 2019). Islanma-kuruma süreçlerinin nitrifikasyonu etkilediği, su dolu boşluk hacminin %60'ına ulaşıldığı koşullarda nitrifikasyon ve CO₂ oluşumunun teşvik edildiği, topraklardan N kaybının nitrat elverişliliği ve toprak nemi etkileşimi ile kontrol edildiği belirtilmektedir (Kayıkçıoğlu ve Okur, 2012).

Ağaçayak ve Öztürk (2017) havalandırma ile nitröz oksit salınımlarının azaltılabileceğini, sulama yönetim teknikleriyle de topraktaki karbon depolanmasının, ürün veriminin artırılabilceğini, CO₂ salımlarının azaltılabileceğini ifade etmişlerdir. Ekilebilir topraktan CO₂ salımını etkileyen anahtar faktörler sıcaklık ve toprak nemi, toprak işleme yoğunluğu ve gübrelemedir. Toprak sıcaklığındaki artış, daha yüksek toprak solunum hızına yol açarken, uzun kuraklık dönemleri toprak solunumunu önemli ölçüde azaltabilmektedir. Dolayısıyla toprakta maksimum organik madde mineralizasyonunun, hem oksijen beslemesi ve hem de bir ara nem içeriğinde meydana geldiği düşünülmektedir.

Küresel CO₂ salımlarında Çin'in payı yaklaşık %30, ABD'nin %14 ve Avrupa Birliği'nin %10'dur (Rutkowska *et al.* 2018). Çin'de bu durum göz önüne alınarak, tarımsal üretimde sera gazı salımını azaltmak için kimyasal gübre yerine çiftlik gübresi uygulaması ve azot girdi oranını düşürme gibi uygulamaların, farklı topraklarda ve iklim koşullarında öncelikli olarak göz önüne alınması ve optimize edilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Ren *et al.* 2017).

Zayıf su yönetimi rejimi ve yüksek gübreleme girdileri yeraltı sularına N sızıntısını artırmaktadır (Fandika *et al.* 2007). Projenin yürütüleceği bölgede silajlık mısır karık yöntemi ile sulanmaktadır. Büyük su gereksinimi olan bu yöntem, azotun yıkanımını önemli ölçüde artırabilmektedir ve azotlu gübrenin yoğun kullanımına neden olmaktadır. Yüzey sulamada %35-60 oranında oluşan su kaybının azaltılması için damla sulama gibi su tasarrufu yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Diğer sulama yöntemlerine göre damla sulama, derin süzülme yoluyla su ve besin kaybını azalttığı ve daha kontrollü sulama ile toplam su gereksinimini azalttığı için su ve besin maddelerinin kullanımında etkinliği artırmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı, mali desteklerle 2006 yılından bu yana damla sulama sistemi kurmak isteyen çiftçileri teşvik etmektedir. Bu nedenle damla sulama sistemleri ile sulanan tarım arazileri ülkede her geçen yıl artmaktadır (Kuscu *et al.* 2013; Çakmak and Avcı, 2017).

Ding *et al.* (2007) mısır yetiştiriciliğinde farklı miktarlarda azotlu gübre uygulamalarının topraktan CO₂ salımına etkilerini araştırmış, 0 kg/ha, 150 kg/ha ve 250 kg/ha azot uygulamaları sonucunda sezonluk CO₂ salım değerleri sırasıyla 598, 541 ve 539 g CO₂/m² olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, CO₂ salımının toprak neminden etkilenmediği, ancak CO₂ salımı ile toprak sıcaklığı arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Şenyiğit ve Akbolat (2010) damla, yağmurlama ve salma sulama yöntemleriyle sulamada CO₂ salım değerlerini sırasıyla 0,065 g/m²/h, 0,071 g/m²/h ve 0,084 g/m²/h olarak belirlemişlerdir. Damla sulama yöntemi, yüzey sulamaya kıyasla %29, yağmurlama sulama yöntemine göre ise %9 daha az CO₂ salımı sağlamıştır.

Maris *et al.* (2015) yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemleriyle %100 ve %50 seviyelerinde sulamanın, topraktan CO₂ salımına etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, kısıntılı sulama yaklaşımlarıyla CO₂ salımının azaltılabileceği belirtilmiştir. Sezonluk CO₂ salım değerleri, yüzey üstü damla sulamada %100 ve %50 sulama seviyeleri için sırasıyla 771 kg/ha ve 681 kg/ha, yüzey altı damla sulamada ise aynı sulama suyu seviyeleri için sırasıyla 801 kg/ha ve 645 kg/ha olarak belirlenmiştir.

Mancinelli *et al.* (2015) çeşitli organik malçların, azotlu gübrelemenin (0 ve 100 kg/ha) ve farklı sulama suyu seviyelerinin (%100, %75 ve %50) CO₂ salımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, CO₂ salımının zamana bağlı olarak ve su kısıntısıyla azaldığı, toprağa su girişinin yüzey toprağını serinletmesi nedeniyle CO₂ salımının ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir.

Fares *et al.* (2017) damla sulama yöntemiyle %75, %100 ve %125 seviyelerinde sulanan mısır tarlasına farklı dozlarda azot uygulanmasının (0, 168, 336 ve 672 kg/ha) topraktan CO₂ salımına etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmada, artan azot dozlarıyla toprak biyolojisindeki artışa bağlı olarak CO₂ salımlarının da arttığı, sulama suyu seviyesinin artmasıyla CO₂ salımlarının arttığı ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, toprak nemi ile CO₂ salımı arasında da pozitif bir korelasyon olduğu belirtilmiştir.

Hou *et al.* (2020) mısır tarlasında farklı sulama suyu seviyeleri (%100, %40 ve %20) kullanılarak yapılan bir çalışmada, %20 ve %40 seviyelerindeki kısıntılı sulama uygulamalarının CO₂ salımlarını tam sulama uygulamasına kıyasla sırasıyla %9,8 ve %14,3 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, CO₂ salımının toprak nemi ve toprak sıcaklığı ile anlamlı bir ilişkisi olduğunu ve %20 seviyesindeki kısıntılı sulama uygulamasının mısırın verim ve kalitesini önemli ölçüde etkilemeden topraktan CO₂ salımlarını önemli ölçüde azalttığını ifade etmişlerdir.

Wei *et al.* (2021) salma ve damla sulama yöntemleri altında farklı sulama suyu tuzluluk seviyelerinin (1,1 g/L, 2,0 g/L, 3,5 g/L ve 5,0 g/L) CO₂ salımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, damla sulama yönteminin salma sulama yöntemine göre daha düşük CO₂ salım değerlerine sahip olduğunu ve tuzluluk seviyesinin azalmasıyla CO₂ salımının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, yıllık CO₂ salımlarının %84'ünün bitki büyüme döneminde gerçekleştiğini ve nadasa bırakılan dönemde salım açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Zhong *et al.* (2021) farklı sulama suyu seviyelerinin (%10, %20, %30, %40, %50 ve %100) CO₂ ve N₂O salımı üzerine etkilerini incelenmiştir. Çalışmalarında, CO₂ salımlarının tam sulamaya göre %10, %20, %30, %40 ve %50 sulama suyu kısıntılarında sırasıyla %8,6, %5,7, %14,3, %14,1 ve %19,3 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, farklı sulama suyu seviyelerinde CO₂ salımının toprak sıcaklığıyla lineer bir ilişki gösterdiğini ve %30 sulama suyu kısıntısının buğday veriminin korunması ve sera gazı salımlarının azaltılması için en ideal uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

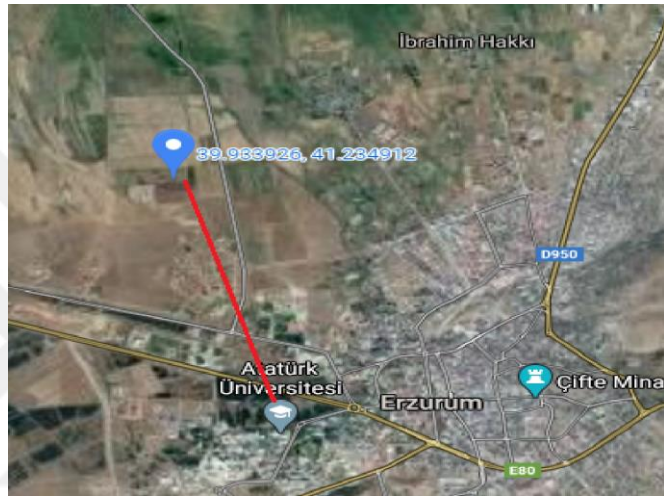
Yerli *et al.* (2022), farklı sulama seviyelerinin (%0, %33 ve %67) ve toprak işleme yöntemlerinin (geleneksel ve doğrudan ekim) CO₂ salımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, CO₂ salımlarının tam sulamaya göre %33 ve %67 sulama seviyelerinde sırasıyla %38,7 ve %13,8 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, CO₂ salımlarının toprak nemi ve sıcaklığı ile güçlü pozitif korelasyonlar gösterdiğini ve doğrudan ekim uygulamasının geleneksel toprak işleme yöntemine kıyasla mevsimlik CO₂ salımlarını %25,1 ve %26,1 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Sulama suyunun %33 kısıntısının, atık su ile sulama koşullarında CO₂ salımlarını azaltmak ve su tasarrufu sağlamak için en ideal uygulama olduğu sonucuna varmışlardır.

Altun (2024) Erzurum koşullarında arıtma çamuru eklenmiş toprakta silajlık mısır yetiştiriciliğinde sık sulama uygulamalarının CO₂ salımını artırdığını, ancak aynı verimi sağlamak için daha az alan gerektiği için bu uygulamanın birim verim başına CO₂ salımını azalttığını tespit etmiştir.

MATERYAL VE METOT

Deneme Alanı

Bu çalışma, Erzurum il merkezinde Atatürk Üniversitesi, Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi deneme sahasında 2021 ve 2022 yıllarında Mayıs - Eylül arası dönemi kapsayan vejetasyon periyodunda yürütülmüştür. Deneme alanı 39.933° kuzey enlem 41.237° doğu boylamında bulunmaktadır, denizden yükseltisi 1780 m'dir (Şekil 1).



Şekil 1. Deneme alanı drone ve uydu görüntüsü (Google Earth: 19.04.2021) ve deneme tarlası

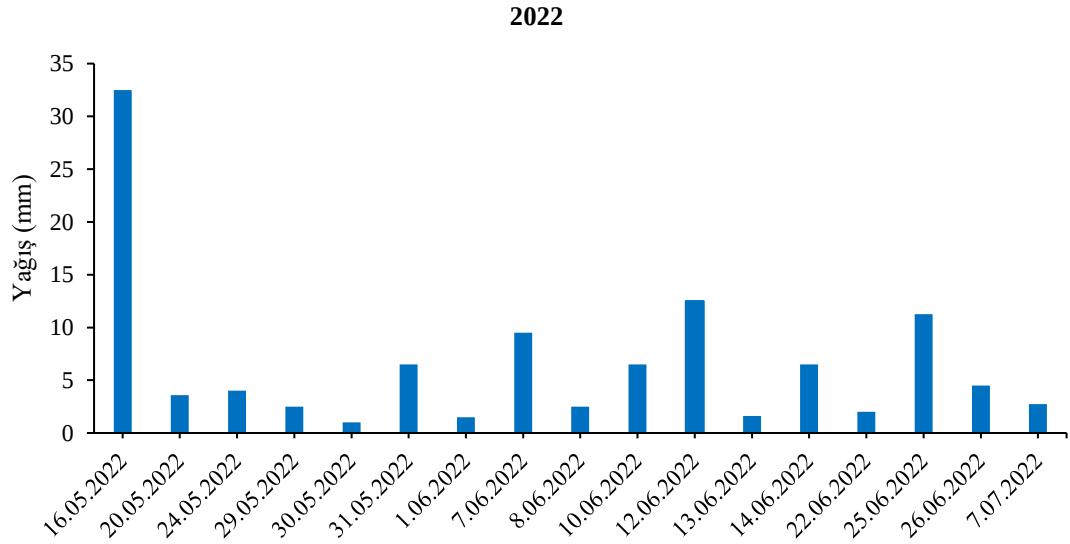
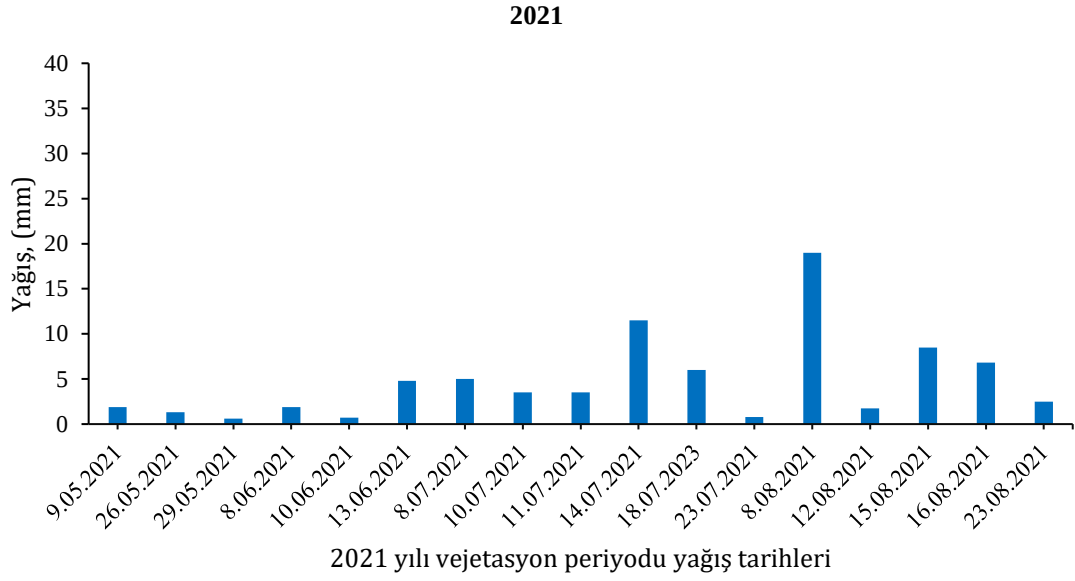
Deneme Alanı İklim Özellikleri

Deneme alanı karasal iklim kuşağındaki Erzurum ilinde yer almaktadır. Ortalama yıllık toplam 395,7 mm yağış miktarı ile bölge yarı-kurak iklim özelliği göstermektedir. Deneme

alanına yaklaşık 5 km uzaklıktaki Erzurum Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiş iklim verilerine göre silajlık mısırın vejetasyon dönemi (Mayıs- Eylül) boyunca ortalama sıcaklık 2021 yılında 18,2 °C, 2022 yılında 17,6 °C olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Deneme alanına yerleştirilmiş plüviyometre ile 2021 ve 2022 yıllarında silajlık mısırın vejetasyon periyodunda toplam yağış değerleri sırasıyla 80,1 mm ve 111,2 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 2).

Tablo 1. Deneme Alanı Uzun Yıllar ve 2021 ile 2022 Yılları Vejetasyon Periyodu İklim Verileri

Yıl	Parametre	7-31 Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	1-9 Eylül	Ort./Σ
2021	Ortalama sıcaklık (°C)	14,0	17,5	20,6	20,0	17,1	18,2
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	23,3	26,7	29,2	28,7	26,4	27,1
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	3,3	6,5	11,9	11,3	6,9	8,4
	Güneşlenme süresi (h)	10,8	11,3	10,2	9,2	10,6	10,4
	Yağış (mm)	3,8	7,4	30,3	38,6	0,0	80,1
	Rüzgâr hızı (m/s)	3,7	3,4	4,1	4,2	3,5	3,8
	Bağıl nem (%)	46,4	43,6	46,9	48,2	45,2	46,2
	Buharlaşma (mm)	152,3	224,1	249,0	241,4	68,3	935,1
	Parametre	13-31 Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	1-10 Eylül	Ort./Σ
2022	Ortalama sıcaklık (°C)	10,2	15,9	19,4	21,9	17,7	17,6
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	18,4	23,9	28,4	31,5	27,8	26,5
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	1,5	7,5	9,5	11,6	7,0	8,1
	Güneşlenme süresi (h)	9,1	9,2	12,0	11,0	9,9	10,4
	Yağış (mm)	50,1	58,3	2,8	0,0	0,0	111,2
	Rüzgâr hızı (m/s)	2,7	3,0	4,0	3,9	3,0	3,4
	Bağıl nem (%)	62,4	62,8	48,1	36,2	40,0	50,3
	Buharlaşma (mm)	62,8	154,9	232,6	305,6	70,3	826,2
	Parametre	1-31 Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	1-31 Eylül	Ort./Σ
1990 - 2022	Ortalama sıcaklık (°C)	10,5	15,0	19,2	19,6	14,3	15,7
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	17,7	23,1	27,8	28,6	23,7	24,2
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	3,3	6,2	10,0	10,1	4,5	6,8
	Güneşlenme süresi (h)	7,5	9,5	10,7	10,2	8,4	9,3
	Yağış (mm)	71,7	42,5	21,2	16,3	22,4	174,1
	Rüzgâr hızı (m/s)	3,1	3,0	3,6	3,5	2,8	3,2
	Bağıl nem (%)	65,3	60,3	53,3	49,2	52,5	56,1
	Buharlaşma (mm)	99,6	178,9	235,1	243,9	66,9	824,4



Şekil 2. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında ölçülmüş günlük yağış değerleri

Deneme Tarlası Toprak Özellikleri

2021 yılı Mayıs ayının ilk haftasında deneme alanında gübre uygulamaları öncesi tarlanın üç farklı yerinden toprak profilleri açılarak 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerine denk gelen tabakalardan başlangıç fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerin (tekstür, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, ıslak agregat stabilitesi, pH, elektriksel iletkenlik, tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, organik madde, CaCO_3 , toplam Kjeldahl-N, $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , K_2O , mikro elementler (Fe, Cu, Zn, Mn), değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesini (ESP) belirlemek için bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 3).

Deneme alanındaki toprakların tekstürü 0-30 cm tabakada killi tın, 30-60 ve 60-90 cm tabakalarında ise tın olarak belirlenmiştir. Toprakların hacim ağırlıkları 1,26-1,32 g/cm³, tarla kapasitesi değerleri %23,4-24,2 ve solma noktası değerleri %12,3-13,1 arasında değişmiştir (Tablo 2). Deneme alanı toprağının su tutma kapasitesi 90 cm etkili kök derinliğinde 128,1 mm olarak belirlenmiştir.

Toprakların EC değerleri 0,188-0,213 dS/m, pH değerleri 7,80-8,05, CaCO₃ içerikleri %0,27-1,58 ve organik madde içerikleri %0,79-1,87 arasında belirlenmiştir (Tablo 3). Bu verilere göre deneme tarlasının tuzluluk sorunu bulunmayan, orta derecede alkalın, organik madde içeriği düşük ve kireç içeriği de orta sınıfta olan topraklardan oluştuğu tespit edilmiştir (Sezen, 1991).



Şekil 3. Deneme öncesi bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin alınması

Tablo 2. Deneme Alanı Toprağının Deneme Öncesi Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Derinlik (cm)	Tane büyüklük dağılımı (%)			Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi (% P _w)	Devamlı solma noktası (% P _w)	Yarayıslı su (mm)	Özgül ağırlık	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Porozite (%)	Islak agregat stabilitesi (%)
	Kum	Silt	Kil								
0-30	41,1	31,0	27,9	Killi Tın	24,2	13,1	42,0	2,67	1,26	52,8	46,7
30-60	39,1	36,9	24,0	Tın	23,8	12,9	42,2	2,67	1,29	51,7	47,3
60-90	43,9	32,8	23,3	Tın	23,4	12,3	44,0	2,68	1,32	50,7	47,8

Tablo 3. Deneme Tarlası Toprağının Deneme Öncesi Bazı Kimyasal Özellikleri

Derinlik (cm)	EC (dS/m)	pH	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)	Toplam Kjeldahl-N (%)	NO ₃ -N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O (kg/da)
0-30	0,213	7,80	1,87	0,27	0,112	0,240	10,20	101,0
30-60	0,188	8,02	1,02	1,20	0,079	0,218	9,50	57,9
60-90	0,201	8,05	0,79	1,58	0,072	0,206	7,29	44,5

Tablo 3. (Devam)

Derinlik (cm)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	KDK (cmol/kg)	ESP (%)
0-30	16,3	5,44	0,31	0,85	3,44	2,88	7,40	52,8	22,9	1,35
30-60	14,6	6,08	0,41	0,48	3,47	2,82	6,70	41,4	21,6	1,90
60-90	14,6	6,40	0,40	0,39	3,11	2,53	6,62	36,1	21,8	1,84

Sulama Suyu Kaynakları

Deneme sahasında sulama suyu, yeraltı suyu kaynağından temin edilmiştir. Yeraltı suyu havuzda dinlendikten sonra basınçlı iletim şebekesi aracılığıyla deneme parsellerine taşınmıştır. Deneme sürecinde sulama suyunun ortalama pH değeri 7,42 ve elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0,288 dS/m olarak tespit edilmiş olup bu değerlerde süreç boyunca önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Sulama Sistemi

Deneme tarlasının ölçümlerle belirlenen infiltrasyon hızı değerleri göz önüne alınarak 33 cm aralıklarla in-line, 4 L/h debili damlatıcılara sahip 16 mm çaplı lateraller her sıraya (70 cm aralıklarla) yerleştirilerek, sulamalar yüzey üstü damla sulama yöntemiyle yapılmıştır. Damlatıcılı borulara su, ana boruya (63 mm çaplı) bağlı manifold (32 mm çaplı) borularla iletilmiştir (Şekil 4). Laterallare girişlerinde bulunan plastik vanalarla parsellere uygulanacak su miktarları ayarlanmıştır. Ana boru girişinde disk filtre ve uygulanan suyun miktarını ölçmek için sayaç kullanılmıştır. Su alımı hidrattan basınçlı olarak sağlanmıştır. Basınç ayarlamasında basınç regülatörü ve manometre kullanılmıştır. Damlatıcı işletme basıncı 1 atm'ye ayarlanmıştır.



Şekil 4. Damla sulama sistemi

Bitki Materyali

Denemede, silajlık mısırın bölgede yetiştirilen yeşil ot verimi yüksek olan DKC6777 çeşidi kullanılmıştır. DKC6777 Türkiye’de silajlık mısır olarak tescil edilen çeşitlerden olup, FAO 700 grubuna ait hibrit mısırdır. Bu çeşidin verimi ve silaj kalitesi yüksektir; hasat süresi bölgeye göre değişmekle birlikte ortalama 90-120 gündür (Anonymous, 2019).

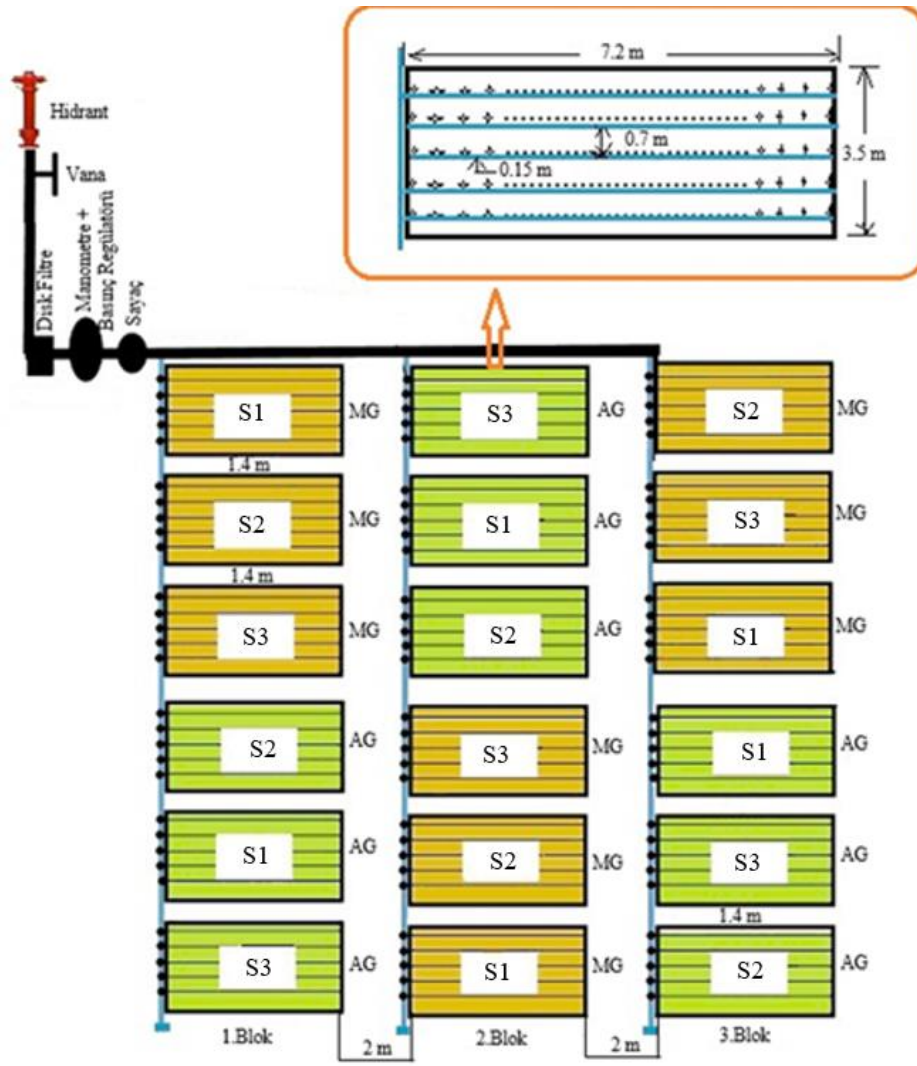


Şekil 5. Silajlık mısır DKC 6777 çeşidin ekimine uygun bölgeler (Anonymous, 2019)

Metot

Deneme Düzeni ve Konuları

Deneme tarlasında, iki farklı gübre uygulaması (mineral gübre (MG) ve ahır gübresi (AG)) ve üç farklı sulama uygulaması (90 cm etkili kök derinliğinde yarayışlı suyun yaklaşık %20’si (S1), %40’ı (S2) ve 60’ına (S3) karşılık gelen $\sum$ (ETc-Yağış) değerlerine ulaşıldığında sulama) göz önüne alınarak, tam şansa bağlı deneme planına göre 2x3 faktöriyel düzende 3 tekerrürlü olarak toplam 18 parsel oluşturulmuştur. Gübre uygulamaları ana konuları sulama uygulamaları ise alt konuları oluşturmuştur. Deneme alanında her bir parsel 7 m uzunlukta 70 cm aralıklı 5 bitki sırasından oluşturmuştur, böylece her bir parselin alanı $3,5 \times 7,2 = 25,2 \text{ m}^2$ olmuştur. Deneme parselleri arasında 1,4 m, bloklar arasında ise 2 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Deneme planı

Deneme Tarlasında Kültürel İşlemler

Ahır gübresi Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Tarımsal Hizmetler Daire Başkanlığı, Canlı Hayvan Pazarı Şube Müdürlüğü, Doğu Anadolu Canlı Hayvan Pazarından temin edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Doğu Anadolu Canlı Hayvan Pazarı (<https://www.erzurum.bel.tr/>)

pH, EC ve organik madde içeriği sırasıyla 8,10; 3,30 dS/m ve %43 olan inkübe ahır (sığır) gübresi (Tablo 4), 2021 yılı Nisan ayının son haftasında toprakta 20 cm derinlikte mevcut organik maddeyi iyi/yüksek seviyeye ($\approx$ %4) yükseltecek dozda, deneme öncesi parsellerin yüzeyine uygulanmıştır. Hava kurusu ahır gübresinin toprağa homojen dağılımını sağlamak için, parseller ızgaralara bölünmüş; her bir ızgaraya aynı miktarda gübre uygulandıktan sonra, parsellerin yüzeyine elle yayılmış ve dik rotovator kullanılarak yaklaşık 15 cm'lik yüzey tabakaya karıştırılmıştır (Şekil 8).

Tablo 4. Denemede Kullanılan Ahır Gübresinin Özellikleri

pH	EC (dS/ m)	Organik madde (%)	Toplam Kjeldahl- N (%)	NO ₃ -N (mg/ kg)	P (%)	Na (cmol/ kg)	Mg (cmol/ kg)	K (cmol/ kg)	Ca (cmol/ kg)	Mn (mg/ kg)	Fe (mg/ kg)	Cu (mg/ kg)	Zn (mg/ kg)	KDK (cmol/ kg)	ESP (%)
8,10	3,30	43,0	0,290	211,6	0,33	0,85	3,07	2,74	30,01	1,43	0,30	1,23	118,56	36,67	2,32



Şekil 8. Ahır gübresinin parsellere uygulaması

2021 yılında 7 Mayıs ve 2022 yılında 13 Mayıs tarihlerinde, deneme tarlası ekimden önce dik rotovatör kullanılarak 15 cm derinliğe kadar toprak tekrar işlenmiştir. Ardından 70 cm x 15 cm sıra aralıklı ve sıra üzeri mesafeli olacak şekilde pnömatik mibzerle tohum ekim işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9) (Gözübüyük ve ark., 2012; Talantimur, 2014; Kuş ve Yıldırım, 2017).



Şekil 9. Dik rotovatörle toprak işleme ve pnömatik mibzerle ekim

Çalışma kapsamında, ahır gübresi uygulanan parsellere kimyasal gübre uygulanmamıştır. Mineral gübre uygulanan parsellere ise azot ve fosforlu gübre miktarlarının belirlenmesi amacıyla ekim öncesinde yüzey toprağına ait verimlilik analiz sonuçları göz önüne alınarak, 12 kg/da N ve 10 kg/da P_2O_5 içerikleri sağlanacak şekilde üre (%45-46 N) ve triple süper fosfat (%43-46 P_2O_5) gübresiyle eksik miktarlar elle serpilerek uygulanmıştır (Çelebi ve ark., 2010; Güney ve ark., 2010; Tan, 2021). Azotun yarısı ve fosforun tamamı ekimle birlikte verilmiş, azotunun kalan yarısı ise mısır bitkileri 40-50 cm boya ulaştığında, 4-6 yapraklı boğaz doldurma döneminde uygulanmıştır (Kuşvuran ve ark., 2015).

Yabancı otlar mücadelesi kapsamında, ilk çapalama bitkiler 15-20 cm boya ulaştığında elle yapılmıştır. İkinci çapalama ise, bitki boyları 40-50 cm olduğunda, boğaz doldurma şeklinde uygulanmıştır (Çiğdem ve Uzun, 2006).

Sulama Uygulamaları

Sulama zamanının belirlenmesinde, silajlık mısırın tahmini evapotranspirasyon (ET_c) değeri kullanılmıştır. Bitkiler 40-50 cm (4-6 yapraklı) boya ulaştığı döneme (konulu sulama öncesi dönem) kadar (ET_c - Yağış) farkı toplamı yaklaşık 25 mm olduğunda sulamalar yapılmıştır. Bu değere ulaşıldığında %30 ıslatma oranı göz önüne alınarak mineral ve ahır gübresiyle gübrelenmiş orta blok parsellerinde, ayrı ayrı 30 cm yüzey toprak tabakasında eksilen nemi tarla kapasitesine getirmeye yetecek suyla parseller eşit sulanmıştır.

Konulu sulama döneminde (ETc - Yağış) farkı toplamı; 0-90 cm toprak derinliğinde yarayışlı suyun %20 (S1), %40 (S2) ve %60'ına (S3) karşılık olarak yaklaşık 25 mm, 50 mm ve 75 mm'ye ulaştığında; mineral ve ahır gübresiyle gübrenilmiş parsellerde orta bloklarda 0-30 cm'de nem ölçer ve gravimetrik, 30-60 ve 60-90 cm'de gravimetrik ölçümlerle toprak nemleri belirlenmiştir. Ardından 0-90 cm derinlikteki tarla kapasitesine göre eksik su, %65 ıslatma oranı göz önüne alınarak parsellere uygulanmıştır.

Deneme süresince, tek seferde düşen yağış tarla kapasitesi değerini aşmadığı için yağışın tamamı etkili kabul edilmiştir. ETc değerleri, $ETc = ETo \times kc$ yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Bitki gelişme dönemlerine ait "kc" katsayıları Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi'nden (TAGEM, 2017) alınmıştır (Şekil 10). Referans evapotranspirasyon (ETo) değerleri ise CROPWAT (Ver. 8.0) programı kullanılarak FAO56_Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte kullanılan günlük iklim verileri, deneme alanına yaklaşık 5 km uzaklıktaki Erzurum Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir.

Sulama suyu gereksinimleri, derinlik ve hacim olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır (Kanber, 2010).

$$I = (TK - MN) \times \gamma_s \times D \times W / 1 \quad (1)$$

$$V = I \times A \quad (2)$$

Eşitliklerde;

I : Sulama suyu derinliği (mm)

V : Sulama suyu hacmi (L)

TK : Tarla kapasitesinde tutulan nem (% Pw)

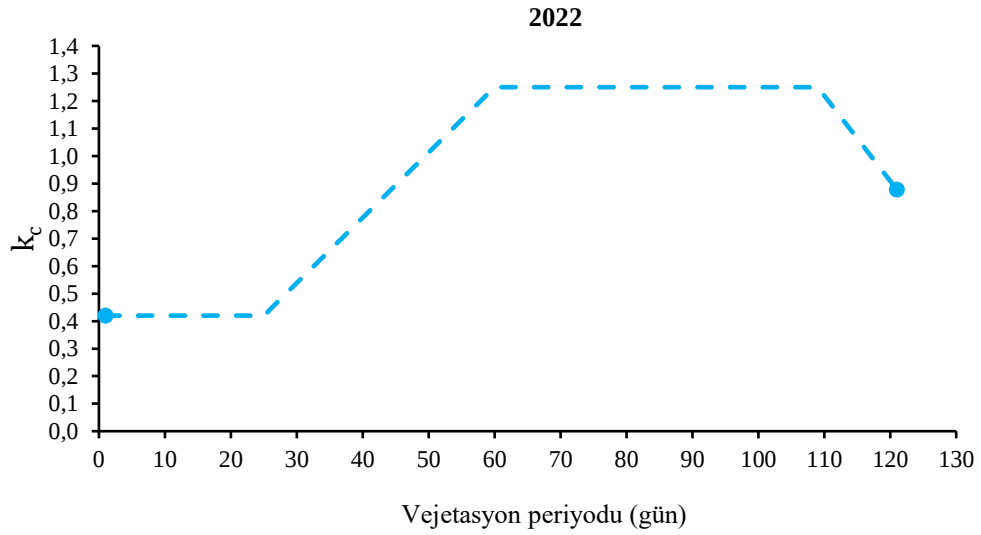
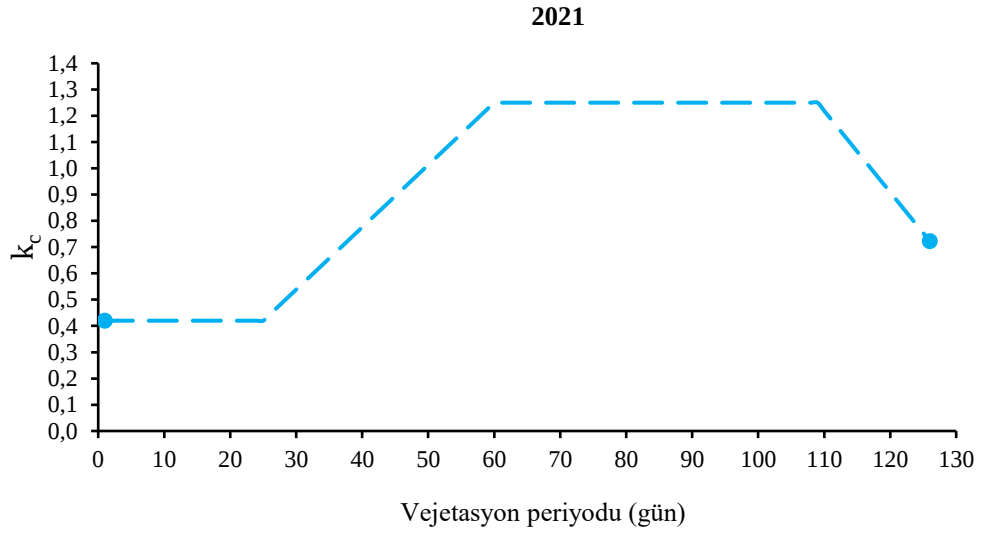
MN : Mevcut nem (% Pw)

γ_s : Kütle yoğunluğu (g/cm^3)

D : Toprak derinliği (konulu sulama dönemi öncesi 30 cm, sonrası 90 cm)

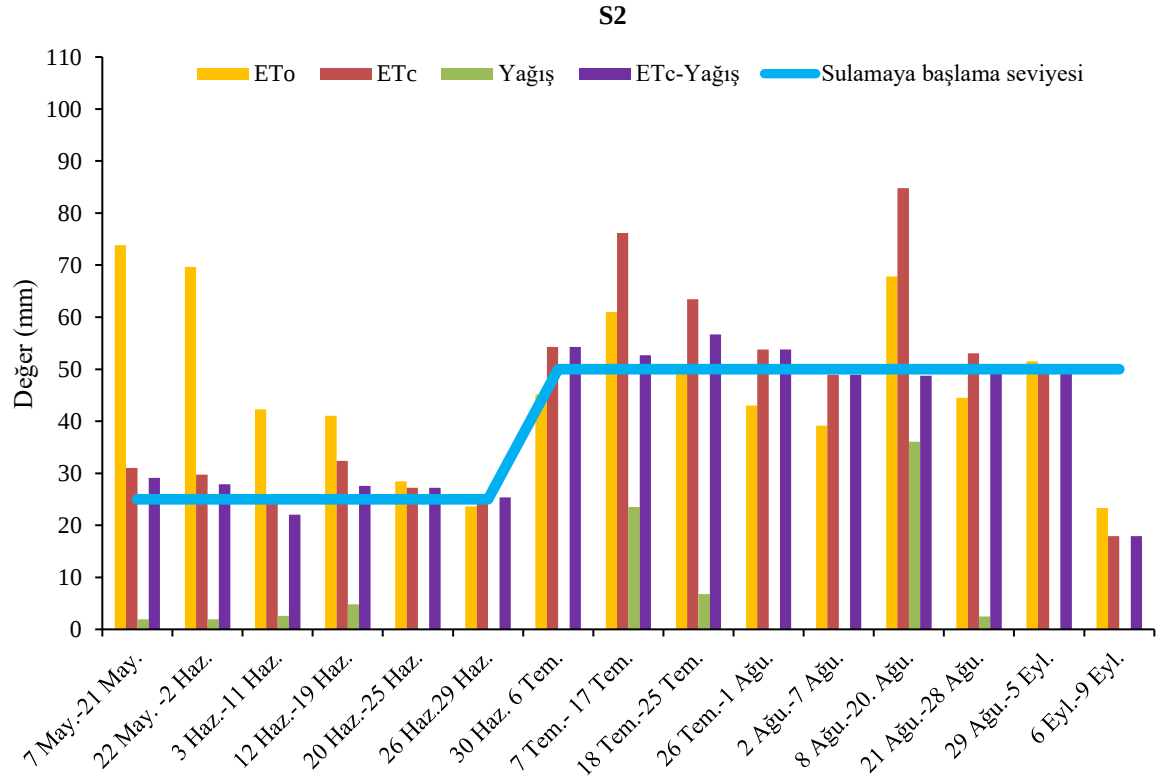
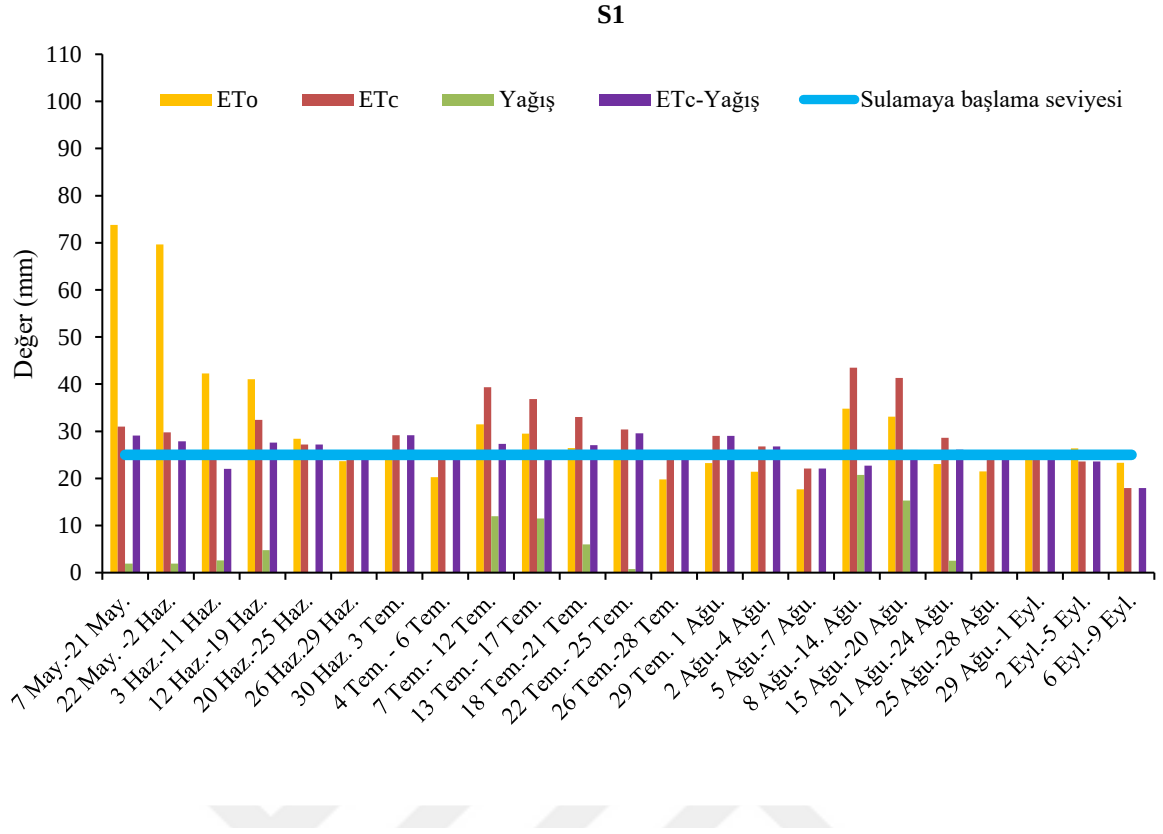
W : Islatma oranı (konulu sulama dönemi öncesi 0,30, sonrası 0,65)

A : Parsel alanı (m^2)



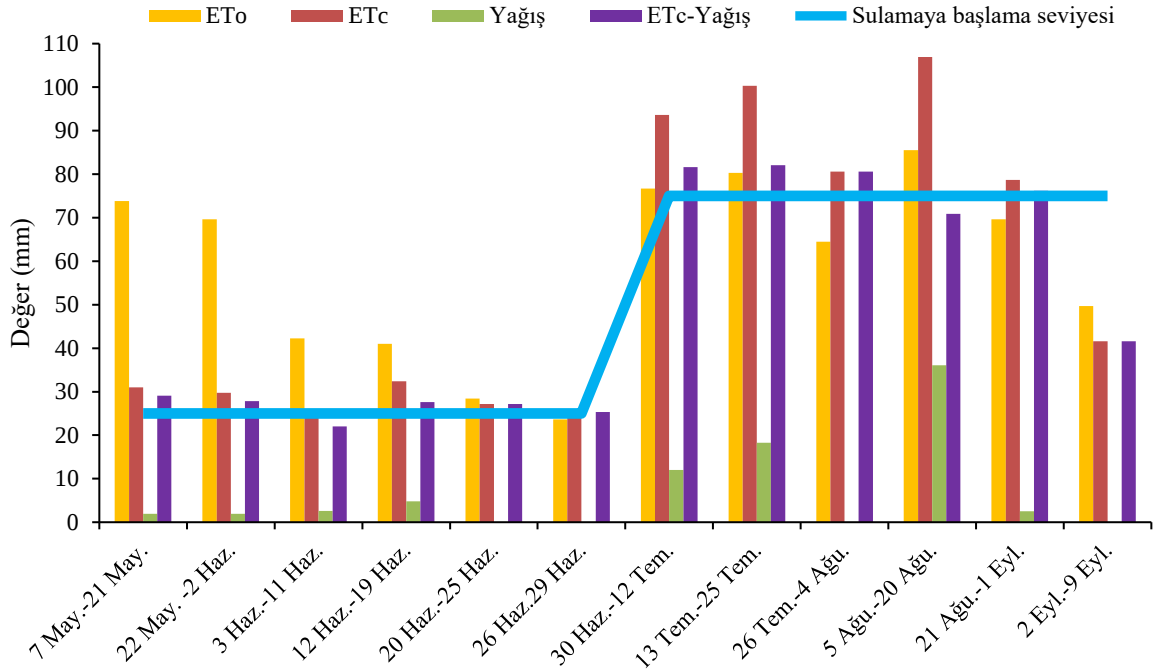
Şekil 10. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda silajlık mısır bitki katsayıları (k_c)

Denemenin ilk yılının (2021) vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında toplam referans evapotranspirasyon E_{To} ve gerçek bitki su tüketimi E_{Tc} değerleri sırasıyla 705,1 mm ve 672,0 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 11). İkinci yıl (2022) için ise bu değerler sırasıyla 637,6 mm (E_{To}) ve 638,7 mm (E_{Tc}) olarak belirlenmiştir (Şekil 12).



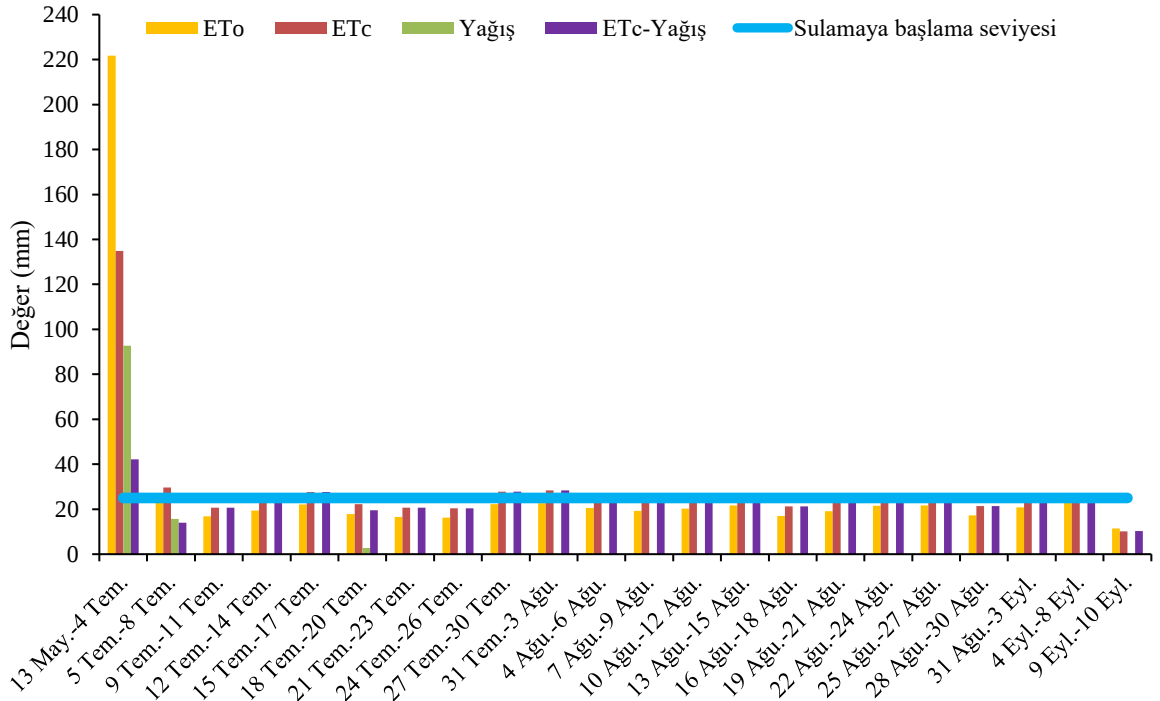
Şekil 11. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri

S3

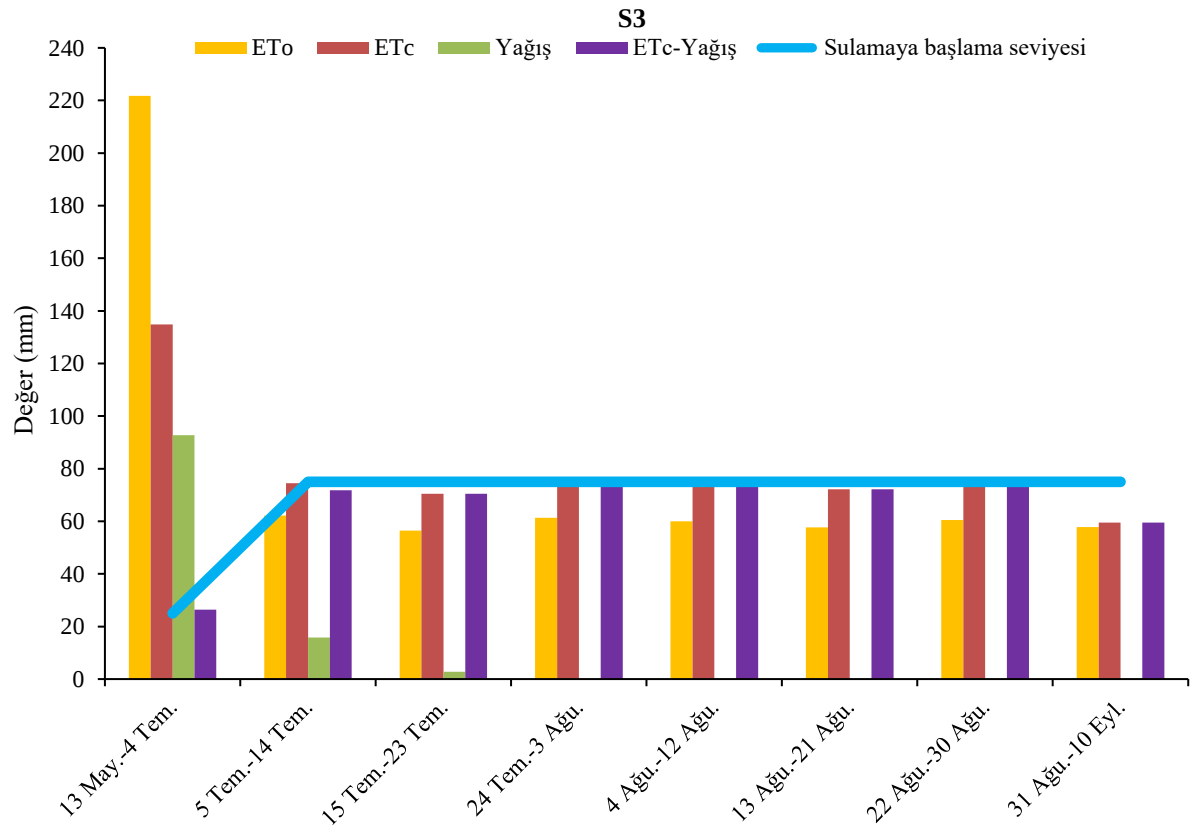
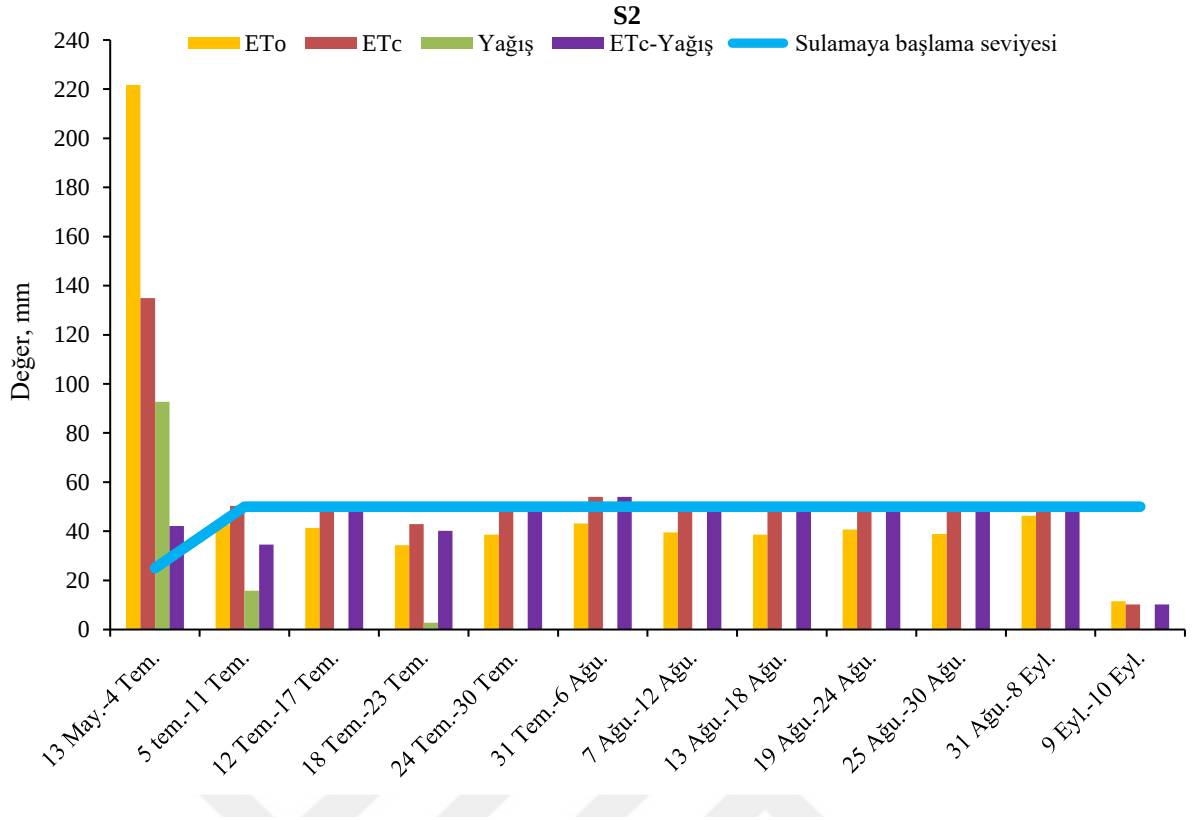


Şekil 11. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri (devamı)

S1



Şekil 12. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri



Şekil 12. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 uygulamalarında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve yağış değerleri (devamı)

Gerçek Evapotranspirasyon, Su ve Sulama Suyu Verimliliğinin Belirlenmesi

Uygulamaların gerçek evapotranspirasyon (ETa) değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Allen *et al.* 1998).

$$ETa = I + P + Cr - Dp - R \pm \Delta S \quad (3)$$

Eşitlikte;

ETa : Gerçek evapotranspirasyon (mm)

I : Sulama suyu derinliği (mm)

P : Yağış (mm)

Cr : Kapillar yükselme (mm)

Dp : Derine sızma (mm)

R : Yüzey akış (mm)

ΔS : Toprak nem içeriğindeki değişim (mm)

Deneme alanında taban suyu problemi olmadığından kapillar yükselme ve damla sulamayla kontrollü sulamadan dolayı yüzey akış ihmal edilmiş, derine sızma 90-120 cm derinlikte gravimetrik nem ölçümleriyle belirlenmiştir. Nem içeriğindeki değişimlerde etkili kök derinliğinde (90 cm) yapılan nem ölçümleriyle hesaplanmıştır.

Nem ölçümleri orta bloktaki parsellerde 0-30 cm’de araziye kalibre edilmiş, mobil HD2 (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) toprak nemölçer cihazıyla, 30-60 ve 60-90 cm’ de gravimetrik yöntemle yapılmıştır. Ölçümler; sezon başı, her sulama öncesi, her ay sonu ve sezon sonunda yapılmıştır (Şekil 13). 0-30 cm’de gravimetrik yöntemle ilave ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Nem ölçümleri parsel ortasındaki iki bitki arasında damlatıcıdan yaklaşık 15-20 cm uzaklıkta yapılmıştır.



Şekil 13. Gravimetrik yöntemle toprak nem örneklenmesi

Su verimliliği silajlık ot veriminin sezonluk su tüketimine (ETa) oranı olarak, sulama suyu verimliliği ise silajlık ot verimi ile sezonluk sulama miktarına oranı olarak hesaplanmıştır (Çetin and Kara, 2019).

$$WP = Ya / ETa \quad (4)$$

$$IWP = Ya / SI \quad (5)$$

Eşitliklerde;

WP : Su verimliliği (kg/m³)

IWP : Sulama suyu verimliliği (kg/m³)

Ya : Silajlık ot verimi (kg/ha)

ETa : Sezonluk su tüketimi (m³/ha)

SI : Sezonluk sulama miktarı (m³/ha)

Toprak Örnekleme, Analiz ve Hesaplamalar

Denemenin birinci yılında, gübre uygulamaları öncesinde tarlanın üç farklı yerinde ve her deneme yılında hasat döneminde profiller açılarak, tüm parsellerden 0-30 cm, 30- 60 cm ve 60-90 cm derinlikleri temsilen toprak bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde; tekstür (deneme öncesinde), tane ve kütle yoğunlukları, agregat stabilitesi, pH, EC, tarla kapasitesi (TK) ve solma noktasında (SN) tutulan nemler, CaCO₃, organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, değişebilir K, Ca, Mg ve Na ile mikro elementler (Fe, Mn, Zn, Cu) analiz edilmiştir. K₂O, toplam porozite, yarayırlı su, katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve toprak organik karbon stoku hesaplanmış, infiltrasyon hızları ise ölçülmüştür. Ahır gübresinin pH, EC, organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P, K, Ca, Mg, Na ve mikro element (Fe, Mn, Zn, Cu) içerikleri de toprak analizlerine benzer yöntemlerle belirlenmiştir. Deneme yıllarında, vejetasyon periyodu boyunca karbon stok değişimlerini belirlemek amacıyla, 0-30 cm'lik yüzey tabakadan ekim döneminde ve her ayın sonunda parsellerden örnekleme yapılmış; bu örneklerde hacim ağırlıkları ve organik madde içerikleri ayrıca belirlenmiştir.

Toprak Fiziksel Analizleri

Toprak tekstürü: Bouyoucos hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 14) (Gee and Bauder, 1986).



Şekil 14. Tekstür analizi

Kütle yoğunluğu (g/cm^3): 100 cm^3 hacimli silindirle alınan bozulmamış toprak örneklerinin, etüvde 105°C 'de 24 saat kurutulduktan sonra tartılarak elde edilen fırın kuru ağırlıklarının toplam hacme oranlanmasıyla belirlenmiştir (Blake and Hartge, 1986a).

Tane yoğunluğu: Piknometre yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 15) (Blake and Hartge, 1986b).



Şekil 15. Tane yoğunluğunun belirlenmesi

Porozite (%): Tane yoğunluğu ve kütle yoğunluğu değerleri kullanılarak hesaplanarak belirlenmiştir (Danielson and Sutherland, 1986).

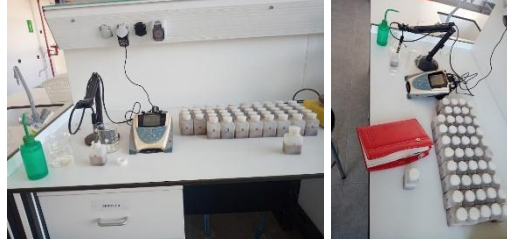
Islak agregat stabilitesi (%): Calgon, hidroklorik asit ve sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak, ıslak eleme yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 16) (Kemper and Rosenau, 1986).



Şekil 16. Islak agregat stabilitesinin belirlenmesi

Toprak Kimyasal Analizleri

pH: Saturasyon ekstratında (1:2.5) pH metre ile doğrudan okuma yapılarak belirlenmiştir (Şekil 17) (McLean, 1982).



Şekil 17. pH ölçümü

EC (dS/m): Saturasyon ekstratında (1:2.5) kondüktivimetre ile okunarak belirlenmiştir (Şekil 18) (Ayyıldız, 1983).



Şekil 18. EC ölçümü

Organik madde (%): Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 19) (Nelson and Sommers, 1982).



Şekil 19. Organik madde içeriğinin belirlenmesi

CaCO₃ (%): Scheibler kalsimetresi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 20) (Nelson, 1982).



Şekil 20. CaCO₃ içeriğinin belirlenmesi

Toplam Kjeldahl-N (%): Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 21) (Kacar, 2009).



Şekil 21. Toplam Kjeldahl-N içeriğinin belirlenmesi

NO₃-N (mg/kg): Örnekler 2M KCl ile ekstrakte edilmiş, ekstratlardaki konsantrasyon MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı distilasyonu ve titrasyon yoluyla belirlenmiştir (Şekil 22) (Keeney and Nelson, 1982).



Şekil 22. NO₃-N içeriğinin belirlenmesi

Alınabilir fosfor (P₂O₅) (kg/da): Olsen and Sommers (1982)' e göre, kimyasal çözeltilerle Spektrofotometrede saptanan fosfor miktarı dönüşüm katsayı ile çarpılarak belirlenmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Fosfor içeriğinin belirlenmesi

Alınabilir potasyum (K_2O) (kg/da): Knudsen *et al.* (1982)' e göre, amonyum asetat çözeltisinden geçen potasyum miktarının alev fotometresinde okunmasından sonra bulunan K miktarına dönüşüm katsayısı uygulanarak belirlenmiştir.

Değişebilir K, Ca, Mg ve Na (cmol/kg): Havada kurutulmuş örnekler 0.15 mm'lik elekten geçirilip, elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine konulduktan sonra 9 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2 asit eklenerek yüksek basınçta yaş yakma işlemi yapılmıştır. Son olarak da filtre kâğıdından süzölmüş örneklerde İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Kütle Spektrometre (ICP-MS) cihazı ile okumalar gerçekleştirilmiştir (Richards and Rodgers 1982; Black, 1965).

Mikro element içerikleri (Fe, Mn, Zn, Cu) (mg/kg): Havada kurutulmuş örnekler 0.15 mm'lik elekten geçirilecek ve elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine konulduktan sonra 9 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2 asit eklenerek yüksek basınçta yaş yakma yapılmıştır. Son olarak da filtre kâğıdından süzölmüş örneklerde İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Kütle Spektrometre (ICP-MS) cihazı ile okumalar gerçekleştirilmiştir (Anonymous, 1996, 2007).

Kasyon değişim kapasitesi (cmol/kg): Değişebilir katyonların (K, Ca, Mg ve Na) toplamıyla belirlenmiştir (Abdallah and Sahin, 2020).

Değişebilir sodyum yüzdesi (%): Aşağıdaki verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü, 2010).

$$ESP = \frac{Na_x}{KDK} \times 100$$

(6)

Eşitlikte;

ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi (%)

Na_x : Değişebilir sodyum (cmol/kg)

KDK : Kasyon değişim kapasitesi (cmol/kg)

Toprak Hidrolik Özellikleri

Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları (P_w): Tarla kapasitesi için 1/3 ve solma noktası için 15 atm basınçta tutulan nem miktarları laboratuvarında basınçlı membran aleti kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 24) (Klute, 1986).



Şekil 24. Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarının belirlenmesi

Yarayışlı su miktarı (mm): Tarla kapasitesi ve solma noktası farkından hesaplanmıştır (Cassel and Nielsen, 1986).

İnfiltrasyon Ölçümleri: Damla sulama sistemi planlaması için infiltrasyon ölçümleri, sezon başında uygulamalar öncesi 3 farklı noktada ve uygulamaların etkilerini görebilmek için de her iki yılda hasattan 1 hafta sonra, gübre uygulamalarının orta blok parsellerinde çift silindirli infiltrometre ve otomatik infiltrometrelerle yapılmıştır (Şekil 25). Verilerden Kostiakov modeline göre toplam infiltrasyon ve infiltrasyon hızı eşitlikleri çıkarılmıştır.



Şekil 25. Otomatik infiltrometre ve çift silindirli infiltrometre ile infiltrasyon ölçümleri

Toprakta organik karbon stokunun belirlenmesi

Toprakta organik karbon stoku aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Melenya *et al.* 2015; FAO, 2017; Anonymous, 2018; Budak ve Günel, 2018). Karbon stok değişimlerini belirlemek için dinamik derinlik olarak 0-30 cm göz önüne alınmıştır (Change, 2006; Olson and Al-Kaisi, 2015).

$$SOC_{\text{stok}} = (SOC/100) \times \gamma_s \times D \times 10000 \quad (7)$$

Eşitlikte;

SOC_{stok} : Toprak organik karbon stoku (ton/ha)

SOC : Toprak organik karbon içeriği (%)

γ_s : Toprak kütle yoğunluğu (ton/m³)

D : Toprak derinliği (m)

Toprak organik karbon içeriği organik maddenin 0,58 katsayısıyla çarpılmasıyla tahmin edilmiştir (FAO, 2017).

CO₂ Salımının Tahminlenmesi ve CO₂ Salımlarının Ölçülmesi

Denemenin her iki yılında aylık ve mevsimlik karbon stok değişimlerinden hareketle CO₂ salımları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla tahmin edilmiştir (Change, 2006).

$$\Delta CO_2 \text{ salım} = \Delta SOC \times (44 \text{ birim } CO_2 / 12 \text{ birim C}) \quad (8)$$

$$\Delta SOC = (SOC_{\text{son}} - SOC_{\text{ilk}} / T) \quad (9)$$

Eşitliklerde;

ΔCO_2 salım : T zaman diliminde CO₂ salımı

ΔSOC : T zaman diliminde karbon stoklarında değişim

SOC_{son} : T döneminin sonunda toprak karbon stoku

SOC_{ilk} : T döneminin başında toprak karbon stoku

T : Hesaplama yapılan zaman dilimi

2022 yılında topraktan kaynaklanan CO₂ salımını EGM-5 kızılötesi gaz analizör cihazı (CFX-2, PPSsystems, Stotfold, UK) ile doğrudan ölçülmüştür. Ölçüm cihazı dinamik kapalı oda sistemine göre toprak solunumu ile atmosferdeki CO₂ seviyelerini karşılaştırma prensibiyle çalışmaktadır. Cihaz, toprak solunumu ve atmosferdeki CO₂ seviyelerini ölçmekte ve elde edilen değerlerin farkını sistem solunum odasının yüzey alanına (346 cm²) oranlayarak CO₂ salımını g/m²/h cinsinden belirlemektedir. Aynı cihazla, CO₂ salımının ölçümü ile eş zamanlı olarak topraktan buharlaşma (H₂O) (g/m²/h) ve hava ile toprak sıcaklıkları (°C) da ölçülmektedir (Şekil 26). Ölçümlere ekimle birlikte başlanmış; ekim sonrası ve tüm sulama konularında, sulamalardan 1 gün önce ile 1, 2 ve 3 günlerde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler tüm parsellerin merkezinde iki bitki sıra arasına denk gelen bölgede damlatıcılardan 15-20 cm uzaklıkta 3'er okuma olarak yapılmıştır. Cihazın ölçüm çemberi toprağa 1-2 cm sokularak 1 dakikalık zaman sürecinde veriler alınmıştır (Şenyigit ve Akbolat, 2010; Barut *et al.* 2012).

Ölçüm sırasında 5 cm, 10 cm ve 20 cm'deki toprak sıcaklık ve nem değerleri de kayıt altına alınmıştır (Sainju *et al.* 2008; Şenyigit ve Akbolat, 2010; Zornoza *et al.* 2016; Buragiene *et al.* 2019).

Hava sıcaklığının ölçümü, cihaza entegre edilmiş bir sıcaklık ölçerle yapılırken, toprak sıcaklığının ölçümü cihazın STP-1 sıcaklık probunun toprağa yerleştirilmesiyle otomatik olarak kaydedilmiştir. Nem ölçümü için araziye kalibrasyonu yapılmış mobil HD2 toprak nem ölçüm cihazı (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) kullanılarak, toprak sıcaklığının belirlendiği derinliklerde paralel olarak yapılmıştır. Aynı zamanda, toprak nem ölçümlerini doğrulamak amacıyla gravimetrik yöntemle nem kontrolleri de yapılmıştır.



Şekil 26. CO₂ salımı, nem ve sıcaklık ölçümleri

Bitkide Fiziksel, Fizyolojik Ölçümler ve Kimyasal Analizler

Bitkiler 2021 yılında 9 Eylül ve, 2022 yılında 10 Eylül tarihinde hasat edilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Silajlık mısır parsellerinde hasat dönemi

Bitkide Fiziksel Ölçümler

Bitki boyu (cm) ve gövde çapı (mm): Hasat alanındaki rastgele 10 bitkinin toprak yüzeyinden tepe püskülüne kadar uzunluğu ölçülüp, tüm değerlerin ortalamasının alınmasıyla bitki boyu (cm), yine rastgele 10 bitkide 2. ve 3. boğum arasındaki gövde kalınlığının dijital bir kumpasla ölçülerek ortalamasının alınmasıyla da gövde çapı (mm) belirlenmiştir (Şekil 28) (Başer and Gençtan, 1999).



Şekil 28. Bitki boyu ve gövde çapı ölçümleri

Silajlık ot verimi (t/da): Parsellerde hasat alanındaki 3 sıranın merkez 1,5 m'lik mesafesindeki toplam 30 bitki toprak yüzeyinden kesilip tartılmış, birim alana (da) uyarlanarak silajlık ot verimi t/da olarak belirlenmiştir (Şekil 29) (Kökten ve ark., 2017).



Şekil 29. Hassas teraziyle bitki tartımları

Kuru madde verimi (t/da): Hasat alanından rastgele seçilen 3 bitki yaş olarak tartılmış, solması için bir süre bekletilmiş ve sonrasında 78°C’de 48 saat kurutularak kuru ağırlığı belirlenmiş, kuru ağırlık yaş ağırlığa bölünerek kuru madde oranı hesaplanmış ve silajlık ot verimiyle (t/da) çarpılarak kuru madde verimi (t/da) belirlenmiştir (Şekil 30) (Kacar, 2014).



Şekil 30. Kuru maddenin belirlenmesi

Bitkide Kimyasal Analizler

Nötr Deterjan Lif (NDF%) ve Asit Deterjan Lif (ADF%): 1 mm’lik eleklerden geçirilecek örnekler Van Soest analiz yönteminin modifikasyonu sonucu geliştirilen Fibre Bag System (Gerhardt) kullanılarak, uygun solüsyonlar eklenip ANKOM 200 Fiber Analizöründe belirlenmiştir (Şekil 31) (Van Soest, 1963).



Şekil 31. NDF ve ADF analizi

Toplam Azot (%) ve Ham Protein (%): Toplam azot Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiş, elde edilen azot miktarı 6,25 katsayısıyla çarpılarak ta ham protein içeriği hesaplanmıştır (Şekil 32) (Kacar, 2014).



Şekil 32. Bitkide toplam Kjeldahl N içeriğinin belirlenmesi

Toplam fosfor (mg/kg): Yakma işleminden sonra elde edilen çözeltideki fosfor miktarı Spektrofotometrede belirlenmiştir (Şekil 33) (Kacar, 2014).



Şekil 33. Bitkide fosfor içeriğinin belirlenmesi

Diğer makro ve mikro elementler (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu) (mg/kg): Öğütülmüş bitkiler yaş yakma tüplerinde 9 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2 asit eklenerek basınçta yaş yakılmış, filtre kağıdıyla süzülüp (ICP-OES) cihazında okumaları yapılmıştır (Kacar, 2014).

Bitkide Fizyolojik Ölçümler

Klorofil içeriği (SPAD) (%): Sulama rejimlerinin uygulandığı dönemde her üç sulamada bir sulamalar öncesi ve hasat öncesi parsellerde hasat alanı içinde kalan üç bitkinin orta yapraklarında, saat 10:00-14:00 arasında SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) cihazı ile yapılan 10'ar okumanın ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 34) (Uğurlu, 2017).



Şekil 34. Klorofil içeriği (SPAD) ölçümü

Stoma iletkenliği ($\text{mm/m}^2\text{s}$): Sulama rejimlerinin uygulandığı dönemde her üç sulamada bir sulamalar öncesi ve hasat öncesi parsellerde, hasat alanı içinde kalan üç bitkinin orta yapraklarında, saat 10:00-14:00 arasında, taşınabilir porometre (Decagon Devices, Inc. SC-1 Leaf Porometer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 35) (Fischer *et al.* 1998, Pietragalla and Pask, 2012).



Şekil 35. Stoma iletkenliği ölçümü

Yaprak alan indeksi (%): Hasat öncesi parsellerde hasat alanı içinde kalan üç bitkinin tüm yaprakları LI-COR Marka LI 3000C Model yaprak alan ölçer aletiyle ölçülmüş, bitki başına ortalama yaprak alanı, bitki temsil alanına ($70 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$) oranlanarak belirlenmiştir (Şekil 36) (Stewart and Dwyer, 1999).



Şekil 36. Yaprak alan ölçümü

Yaprak oransal su içeriği (%): Hasat öncesi parsellerde hasat alanı içinden 3'er adet yaprak örneği alınarak önce yaş ağırlıkları (WW), 4 saat saf su içerisinde bekletildikten sonra turgor ağırlıkları (TW), sonrasında örnekler 65°C sıcaklıkta 24 saat etüvde bekletildikten sonra kuru ağırlıkları (DW) tartılmış ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak yaprak oransal su içeriği (YOSİ) belirlenmiştir (Şekil 37) (Benešová *et al.* 2012).

$$YOSİ = \frac{WW-DW}{TW-DW} \times 100 \quad (10)$$



Şekil 37. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Membran zararlanma indeksi (%): Hasat öncesi parsellerde hasat alanı içinde kalan üç bitkinin yapraklarından alınan disk örnekleri iyonize su içerisinde 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiş ve EC değerleri (EC1) ölçülmüştür. Örnekler 95°C sıcaklıktaki su banyosunda 20 dakika tutulduktan sonra tekrar EC değerleri (EC2) ölçülerek EC1/EC2 oranıyla membran zararlanma indeksi (MZİ) belirlenmiştir (Şekil 38) (Hniličková *et al.* 2019).

$$MZİ = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (11)$$



Şekil 38. Membran zararlanma indeksinin belirlenmesi

İstatiksel Analizler

Üç tekerrürlü deneme verileri, iki gübreleme ve üç sulama rejimi uygulaması göz önüne alınarak, SPSS (Ver. 22) istatistik programında, sulama uygulamaları Genel Doğrusal Modele göre, gübreleme uygulamaları Bağımsız Örneklem t Testi kullanılarak analiz edilmiştir. İnteraksiyon etkileri de One-Way ANOVA testi ile değerlendirilmiştir. Önemli bulunan ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile ($p<0,05$) sınıflandırılmıştır (Duncan 1955; Açıkgoz, 1993). Ayrıca toprak, bitki ve CO₂ salımı parametreleri arasında ikili doğrusal ilişkiler de Pearson korelasyon analiziyle araştırılmıştır.



ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sulama Suyu Miktarı

2021 ve 2022 yıllarında konulu sulama öncesi ve konulu sulama döneminde uygulanan sulama miktarları Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. 2021 Yılında Konulu Sulama Öncesi ve Konulu Sulama Döneminde Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm)

Gübre	Sulama	Konulu sulama öncesi	Konulu sulama dönemi	Toplam
Mineral Gübre	S1	41,6	270,4	312,0
	S2	41,6	256,4	297,9
	S3	41,6	240,4	282,0
Ahır Gübresi	S1	39,2	253,9	293,1
	S2	39,2	239,6	278,8
	S3	39,2	226,8	266,0

Tablo 6. 2022 Yılında Konulu Sulama Öncesi ve Konulu Sulama Döneminde Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm)

Gübre	Sulama	Konulu sulama öncesi	Konulu sulama dönemi	Toplam
Mineral Gübre	S1	7,9	326,0	333,9
	S2	7,9	311,7	319,6
	S3	7,9	295,5	303,4
Ahır Gübresi	S1	7,4	308,5	315,9
	S2	7,4	296,2	303,6
	S3	7,4	279,2	286,6

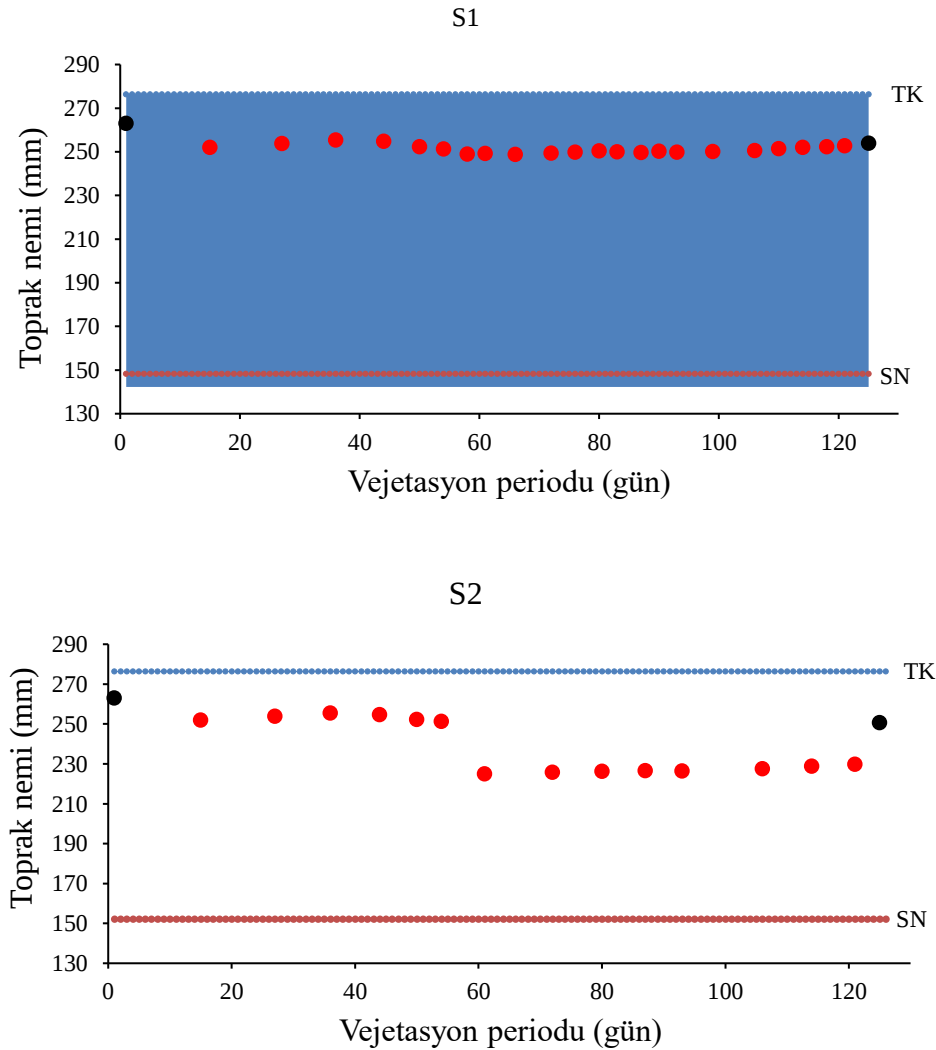
Denemenin her iki yılında da konulu sulama öncesi, 2021 yılında mineral gübre uygulamasında 41,6 mm, ahır gübresi uygulamasında 39,2 mm, 2022 yılında ise mineral gübre uygulamasında 7,9 mm, ahır gübresi uygulamasında 7,4 mm su tüm parsellere eşit uygulanmıştır (Tablo 5 ve 6). Konulu sulama dönemi, ilk yıl 6 Temmuz’da (ekimden 61 gün sonra), ikinci yıl ise 8 Temmuz’da (ekimden 57 gün sonra) başlatılmış ve sezon sonuna kadar devam etmiştir. İlk yıl (2021) S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında konulu sulama dönemi

öncesinde 6 sulama, konulu sulama döneminde S1, S2 ve S3 uygulamalarında sırasıyla 16, 8 ve 5 sulama yapılmış, toplamda S1’de 22, S2’de 14 ve S3’de 11 sulama yapılmıştır.

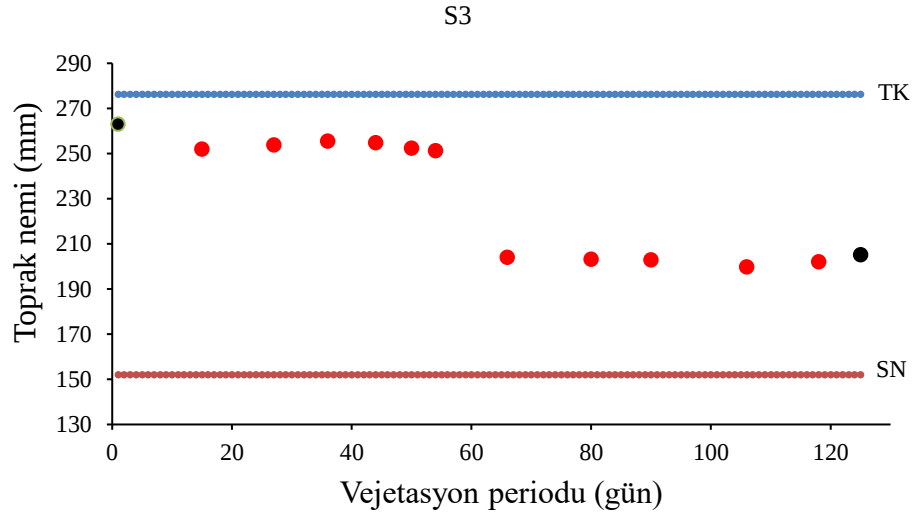
İkinci yıl (2022) konulu sulama öncesi tüm sulama uygulamalarında 1 sulama yapılmış, konulu sulama döneminde ise S1, S2 ve S3 uygulamalarında sırasıyla 20, 10 ve 6 sulama yapılmış olup toplamda 21, 11 ve 7 sulama yapılmış, 2022 yılında konulu sulama öncesi yağışların daha fazla olması nedeniyle sadece 1 sulama yapılmış, ancak konulu sulama döneminde yağış olmaması nedeniyle daha fazla sulama yapılmıştır (Tablo 6 ve Şekil 2).

Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler

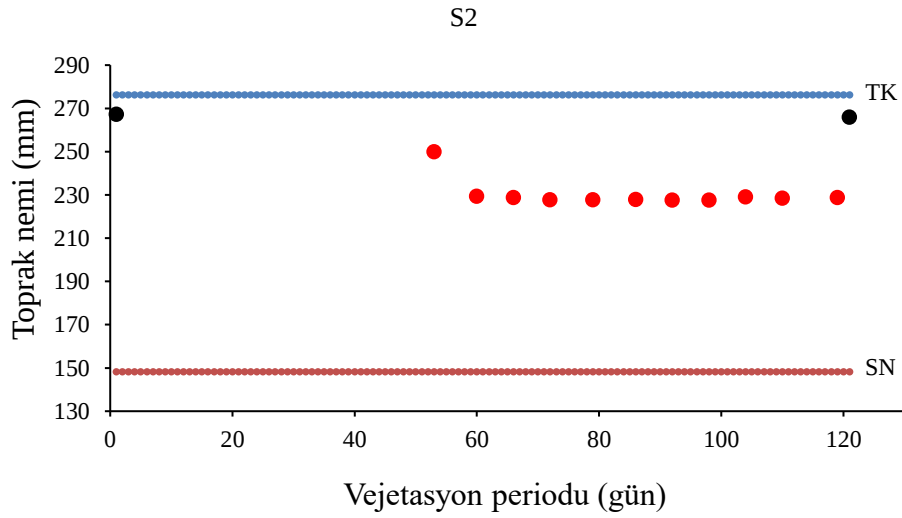
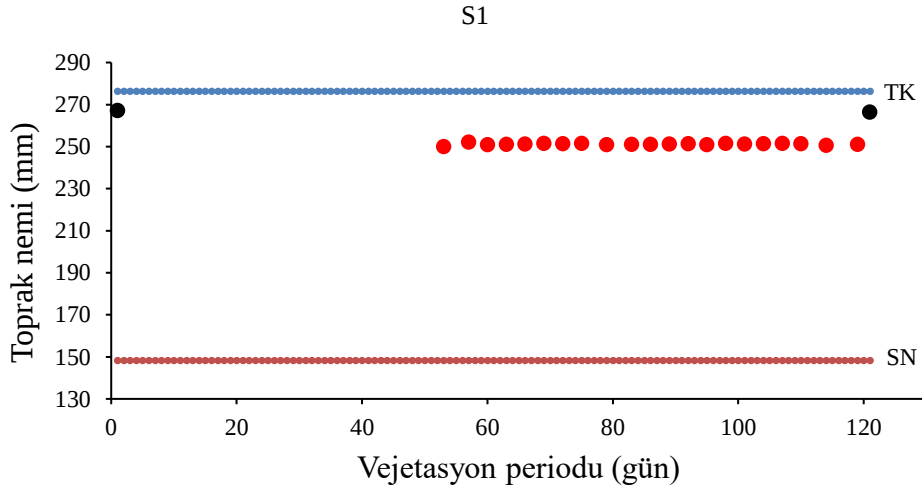
İki bin yirmi bir ve iki bin yirmi iki yıllarında mineral ve ahır gübresi uygulamaları ile farklı sulama rejimlerinde, toprakta sulama öncesi ve ekim ile hasat dönemlerinde belirlenen nem değerleri Şekil 39-42’ te verilmiştir. Tüm konularda, sulama öncesi toprak nem içerikleri sezon boyunca tarla kapasitesi ile solma noktası arasında kalmıştır.



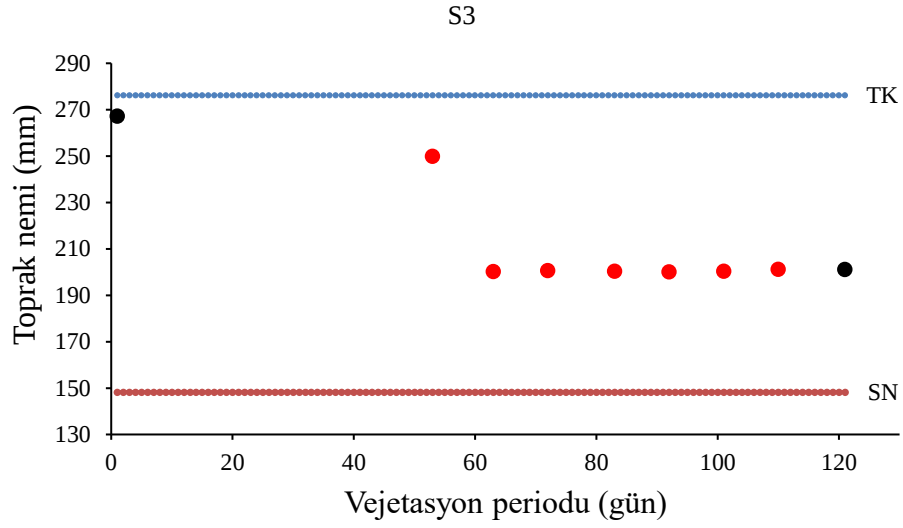
Şekil 39. 2021 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri



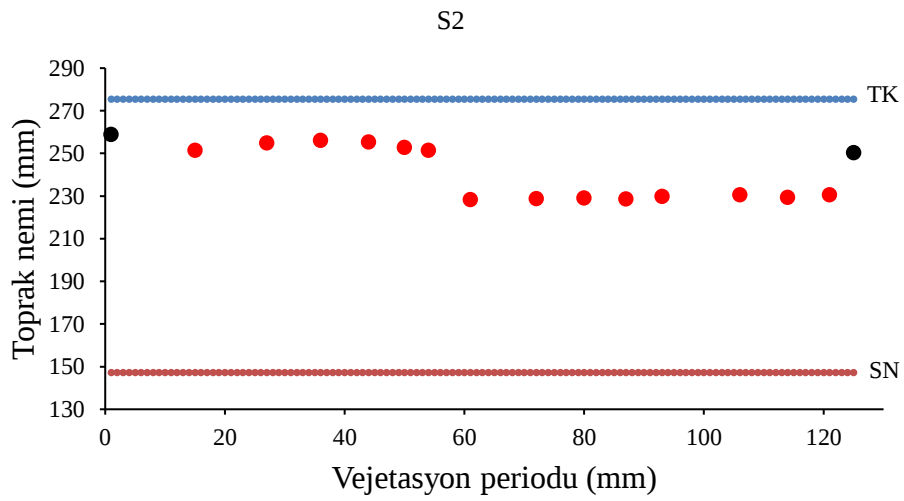
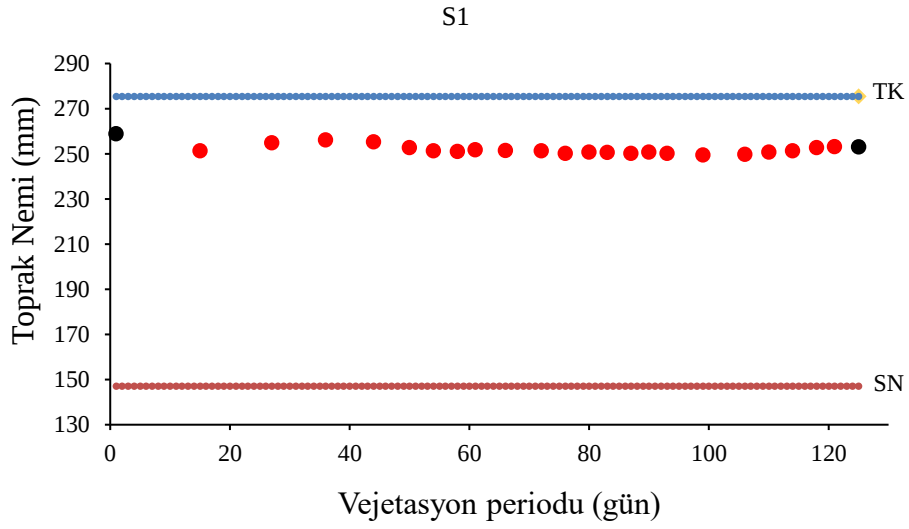
Şekil 39. 2021 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri (devamı)



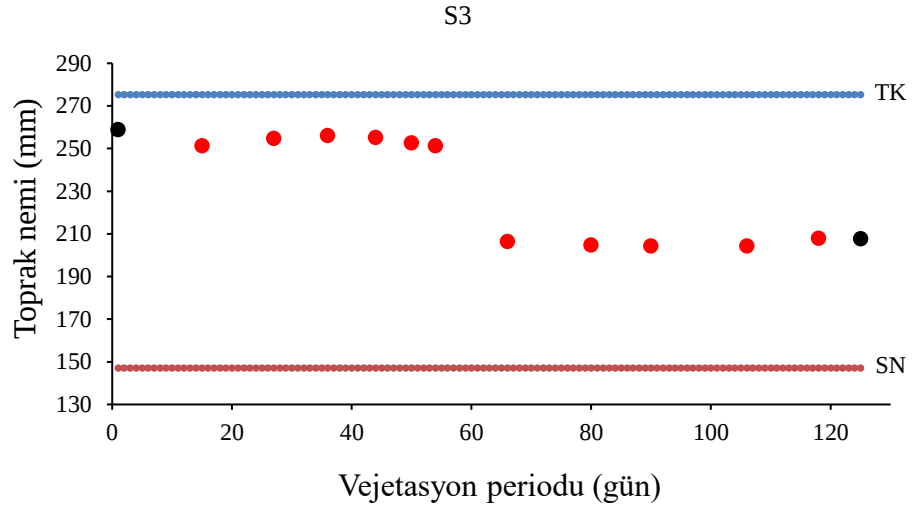
Şekil 40. 2022 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri



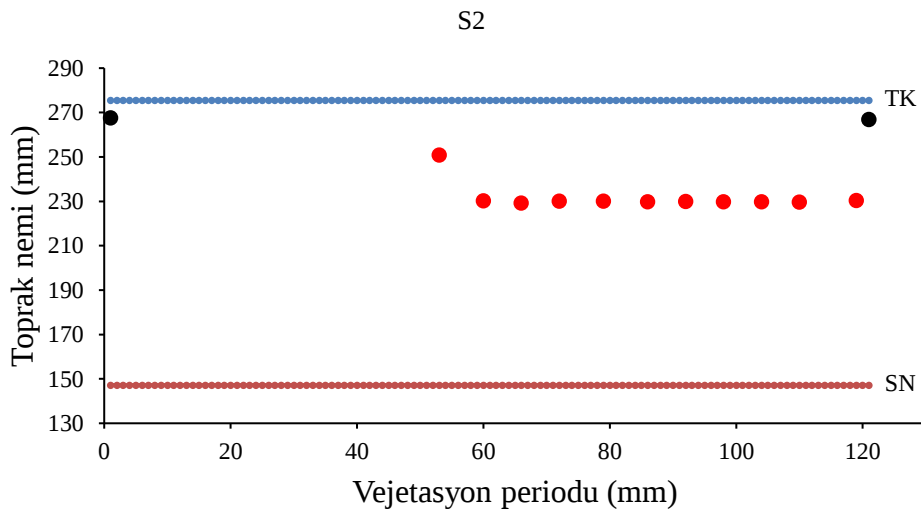
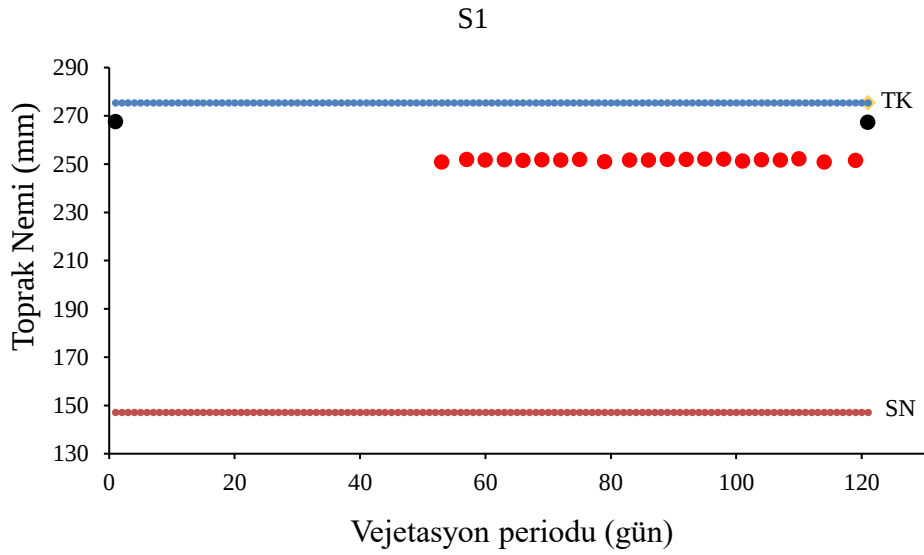
Şekil 40. 2022 yılı mineral gübre uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri (devamı)



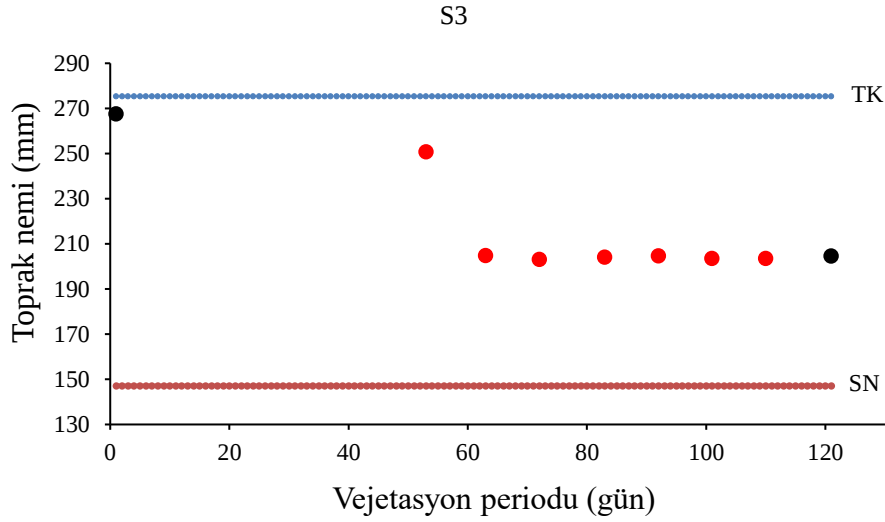
Şekil 41. 2021 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri



Şekil 41. 2021 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri (devamı)



Şekil 42. 2022 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri



Şekil 42. 2022 yılı ahır gübresi uygulamasında S1, S2 ve S3 rejimlerinde sulama öncesi toprak nem içerikleri (devamı)

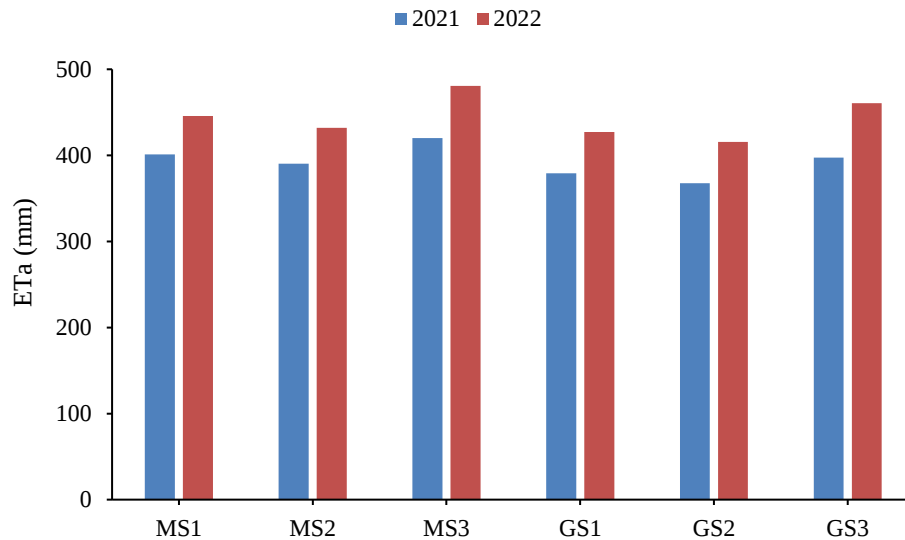
Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa)

Ahır gübresi ve mineral gübre uygulamalarında, farklı sulama rejimlerine göre 2021 ve 2022 yıllarına ait sezonluk gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerleri Şekil 43-46’da verilmiştir. İki bin yirmi bir yılı ETa değerleri MGS1, MGS2, MGS3, AGS1, AGS2 ve AGS3 uygulamalarında sırasıyla 401,1 mm, 390,3 mm, 419,9 mm, 379,1 mm, 367,5 mm ve 397,3 mm olarak tespit edilmiştir. İki bin yirmi iki yılında ise bu değerler sırasıyla 445,9 mm, 432,1 mm, 480,7 mm, 427,3 mm, 415,6 mm ve 460,7 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 43). Her iki yılda da, ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre ETa değerlerinde azalma, ahır gübresinin yüzey tabakada artan oranının malç etkisine benzer bir rol oynamasıyla açıklanabilir. Sulama uygulamaları göz önüne alındığında S3 uygulaması en yüksek bitki su tüketimi değerlerini sağlamıştır (Şekil 45). 2021 yılında S3 sulama uygulamasında, S1 sulama uygulamasına göre %4,7, S2’ye göre ise %7,8 oranında bir artış kaydedilmiştir. Benzer şekilde, 2022 yılında da bu oranlar sırasıyla %7,8 ve %11,1 olarak belirlenmiştir. Sık sulama uygulamalarında, köklerin yüzey tabakalarda daha fazla yoğunlaşması nedeniyle etkili kök derinliğindeki alt tabakalardan suyun daha az kullanımı azalmış ve bu da su tüketiminin daha düşük olmasına yol açmıştır. S3 uygulamasında sezon başı ile sonu nem içerik farklarının fazlalığı da alt tabakalardaki suyun daha etkili kullanıldığını desteklemektedir (Şekil 39-42).

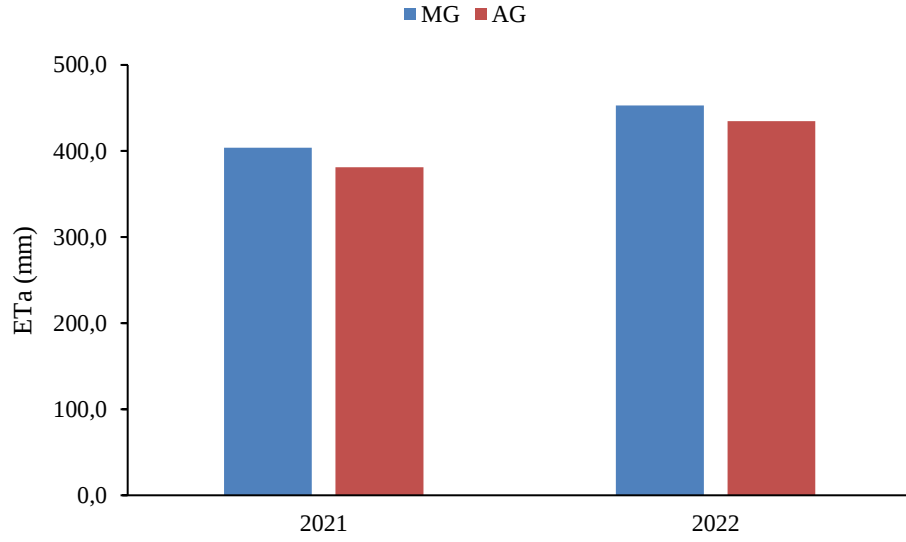
Ayrıca, sık sulama sonucu artan yaprak alan indeksine Tablo 69) bağlı olarak, gölgelenme etkisiyle buharlaşmanın azalması da su tüketimini düşürmüştür. İki bin yirmi iki yılında tüm uygulamalarda ETa değerlerinin 2021 yılına kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 46). Sulama rejimlerinin uygulandığı dönemlerde Temmuz ve Ağustos aylarında daha uzun güneşlenme süresi ve Ağustos ayındaki yüksek sıcaklık ve artan

buharlaşma etkisiyle 2022 yılı ETa değerlerinin daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir (Tablo 1).

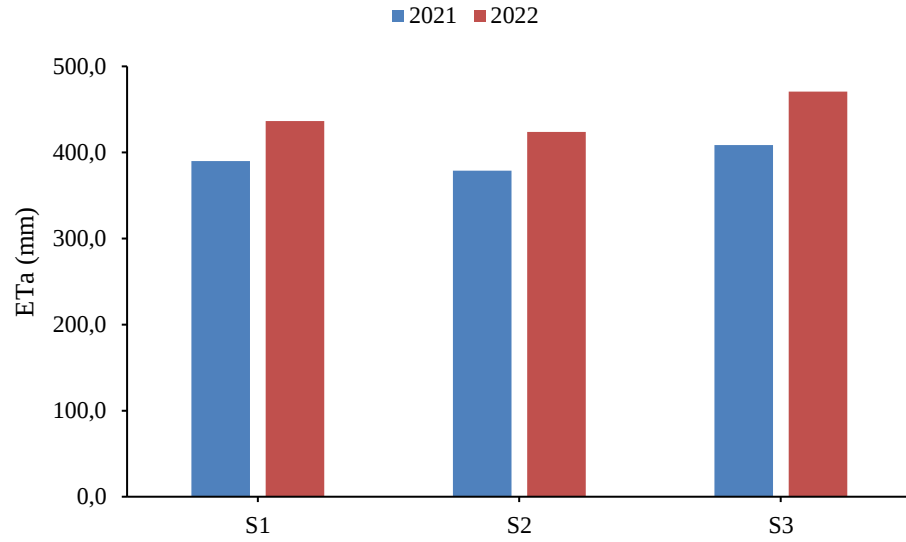
Bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde, Altun (2024) tarafından Erzurum ekolojisinde yapılan iki yıllık çalışmada, silajlık mısır bitkisi için yüzey şt damla sulama ile arıtma çamurunun farklı dozları altında bu çalışmaya benzer sulama rejimlerinde ETa değerlerini ilk yıl 401,8 mm – 418,1 mm arasında, ikinci yıl 459,7 mm – 473,4 mm arasında belirlemiştir. Cakmakci and Sahin (2021) tarafından Van ili ekolojisinde yrtlen diğer bir çalışmada, geleneksel toprak işleme altında silajlık mısır bitkisi için yüzey şt damla sulama sistemiyle farklı sulama seviyelerinde sezonluk evapotranspirasyon değerleri tam sulama koşullarında ilk yıl 428,2 mm, %33 ve %67 kısıntılı sulamalarda ise sırasıyla 349,9 mm ve 274,5 mm olarak belirlenmiştir. İkinci yıl ise bu değerler 416,3 mm, 329,8 mm ve 255,2 mm olarak kaydedilmiştir. Aksine, Nilahyane and Islam (2018), 1333 m yükseltide yüzey şt damla sulama yöntemiyle silajlık mısır yetiştiriciliğinde tam sulama uygulamasında evapotranspirasyon değerini 350 mm olarak daha düşük belirlemişlerdir. nceki birçok araştırmada da bu çalışmaya göre daha yüksek değerler kapsamında silajlık mısır bitkisi için damla sulama yöntemiyle tam sulama koşullarında evapotranspirasyon değerlerinin 635 mm ile 975 mm arasında değiştiği rapor edilmiştir (Dağdelen ve ark., 2009b; Kuşçu, 2010; Kara, 2011; Simsek *et al.* 2011; Ucak *et al.* 2016). Su tüketim değerlerindeki bu farklılıkların, bölgenin iklim ve toprak koşulları ile çeşit ve tarımsal uygulama farklılıklardan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



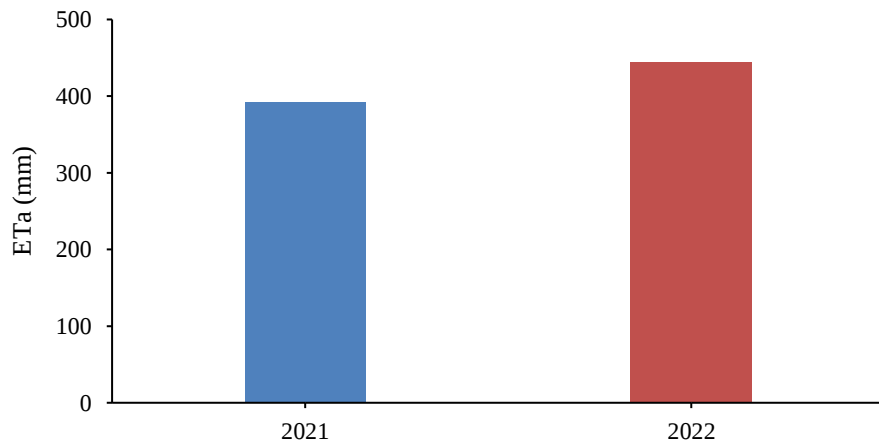
şekil 43. 2021 ve 2022 yılları mineral ve ahır gübresi uygulamalarında sulama rejimlerine göre sezonluk gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerleri



Şekil 44. 2021 ve 2022 yılları gübre türlerine göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri



Şekil 45. 2021 ve 2022 yılları sulama rejimlerine göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri



Şekil 46. 2021 ve 2022 yılları gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri

Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (IWP)

İki yıllık ortalamalar göz önüne alındığında, ahır gübre uygulaması hem en yüksek silajlık ot verimini hem de istatistiksel olarak en yüksek WP ve IWP değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır (Ek 1, 2, 72, Tablo 7, 8, 51). Ahır gübre uygulamasında WP değerinin mineral gübreye kıyasla %39,8 ve IWP değerinin ise %40,1 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde sulama uygulamalarında da S1 uygulaması en yüksek WP ve IWP değerlerini sağlarken, en düşük değerler S3 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 7 ve 8). S1 uygulamasının WP değeri S2'ye göre %13,1, S3'e göre ise %52,3 daha yüksek, IWP değeri de S2'ye göre %11,5 ve S3'e göre %30,2 daha yüksek olarak bulunmuştur. WP ve IWP değerlerinin, silajlık ot veriminden doğrudan etkilendiği ve S1 uygulamasında daha yüksek silajlık ot verimi ile birlikte daha yüksek su verimliliği değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Tablo 51). Benzer şekilde, Zhang *et al.* (2017) sulama verimliliğinin gübreleme ile önemli ölçüde artabileceğini ifade etmişlerdir. Basso and Ritchie (2018) ise mısırdaki verim artışının, su verimliliğini artıracaklarını belirtmişlerdir. Verim artışıyla birlikte WP ve IWP'deki artış, Çakmakcı (2018), Chávez *et al.* (2020), Cakmakci and Sahin (2021), Cheng *et al.* (2021), Zou *et al.* (2021), Yerli (2022), Wang *et al.* (2022), Djaman *et al.* (2022) ve Altun (2024) tarafından da rapor edilmiştir.

Tablo 7. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Su Verimliliği (WP) Değerlerine (kg/m³) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	32,8±1,34	23,5±1,24	28,1±2,24 A
	S2	27,3±1,84	21,3±0,54	24,3±1,59 B
	S3	21,9±1,25	17,1±0,89	19,5±1,27 C
	Ort.	27,3±1,74 A	20,6±1,05 B	
2022	S1	37,4±0,21 a	23,9±0,30 c	30,6±3,01 A
	S2	33,7±1,97 b	21,6±0,39 cd	27,7±2,85 B
	S3	20,9±0,32 d	17,3±0,52 e	19,1±0,85 C
	Ort.	30,6±2,56 A	20,9±0,99 B	
2021-2022	S1	35,1±0,75 a	23,7±0,77 c	29,4±2,59 A
	S2	30,5±0,79 b	21,5±0,08 d	26,0±2,05 B
	S3	21,4±0,70 d	17,2±0,65 e	19,3±1,03 C
	Ort.	29,0±2,05 A	20,8±1,00 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 8. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Sulama Suyu Verimliliği (IWP) Değerlerine (kg/m³) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	42,4±1,73	30,2±1,60	36,3±2,93 A
	S2	35,9±2,42	27,9±0,71	31,9±2,12 B
	S3	32,7±1,86	25,5±1,33	29,1±1,92 B
	Ort.	37,0±1,75 A	27,8±0,93 B	
2022	S1	50,5±0,28 a	31,9±0,40 cd	41,2±4,17 A
	S2	46,1±2,69 b	29,2±0,53 de	37,7±3,98 B
	S3	33,6±0,52 c	27,4±0,83 e	30,5±1,45 C
	Ort.	43,4±2,66 A	29,5± 0,72 B	
2021-2022	S1	46,5±0,98 a	31,1±1,00 cd	38,8±3,51 A
	S2	41,0±1,07 b	28,6±0,10 de	34,8±2,83 B
	S3	33,1±1,06 c	26,4±0,99 e	29,8±1,64 C
	Ort.	40,2±2,00 A	28,7±0,78 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Toprak Kimyasal Özellikleri

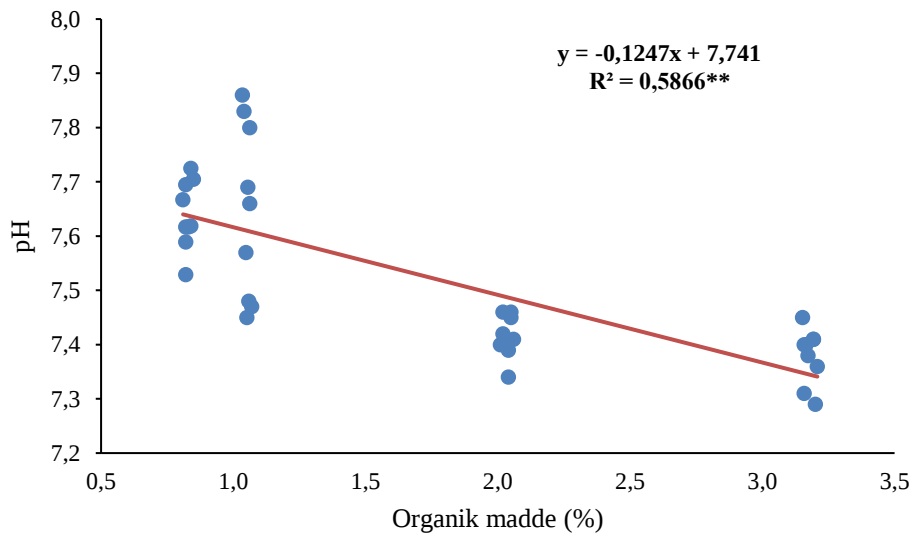
Toprak verimliliği, toprağın mevcut besin durumu ve besin maddelerini doğal ve dış kaynaklardan sağlama yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Rayne and Aula, 2020). Toprakların pH, EC, KDK'sı ve makro ile mikro element içerikleri gibi çeşitli kimyasal özellikleri, toprağın verimliliğini etkilemektedir. Bu çalışmada da ahır gübresi uygulamasının bir sonucu olarak toprak kimyasal özelliklerinde önemli değişimler olduğu belirlenmiştir.

Deneme topraklarının pH, EC, CaCO₃, organik madde, değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), KDK, ESP, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O ile makro ve mikro element içeriklerinin ortalama ve standart sapmaları Tablo 9-26'da, istatistiksel analiz bilgileri ise Ek 3-20'e ve 73'de verilmiştir.

Her iki yılda da tüm toprak tabakalarında (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm), pH değerleri deneme öncesine göre düşüş göstermiştir (Tablo 3). Ahır gübresi ve mineral gübre uygulamaları arasında, tüm toprak tabakalarında önemli istatistiki farklar (p<0.01) belirlenmiştir (Ek 73). İki yıllık ortalama verilere göre, farklı sulama rejimlerinin yüzey tabakada (0-30 cm) pH değişimine etkisi sınırlı bulunurken, ahır gübresi mineral gübreyle kıyasla tüm tabakalarda daha düşük pH değerlerine neden olmuştur (Tablo 9). Rayne and Aula (2020)'da organik gübre uygulamasıyla toprak pH'sında azalmalar olabileceğini belirtmişlerdir. Ahır gübresinin mineral gübreyle kıyasla daha düşük toprak pH değerleri sağlamanın, ahır gübresinin yüksek azot içeriği (Tablo 3) ve toprakta biriken azottan (Tablo

13-14) kaynaklandığı düşünülmüştür. Benzer şekilde, Çakmakçı (2018) ve Yerli (2022) atık su ile sulama koşullarında, Altun (2024) arıtma çamuru uygulamış koşullarda silajlık mısır yetiştiriciliğinde, atık su ile sulanan veya arıtma çamuru içeren toprakların pH değerlerinin, kontrole göre daha düşük olmasını, atık suyun veya arıtma çamurunun yüksek azot içeriği ile ilişkilendirmişlerdir. Toprak pH'sındaki azalma nitrifikasyonun asitleştirici etkisi ve buna eşlik eden elektriksel iletkenlikteki artışla açıklanmaktadır (Rayne and Aula, 2020). Dolayısıyla amonyum nitrifikasyonunun, hidrojen iyonları üreterek toprak pH'ını düşürebilecek bir süreç olduğu Yerli (2022) ve Çakmakçı (2018) tarafından da belirtilmiştir.

Organik maddenin mineralizasyonu sonucu oluşan organik asitlerin pH düşüşündeki etkisi değerlendirildiğinde, gübrenin karıştırıldığı yüzey tabakada organik madde içeriği ile pH arasında anlamlı ($p<0,01$) negatif doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 47, Ek 92). Organik madde içeriği ile pH arasında negatif ilişki Saltalı and Kara (2022) tarafından da belirlenmiştir. Kılıç ve Sönmez (2019)'de pH'daki düşüşün organik maddenin doz artışından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Organik madde artışıyla pH değerinde azalışlar olduğu birçok çalışmada da belirtilmiştir (Guo *et al.* 2018; Cakir and Cimrin, 2020; Laurent *et al.* 2020; Sun *et al.* 2020; Badaou and Sahin, 2022; Wang *et al.* 2023).



Şekil 47. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriği ile pH arasındaki ilişki (n=36; $^{**}p<0,01$)

Toprak pH'sı, topraktaki minerallerin çözünürlüğünü etkilemektedir. Dolayısıyla, pH besin yarıyışlılığının önemli bir belirleyicisidir. Daha asidik pH seviyeleri, metallerin çözünürlüğünü artırırken, P'nin kullanılabilirliğini düşürmektedir. Çok asidik pH faydalı organizmaların faaliyetini de baskıladığından genellikle mahsul büyümesi olumsuz etkilenmektedir (Ayamba *et al.* 2021). Bitki gelişimi ve besin elementlerinin alınabilirliği için nötr pH seviyeleri ideal olduğundan (McCauley *et al.* 2017), bu çalışmada pH değerlerinin nötr

ve hafif alkaliye yakın bulunmasının bitki beslenmesi açısında kısıt oluşturmadiğı değerlendirilmiştir. Özellikle organik madde, topraktaki katyon tutulumunu ve bitkilere alınabilirliğini artıracak şekilde pH' nın optimum aralıkta kalmasını sağlamaktadır (Uçgun ve ark., 2019). Ayrıca optimum pH değerinin, topraktaki mikroorganizmaların popülasyonunu ve aktivitelerini etkileyerek organik maddenin parçalanması ve bitki besin maddelerinin serbest bırakılması sürecine de katkısı olduğu bilinmektedir (Zhalnina *et al.* 2015; Chen *et al.* 2019).

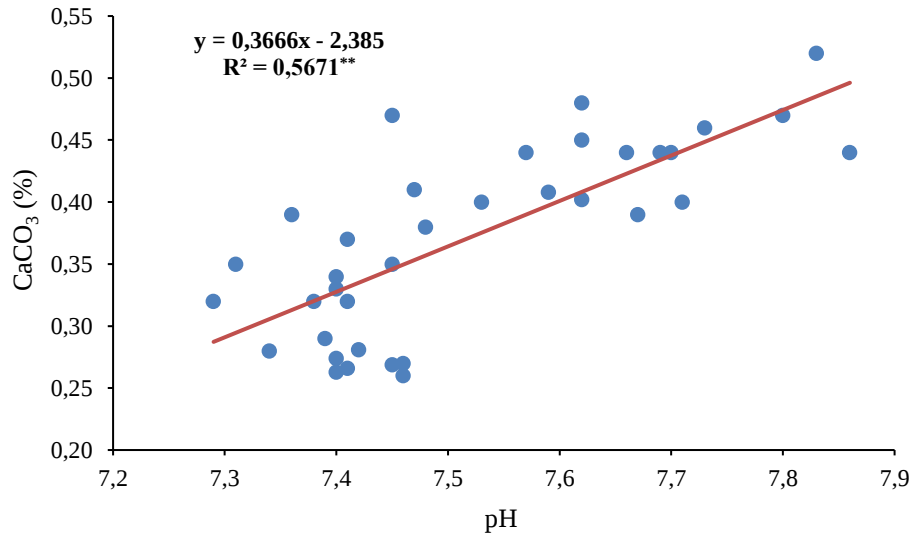
Bulgular, ahır ve mineral gübre uygulamalarının 0-30 cm toprak tabakasındaki elektriksel iletkenlik (EC) değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Ek 73). Ahır gübre uygulamasında, 0-30 cm toprak tabakasında, tüm sulama rejimi koşullarında, EC değerleri deneme öncesi değerlere kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Tablo 10).

Hayvan yemi genellikle mineral tuzlarla zenginleştirilir ve bunun sonucunda hayvan gübresinin tuzluluğu ve iyon bileşimi artar. İyonlar ve tuzlar toprağa girdikten sonra suda çözünür ve toprak tuzluluğunu artırır. Böylece toprakta Na, K ve Mg içeriklerinde sıklıkla artışlar görülür (Li-Xian *et al.* 2007).

Organik gübrelerin toprak EC değerlerinde artışa neden olduğu bilindiğinden (Yılmaz and Alagöz, 2010; Kılıç ve Sönmez, 2019; Rayne and Aula, 2020), ahır gübre uygulamalarında toprakta gözlemlenen yüksek EC değerlerinin ahır gübresinin yüksek tuzluluk değerinden kaynakladığı değerlendirilmiştir (Tablo 3). Miller *et al.* (2016)'de toprakta ahır gübresi oranının artmasıyla EC'de bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, organik madde kaynağı olarak farklı materyaller (arıtma çamuru, kompost, ahır gübresi) uygulanmış topraklarda EC değerinde belirgin bir artış olduğu Aydınşakir ve ark., (2011), Çıtak ve ark. (2011), Cakir and Cimrin (2020), Badaou and Sahin (2022) ve Altun (2024) tarafında da tespit edilmiştir. Tuzlulukta artışa rağmen ahır gübresi uygulamasındaki tuzluluk değerlerinin hem toprakların tuzlanma tehlikesini gösteren 4 dS/m ve hem de mısır için tuzluluk eşik değeri olan 1,7 dS/m'nin çok altında olduğu tespit edilmiştir (Kanber ve Ünlü, 2010).

Deneme öncesi değerlere kıyasla (Tablo 3) deneme sonrası kısmen artış gösteren CaCO_3 içerikleri 0-30 ve 30-60 cm toprak tabakalarında ahır gübresi uygulamasında azalarak başlangıç değerlerine yaklaşmış, mineral gübre uygulamasına göre azalma önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Tablo 11, Ek 5). Bu sonuç, ahır gübresi uygulamasında belirlenen daha düşük pH değerleriyle açıklanabilir (Tablo 9). Çalışmada yüzey tabakada pH değerleri ile CaCO_3 içerikleri arasında önemli ($p<0,01$) pozitif doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 48, Ek 92). Badaou and Sahin (2022) tarafından da organik materyal karıştırılmış toprakta pH ve CaCO_3 arasındaki anlamlı pozitif ilişkiye vurgu yapılmıştır. Yine pH ile CaCO_3 içeriği arasında pozitif bir ilişkinin

varlığı birçok çalışmada da belirtilmiştir (Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Altun, 2024; Diler, 2025).



Şekil 48. Yüzey tabakada (0-30 cm) pH değeri ile CaCO₃ içeriği arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Gübrenin yüksek organik maddesinden dolayı uygulama sonrası organik madde içeriği ilk yıl daha fazla olmak üzere yüzey tabakada mineral gübreye kıyasla önemli seviyelerde (p<0,01) artışlar sağlamıştır (Tablo 12, Ek 73). İki yıllık ortalamaları göz önüne alındığında, 0-30 cm derinlikteki toprak tabakasında ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre %177,7 daha fazla organik madde içeriği belirlenmiştir. Çalışmalar, hayvansal gübrelerin toprağa eklenmesinin organik maddeyi tutarlı bir şekilde artırdığını veya organik maddenin tükenme sürecini geciktirdiğini göstermiş, materyalin organik madde zenginliğinin de daha fazla artış sağlayacağı belirtilmiştir (Rayne and Aula, 2020). Dolayısıyla, organik gübreler toprak organik madde içeriğinde önemli artışlara neden olabilmektedir (Butler *et al.* 2008; Çıtak ve ark., 2011; Kılıç ve Sönmez, 2019). Yine birçok çalışmada da toprakta organik materyal katkısıyla organik madde içeriğinde önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir (Maillard and Angers, 2014; Menşik *et al.* 2018; Badaou and Sahin, 2022).

Zamanla toprakta organik madde içeriğinde genel bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalma, toprakta organik maddenin mevsim boyunca mineralize olduğunu göstermiş ve bu da toprak ile bitki verimliliğindeki artış sağlamıştır (Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Altun, 2024). Sonuç olarak, hayvan gübresinin toprağa uygulaması organik madde katkısının yanı sıra, organik maddeyi ayrıştıran toprağın mikrobiyal aktivitesinin iyileştirilmesine yönelik bir mekanizmada sağlamaktadır (Rayne and Aula, 2020). Ahır gübresi uygulaması toprakta mikrobiyal aktivitenin iyileştirilmesi mekanizmasını sağlayan önemli seçeneklerden biridir (Doğan ve ark., 2018; Zhong *et al.* 2015; Parham *et al.* 2003). Gübre uygulamasıyla toprakta

organik maddenin zenginleşmesi ve toprak havalanma koşullarının iyileşmesiyle biyolojik aktivite artmaktadır. Biyolojik aktivitede artış organik materyalin ayrışmasını, dolayısıyla besin maddelerinin salınmasını kolaylaştırmaktadır.

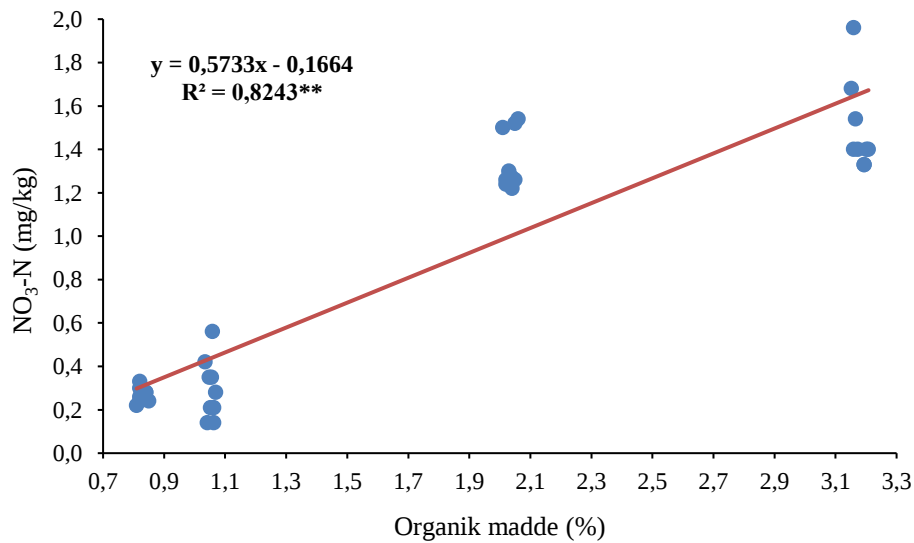
Organik maddenin arttığı yüzey tabakada (0-30 cm), ahır ve mineral gübre uygulamalarının toplam Kjeldahl azotu içeriği üzerindeki etkileri istatistiksel olarak farklı bulunmuş ($p<0,01$) (Ek 73), deneme öncesi (Tablo 3) değerle karşılaştırıldığında, ahır gübresi ile yapılan uygulamalarda iki yıllık ortalamada toplam Kjeldahl azot içeriğinde %212,5 oranında bir artış gözlenmiştir (Tablo 13). Buna karşın, hem alt tabakalarda (30-60 cm ve 60-90 cm) hem de mineral gübrelemede değerler başlangıç değerlerine yakın bulunmuştur. Bir çok araştırma, organik materyallerin toprak verimliliği üzerine iyileştirici etkilerini bildirmiştir (Okalebo et al. , 2004; Fening et al. 2010; Liza et al. 2014; Altun, 2024). Organik gübrenin toprak verimliliği üzerine belirgin etkisi üretimi artırmaya yönelik sürdürülebilir bir mekanizma sağlamaktadır (Bhatt et al. 2019; Ayamba et al. 2021). Ahır gübresi bitki büyümesini sağlayan makro ve mikro besin maddelerini yeterince içerebilen değerli bir organik kaynaktır (Akila and Ramasubramanian, 2015). Organik madde başta nitrojen olmak üzere besin elementlerinin önemli bir kaynağıdır (Ayamba et al. 2021). Dolayısıyla, ahır gübresi uygulamalarında toplam azot içeriğindeki artışın ahır gübresinin azot içeriğinin fazlalığından kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo 14).

Gübrenin yüksek azot içeriğine bağlı toprağın azot içeriğinde önemli seviyelerde artışlar birçok çalışmada da ifade edilmiştir (Lakhdar et al. 2010; Diacono and Montemurro, 2011; Abdallh and Sahin., 2020; Altun, 2024). Ahır gübresi uygulamasının etkisiyle mikrobiyal popülasyondaki artışın besin bulunabilirliğini artırdığı, bitki beslenmesinde önemli elementlerden biri olan mineralize edilebilir N içeriğinde yüksek gübre uygulama oranlarında önemli artışlara neden olduğu ve mineralize N içeriği ile organik madde arasında güçlü bir ilişkiyi sağladığı belirtilmektedir (Rayne and Aula, 2020).

Dhull et al. (2004) organik materyallerin uygulamasından sonra toprak karbon, N, P ve mikrobiyal biokütlesinde bir artış olduğunu bildirilmiştir. Şenlikoğlu (2015)'da farklı organik materyalleri içeren topraklarda uygulama oranlarına bağlı olarak toprak besin içeriklerinde (toplam azot, nitrat azotu ve potasyum) önemli artışlar olduğunu bildirmiştir. Organik madde bir yandan uzun vadeli bir rezerv olarak yavaş salınan besin kaynağı görevi görürken (Sullivan et al. 2002; Jat et al. 2015), diğer yandan bakiye etkiyle agregat stabilitesini teşvik etmektedir (Kolade et al. 2006).

Organik N içeren gübrelerin toprakta bitki için alınabilir formu olan NO_3 içeriğinde artış sağlamış olmasının gübrenin mineralize etkinliğini göstermiştir (Eghball *et al.* 2002). Ahır gübresi uygulaması mineral gübre uygulamasıyla kıyaslandığında, yüzey tabakada iki yıllık ortalamada, $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriği ahır gübresi uygulamasında daha yüksek bulunmuş ve S1 sulama rejiminden S3'e doğru da önemli ($p<0,01$) bir azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 14, Ek 8 ve 73). 0-30 cm'lik tabakasında mineral gübre uygulaması ahır gübresi uygulamasından %80,3 daha düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ sağlarken, S3 uygulamasında da S1 uygulamasına göre %16,8 daha düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriği belirlenmiştir (Tablo 14). S2 sulama rejiminde de %13,7 azalış olduğu görülmüştür.

Hayvansal organik materyaller toprağa uygulandığında içeriğindeki amonyum hızlıca nitrata dönüşmektedir (Aita *et al.* 2007; Girotto *et al.* 2013). Toprakta azot dinamikleri toprak organik madde içeriğindeki değişikliklerden büyük ölçüde etkilenmektedir (Bhatt *et al.* 2019). Demir ve Topaç (2019)'da organik kaynak olarak arıtma çamuru doz artışıyla toprakta NO_3 içeriğinde önemli artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Sık sulama koşullarının artan mineralizasyonla $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin topraktaki içeriğini artırdığı da bilinmektedir. Tian *et al.* (2023) ve Wang *et al.* (2023)'da topraktaki nitrat birikiminin sulama seviyeleriyle önemli ölçüde değiştiğini belirlemişlerdir. Toprakta nem içeriğinde azalma mikrobiyal aktiviteyi olumsuz etkileyerek azot mineralizasyonunu yavaşlamaktadır (Premalatha *et al.* 2023). Bitkilerin klorofil üretimi ve fotosentezini artırarak büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan bir besin maddesi olan NO_3 'nin kaynağı durumunda olan organik maddenin yüzey tabakada $\text{NO}_3\text{-N}$ ile ilişkisi de önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Şekil 49, Ek 92).



Şekil 49. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriğiyle $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriği arasındaki ilişki (n=36; $^{**}p<0,01$)

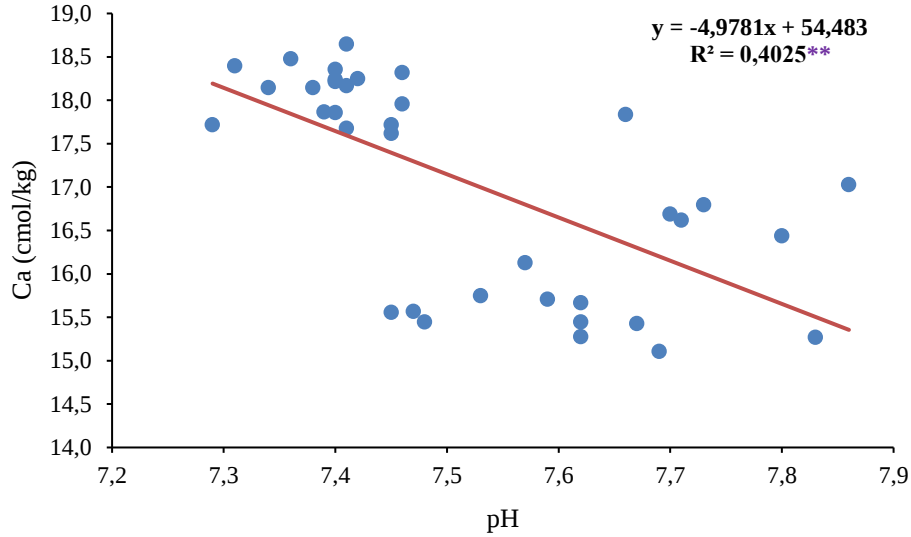
İki yıllık ortalama sonuçlara göre, 0-30 cm derinlikteki toprak tabakasında, ahır ve mineral gübre uygulamalarının alınabilir fosfor (P_2O_5) değerleri üzerinde önemli ($p<0,01$) bir etkisi olduğu görülmüştür (Ek 73). Ahır gübresi uygulamasında, mineral gübre uygulamasına göre ortalama %17,6 daha fazla P_2O_5 içeriği belirlenmiştir (Tablo 15). Ayrıca, ahır gübresi uygulamasında, sezon başına kıyasla yüzey tabakasında fosfor miktarında bir artış olduğu da gözlenmiştir (Tablo 3). Bu bulgular, ahır gübresinin fosfor içeriğinin toprakta alınabilir fosfor seviyesinin artmasında önemli faktör olduğunu göstermektedir. Ahır gübresi hem organik hem de inorganik P içermektedir. İnorganik ortofosfatlar, P'nin bitkiler tarafından alındığı formudur ve genellikle gübredeki P'nin %45-90'ını oluşturmaktadır. Bu da gübreyi önemli bir P kaynağı haline getirmektedir (Rayne and Aula, 2020). Dolayısıyla organik materyal eklenmesi fosfor bağlanma bölgeleri için rekabeti artırarak P'nin kullanabilir formunu artırmış olabilir (Bhatt *et al.* 2019). Ahır gübresi gibi organik materyal uygulamalarının alınabilir fosfor miktarında önemli artışlar sağladığı Asri ve ark., (2011) ve Kılıç ve Sönmez (2019) tarafından da belirlenmiştir.

Tüm toprak tabakalarında, ahır ve mineral gübre uygulamalarında toprakta alınabilir potasyum (K_2O) değerlerinde önemli ($p<0,01$) farklılıklar belirlenmiştir (Ek 73). En yüksek değerlerin görüldüğü 0-30 cm'lik toprak tabakasında iki yıllık ortalamalara göre, ahır gübresi uygulamış parseller mineral gübre uygulanan parsellere kıyasla ortalama %11,6 daha fazla alınabilir potasyum (K_2O) değeri sağlamıştır (Tablo 16). Genel olarak, ahır gübresi uygulamasında değerlerin deneme öncesi değerlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sumiahadi (2021) ve Gezer ve ak. (2023) organik madde içeriğinin artmasıyla toprakta K_2O içeriğinde artış olduğunu belirtmişlerdir.

Yüzey tabakada organik madde içeriği ile K_2O arasındaki önemli ($p<0,01$) korelasyon da bu çalışmada K_2O 'nun artmasında organik madde katkısının önemini ortaya koymaktadır (Ek 92). Toprağın elverişli K içeriğinin düzenli organik gübrelemeyle başlangıç değerlerinin üzerinde bir artış gösterdiği Bhatt *et al.* (2019) tarafından da ifade edilmiştir.

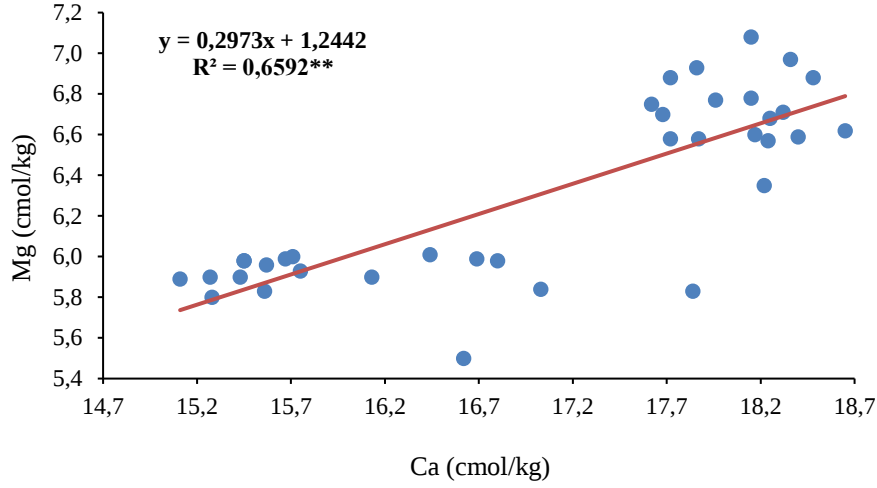
Mineral gübre uygulamasına göre değişebilir Ca içeriği ahır gübresi uygulamasında daha yüksek bulunmuştur (Tablo 17, Ek 73). Başlangıç değerlerinin üzerinde olduğu da görülmüştür (Tablo 3). Ahır gübresinde sindirim sisteminde emilmeyen yemlerden kalan Ca ve Mg içeriklerinden dolayı (Loss *et al.* 2019), ahır gübresi uygulamasında toprakta değişebilir Ca içeriklerinin daha fazla olmasının ahır gübresinde bulunan Ca içeriğinin yüksek oranda bulunmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo 3). Ahır gübresinin toprakta Ca artışında etkisi Kılıç ve Sönmez (2019) ve Bhatt *et al.* (2019) tarafından da belirtilmiştir. pH'nın düşük olduğu koşulların da toprakta kirecin çözünürlüğünü artırarak Ca içeriğinin artmasına

katkı sağlamış olabileceği değerlendirilmiştir. Bu durum, pH değeri ile Ca içeriği arasında belirlenmiş negatif doğrusal ilişkiyle de desteklemektedir (Şekil 50, Ek 92). Altun (2024)'da organik materyal karıştırılmış toprakta pH değeri ile değişebilir kalsiyum arasında negatif bir ilişki olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 50. Yüzey tabakada (0-30 cm) pH değeriyle Ca içeriği arasındaki ilişki (n=36; $^{**}p<0,01$)

Mg içerikleri mineral gübre uygulamalarına göre ahır gübresi uygulamalarında istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur (Tablo 18, Ek 73). Ahır gübresi uygulamasının Ca ile birlikte Mg içeriğini de artırdığı Bhatt *et al.* (2019) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, Mg'nin ahır gübresi uygulamasıyla artış göstermesi Ca artışı ile ilişkilendirilmiştir. Artan Mg, Ca'nın çökmesine ve toprakta birikmesine neden olmaktadır (Yerli, 2022). Yürütülen çalışmada da Ca-Mg arasındaki ilişkinin önemli ve değişiminde pozitif olduğu belirlenmiştir (Şekil 51, Ek 92). Yerli (2022) ve Altun (2024)'da çözünmüş veya katı organik madde eklenen koşullarda Ca ile Mg arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Deneme sonrası yüzey tabakada Ca ve Mg içeriklerinin ayrıca toprak başlangıç değerlerinin de üzerinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).



Şekil 51. Yüzey tabakada (0-30 cm) Ca içeriğiyle Mg içeriği arasındaki ilişki (n=36; p<0,01)

Ahır gübresinin yüksek Na içeriğinden dolayı (Tablo 4) ahır gübresi uygulamalarında mineral gübre uygulamalarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı (p<0,01) daha yüksek toprak Na içerikleri tespit edilmiştir (Tablo 19, Ek 73). Ahır gübresi uygulamasında Na içerikleri yüzey tabakada başlangıç değerlerinin üzerinde bulunmuştur (Tablo 3). İki yıllık deneme sonuçlarına göre, 0-30 cm toprak tabakasında ahır gübresi altında mineral gübre uygulamasında göre değişebilir Na içeriği %19,8 daha yüksek tespit edilmiştir (Tablo 19).

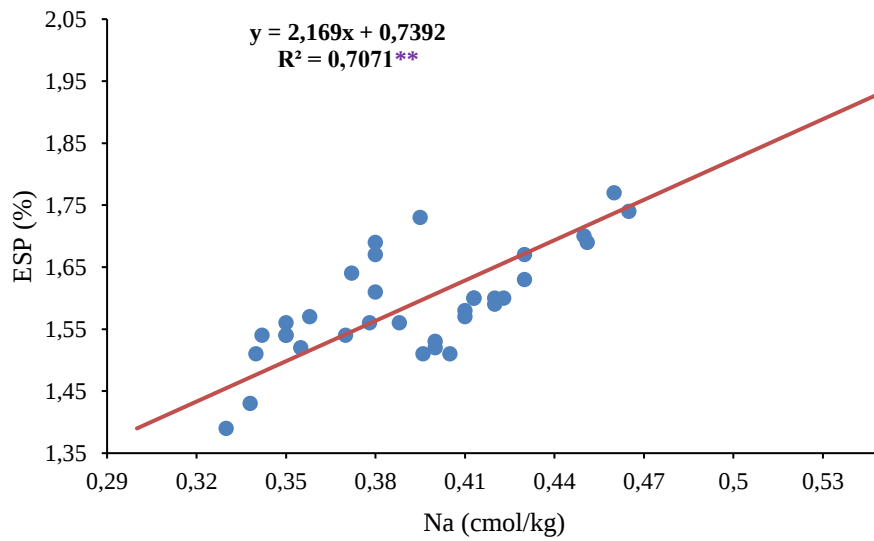
Ahır gübresi uygulamalarında hem denemenin başlangıç (Tablo 3) değerlerinden hem de mineral gübre uygulamalarından istatistiksel olarak daha yüksek K içerikleri belirlenmiştir (Tablo 20, Ek 73). İki yıllık ortalama sonuçlarına göre, 0-30 cm tabakasında ahır gübresi uygulamalar mineral gübre uygulamasına göre %14,2 daha yüksek K içeriği sağlamıştır (Tablo 20). Çoğu hayvansal organik materyal, K'yı bitkilerce kolay alınabilen mineral formda sağlamaktadır (Kayser and Isselstein, 2005).

Adekiya *et al.* (2020), farklı organik materyaller uygulanan toprakta N, P, K, Ca ve Mg içeriklerinin organik madde miktarındaki artışla birlikte arttığını ifade etmişlerdir. Yine, Wulanningtyas *et al.* (2021) de toprakta organik madde miktarını artırmanın, toprağın K, Ca, Mg ve Na içeriklerini de artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca Gürel (2024) de toprakta organik madde miktarı arttıkça N ve P değerlerinde de bir artış olduğunu gözlemiştir.

Ahır gübresi ve mineral gübre uygulamalarının KDK değerlerine etkisi tüm tabakalarda önemli (p<0,01) bulunmuştur (Tablo 21, Ek 73). Daha sık sulama koşullarında da bir azalma olduğu belirlenmiştir (Ek 15). İki yıllık deneme sonuçlarına göre, 0-30 cm tabakasında ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre %13,5 daha yüksek KDK değeri elde edilmiştir (Tablo 21).

Ahır gübresi uygulamasında gözlenmiş KDK artışının, ahır gübresindeki özellikle yüksek Ca içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo 3). Gübre eklenmesiyle organik maddedeki artış KDK değerini artırabilir, bu da organik maddenin yüksek yüzey yükünü yansıtmaktadır (Zhong *et al.* 2015). KDK'da artış organik maddenin koloidal yapısından kaynaklanmaktadır (Pernes and Tessier, 2004). Dolayısıyla, organik maddedeki artışın KDK'yı arttırmasıyla, toprakların besin adsorbsiyonu artmaktadır (Brunetto *et al.* 2012). Roy and Gupta (2016), Agegnehu *et al.* (2016) ve Rayne and Aula (2020) organik madde artışının KDK'yı da arttırdığını belirtmişlerdir. Miller *et al.* (2016)'da 13 yıllık uygulamadan sonra ahır gübresi uygulama oranı ile KDK arasında istatistiksel olarak anlamlı bir doğrusal ilişki belirlemişlerdir. Yine birçok çalışmada da organik maddenin KDK'yı artırdığı belirtilmiştir (Silva *et al.* 2016; Çakmakçı, 2018; Demir and Sahin 2020; Wulanningtyas *et al.* 2021; Yerli, 2022; Singh *et al.* 2022; Altun, 2024).

Denemenin ikinci yılında ve iki yıllık ortalama, 0-30 cm ve 30-60 cm'lik tabakalarında ESP değerlerinin ahır gübresi uygulamasıyla anlamlı ($p<0,01$) düzeyde arttığı ve başlangıç ESP değerlerin üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 3, Tablo 22, Ek 73), Ahır gübresi uygulamasında ESP'de bir artış görülse de toprakta sodyumluluk riski (< 15) açısından çok düşük seviyelerde kaldığı değerlendirilmiştir (Kanber ve Ünlü, 2010). ESP değerlerindeki değişimin Na ve KDK değişimleriyle ilişkili olması nedeniyle ESP ile değişebilir Na içeriği arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,01$) pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 52, Ek 92). ESP değerlerinin Na içeriğinin artışına bağlı olarak arttığı birçok araştırmacı tarafından da belirtilmiştir (Jalali *et al.* 2008; Sou *et al.* 2013; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Altun, 2024).



Şekil 52. Yüzey tabakada (0-30 cm) değişebilir Na içeriğiyle ESP değeri arasındaki ilişki (n=36; $**p<0,01$)

Tablo 9. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında pH'ya Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	7,39±0,041	7,58±0,108	7,49±0,068
		S2	7,35±0,032	7,70±0,075	7,52±0,086
		S3	7,40±0,010	7,66±0,118	7,53±0,078
		Ort.	7,38±0,017 B	7,65±0,054 A	
	2022	S1	7,42±0,015 c	7,58±0,026 b	7,50±0,038 B
		S2	7,39±0,024 c	7,64±0,017 b	7,51±0,057 B
		S3	7,44±0,023 c	7,71±0,009 a	7,58±0,062 A
		Ort.	7,41±0,013 B	7,64±0,021 A	
	2021-2022	S1	7,40±0,026	7,58±0,042	7,49±0,046
		S2	7,37±0,016	7,66±0,045	7,51±0,070
		S3	7,42±0,010	7,68±0,061	7,55±0,065
		Ort.	7,40±0,012 B	7,64±0,030 A	
30-60	2021	S1	7,68±0,024 b	7,97±0,038 a	7,83±0,069 A
		S2	7,69±0,029 b	8,06±0,052 a	7,88±0,088 A
		S3	7,71±0,012 b	7,66±0,118 b	7,68±0,055 B
		Ort.	7,69±0,012 B	7,90±0,073 A	
	2022	S1	7,66±0,023 c	7,93±0,012 a	7,80±0,061 A
		S2	7,67±0,024 c	7,98±0,026 a	7,83±0,071 A
		S3	7,68±0,012 c	7,82±0,013 b	7,75±0,032 B
		Ort.	7,67±0,011 B	7,91±0,025 A	
	2021-2022	S1	7,67±0,019 b	7,95±0,018 a	7,81±0,064 A
		S2	7,68±0,021 b	8,02±0,038 a	7,85±0,079 A
		S3	7,70±0,007 b	7,74±0,060 b	7,72±0,028 B
		Ort.	7,68±0,009 B	7,91±0,047 A	
60-90	2021	S1	7,75±0,039 d	8,05±0,026 b	7,90±0,072 B
		S2	7,90±0,027 c	8,23±0,055 a	8,06±0,079 A
		S3	7,93±0,026 c	7,99±0,009 bc	7,96±0,019 B
		Ort.	7,86±0,032 B	8,09±0,039 A	
	2022	S1	7,85±0,018	8,05±0,003	7,95±0,044 B
		S2	7,87±0,015	8,12±0,018	8,00±0,055 A
		S3	7,86±0,003	8,08±0,025	7,97±0,051 AB
		Ort.	7,86±0,007 B	8,08±0,013 A	
	2021-2022	S1	7,80±0,028 d	8,05±0,014 b	7,93±0,058 B
		S2	7,89±0,016 c	8,17±0,034 a	8,03±0,066 A
		S3	7,90±0,015 c	8,04±0,009 b	7,97±0,033 B
		Ort.	7,86±0,018 B	8,09±0,024 A	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 10. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında EC'ye (dS/m) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	0,363±0,044	0,171±0,002	0,267±0,047
		S2	0,389±0,024	0,176±0,007	0,283±0,049
		S3	0,386±0,063	0,171±0,002	0,279±0,056
		Ort.	0,379±0,024 A	0,173±0,002 B	
	2022	S1	0,337±0,002 b	0,169±0,002 c	0,253±0,038 C
		S2	0,363±0,001 a	0,174±0,001 c	0,268±0,042 A
		S3	0,360±0,000 a	0,169±0,002 c	0,264±0,043 B
		Ort.	0,353±0,004 A	0,171±0,001 B	
	2021-2022	S1	0,350±0,023	0,170±0,002	0,260±0,042
		S2	0,376±0,012	0,175±0,003	0,276±0,045
		S3	0,373±0,031	0,171±0,002	0,272±0,047
		Ort.	0,367±0,012 A	0,172±0,002 B	
30-60	2021	S1	0,191±0,000	0,190±0,000	0,191±0,000
		S2	0,191±0,001	0,192±0,001	0,192±0,001
		S3	0,192±0,001	0,191±0,001	0,191±0,001
		Ort.	0,191±0,001	0,191±0,000	
	2022	S1	0,189±0,002	0,188±0,002	0,188±0,001
		S2	0,189±0,002	0,190±0,000	0,190±0,001
		S3	0,190±0,001	0,191±0,001	0,190±0,001
		Ort.	0,189±0,001	0,190±0,001	
	2021-2022	S1	0,190±0,001	0,189±0,001	0,190±0,001
		S2	0,191±0,001	0,191±0,001	0,191±0,001
		S3	0,191±0,001	0,191±0,000	0,191±0,001
		Ort.	0,191±0,001	0,191±0,001	
60-90	2021	S1	0,203±0,001	0,202±0,001	0,202±0,001
		S2	0,203±0,000	0,201±0,000	0,202±0,000
		S3	0,201±0,001	0,200±0,001	0,201±0,001
		Ort.	0,202±0,001	0,201±0,000	
	2022	S1	0,202±0,002	0,198±0,001	0,200±0,002
		S2	0,202±0,001	0,201±0,001	0,202±0,000
		S3	0,200±0,001	0,200±0,001	0,200±0,001
		Ort.	0,201±0,001	0,200±0,001	
	2021-2022	S1	0,203±0,002	0,200±0,001	0,201±0,001 AB
		S2	0,203±0,000	0,202±0,001	0,202±0,000 A
		S3	0,200±0,000	0,200±0,000	0,200±0,000 B
		Ort.	0,202±0,001	0,201±0,000	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 11. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında CaCO₃'a (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	0,34±0,007	0,42±0,026	0,38±0,021
		S2	0,35±0,021	0,47±0,027	0,41±0,030
		S3	0,34±0,017	0,45±0,010	0,39±0,027
		Ort.	0,34±0,008 B	0,45±0,013 A	
	2022	S1	0,27±0,002	0,40±0,002	0,34±0,031
		S2	0,28±0,002	0,44±0,026	0,36±0,038
		S3	0,27±0,009	0,43±0,018	0,35±0,037
		Ort.	0,27±0,003 B	0,43±0,011 A	
	2021-2022	S1	0,30±0,004	0,41±0,013	0,36±0,025
		S2	0,31±0,011	0,45±0,004	0,38±0,032
		S3	0,31±0,013	0,44±0,011	0,37±0,031
		Ort.	0,31±0,005 B	0,44±0,008 A	
30-60	2021	S1	1,43±0,019	1,47±0,003	1,45±0,012
		S2	1,46±0,031	1,48±0,019	1,47±0,016
		S3	1,42±0,023	1,47±0,009	1,45±0,015
		Ort.	1,44±0,013 B	1,47±0,006 A	
	2022	S1	1,39±0,009	1,45±0,017	1,42±0,016
		S2	1,42±0,012	1,46±0,003	1,44±0,010
		S3	1,38±0,019	1,44±0,012	1,41±0,016
		Ort.	1,40±0,009 B	1,45±0,007 A	
	2021-2022	S1	1,41±0,013	1,46±0,009	1,44±0,003
		S2	1,44±0,021	1,47±0,009	1,45±0,012
		S3	1,40±0,019	1,45±0,009	1,43±0,015
		Ort.	1,42±0,011 B	1,46±0,005 A	
60-90	2021	S1	1,70±0,026	1,71±0,063	1,71±0,031
		S2	1,72±0,052	1,76±0,022	1,74±0,027
		S3	1,80±0,023	1,76±0,015	1,78±0,016
		Ort.	1,74±0,024	1,75±0,021	
	2022	S1	1,68±0,012	1,70±0,018	1,69±0,011 B
		S2	1,70±0,027	1,75±0,007	1,73±0,017 AB
		S3	1,78±0,014	1,75±0,026	1,77±0,015 A
		Ort.	1,72±0,018	1,74±0,012	
	2021-2022	S1	1,69±0,019	1,71±0,039	1,70±0,020 B
		S2	1,71±0,039	1,76±0,011	1,74±0,021 AB
		S3	1,79±0,017	1,76±0,018	1,77±0,014 A
		Ort.	1,73±0,021	1,74±0,015	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 12. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Hasat Organik Madde İçeriğine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	3,16±0,002 b	1,06±0,003 c	2,11±0,468
		S2	3,19±0,013 a	1,05±0,004 c	2,12±0,479
		S3	3,18±0,007 a	1,05±0,008 c	2,12±0,478
		Ort.	3,18±0,007 A	1,05±0,004 B	
	2022	S1	2,04±0,015	0,83±0,007	1,43±0,271
		S2	2,03±0,006	0,82±0,006	1,43±0,271
		S3	2,04±0,009	0,84±0,009	1,44±0,268
		Ort.	2,04±0,006 A	0,83±0,004 B	
	2021-2022	S1	2,60±0,007	0,95±0,002	1,77±0,370
		S2	2,61±0,007	0,93±0,004	1,77±0,375
		S3	2,61±0,003	0,94±0,004	1,78±0,373
		Ort.	2,61±0,004 A	0,94±0,003 B	
30-60	2021	S1	1,01±0,007	1,02±0,015	1,01±0,008
		S2	1,03±0,015	1,01±0,012	1,02±0,010
		S3	1,00±0,018	1,00±0,015	1,00±0,010
		Ort.	1,01±0,008	1,01±0,008	
	2022	S1	0,94±0,007	0,95±0,006	0,94±0,005
		S2	0,95±0,010	0,95±0,006	0,95±0,005
		S3	0,94±0,006	0,95±0,007	0,94±0,004
		Ort.	0,94±0,004	0,95±0,003	
	2021-2022	S1	0,97±0,007	0,99±0,010	0,98±0,006
		S2	0,99±0,012	0,98±0,006	0,98±0,006
		S3	0,97±0,012	0,97±0,011	0,97±0,007
		Ort.	0,98±0,006	0,98±0,005	
60-90	2021	S1	0,97±0,007	0,95±0,007	0,96±0,006
		S2	0,94±0,010	0,96±0,003	0,95±0,006
		S3	0,96±0,003	0,97±0,013	0,97±0,006
		Ort.	0,96±0,006	0,96±0,005	
	2022	S1	0,92±0,007	0,93±0,007	0,93±0,004
		S2	0,92±0,006	0,93±0,003	0,93±0,004
		S3	0,93±0,009	0,94±0,013	0,94±0,008
		Ort.	0,92±0,004 B	0,94±0,005 A	
	2021-2022	S1	0,95±0,003	0,94±0,007	0,94±0,004
		S2	0,93±0,008	0,94±0,003	0,94±0,005
		S3	0,95±0,006	0,95±0,013	0,95±0,007
		Ort.	0,94±0,004	0,95±0,005	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 13. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Toplam Kjeldahl-N İçeriğine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	0,371±0,056	0,098±0,008	0,235±0,066
		S2	0,359±0,073	0,103±0,002	0,231±0,066
		S3	0,341±0,027	0,105±0,004	0,223±0,054
		Ort.	0,357±0,028 A	0,102±0,003 B	
	2022	S1	0,350±0,005	0,098±0,001	0,224±0,056
		S2	0,352±0,022	0,097±0,001	0,225±0,058
		S3	0,327±0,011	0,099±0,002	0,213±0,051
		Ort.	0,343±0,008 A	0,098±0,001 B	
	2021-2022	S1	0,361±0,027	0,098±0,004	0,229±0,060
		S2	0,356±0,046	0,100±0,001	0,228±0,061
		S3	0,334±0,019	0,102±0,002	0,218±0,052
		Ort.	0,350±0,017 A	0,100±0,002 B	
30-60	2021	S1	0,082±0,005	0,086±0,006	0,084±0,004
		S2	0,077±0,007	0,077±0,011	0,077±0,006
		S3	0,086±0,005	0,082±0,006	0,084±0,004
		Ort.	0,082±0,003	0,082±0,004	
	2022	S1	0,078±0,003	0,078±0,002	0,078±0,002
		S2	0,078±0,000	0,079±0,001	0,079±0,001
		S3	0,077±0,003	0,079±0,002	0,078±0,001
		Ort.	0,077±0,001	0,079±0,001	
	2021-2022	S1	0,080±0,002	0,083±0,004	0,081±0,002
		S2	0,078±0,003	0,079±0,006	0,078±0,003
		S3	0,082±0,003	0,081±0,004	0,081±0,002
		Ort.	0,080±0,002	0,081±0,002	
60-90	2021	S1	0,072±0,005	0,077±0,004	0,075±0,003
		S2	0,070±0,007	0,077±0,004	0,074±0,004
		S3	0,072±0,002	0,068±0,008	0,070±0,004
		Ort.	0,072±0,003	0,074±0,003	
	2022	S1	0,068±0,002	0,073±0,002	0,070±0,002
		S2	0,066±0,001	0,071±0,002	0,069±0,001
		S3	0,068±0,002	0,072±0,001	0,070±0,001
		Ort.	0,068±0,001 B	0,072±0,001 A	
	2021-2022	S1	0,070±0,002	0,075±0,003	0,073±0,002
		S2	0,069±0,004	0,074±0,003	0,071±0,002
		S3	0,070±0,002	0,070±0,005	0,070±0,002
		Ort.	0,070±0,001	0,073±0,002	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 14. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında NO₃-N İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	1,68±0,162	0,33±0,123	1,00±0,316
		S2	1,45±0,047	0,28±0,070	0,86±0,264
		S3	1,35±0,023	0,28±0,070	0,82±0,242
		Ort.	1,49±0,069 A	0,30±0,046 B	
	2022	S1	1,52±0,012 a	0,26±0,012 c	0,89±0,282 A
		S2	1,28±0,012 b	0,27±0,032 c	0,77±0,226 B
		S3	1,24±0,012 b	0,27±0,018 c	0,76±0,216 B
		Ort.	1,35±0,044 A	0,27±0,011 B	
	2021-2022	S1	1,60±0,075 a	0,29±0,066 c	0,95±0,296 A
		S2	1,36±0,029 b	0,28±0,049 c	0,82±0,244 B
		S3	1,30±0,017 b	0,28±0,027 c	0,79±0,229 B
		Ort.	1,42±0,052 A	0,28±0,025 B	
30-60	2021	S1	0,26±0,062	0,23±0,023	0,25±0,030
		S2	0,23±0,047	0,21±0,070	0,22±0,038
		S3	0,21±0,040	0,23±0,093	0,22±0,046
		Ort.	0,23±0,026	0,23±0,035	
	2022	S1	0,18±0,007	0,17±0,009	0,18±0,005
		S2	0,19±0,007	0,18±0,010	0,18±0,006
		S3	0,20±0,006	0,23±0,082	0,21±0,037
		Ort.	0,19±0,005	0,19±0,025	
	2021-2022	S1	0,22±0,033	0,20±0,009	0,21±0,016
		S2	0,21±0,025	0,20±0,030	0,21±0,018
		S3	0,21±0,023	0,23±0,086	0,22±0,040
		Ort.	0,21±0,014	0,21±0,027	
60-90	2021	S1	0,26±0,084	0,23±0,047	0,25±0,043
		S2	0,23±0,130	0,26±0,062	0,25±0,065
		S3	0,26±0,023	0,26±0,023	0,26±0,015
		Ort.	0,25±0,045	0,25±0,024	
	2022	S1	0,21±0,020	0,22±0,007	0,22±0,010
		S2	0,20±0,006	0,24±0,062	0,22±0,029
		S3	0,23±0,009	0,23±0,023	0,23±0,011
		Ort.	0,21±0,008	0,23±0,019	
	2021-2022	S1	0,24±0,040	0,23±0,027	0,24±0,022
		S2	0,22±0,068	0,25±0,062	0,23±0,042
		S3	0,24±0,016	0,24±0,023	0,25±0,013
		Ort.	0,23±0,023	0,24±0,021	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 15. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında P₂O₅ İçeriğine (kg/da) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	12,80±0,150	10,29±0,314	11,54±0,583
		S2	12,89±0,364	10,59±0,095	11,74±0,540
		S3	12,66±0,190	10,72±0,035	11,69±0,442
		Ort.	12,78±0,130 A	10,53±0,115 B	
	2022	S1	11,34±0,017	9,95±0,025	10,65±0,311
		S2	11,40±0,307	9,96±0,044	10,68±0,352
		S3	11,23±0,131	9,98±0,084	10,61±0,288
		Ort.	11,33±0,100 A	9,96±0,029 B	
	2021-2022	S1	12,07±0,067	10,12±0,144	11,10±0,442
		S2	12,15±0,329	10,28±0,065	11,21±0,444
		S3	11,95±0,147	10,35±0,057	11,15±0,363
		Ort.	12,05±0,110 A	10,25±0,060 B	
30-60	2021	S1	9,39±0,292 ab	9,83±0,127 a	9,61±0,173
		S2	9,02±0,212 b	9,41±0,154 ab	9,22±0,147
		S3	9,93±0,300 a	9,21±0,212 ab	9,57±0,231
		Ort.	9,45±0,190	9,48±0,124	
	2022	S1	9,16±0,031	9,22±0,019	9,19±0,021
		S2	9,14±0,015	9,19±0,026	9,16±0,018
		S3	9,14±0,007	9,17±0,012	9,16±0,008
		Ort.	9,15±0,011 B	9,19±0,013 A	
	2021-2022	S1	9,28±0,161 ab	9,53±0,064 a	9,41±0,095
		S2	9,08±0,112 b	9,31±0,088 ab	9,19±0,081
		S3	9,54±0,147 a	9,19±0,111 ab	9,37±0,114
		Ort.	9,30±0,097	9,34±0,067	
60-90	2021	S1	7,96±0,162 a	7,56±0,056 ab	7,76±0,117
		S2	7,45±0,181 b	7,61±0,141 ab	7,53±0,109
		S3	7,38±0,090 b	7,67±0,094 ab	7,52±0,087
		Ort.	7,60±0,118	7,61±0,054	
	2022	S1	7,49±0,041	7,51±0,012	7,50±0,020
		S2	7,52±0,064	7,54±0,023	7,53±0,031
		S3	7,48±0,027	7,55±0,027	7,51±0,023
		Ort.	7,50±0,024	7,53±0,012	
	2021-2022	S1	7,73±0,061 a	7,54±0,032 ab	7,64±0,052
		S2	7,48±0,107 b	7,57±0,059 ab	7,53±0,058
		S3	7,43±0,033 b	7,61±0,061 ab	7,52±0,051
		Ort.	7,55±0,059	7,58±0,028	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 16. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında K₂O İçeriğine (kg/da) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	123,21±3,003	103,45±5,905	113,33±5,318
		S2	117,99±2,672	108,19±3,628	113,09±2,978
		S3	118,49±2,894	105,22±2,855	111,85±3,479
		Ort.	119,89±1,654 A	105,62±2,271 B	
	2022	S1	113,37±4,240	101,64±5,644	107,51±4,104
		S2	113,98±2,830	106,13±3,876	110,06±2,773
		S3	113,74±2,488	103,47±3,329	108,61±2,954
		Ort.	113,70±1,640 A	103,75±2,292 B	
	2021-2022	S1	118,29±3,556	102,55±5,771	110,42±4,645
		S2	115,99±2,749	107,16±3,752	111,57±2,868
		S3	116,11±2,685	104,35±3,092	110,23±3,206
		Ort.	116,80±1,101 A	104,68±1,612 B	
30-60	2021	S1	71,10±4,776	54,80±5,821	62,95±4,963
		S2	73,23±3,177	57,16±4,896	65,19±4,440
		S3	73,07±2,892	62,33±1,793	67,70±2,843
		Ort.	72,47±1,886 A	58,10±2,515 B	
	2022	S1	66,19±4,317	50,38±6,118	58,29±4,867
		S2	69,69±3,326	55,54±4,764	62,62±4,094
		S3	71,63±2,721	61,14±1,540	66,39±2,729
		Ort.	69,17±1,930 A	55,69±2,760 B	
	2021-2022	S1	68,64±4,545	52,59±5,969	60,62±4,913
		S2	71,46±3,251	56,35±4,830	63,91±4,265
		S3	72,35±2,803	61,74±1,646	67,04±2,783
		Ort.	70,82±1,889 A	56,89±2,627 B	
60-90	2021	S1	55,72±3,224	43,78±4,760	49,75±3,707
		S2	55,92±2,274	44,49±1,375	50,21±2,820
		S3	57,35±1,437	45,37±3,140	51,36±3,093
		Ort.	56,33±1,239 A	44,55±1,709 B	
	2022	S1	55,50±3,150	42,71±4,943	49,11±3,879
		S2	55,27±2,157	43,24±1,284	49,25±2,914
		S3	56,30±1,358	44,02±3,324	50,16±3,180
		Ort.	55,69±1,180 A	43,32±1,769 B	
	2021-2022	S1	55,61±3,187	43,25±4,852	49,43±3,792
		S2	55,60±2,212	43,86±1,329	49,73±2,866
		S3	56,82±1,390	44,70±3,231	50,76±3,136
		Ort.	56,01±1,207 A	43,94±1,739 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 17. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Ca İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	18,12±0,206	15,82±0,314	16,97±0,541
		S2	18,19±0,234	15,50±0,317	16,85±0,625
		S3	18,16±0,280	16,81±0,667	17,49±0,443
		Ort.	18,16±0,122 A	16,05±0,304 B	
	2022	S1	18,00±0,191 a	15,71±0,023 c	16,86±0,520 B
		S2	18,09±0,118 a	15,39±0,051 c	16,74±0,606 B
		S3	18,05±0,138 a	16,70±0,052 b	17,38±0,310 A
		Ort.	18,05±0,077 A	15,93±0,199 B	
	2021- 2022	S1	18,06±0,196 a	15,77±0,168 c	16,92±0,527 B
		S2	18,13±0,095 a	15,44±0,133 c	16,79±0,606 B
		S3	18,11±0,167 a	16,76±0,346 b	17,44±0,348 A
		Ort.	18,10±0,080 A	15,99±0,230 B	
30-60	2021	S1	15,10±0,219	14,83±0,220	14,96±0,151
		S2	14,90±0,190	15,18±0,328	15,04±0,181
		S3	14,95±0,167	14,77±0,047	14,86±0,087
		Ort.	14,98±0,101	14,93±0,131	
	2022	S1	15,01±0,126	14,76±0,207	14,89±0,122
		S2	14,85±0,168	15,14±0,113	15,00±0,112
		S3	14,92±0,174	14,74±0,201	14,83±0,126
		Ort.	14,93±0,082	14,88±0,111	
	2021- 2022	S1	15,05±0,118	14,80±0,209	14,93±0,122
		S2	14,88±0,071	15,16±0,139	15,02±0,095
		S3	14,94±0,142	14,76±0,089	14,85±0,085
		Ort.	14,96±0,063	14,90±0,100	
60-90	2021	S1	14,55±0,203	14,79±0,130	14,67±0,121
		S2	15,07±0,084	14,81±0,047	14,94±0,072
		S3	14,86±0,237	14,87±0,279	14,86±0,164
		Ort.	14,82±0,120	14,82±0,091	
	2022	S1	14,62±0,209	14,83±0,348	14,72±0,187
		S2	15,15±0,113	14,92±0,101	15,04±0,085
		S3	14,99±0,267	15,04±0,273	15,01±0,171
		Ort.	14,92±0,130	14,93±0,134	
	2021- 2022	S1	14,59±0,157	14,81±0,205	14,70±0,126
		S2	15,11±0,091	14,86±0,072	14,99±0,075
		S3	14,92±0,088	14,95±0,186	14,94±0,092
		Ort.	14,87±0,096	14,88±0,085	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 18. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Mg İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	6,58±0,005 c	5,98±0,016 d	6,28±0,134 B
		S2	6,91±0,032 a	5,90±0,004 e	6,40±0,228 A
		S3	6,70±0,048 b	5,83±0,005 e	6,27±0,195 B
		Ort.	6,73±0,051 A	5,90±0,022 B	
	2022	S1	6,57±0,117	5,97±0,022	6,27±0,144
		S2	6,90±0,114	5,89±0,054	6,40±0,231
		S3	6,69±0,055	5,82±0,162	6,26±0,207
		Ort.	6,72±0,069 A	5,90±0,054 B	
	2021-2022	S1	6,57±0,059 b	5,98±0,004 c	6,28±0,137 B
		S2	6,90±0,061 a	5,89±0,026 c	6,40±0,228 A
		S3	6,69±0,031 b	5,83±0,079 c	6,26±0,197 B
		Ort.	6,72±0,055 A	5,90±0,032 B	
30-60	2021	S1	6,42±0,053	5,78±0,007	6,10±0,145 A
		S2	6,41±0,025	5,74±0,010	6,08±0,151 A
		S3	6,36±0,002	5,67±0,016	6,02±0,153 B
		Ort.	6,40±0,019 A	5,73±0,016 B	
	2022	S1	6,38±0,036	5,75±0,091	6,07±0,146
		S2	6,38±0,029	5,72±0,200	6,05±0,174
		S3	6,33±0,112	5,66±0,100	6,00±0,163
		Ort.	6,36±0,036 A	5,71±0,071 B	
	2021-2022	S1	6,40±0,043	5,77±0,048	6,08±0,144
		S2	6,40±0,024	5,73±0,099	6,06±0,156
		S3	6,34±0,055	5,67±0,055	6,01±0,155
		Ort.	6,38±0,023 A	5,72±0,038 B	
60-90	2021	S1	6,25±0,012	5,59±0,036	5,92±0,149 A
		S2	6,12±0,032	5,37±0,007	5,74±0,168 A
		S3	6,03±0,009	4,95±0,206	5,49±0,259 B
		Ort.	6,14±0,034 A	5,30±0,112 B	
	2022	S1	6,23±0,012	5,58±0,158	5,90±0,160 A
		S2	6,10±0,048	5,37±0,056	5,74±0,165 A
		S3	6,00±0,082	4,95±0,100	5,48±0,240 B
		Ort.	6,11±0,043 A	5,30±0,108 B	
	2021-2022	S1	6,24±0,012 a	5,58±0,097 c	5,91±0,152 A
		S2	6,11±0,032 ab	5,37±0,031 d	5,74±0,166 B
		S3	6,01±0,040 b	4,95±0,111 e	5,48±0,243 C
		Ort.	6,12±0,036 A	5,30±0,103 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 19. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Na İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	0,452±0,048	0,364±0,017	0,408±0,030
		S2	0,422±0,014	0,359±0,011	0,391±0,016
		S3	0,434±0,016	0,379±0,005	0,407±0,014
		Ort.	0,436±0,016 A	0,367±0,007 B	
	2022	S1	0,440±0,009	0,347±0,003	0,393±0,020
		S2	0,407±0,008	0,343±0,022	0,375±0,018
		S3	0,425±0,011	0,360±0,015	0,393±0,017
		Ort.	0,424±0,006 A	0,351±0,008 B	
	2021-2022	S1	0,443±0,022	0,353±0,010	0,398±0,023
		S2	0,417±0,006	0,350±0,005	0,383±0,015
		S3	0,430±0,013	0,370±0,009	0,400±0,015
		Ort.	0,430±0,009 A	0,358±0,005 B	
30-60	2021	S1	0,370±0,013	0,354±0,016	0,362±0,010
		S2	0,371±0,012	0,340±0,005	0,355±0,009
		S3	0,378±0,012	0,339±0,007	0,359±0,011
		Ort.	0,373±0,006 A	0,344±0,006 B	
	2022	S1	0,357±0,013 a	0,293±0,013 bc	0,325±0,016
		S2	0,323±0,013 ab	0,330±0,002 a	0,327±0,006
		S3	0,357±0,013 a	0,270±0,004 c	0,313±0,021
		Ort.	0,346±0,009 A	0,298±0,009 B	
	2021-2022	S1	0,363±0,001 ab	0,327±0,014 c	0,345±0,011
		S2	0,343±0,011 bc	0,333±0,002 c	0,338±0,006
		S3	0,370±0,001 a	0,303±0,004 d	0,337±0,014
		Ort.	0,359±0,005 A	0,321±0,006 B	
60-90	2021	S1	0,321±0,010	0,296±0,018	0,308±0,011
		S2	0,330±0,006	0,319±0,002	0,324±0,004
		S3	0,336±0,004	0,289±0,007	0,312±0,011
		Ort.	0,329±0,004 A	0,301±0,007 B	
	2022	S1	0,307±0,009 b	0,297±0,008 b	0,302±0,006
		S2	0,317±0,002 b	0,320±0,013 ab	0,318±0,006
		S3	0,347±0,008 a	0,293±0,002 b	0,320±0,012
		Ort.	0,323±0,007 A	0,303±0,006 B	
	2021-2022	S1	0,313±0,003 bc	0,297±0,011 cd	0,305±0,006 B
		S2	0,323±0,003 b	0,320±0,007 b	0,322±0,003 A
		S3	0,343±0,006 a	0,293±0,003 d	0,318±0,012 A
		Ort.	0,327±0,005 A	0,303±0,006 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 20. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir K İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	1,016±0,032	0,869±0,049	0,943±0,042
		S2	1,026±0,026	0,906±0,030	0,966±0,032
		S3	1,027±0,022	0,886±0,026	0,957±0,035
		Ort.	1,023±0,014 A	0,887±0,019 B	
	2022	S1	0,980±0,024	0,857±0,033	0,918±0,033
		S2	0,990±0,021	0,893±0,033	0,942±0,028
		S3	0,987±0,016	0,873±0,032	0,930±0,030
		Ort.	0,986±0,010 A	0,874±0,017 B	
	2021-2022	S1	0,997±0,028	0,863±0,040	0,930±0,037
		S2	1,007±0,004	0,897±0,007	0,952±0,025
		S3	1,010±0,005	0,877±0,025	0,943±0,031
		Ort.	1,004±0,008 A	0,879±0,015 B	
30-60	2021	S1	0,591±0,037	0,455±0,052	0,523±0,042
		S2	0,609±0,026	0,471±0,039	0,540±0,037
		S3	0,612±0,023	0,512±0,011	0,562±0,025
		Ort.	0,604±0,015 A	0,480±0,021 B	
	2022	S1	0,550±0,022 ab	0,420±0,021 d	0,485±0,033 B
		S2	0,580±0,008 a	0,460±0,006 cd	0,520±0,028 AB
		S3	0,600±0,011 a	0,503±0,024 bc	0,552±0,025 A
		Ort.	0,577±0,010 A	0,461±0,015 B	
	2021-2022	S1	0,573±0,008	0,437±0,026	0,505±0,032 B
		S2	0,593±0,010	0,465±0,020	0,530±0,031 AB
		S3	0,610±0,011	0,507±0,017	0,558±0,024 A
		Ort.	0,592±0,007 A	0,470±0,015 B	
60-90	2021	S1	0,460±0,027	0,354±0,038	0,407±0,032
		S2	0,458±0,017	0,360±0,010	0,409±0,023
		S3	0,470±0,010	0,367±0,025	0,418±0,026
		Ort.	0,462±0,010 A	0,360±0,014 B	
	2022	S1	0,450±0,021 a	0,343±0,024 b	0,397±0,027
		S2	0,447±0,015 a	0,350±0,018 b	0,398±0,024
		S3	0,460±0,006 a	0,360±0,001 b	0,410±0,023
		Ort.	0,452±0,008 A	0,351±0,009 B	
	2021-2022	S1	0,453±0,014	0,350±0,025	0,402±0,027
		S2	0,453±0,015	0,357±0,011	0,405±0,023
		S3	0,467±0,003	0,360±0,013	0,413±0,024
		Ort.	0,458±0,006 A	0,356±0,009 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 21. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında KDK Değerine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	26,17±0,261	23,03±0,272	24,60±0,721
		S2	26,54±0,231	22,66±0,338	24,60±0,887
		S3	26,32±0,259	23,91±0,660	25,12±0,626
		Ort.	26,35±0,137 A	23,20±0,293 B	
	2022	S1	25,99±0,117 a	22,88±0,027 c	24,44±0,697 B
		S2	26,38±0,136 a	22,51±0,111 c	24,44±0,868 B
		S3	26,15±0,165 a	23,76±0,174 b	24,96±0,546 A
		Ort.	26,17±0,090 A	23,05±0,194 B	
	2021-2022	S1	26,08±0,188 a	22,96±0,125 c	24,52±0,705 B
		S2	26,46±0,155 a	22,59±0,114 c	24,52±0,870 B
		S3	26,24±0,198 a	23,83±0,350 b	25,03±0,567 A
		Ort.	26,26±0,106 A	23,13±0,216 B	
30-60	2021	S1	22,47±0,170	21,42±0,159	21,95±0,257
		S2	22,29±0,218	21,74±0,369	22,01±0,229
		S3	22,30±0,177	21,30±0,019	21,80±0,237
		Ort.	22,35±0,099 A	21,49±0,133 B	
	2022	S1	22,30±0,094	21,23±0,219	21,76±0,261
		S2	22,13±0,152	21,64±0,106	21,89±0,137
		S3	22,20±0,308	21,17±0,241	21,69±0,290
		Ort.	22,21±0,106 A	21,35±0,123 B	
	2021-2022	S1	22,39±0,076	21,32±0,160	21,86±0,250
		S2	22,21±0,089	21,69±0,238	21,95±0,163
		S3	22,25±0,187	21,23±0,116	21,74±0,247
		Ort.	22,28±0,069 A	21,41±0,113 B	
60-90	2021	S1	21,58±0,205	21,03±0,063	21,31±0,156
		S2	21,97±0,062	20,85±0,042	21,41±0,252
		S3	21,70±0,252	20,47±0,399	21,09±0,345
		Ort.	21,75±0,111 A	20,79±0,143 B	
	2022	S1	21,60±0,224	21,05±0,452	21,32±0,257
		S2	22,01±0,144	20,97±0,066	21,49±0,244
		S3	21,79±0,222	20,64±0,314	21,22±0,309
		Ort.	21,80±0,117 A	20,90±0,172 B	
	2021-2022	S1	21,59±0,162	21,04±0,237	21,31±0,178
		S2	21,99±0,098	20,91±0,050	21,45±0,247
		S3	21,74±0,048	20,56±0,278	21,15±0,293
		Ort.	21,77±0,081 A	20,84±0,129 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 22. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında ESP Değerine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	1,72±0,169	1,58±0,087	1,65±0,091
		S2	1,59±0,051	1,58±0,055	1,59±0,033
		S3	1,65±0,047	1,59±0,027	1,62±0,028
		Ort.	1,65±0,056	1,58±0,031	
	2022	S1	1,69±0,041	1,53±0,010	1,61±0,040
		S2	1,55±0,022	1,52±0,095	1,54±0,044
		S3	1,63±0,038	1,51±0,066	1,57±0,042
		Ort.	1,62±0,027 A	1,52±0,034 B	
	2021-2022	S1	1,71±0,074	1,55±0,048	1,63±0,052
		S2	1,57±0,019	1,55±0,025	1,56±0,014
		S3	1,64±0,042	1,55±0,021	1,60±0,028
		Ort.	1,64±0,032 A	1,55±0,017 B	
30-60	2021	S1	1,65±0,045	1,65±0,080	1,65±0,041
		S2	1,66±0,068	1,57±0,020	1,61±0,039
		S3	1,69±0,056	1,59±0,032	1,64±0,036
		Ort.	1,67±0,029	1,60±0,029	
	2022	S1	1,60±0,054 a	1,39±0,074 bc	1,49±0,063
		S2	1,45±0,064 ab	1,52±0,012 ab	1,49±0,033
		S3	1,61±0,034 a	1,27±0,020 c	1,44±0,077
		Ort.	1,55±0,037 A	1,39±0,042 B	
	2021-2022	S1	1,63±0,010	1,52±0,077	1,57±0,042
		S2	1,56±0,056	1,54±0,011	1,55±0,026
		S3	1,65±0,012	1,43±0,012	1,54±0,049
		Ort.	1,61±0,022 A	1,50±0,018 B	
60-90	2021	S1	1,49±0,052	1,41±0,088	1,45±0,049
		S2	1,50±0,029	1,53±0,010	1,52±0,015
		S3	1,55±0,032	1,41±0,029	1,48±0,036
		Ort.	1,51±0,022	1,45±0,034	
	2022	S1	1,41±0,031 b	1,41±0,067 b	1,41±0,033
		S2	1,44±0,017 b	1,53±0,063 ab	1,48±0,036
		S3	1,59±0,031 a	1,42±0,025 b	1,51±0,042
		Ort.	1,48±0,032	1,45±0,033	
	2021-2022	S1	1,45±0,026 b	1,41±0,064 b	1,43±0,032
		S2	1,47±0,013 ab	1,53±0,034 ab	1,50±0,021
		S3	1,57±0,029 a	1,42±0,013 b	1,50±0,037
		Ort.	1,50±0,023	1,45±0,028	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Gübre ve sulama uygulamaların tüm toprak tabakalarında, Fe, Cu ve Mn içeriklerinde genel olarak önemli değişikliklere ($p<0,05$) neden olduğu belirlenmiştir (Tablo 23-25, Ek 17-19 ve 73). Zn içeriğinde ise 0-30 ve 30-60 cm toprak tabakalarında gübre uygulamalarının etkisi ($p<0,01$) anlamlı bulunmuştur (Tablo 26, Ek 73). İki yıllık ortalamalar incelendiğinde, yüzey toprak tabakasında mineral gübre uygulamasına kıyasla ahır gübresi uygulamasında Fe içeriği %8,0, Cu içeriğinde %13,9, Mn içeriğinde %13,0 ve Zn %7,4 oranında artmıştır. Ahır gübresi uygulamasında, deneme sonrası içerikleri, deneme öncesi içeriklerine göre de artış göstermiştir (Tablo 3). Sık sulamayla artan mineralizasyon etkisiyle Cu ve Mn içerikleri daha fazla artmıştır. Sık kulsma (S1) uygulamasında, az sulamaya (S3) kıyasla Cu içeriği %6,5 ve Mn içeriği %7,3 artmıştır.

Ahır gübresi uygulamalarında mikro element içeriklerinin daha yüksek bulunması, gübrenin içerik katkısından kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmiştir (Tablo 4). Ayrıca ahır gübresi uygulamalarındaki mikro element artışının, toprak pH'sının nötr değerlere yaklaşmasıyla ilişkili olması da bu sonucu desteklemektedir (Tablo 9). Yüzey toprak tabakasında pH ile mikro element içerikleri arasında anlamlı ($p<0,01$) negatif korelasyonların belirlenmiş olması da bu sonucu desteklemektedir (Ek 92). Benke *et al.* (2008) ve Nikoli and Matsi (2011)'nin çalışmalarında, gübre uygulamalarının mineral gübreye kıyasla mikro element içeriğinde anlamlı artışa yol açtığı belirlenmiştir. Organik materyallerin toprakların mikro element içeriklerine olumlu katkısı Asri ve ark. (2011), Kılıç ve Sönmez (2019), Bhatt *et al.* (2019) ve Loss *et al.* (2019) tarafından da belirtilmiştir.

Tablo 23. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	3,72±0,029	3,43±0,012	3,57±0,066 A
		S2	3,67±0,010	3,39±0,002	3,53±0,062 B
		S3	3,62±0,009	3,35±0,002	3,48±0,061 C
		Ort.	3,67±0,017 A	3,39±0,012 B	
	2022	S1	3,60±0,075	3,37±0,030	3,49±0,064
		S2	3,65±0,052	3,37±0,069	3,51±0,073
		S3	3,60±0,047	3,34±0,024	3,47±0,062
		Ort.	3,62±0,031 A	3,36±0,023 B	
	2021-2022	S1	3,66±0,041	3,40±0,021	3,53±0,062
		S2	3,66±0,024	3,38±0,035	3,52±0,065
		S3	3,61±0,025	3,35±0,013	3,48±0,060
		Ort.	3,64±0,018 A	3,37±0,014 B	

Tablo 23. (devamı)

30-60	2021	S1	3,55±0,003 a	3,30±0,022 b	3,42±0,056 A
		S2	3,52±0,005 a	3,22±0,021 c	3,37±0,067 B
		S3	3,51±0,002 a	3,15±0,008 d	3,33±0,080 C
		Ort.	3,53±0,006 A	3,22±0,023 B	
	2022	S1	3,50±0,004	3,28±0,097	3,39±0,065
		S2	3,49±0,009	3,21±0,050	3,35±0,067
		S3	3,49±0,006	3,14±0,064	3,32±0,082
		Ort.	3,49±0,004 A	3,21±0,041 B	
	2021-2022	S1	3,52±0,003	3,29±0,059	3,41±0,058
		S2	3,51±0,004	3,22±0,029	3,36±0,066
		S3	3,50±0,004	3,15±0,031	3,32±0,080
		Ort.	3,51±0,004 A	3,22±0,029 B	
60-90	2021	S1	3,49±0,006 a	3,08±0,020 b	3,29±0,091 A
		S2	3,47±0,002 a	2,99±0,032 b	3,23±0,108 A
		S3	3,46±0,004 a	2,71±0,143 c	3,09±0,178 B
		Ort.	3,47±0,005 A	2,93±0,070 B	
	2022	S1	3,50±0,153	3,06±0,030	3,28±0,122 A
		S2	3,50±0,018	2,97±0,050	3,24±0,122 A
		S3	3,45±0,014	2,72±0,046	3,08±0,164 B
		Ort.	3,48±0,046 A	2,91±0,055 B	
	2021-2022	S1	3,50±0,074 a	3,07±0,022 b	3,28±0,101 A
		S2	3,49±0,008 a	2,98±0,040 b	3,23±0,114 A
		S3	3,45±0,009 a	2,72±0,080 c	3,08±0,168 B
		Ort.	3,48±0,023 A	2,92±0,060 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 24. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	3,40±0,093 a	2,85±0,009 c	3,13±0,131 A
		S2	3,15±0,021 b	2,80±0,014 c	2,98±0,079 B
		S3	3,09±0,002 b	2,76±0,009 c	2,93±0,074 B
		Ort.	3,22±0,055 A	2,80±0,014 B	
	2022	S1	3,35±0,070	2,84±0,042	3,09±0,118 A
		S2	3,11±0,033	2,79±0,032	2,95±0,073 B
		S3	3,05±0,071	2,76±0,037	2,91±0,075 B
		Ort.	3,17±0,054 A	2,80±0,022 B	
	2021- 2022	S1	3,37±0,030 a	2,84±0,017 c	3,11±0,119 A
		S2	3,13±0,021 b	2,79±0,009 cd	2,96±0,075 B
		S3	3,07±0,037 b	2,76±0,015 d	2,92±0,073 B
		Ort.	3,19±0,049 A	2,80±0,014 B	
30-60	2021	S1	3,05±0,018	2,73±0,002	2,89±0,073 A
		S2	3,00±0,006	2,69±0,011	2,84±0,069 B
		S3	2,97±0,006	2,61±0,011	2,79±0,081 C
		Ort.	3,01±0,014 A	2,68±0,018 B	
	2022	S1	3,04±0,046	2,71±0,030	2,87±0,078
		S2	2,99±0,063	2,65±0,050	2,82±0,084
		S3	2,96±0,013	2,58±0,046	2,77±0,089
		Ort.	3,00±0,025 A	2,64±0,028 B	
	2021- 2022	S1	3,05±0,032	2,72±0,016	2,89±0,075 A
		S2	2,99±0,032	2,67±0,030	2,83±0,075 AB
		S3	2,97±0,004	2,59±0,027	2,78±0,084 B
		Ort.	3,00±0,018 A	2,66±0,022 B	
60-90	2021	S1	2,95±0,001 a	2,56±0,016 b	2,76±0,087 A
		S2	2,91±0,009 a	2,40±0,045 b	2,66±0,115 A
		S3	2,88±0,003 a	2,15±0,135 c	2,51±0,174 B
		Ort.	2,91±0,011 A	2,37±0,073 B	
	2022	S1	2,88±0,043 a	2,53±0,053 b	2,70±0,085 A
		S2	2,87±0,039 a	2,38±0,086 b	2,63±0,117 A
		S3	2,85±0,058 a	2,14±0,069 c	2,50±0,166 B
		Ort.	2,87±0,024 A	2,35±0,067 B	
	2021- 2022	S1	2,92±0,022 a	2,55±0,028 b	2,73±0,084 A
		S2	2,89±0,015 a	2,39±0,042 c	2,64±0,113 A
		S3	2,87±0,031 a	2,14±0,080 d	2,50±0,166 B
		Ort.	2,89±0,014 A	2,36±0,065 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 25. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	8,50±0,376	7,09±0,007	7,80±0,356 A
		S2	7,69±0,041	7,01±0,018	7,35±0,152 B
		S3	7,59±0,019	6,89±0,052	7,24±0,157 B
		Ort.	7,92±0,181 A	7,00±0,033 B	
	2022	S1	8,39±0,231	7,05±0,279	7,72±0,341
		S2	7,66±0,135	7,00±0,157	7,33±0,174
		S3	7,56±0,477	6,86±0,144	7,21±0,273
		Ort.	7,87±0,205 A	6,97±0,105 B	
	2021- 2022	S1	8,44±0,298	7,07±0,141	7,76±0,341 A
		S2	7,67±0,085	7,01±0,078	7,34±0,157 B
		S3	7,58±0,240	6,88±0,055	7,23±0,191 B
		Ort.	7,90±0,178 A	6,98±0,057 B	
30-60	2021	S1	7,52±0,006	6,66±0,066	7,09±0,195 A
		S2	7,45±0,021	6,48±0,018	6,96±0,217 B
		S3	7,38±0,021	6,36±0,045	6,87±0,229 C
		Ort.	7,45±0,021 A	6,50±0,048 B	
	2022	S1	7,47±0,780	6,65±0,051	7,06±0,395
		S2	7,41±0,387	6,47±0,024	6,94±0,273
		S3	7,34±0,490	6,36±0,016	6,85±0,310
		Ort.	7,41±0,289 A	6,49±0,045 B	
	2021- 2022	S1	7,49±0,390	6,65±0,028	7,07±0,257
		S2	7,43±0,204	6,47±0,020	6,95±0,232
		S3	7,36±0,235	6,36±0,026	6,86±0,247
		Ort.	7,43±0,145 A	6,49±0,044 B	
60-90	2021	S1	7,30±0,015	6,16±0,076	6,73±0,258 A
		S2	7,20±0,009	5,80±0,040	6,50±0,315 B
		S3	7,14±0,022	5,51±0,221	6,33±0,380 B
		Ort.	7,22±0,024 A	5,82±0,117 B	
	2022	S1	7,24±0,035 a	6,18±0,043 b	6,71±0,238 A
		S2	7,17±0,034 a	5,77±0,024 c	6,47±0,313 B
		S3	7,12±0,087 a	5,49±0,097 d	6,30±0,369 C
		Ort.	7,18±0,034 A	5,81±0,106 B	
	2021- 2022	S1	7,27±0,025 a	6,17±0,017 b	6,72±0,247 A
		S2	7,18±0,021 a	5,78±0,012 c	6,48±0,313 B
		S3	7,13±0,036 a	5,50±0,159 d	6,31±0,373 C
		Ort.	7,19±0,025 A	5,82±0,108 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 26. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	62,77±1,128	57,10±0,211	59,94±1,369
		S2	62,89±0,221	57,73±0,203	60,31±1,161
		S3	62,66±0,470	57,82±0,287	60,24±1,108
		Ort.	62,77±0,360 A	57,55±0,165 B	
	2022	S1	60,27±0,168 c	57,05±0,200 e	58,66±0,729 B
		S2	61,38±0,025 a	57,71±0,053 d	59,55±0,824 A
		S3	60,82±0,124 b	57,82±0,099 d	59,32±0,674 A
		Ort.	60,82±0,172 A	57,53±0,137 B	
	2021- 2022	S1	61,52±0,638	57,07±0,061	59,30±1,034
		S2	62,14±0,099	57,72±0,122	59,93±0,991
		S3	61,74±0,178	57,82±0,143	59,78±0,881
		Ort.	61,80±0,213 A	57,54±0,130 B	
30-60	2021	S1	53,20±0,279	51,48±0,038	52,34±0,405
		S2	52,33±0,557	51,58±0,099	51,95±0,304
		S3	53,36±0,028	51,29±0,201	52,33±0,470
		Ort.	52,96±0,241 A	51,45±0,078 B	
	2022	S1	52,87±0,047	51,43±0,157	52,15±0,330
		S2	52,14±0,043	51,53±0,856	51,83±0,407
		S3	53,31±0,036	51,27±0,850	52,29±0,594
		Ort.	52,77±0,172 A	51,41±0,353 B	
	2021- 2022	S1	53,04±0,158	51,46±0,097	52,25±0,363
		S2	52,23±0,282	51,55±0,381	51,89±0,261
		S3	53,33±0,015	51,28±0,522	52,31±0,515
		Ort.	52,87±0,189 A	51,43±0,193 B	
60-90	2021	S1	48,89±0,142	48,93±0,214	48,91±0,115
		S2	49,11±0,222	49,00±0,196	49,05±0,135
		S3	49,02±0,203	49,02±0,298	49,02±0,161
		Ort.	49,00±0,101	48,98±0,121	
	2022	S1	48,83±0,230	48,92±0,194	48,88±0,136
		S2	49,08±0,479	49,03±0,480	49,06±0,304
		S3	49,00±0,352	49,04±0,708	49,02±0,354
		Ort.	48,97±0,188	49,00±0,254	
	2021- 2022	S1	48,86±0,175	48,93±0,069	48,90±0,086
		S2	49,10±0,156	49,01±0,232	49,06±0,127
		S3	49,01±0,247	49,03±0,294	49,02±0,172
		Ort.	48,99±0,104	48,99±0,111	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Toprak Fiziksel Özellikleri

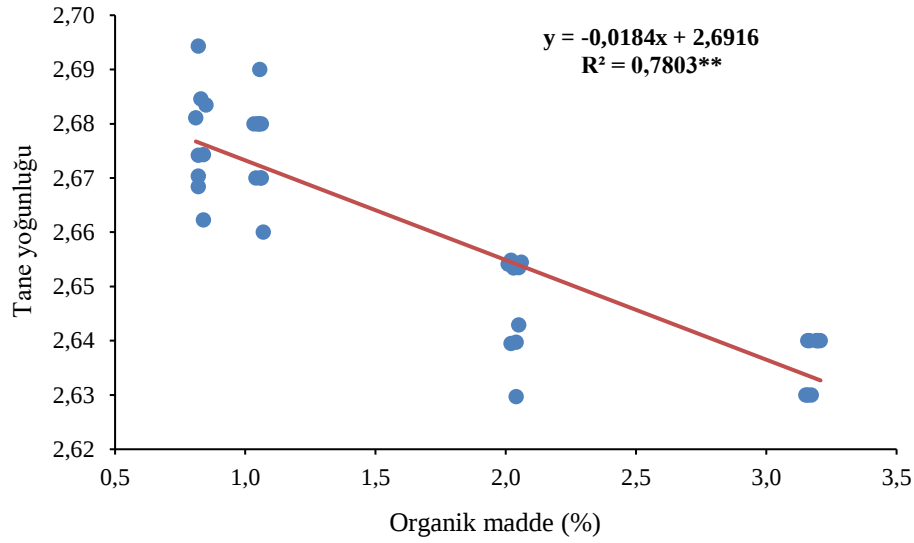
Farklı gübre ve sulama uygulamalarında denemenin iki yılına ve iki yıl ortalamalarına ait kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi değerleri Tablo 27-30' de verilmiştir. Kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi değerlerinde sadece 0-30 cm' lik tabakada ahır gübresinin etkisiyle istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p<0,01$) (Ek 73). Kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu ve porozite için gübre uygulamaları arasında, ayrıca 30-60 cm'lik tabakada da önemli farklar belirlenmiştir (Ek 73). İki yıllık ortalamalara göre 0-30 cm'lik tabakada, ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre kütle yoğunluğu değerinde %3,2; 30-60 cm tabakada da %0,8 oranında bir azalma tespit edilmiştir (Tablo 27). Tablo 2'deki başlangıç değerlerine göre de kütle yoğunluğu değerleri ahır gübresi uygulamasında daha düşük bulunmuştur. Düşük kütle yoğunluğu daha iyi bitki gelişimi için daha gözenekli koşullar yarattığından tarımsal üretim açısından önem taşımaktadır (Ayamba *et al.* 2021).

Ahır gübresi uygulanmış koşullarda, kütle yoğunluğundaki önemli düşüşün ahır gübresi uygulamasıyla topraktaki organik maddenin artışına bağlı olduğu ve bu nedenle Ek 92'de verilen ikili ilişkinin de önemli bulundupu ($p<0,01$) belirlenmiştir. Organik materyal minerallerden daha düşük parçacık yoğunluğuna sahip olduğundan ve agregasyonu da artırdığından kütle yoğunluğu hayvan gübresi uygulamasıyla azalmaktadır (Loss *et al.* 2019). Birçok çalışmada organik madde içeriği ile kütle yoğunluğu arasında bir korelasyon olduğu ifade edilmiştir (Rivenshield and Bassuk, 2007; Çakmakçı, 2018; Adekiya *et al.* 2020; Yerli, 2022; Altun, 2024).

Celik *et al.* (2010), 25 t/ha/yıl kompost veya ahır gübresi uygulamasında yüzey tabakanın (0-15 cm) kütle yoğunluğunun mineral gübrelemeye göre %3,6 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Düşük kütle yoğunluğunun ahır gübresi uygulamasıyla toprakta gözenekliliğin artmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Meng *et al.* (2019)'da 20 yıllık ahır gübresi uygulamasının gözenekliliği %11,9 artırarak kütle yoğunluğunu %13,1 azalttığını belirlemişlerdir. Yine Biswas *et al.* (2017)'de toprağın organik madde içeriğinin artmasının kütle yoğunluğunu azalttığını bildirmişlerdir.

Ahır gübresi uygulamasıyla tane yoğunluğu azalmış, mineral gübre uygulamasına göre, iki yıllık ortalama 0-30 cm'lik tabakada %1,5'lik 30-60 cm'de %0,4 oranında azalma sağlamıştır (Tablo 28). Bu değerler deneme başlangıç değerinden de düşük bulunmuştur (Tablo 2). Tane yoğunluğu ile toprak organik madde içeriği arasında önemli ($p<0,01$) negatif ilişki göz önüne alındığında organik madde içeriğindeki artışın tane yoğunluğundaki düşüşün ana nedeni olduğu söylenebilir (Şekil 53, Ek 92).

Birçok çalışmada toprakta organik madde içeriği artışıyla tane yoğunluğunun azaldığı bildirilmiştir (Çakmakcı, 2018; Yerli, 2022; Sabtow and Kiziloglu, 2022; Altun, 2024; Diler, 2025).

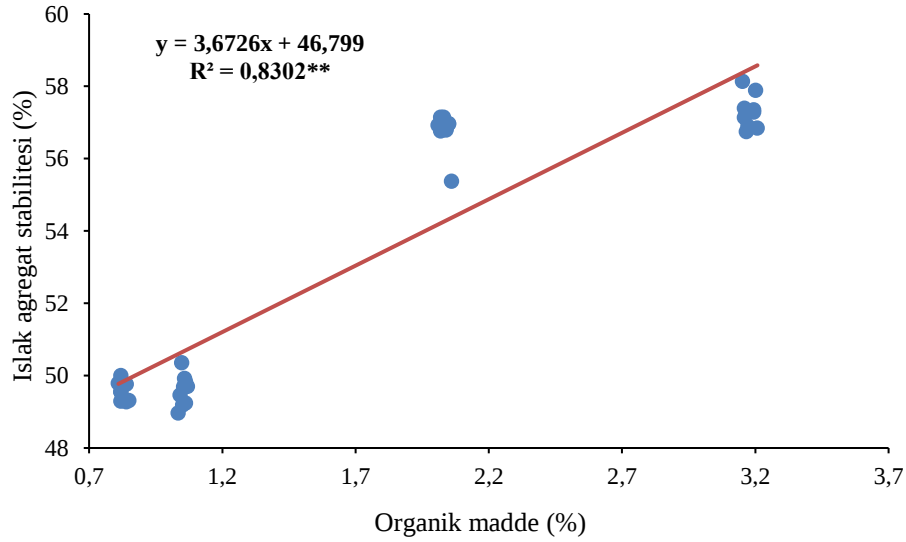


Şekil 53. Yüzey tabakada (0-30 cm) tane yoğunluğuyla organik madde içeriği arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

İki yıllık deneme sonuçların göz önüne alındığında, ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre 0-30 cm’de %1,6 ve 30-60 cm’de %0,7 daha yüksek porozite değerleri belirlenmiştir (Tablo 29). 0-30 cm’de ahır gübresi uygulamasıyla porozite değerlerinde artış başlangıç değerlerinde üzerinde bulunmuştur (Tablo 2). Ahır gübresinde bulunan yüksek organik madde toprağın agregat yapısını güçlendirerek toprak parçacıkları arasındaki boşlukların oluşmasına pozitif yönde katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Toplam gözeneklilikte artışın nedeni daha iyi toprak yapısıyla bağlantılı olarak daha büyük çaplı gözeneklerin artmasıdır (Celik *et al.* 2010; Rawls *et al.* 2004). Toprağa organik madde eklenmesinin poroziteyi artırdığı ve toprak kütle yoğunluğunu azalttığı iyi bilinmektedir (Maltas *et al.* 2018). Dolayısıyla toprağın organik materyalle muamele olması artan bakteri ifrazatları ve polisakkaritlerin artan salınımı ile agregasyonu artırarak daha fazla boşluk oluşumuyla kütle yoğunluğunu azaltmaktadır (Dhaliwal *et al.* 2019). Birçok çalışmada da toprakta organik madde miktarı arttıkça porozitenin de arttığını bildirilmiştir (Çakmakcı, 2018; Domingues *et al.* 2020; Alkharabsheh *et al.* 2021; Yerli, 2022; Liu *et al.* 2024; Altun, 2024; Sharma, 2024; Diler, 2025).

Aydemir ve Kara (2023)’da ayrıca organik madde ile porozite arasında önemli pozitif bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde organik madde ile porozite arasında önemli (p<0,01) pozitif ilişki belirlenmiştir (Ek 92).

Ahır gübresi uygulamasıyla özellikle 0-30 cm toprak tabakasında ıslak agregat stabilitesi değerlerinde önemli artışlar belirlenmiştir (Tablo 30, Ek 73). İlk yıl ahır gübre uygulaması, mineral gübre uygulamasına göre %15.5 daha yüksek agregat stabilitesi sağlamış, ikinci yıl ise %14.5 olmuştur (Tablo 30). İkinci yıldaki kısmi düşüşün, toprakta organik madde miktarındaki azalıştan kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo 12). Birçok çalışmada da bu çalışmada olduğu gibi (Şekil 54), organik madde ile agregat stabilitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Sarker *et al.* 2018; Mbanjwa *et al.* 2022; Sonsri and Watanabe, 2023). Organik madde, toprakta artan mikroorganizma aktivitesiyle toprak taneleri arasındaki bağları güçlendirerek agregatlarının daha sağlam ve stabil olmasını sağlamaktadır. Lu *et al.* (2021)'de toprakta azot içeriğinin artmasının pH'nın düşmesine neden olarak topraktaki mikrobiyal aktivitenin artmasıyla toprak agregat stabilitesini artırdığını ifade etmişlerdir.

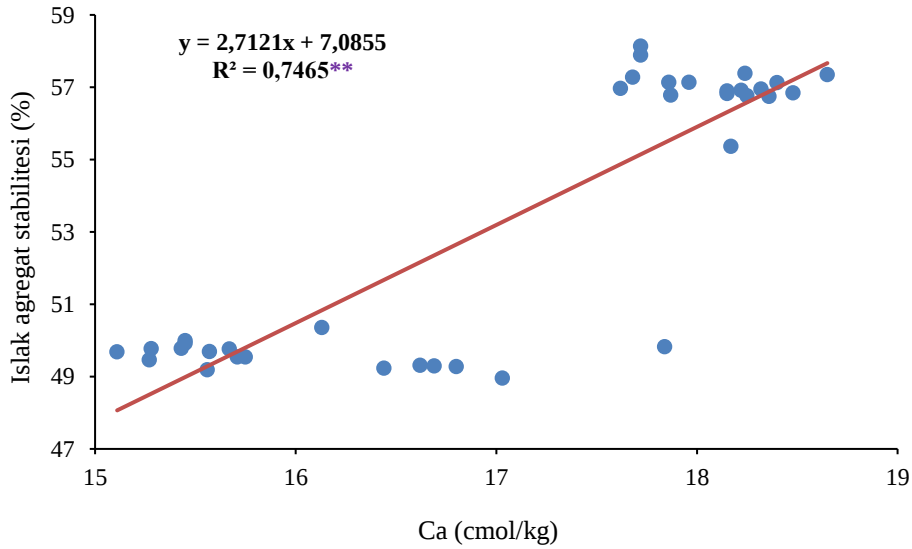


Şekil 54. Yüzey tabakada (0-30 cm) organik madde içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Agregat stabilitesi toprak organik karbon içeriğindeki artıştan en çok etkilenen özelliklerden birisidir ve dolayısıyla organik maddenin etkisi genellikle olumludur (Loss *et al.* 2019). Organik madde agregat stabilitesi için bağlayıcı bir materyal olduğundan ahır gübresi uygulaması çeşitli yollarla bu süreci iyileştirmektedir (Guo *et al.* 2018). Ancak, toprakta nem kısıtlamasının olduğu koşullarda agregat stabilitesinde azalmanın hem düşük biyolojik aktivite ve hem de hidrofobik organik bileşenlerin oluşmasıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir (Tejada and Gonzalez, 2018).

Ca, kil partikülleri arasında köprü görevi yaparak agregatların oluşumunu ve stabilitesini artırmaktadır (Gümüş ve ark., 2016). Ca'nın agregat stabilitesi üzerindeki olumlu etkisi toprak koloidlerinin yüzey yüklerini nötralize etmesinden kaynaklanmaktadır. Ca, ile yüzey yüklerini nötralize edilmesi, toprak parçacıklarının bir arada tutunmasını kolaylaştırarak

agregatların daha sağlam olmasına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, yeterli Ca içeriğine sahip topraklar genellikle daha iyi agregat stabilitesine sahip olmaktadır (Altun, 2024). Bu çalışmada, ıslak agregat stabilitesi ile değişebilir Ca içeriği arasında da önemli ($p<0,01$) pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 55, Ek 92). Benzer şekilde Bedel *et al.* (2018) ve Yao *et al.* (2022)'de agregat stabilitesi ile değişebilir Ca içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 55. Yüzey tabakada (0-30 cm) değişebilir Ca içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki ($n=36$; $**p<0,01$)

Tablo 27. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Kütle Yoğunluğuna (g/cm^3) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	1,23±0,003	1,27±0,003	1,25±0,009
		S2	1,22±0,003	1,27±0,000	1,25±0,011
		S3	1,23±0,003	1,26±0,003	1,25±0,008
		Ort.	1,23±0,002 B	1,27±0,002 A	
	2022	S1	1,23±0,003	1,27±0,003	1,25±0,008
		S2	1,23±0,003	1,27±0,003	1,25±0,009
		S3	1,23±0,003	1,26±0,003	1,25±0,008
		Ort.	1,23±0,002 B	1,27±0,002 A	
	2021-2022	S1	1,23±0,000	1,27±0,002	1,25±0,008
		S2	1,23±0,003	1,27±0,002	1,25±0,010
		S3	1,23±0,002	1,26±0,002	1,25±0,008
		Ort.	1,23±0,001 B	1,27±0,001 A	

Tablo 27. (devamı)

30-60	2021	S1	1,28±0,006	1,28±0,012	1,28±0,006
		S2	1,28±0,000	1,29±0,006	1,29±0,003
		S3	1,27±0,006	1,29±0,015	1,28±0,009
		Ort.	1,28±0,003	1,29±0,006	
	2022	S1	1,28±0,003 bc	1,28±0,006 bc	1,28±0,003
		S2	1,28±0,003 bc	1,29±0,003 ab	1,28±0,003
		S3	1,27±0,000 c	1,30±0,003 a	1,28±0,006
		Ort.	1,27±0,002 B	1,29±0,003 A	
	2021-2022	S1	1,28±0,002	1,29±0,009	1,28±0,004
		S2	1,28±0,002	1,29±0,004	1,29±0,003
		S3	1,27±0,003	1,30±0,009	1,29±0,007
		Ort.	1,28±0,002 B	1,29±0,004 A	
60-90	2021	S1	1,32±0,003	1,32±0,003	1,32±0,002
		S2	1,32±0,003	1,31±0,003	1,32±0,002
		S3	1,31±0,003	1,32±0,003	1,31±0,003
		Ort.	1,31±0,002	1,32±0,002	
	2022	S1	1,32±0,003	1,32±0,007	1,32±0,003
		S2	1,32±0,003	1,31±0,003	1,32±0,002
		S3	1,31±0,003	1,32±0,003	1,31±0,003
		Ort.	1,31±0,002	1,32±0,002	
	2021-2022	S1	1,32±0,002	1,32±0,004	1,32±0,002
		S2	1,32±0,002	1,32±0,002	1,32±0,001
		S3	1,31±0,002	1,32±0,002	1,32±0,002
		Ort.	1,32±0,002	1,32±0,002	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 28. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tane Yoğunluğuna Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	2,63±0,003	2,67±0,003	2,65±0,008 B
		S2	2,64±0,000	2,68±0,006	2,66±0,009 A
		S3	2,64±0,003	2,68±0,000	2,66±0,010 A
		Ort.	2,64±0,002 B	2,68±0,003 A	
	2022	S1	2,65±0,000 c	2,67±0,002 b	2,66±0,003
		S2	2,65±0,005 cd	2,68±0,003 ab	2,66±0,007
		S3	2,64±0,004 d	2,68±0,006 a	2,66±0,011
		Ort.	2,64±0,003 B	2,67±0,003 A	
	2021-2022	S1	2,64±0,002 cd	2,67±0,002 b	2,66±0,005 B
		S2	2,65±0,002 c	2,68±0,002 a	2,66±0,008 A
		S3	2,64±0,001 d	2,68±0,003 a	2,66±0,010 AB
		Ort.	2,64±0,002 B	2,68±0,003 A	
30-60	2021	S1	2,66±0,007	2,67±0,000	2,67±0,003
		S2	2,66±0,003	2,67±0,006	2,67±0,003
		S3	2,66±0,003	2,66±0,003	2,66±0,003
		Ort.	2,66±0,003	2,67±0,002	
	2022	S1	2,66±0,000	2,66±0,002	2,66±0,001
		S2	2,66±0,003	2,67±0,004	2,67±0,003
		S3	2,66±0,004	2,67±0,006	2,66±0,004
		Ort.	2,66±0,002	2,67±0,002	
	2021-2022	S1	2,66±0,003	2,67±0,001	2,66±0,002
		S2	2,66±0,002	2,67±0,004	2,67±0,003
		S3	2,66±0,004	2,67±0,001	2,66±0,003
		Ort.	2,66±0,002 B	2,67±0,001 A	
60-90	2021	S1	2,68±0,003	2,67±0,003	2,68±0,002
		S2	2,68±0,003	2,67±0,000	2,67±0,002
		S3	2,68±0,006	2,68±0,003	2,68±0,003
		Ort.	2,68±0,002	2,67±0,002	
	2022	S1	2,67±0,002	2,67±0,003	2,67±0,002
		S2	2,67±0,003	2,67±0,003	2,67±0,002
		S3	2,67±0,001	2,68±0,005	2,67±0,003
		Ort.	2,67±0,002	2,67±0,002	
	2021-2022	S1	2,68±0,003 ab	2,67±0,000 b	2,67±0,001
		S2	2,67±0,002 ab	2,67±0,002 b	2,67±0,002
		S3	2,67±0,003 ab	2,68±0,001 a	2,68±0,001
		Ort.	2,67±0,001	2,67±0,001	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 29. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Poroziteye (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	53,42±0,110	52,50±0,066	52,96±0,213
		S2	53,66±0,126	52,61±0,102	53,14±0,246
		S3	53,48±0,164	52,86±0,124	53,17±0,166
		Ort.	53,53±0,077 A	52,66±0,073 B	
	2022	S1	53,53±0,121	52,51±0,083	53,02±0,238
		S2	53,70±0,043	52,73±0,145	53,22±0,226
		S3	53,49±0,061	52,93±0,164	53,21±0,147
		Ort.	53,57±0,052 A	52,72±0,091 B	
	2021-2022	S1	53,47±0,030 a	52,50±0,034 c	52,99±0,218 B
		S2	53,68±0,078 a	52,67±0,023 c	53,18±0,228 A
		S3	53,48±0,073 a	52,90±0,110 b	53,19±0,144 A
		Ort.	53,55±0,047 A	52,69±0,066 B	
30-60	2021	S1	51,94±0,128	51,94±0,450	51,94±0,209
		S2	51,94±0,060	51,68±0,187	51,81±0,105
		S3	52,20±0,168	51,44±0,556	51,82±0,310
		Ort.	52,03±0,076	51,69±0,225	
	2022	S1	51,99±0,130	51,94±0,224	51,97±0,116
		S2	51,99±0,187	51,80±0,063	51,90±0,097
		S3	52,22±0,080	51,38±0,207	51,80±0,212
		Ort.	52,07±0,080 A	51,71±0,123 B	
	2021-2022	S1	51,97±0,005	51,94±0,336	51,95±0,151
		S2	51,96±0,083	51,74±0,124	51,85±0,083
		S3	52,21±0,073	51,41±0,333	51,81±0,234
		Ort.	52,05±0,052	51,70±0,161	
60-90	2021	S1	50,81±0,164	50,75±0,108	50,78±0,089
		S2	50,81±0,063	50,81±0,125	50,81±0,063
		S3	51,24±0,062	50,81±0,164	51,03±0,125
		Ort.	50,95±0,090	50,79±0,068	
	2022	S1	50,78±0,131	50,71±0,307	50,74±0,150
		S2	50,70±0,167	50,78±0,165	50,74±0,107
		S3	50,99±0,117	50,79±0,218	50,89±0,119
		Ort.	50,82±0,082	50,76±0,119	
	2021-2022	S1	50,79±0,112	50,73±0,162	50,76±0,089
		S2	50,76±0,081	50,80±0,093	50,78±0,056
		S3	51,11±0,076	50,80±0,072	50,96±0,085
		Ort.	50,89±0,073	50,77±0,059	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 30. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Islak Agregat Stabilitesine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	57,55±0,301	49,62±0,202	53,59±1,781
		S2	57,16±0,366	49,84±0,268	53,50±1,650
		S3	57,18±0,140	49,33±0,260	53,25±1,760
		Ort.	57,30±0,156 A	49,60±0,143 B	
	2022	S1	56,42±0,525	49,62±0,071	53,02±1,539
		S2	56,91±0,116	49,86±0,072	53,39±1,579
		S3	56,96±0,101	49,30±0,011	53,13±1,716
		Ort.	56,77±0,180 A	49,59±0,086 B	
	2021-2022	S1	56,99±0,385	49,63±0,130	53,31±1,657
		S2	57,04±0,150	49,85±0,127	53,45±1,610
		S3	57,07±0,092	49,31±0,125	53,19±1,736
		Ort.	57,03±0,123 A	49,60±0,130 B	
30-60	2021	S1	47,37±0,123	47,42±0,093	47,39±0,070
		S2	47,32±0,160	47,28±0,091	47,30±0,083
		S3	47,30±0,024	47,29±0,031	47,30±0,018
		Ort.	47,33±0,060	47,33±0,045	
	2022	S1	47,35±0,055	47,43±0,017	47,39±0,032
		S2	47,37±0,071	47,33±0,066	47,35±0,044
		S3	47,31±0,044	47,27±0,118	47,29±0,057
		Ort.	47,34±0,030	47,34±0,046	
	2021-2022	S1	47,36±0,071	47,43±0,042	47,39±0,040
		S2	47,34±0,058	47,30±0,028	47,32±0,030
		S3	47,30±0,028	47,28±0,058	47,29±0,029
		Ort.	47,33±0,029	47,34±0,032	
60-90	2021	S1	47,80±0,308	47,72±0,076	47,76±0,143
		S2	47,69±0,354	47,87±0,365	47,78±0,231
		S3	47,71±0,010	47,70±0,195	47,72±0,087
		Ort.	47,74±0,137	47,76±0,125	
	2022	S1	47,82±0,095	47,73±0,067	47,78±0,056
		S2	47,75±0,023	47,86±0,102	47,80±0,053
		S3	47,70±0,082	47,73±0,042	47,71±0,042
		Ort.	47,76±0,041	47,77±0,043	
	2021-2022	S1	47,81±0,198	47,72±0,011	47,77±0,091
		S2	47,73±0,174	47,86±0,204	47,79±0,124
		S3	47,71±0,043	47,71±0,117	47,71±0,056
		Ort.	47,75±0,079	47,77±0,072	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Toprak Hidrolik Özellikleri

İki yıllık deneme sürecinin ortalamasında ahır gübresi ve mineral gübre uygulamalarının tüm tabakalarda TK, SN ve yarayışlı su miktarına etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Tablo 31-33, Ek 73). Ahır gübresi, yüksek organik madde içeriği nedeniyle toprakta organik maddeyi artırarak bu iyileşmeyi sağlamıştır. Organik madde ile tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki istatistiksel olarak önemli ikili ilişkiler ($p<0,01$) bu sonucu desteklemiştir (Ek 92). Sulama rejimlerinin etkisi görülmüş olsa da, değişimlerin çok düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir (Tablo 31-33). Önceki çalışmalar, toprakta su tutulması üzerine organik maddenin önemli ve olumlu etkileri olduğunu göstermiştir (Rawls *et al.* 2004; Minasny and McBratney, 2017; Ankenbauer and Loheide, 2016; Yang *et al.* 2014; Ni *et al.* 2020; Altun, 2024). Bu, toprak yapısal stabilitesinde bir iyileşme ve buna bağlı olarak su tutma kapasitesinde kademeli bir artış anlamına gelmektedir (Adeyemo *et al.* 2019). Wang *et al.* (2016) artan gübresi uygulamasının mineral gübre uygulamasına göre toprağın su tutma kapasitesini önemli derecede artırdığını ve bunun da organik maddenin toprak gözenekliliği üzerindeki olumlu etkisinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Birçok çalışmada, makro gözeneklerin yanında su tutmayı sağlayan mikrogözeneklerin miktarında da organik maddeyle artış olduğu görülmüş ve bunun da muhtemelen agrega içi gözeneklerin artmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir (Loss *et al.* 2019). Toprağa organik madde ilavesi özellikle düşük tansiyonlarda tutulan ve bitkiler için yarayışlı olan su miktarını artırmaktadır (Loss *et al.* 2019).

Tablo 31. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tarla Kapasitesinde Tutulan Neme (% Pw) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	24,47±0,032	24,06±0,021	24,27±0,095 A
		S2	24,36±0,035	24,00±0,034	24,18±0,083 B
		S3	24,48±0,032	24,03±0,041	24,25±0,102 AB
		Ort.	24,44±0,025 A	24,03±0,018 B	
	2022	S1	24,54±0,006	24,05±0,003	24,30±0,112 A
		S2	24,47±0,039	24,02±0,016	24,25±0,103 B
		S3	24,47±0,018	24,02±0,016	24,24±0,101 B
		Ort.	24,49±0,018 A	24,03±0,008 B	
	2021-2022	S1	24,51±0,017	24,05±0,011	24,28±0,103 A
		S2	24,42±0,003	24,01±0,024	24,21±0,091 B
		S3	24,47±0,010	24,03±0,015	24,25±0,101 A
		Ort.	24,46±0,015 A	24,03±0,011 B	

Tablo 31. (devamı)

30-60	2021	S1	24,13±0,025	23,73±0,036	23,93±0,093
		S2	24,11±0,056	23,74±0,029	23,93±0,088
		S3	24,05±0,031	23,76±0,037	23,91±0,067
		Ort.	24,10±0,024 A	23,74±0,018 B	
	2022	S1	24,16±0,029	23,76±0,013	23,96±0,090
		S2	24,13±0,066	23,74±0,020	23,93±0,093
		S3	24,03±0,007	23,74±0,005	23,89±0,066
		Ort.	24,11±0,028 A	23,75±0,008 B	
	2021- 2022	S1	24,15±0,004 a	23,74±0,019 c	23,95±0,090 A
		S2	24,12±0,020 a	23,74±0,022 c	23,93±0,086 AB
		S3	24,04±0,013 b	23,75±0,020 c	23,90±0,066 B
		Ort.	24,10±0,017 A	23,74±0,010 B	
60-90	2021	S1	23,69±0,074	23,40±0,004	23,55±0,073
		S2	23,81±0,012	23,36±0,024	23,58±0,101
		S3	23,75±0,050	23,43±0,016	23,59±0,074
		Ort.	23,75±0,031 A	23,40±0,014 B	
	2022	S1	23,69±0,002 c	23,40±0,018 e	23,54±0,065 B
		S2	23,82±0,003 a	23,36±0,013 f	23,59±0,103 A
		S3	23,75±0,005 b	23,43±0,013 d	23,59±0,071 A
		Ort.	23,75±0,019 A	23,40±0,013 B	
	2021- 2022	S1	23,69±0,036 b	23,40±0,011 cd	23,55±0,067
		S2	23,81±0,008 a	23,36±0,016 d	23,59±0,102
		S3	23,75±0,025 b	23,43±0,013 c	23,59±0,071
		Ort.	23,75±0,022 A	23,40±0,013 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 32. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Solma Noktasında Tutulan Neme (% Pw) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	13,11±0,025	13,10±0,029	13,11±0,017
		S2	13,12±0,016	13,07±0,021	13,10±0,017
		S3	13,12±0,006	13,05±0,003	13,09±0,015
		Ort.	13,12±0,009 A	13,07±0,012 B	
	2022	S1	13,04±0,018 b	13,07±0,014 ab	13,06±0,012
		S2	13,08±0,019 ab	13,07±0,007 ab	13,08±0,009
		S3	13,09±0,009 a	13,06±0,003 ab	13,08±0,010
		Ort.	13,07±0,011	13,07±0,005	
	2021-2022	S1	13,08±0,011 ab	13,09±0,018 ab	13,08±0,010
		S2	13,10±0,004 a	13,07±0,014 ab	13,09±0,010
		S3	13,11±0,002 a	13,06±0,003 b	13,08±0,012
		Ort.	13,10±0,006 A	13,07±0,008 B	
30-60	2021	S1	13,08±0,052	13,13±0,009	13,11±0,025
		S2	13,07±0,044	13,08±0,054	13,08±0,031
		S3	13,08±0,052	12,96±0,006	13,02±0,036
		Ort.	13,08±0,025	13,05±0,029	
	2022	S1	13,08±0,015 b	13,13±0,003 a	13,10±0,013 A
		S2	13,07±0,012 b	13,07±0,009 b	13,07±0,007 B
		S3	13,07±0,015 b	12,96±0,003 c	13,02±0,025 C
		Ort.	13,07±0,007	13,05±0,024	
	2021-2022	S1	13,08±0,026 a	13,13±0,003 a	13,11±0,016 A
		S2	13,07±0,028 a	13,07±0,031 a	13,07±0,019 AB
		S3	13,08±0,031 a	12,96±0,004 b	13,02±0,029 B
		Ort.	13,08±0,014	13,05±0,026	
60-90	2021	S1	12,36±0,071	12,39±0,058	12,38±0,041
		S2	12,49±0,029	12,34±0,037	12,41±0,040
		S3	12,46±0,060	12,38±0,037	12,42±0,037
		Ort.	12,44±0,034	12,37±0,024	
	2022	S1	12,36±0,012 d	12,38±0,004 c	12,37±0,008 B
		S2	12,50±0,007 a	12,34±0,003 d	12,42±0,036 A
		S3	12,47±0,003 b	12,38±0,009 c	12,43±0,019 A
		Ort.	12,44±0,022 A	12,37±0,008 B	
	2021-2022	S1	12,36±0,033 c	12,39±0,031 bc	12,38±0,021
		S2	12,50±0,015 a	12,34±0,019 c	12,42±0,036
		S3	12,47±0,029 ab	12,38±0,023 bc	12,43±0,025
		Ort.	12,44±0,024 A	12,37±0,015 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 33. Gübre ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Yarayışlı Su Miktarına (mm) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
0-30	2021	S1	41,79±0,313	41,63±0,146	41,71±0,159
		S2	41,24±0,200	41,66±0,202	41,45±0,158
		S3	41,79±0,092	41,60±0,098	41,70±0,074
		Ort.	41,61±0,144	41,63±0,078	
	2022	S1	42,56±0,139 a	41,70±0,080 bc	42,13±0,206 A
		S2	41,92±0,031 b	41,60±0,037 c	41,76±0,073 B
		S3	41,86±0,022 b	41,55±0,049 c	41,70±0,074 B
		Ort.	42,11±0,121 A	41,61±0,037 B	
	2021-2022	S1	42,18±0,087 a	41,66±0,036 b	41,92±0,122 A
		S2	41,58±0,115 b	41,63±0,098 b	41,60±0,069 B
		S3	41,82±0,056 b	41,57±0,069 b	41,70±0,069 B
		Ort.	41,86±0,098 A	41,62±0,039 B	
30-60	2021	S1	42,44±0,364 a	40,81±0,273 c	41,63±0,417
		S2	42,38±0,242 a	41,26±0,313 bc	41,82±0,306
		S3	41,77±0,172 ab	41,91±0,361 ab	41,84±0,181
		Ort.	42,20±0,172 A	41,33±0,225 B	
	2022	S1	42,45±0,184 a	40,84±0,150 d	41,65±0,374
		S2	42,38±0,408 ab	41,19±0,045 cd	41,78±0,322
		S3	41,78±0,033 bc	41,92±0,082 ab	41,85±0,051
		Ort.	42,20±0,168 A	41,32±0,167 B	
	2021-2022	S1	42,44±0,159 a	40,83±0,208 d	41,64±0,379
		S2	42,37±0,220 a	41,23±0,175 cd	41,80±0,286
		S3	41,77±0,088 bc	41,92±0,219 ab	41,85±0,110
		Ort.	42,20±0,134 A	41,32±0,188 B	
60-90	2021	S1	44,75±0,178	43,52±0,162	44,14±0,296
		S2	44,71±0,174	43,42±0,060	44,07±0,300
		S3	44,24±0,168	43,67±0,196	43,96±0,172
		Ort.	44,57±0,119 A	43,54±0,084 B	
	2022	S1	44,75±0,114 a	43,52±0,160 c	44,14±0,291
		S2	44,71±0,137 a	43,42±0,054 c	44,07±0,296
		S3	44,23±0,127 b	43,66±0,134 c	43,95±0,153
		Ort.	44,57±0,105 A	43,53±0,071 B	
	2021-2022	S1	44,75±0,061 a	43,52±0,153 c	44,14±0,286
		S2	44,71±0,087 a	43,42±0,035 c	44,07±0,291
		S3	44,24±0,064 b	43,66±0,089 c	43,95±0,137
		Ort.	44,57±0,090 A	43,53±0,063 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Toplam İnfiltrasyon ve İnfiltrasyon Hızı

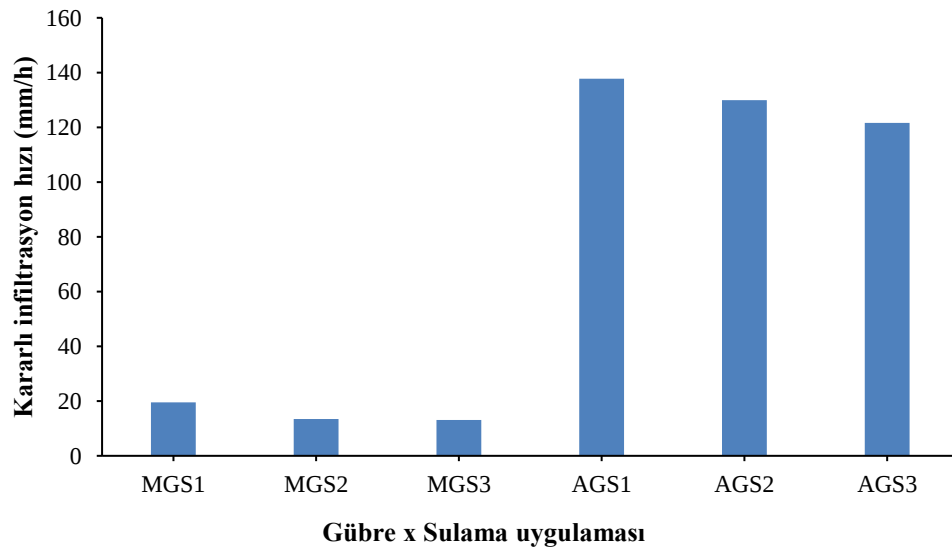
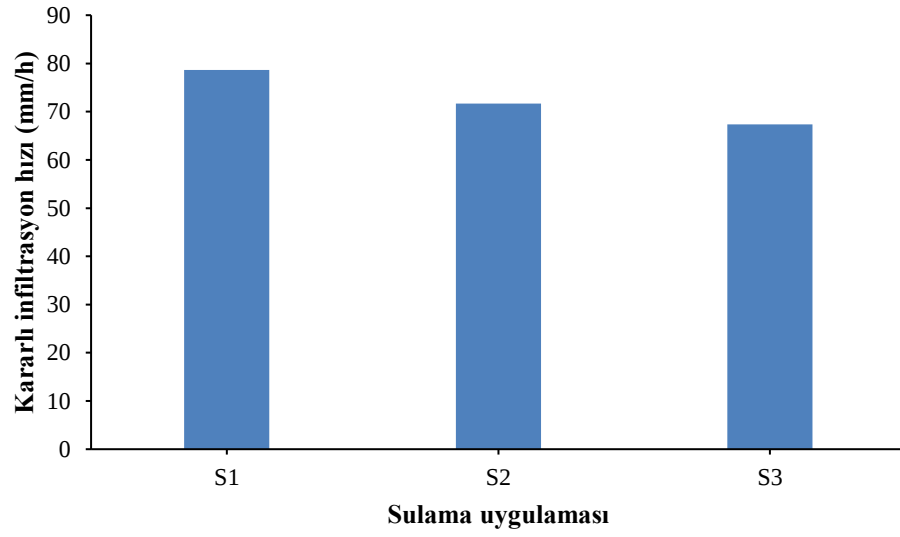
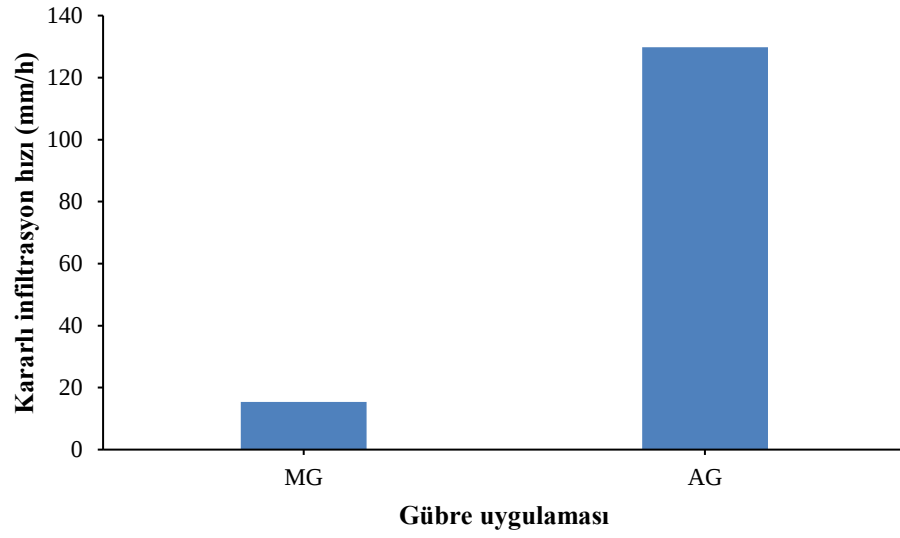
2021 ve 2022 yıllarında, deneme sonrası orta tekerrürlerde yapılan infiltrasyon ölçümlerine ait toplam infiltrasyon miktarı ve infiltrasyon hızına ilişkin grafikler Ek 80-91’de,

eşitlikler Tablo 34’te, kararlı infiltrasyon hızlarına ilişkin ortalama değerler de Şekil 56 ve 57’de verilmiştir. Ahır gübresi uygulamasıyla toplam infiltrasyon, infiltrasyon hızı ve kararlı infiltrasyon hızının arttığı belirlenmiştir. Mineral gübre uygulamasında, kararlı infiltrasyon hızının ahır gübresi uygulamasına göre 2021 yılında %88,2, 2022 yılında ise %86 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 56 ve 57). S1 sulama uygulamasına kıyasla, S2 ve S3 sulama uygulamalarında 2021’de sırasıyla %8,9 ve %14,2, 2022’de ise %12,4 ve %20,9 oranında daha düşük kararlı infiltrasyon hızları belirlenmiştir (Şekil 56 ve 57). Ahır gübresinin yüksek organik madde içeriği sayesinde, toprağın organik madde içeriğinin artması ve sık sulamayla birlikte organik maddenin mineralizasyon sürecinin gelişmesinin, toprak fiziksel özelliklerini iyileştirerek infiltrasyon hızını artırdığı değerlendirilmiştir (Altun, 2024).

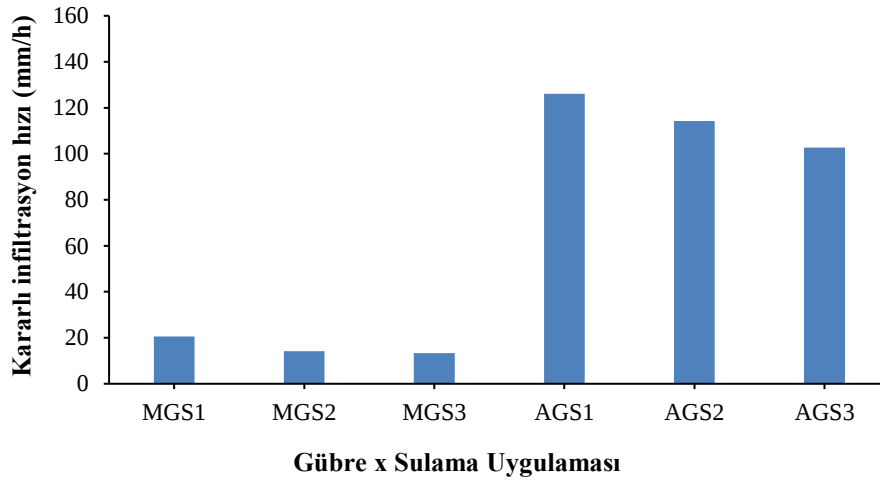
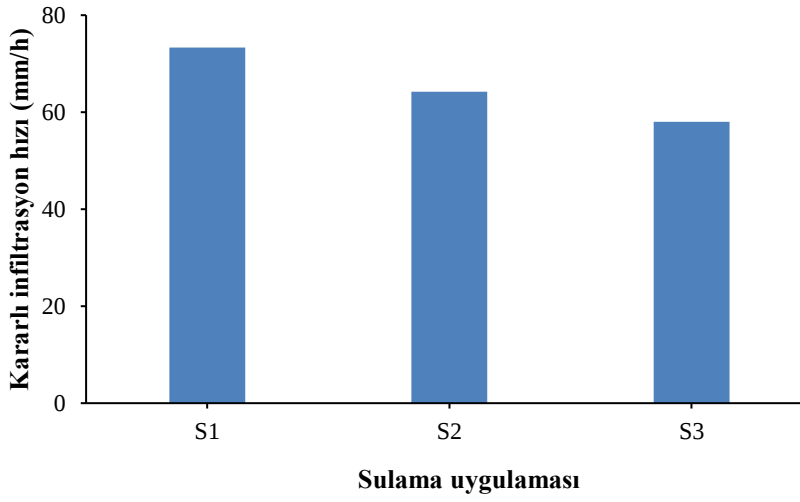
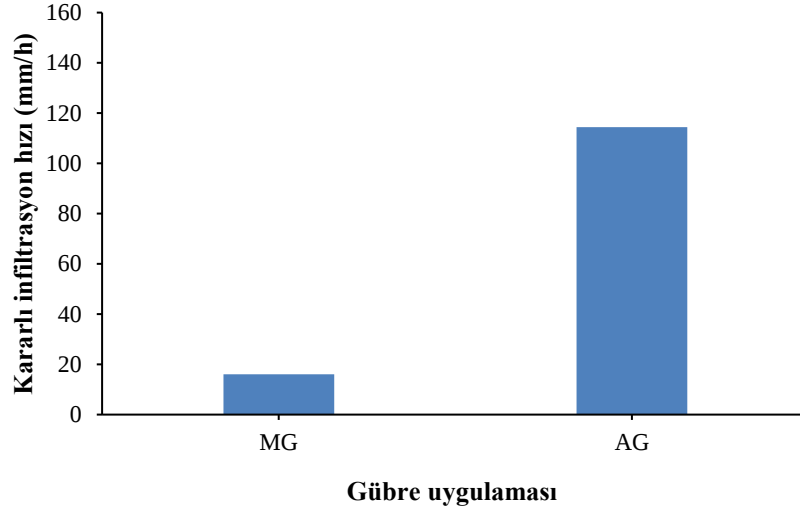
Liu *et al.* (2018), ahır gübresi uygulamasının kararlı infiltrasyon hızını önemli düzeyde artırdığını, azot uygulamasının ise etkili olmadığını ifade etmişlerdir. Adeyemo *et al.* (2019), tavuk gübresi uygulamasıyla killi tın ve kumlu killi tın bünye topraklarda kümülatif infiltrasyon hızında önemli artışlar olduğunu belirlemişlerdir. Li *et al.* (2025), ahır gübresinin üst toprağa karıştırılmasının infiltrasyon hızlarını önemli ölçüde artırdığını ve 3 yıllık çalışma sürecinde kararlı infiltrasyon hızının %52,1 daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Altun (2024)’da, arıtma çamuru uygulamasıyla toprakta organik madde artışının agregat stabilitesini iyileştirdiğini ve bunun da kararlı infiltrasyon hızını artırdığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Badaou and Sahin (2022), çalışmalarında, arıtma çamuru uygulamasının agregat yapısında olumlu değişikliklere neden olduğunu ve bunun da doygun su geçirgenliğinin artışına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Toprak organik maddesi ile infiltrasyon ve su tutma kapasitesi arasında bir ilişki olduğunu Rayne and Aula (2020)’da belirtmişlerdir.

Tablo 34. Toplam İnfiltrasyon (D, mm) ve İnfiltrasyon Hızı (I, mm/h) Eşitlikleri (t: dakika)

Yıl	Uygulama	Toplam İnfiltrasyon	İnfiltrasyon Hızı
2021	MG-S1	$D = 14,395 \text{ t}^{0.4614} \text{ R}^2 = 0,9485$	$I = 844,94 \text{ t}^{-0.787} \text{ R}^2 = 0,9847$
	MG-S2	$D = 13,791 \text{ t}^{0.4414} \text{ R}^2 = 0,9243$	$I = 880,21 \text{ t}^{-0.873} \text{ R}^2 = 0,9771$
	MG-S3	$D = 13,313 \text{ t}^{0.4394} \text{ R}^2 = 0,9193$	$I = 845,52 \text{ t}^{-0.87} \text{ R}^2 = 0,9708$
	AG-S1	$D = 19,513 \text{ t}^{0.6534} \text{ R}^2 = 0,9952$	$I = 1019,4 \text{ t}^{-0.418} \text{ R}^2 = 0,9869$
	AG-S2	$D = 19,093 \text{ t}^{0.6656} \text{ R}^2 = 0,9867$	$I = 1115 \text{ t}^{-0.449} \text{ R}^2 = 0,9795$
	AG-S3	$D = 22,761 \text{ t}^{0.6263} \text{ R}^2 = 0,9836$	$I = 1300,7 \text{ t}^{-0.495} \text{ R}^2 = 0,9655$
2022	MG-S1	$D = 12,734 \text{ t}^{0.4878} \text{ R}^2 = 0,9502$	$I = 771,77 \text{ t}^{-0.757} \text{ R}^2 = 0,9812$
	MG-S2	$D = 12,085 \text{ t}^{0.4697} \text{ R}^2 = 0,9270$	$I = 800,34 \text{ t}^{-0.842} \text{ R}^2 = 0,9704$
	MG-S3	$D = 11,659 \text{ t}^{0.4651} \text{ R}^2 = 0,9184$	$I = 776,76 \text{ t}^{-0.850} \text{ R}^2 = 0,9598$
	AG-S1	$D = 19,023 \text{ t}^{0.6398} \text{ R}^2 = 0,9936$	$I = 960,29 \text{ t}^{-0.424} \text{ R}^2 = 0,957$
	AG-S2	$D = 19,354 \text{ t}^{0.6518} \text{ R}^2 = 0,9817$	$I = 1170,4 \text{ t}^{-0.486} \text{ R}^2 = 0,9716$
	AG-S3	$D = 23,011 \text{ t}^{0.6096} \text{ R}^2 = 0,9758$	$I = 1369,2 \text{ t}^{-0.541} \text{ R}^2 = 0,9690$



Şekil 56. 2021 yılında gübre ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızları



Şekil 57. 2022 yılında gübre ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızları

Toprak Organik Karbon Stok Değişimleri, Hesaplanan ve Ölçülen CO₂ Salımları

Her ay sonunda, yüzey tabakasından (0-30 cm) alınan toprak örneklerinde belirlenen organik madde ve hacim ağırlığı değerleriyle hesaplanan aylık ve sezonluk karbon stokları Tablo 35-41’de, potansiyel CO₂ salım tahminleri ise Tablo 42-47’de verilmiştir.

Stok değişimi ve potansiyel CO₂ salımına ilişki istatistiksel analiz sonuçlarına göre, AG uygulamasında karbon stok değişimi ve CO₂ salımı daha fazla olmuştur (Tablo 35-47, Ek 74-75). Potansiyel CO₂ salımında yüksek değerler, hava sıcaklığının arttığı ve sulama yoğunluğunun yükseldiği Temmuz ve Ağustos aylarında belirlenmiştir. Sezonluk potansiyel CO₂ salımı, AG uygulamasında (3,58 g/m²/h, 3,11 g/m²/h, 3,34 g/m²/h) MG uygulamasına göre 2021, 2022 ve iki yıllık ortalamada sırasıyla %50,4, %409,8, %122,7 oranında daha yüksek belirlenmiştir (Tablo 47).

Tablo 35. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Deneme Başında Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	97,37±0,18	42,44±0,23	69,91±12,28
	S2	97,06±0,33	42,70±0,10	69,88±12,16
	S3	97,57±0,48	43,26±0,22	70,41±12,15
	Ort.	97,33±0,19 A	42,80±0,16 B	
2022	S1	68,54±0,44	23,20±0,10	45,87±10,14
	S2	67,96±0,12	23,14±0,28	45,55±10,02
	S3	68,21±0,27	23,06±0,06	45,64±10,10
	Ort.	68,24±0,17 A	23,13±0,09 B	
2021-2022	S1	82,95±0,22	32,82±0,17	57,89±11,21
	S2	82,51±0,11	32,92±0,18	57,72±11,09
	S3	82,89±0,35	33,16±0,13	58,02±11,12
	Ort.	82,78±0,14 A	32,97±0,10 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 36. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Mayıs Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	92,87±0,18 ab	39,87±0,19 d	66,36±11,85 B
	S2	93,29±0,19 a	40,50±0,11 c	66,90±11,80 A
	S3	92,72±0,07 b	40,98±0,19 c	66,85±11,57 A
	Ort.	92,95±0,12 A	40,45±0,18 B	
2022	S1	65,68±0,29	22,59±0,10	44,13±9,64
	S2	64,94±0,36	22,42±0,37	43,68±9,51
	S3	65,02±0,11	22,36±0,13	43,69±9,54
	Ort.	65,22±0,18 A	22,46±0,12 B	
2021-2022	S1	79,26±0,06 a	31,23±0,12 c	55,25±10,74
	S2	79,12±0,09 a	31,46±0,19 bc	55,29±10,66
	S3	78,87±0,06 a	31,67±0,16 b	55,27±10,56
	Ort.	79,08±0,07 A	31,45±0,10 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 37. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Haziran Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	86,39±0,11	35,74±0,20	61,06±11,33
	S2	86,54±0,17	35,72±0,18	61,13±11,36
	S3	85,83±0,03	35,76±0,24	60,79±11,20
	Ort.	86,25±0,12 A	35,74±0,11 B	
2022	S1	60,46±0,43	21,45±0,20	40,95±8,72
	S2	60,04±0,18	21,29±0,35	40,67±8,67
	S3	60,15±0,43	21,23±0,05	40,69±8,71
	Ort.	60,21±0,19 A	21,33±0,12 B	
2021-2022	S1	73,42±0,17	28,59±0,12	51,01±10,02
	S2	73,29±0,06	28,51±0,10	50,90±10,01
	S3	72,99±0,22	28,50±0,15	50,74±9,95
	Ort.	73,23±0,10 A	28,53±0,06 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 38. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Temmuz Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	77,99±0,13	29,88±0,07	53,93±10,76 A
	S2	77,29±0,15	29,53±0,17	53,41±10,68 AB
	S3	76,93±0,49	29,28±0,24	53,11±10,66 B
	Ort.	77,40±0,22 A	29,56±0,12 B	
2022	S1	52,44±0,40	19,93±0,07	36,19±7,27
	S2	51,77±0,09	19,73±0,25	35,75±7,17
	S3	52,06±0,30	19,73±0,04	35,90±7,23
	Ort.	52,09±0,18 A	19,80±0,08 B	
2021-2022	S1	65,22±0,25	24,90±0,00	45,06±9,01 A
	S2	64,53±0,06	24,63±0,07	44,58±8,92 B
	S3	64,50±0,24	24,50±0,10	44,50±8,94 B
	Ort.	64,75±0,15 A	24,68±0,07 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 39. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Ağustos Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	69,52±0,10	23,73±0,16	46,63±10,24 A
	S2	69,34±0,17	23,70±0,20	46,52±10,21 A
	S3	68,87±0,09	23,34±0,20	46,11±10,18 B
	Ort.	69,24±0,12 A	23,59±0,11 B	
2022	S1	44,54±0,41	18,57±0,18	31,55±5,81
	S2	44,24±0,20	18,39±0,32	31,32±5,78
	S3	44,20±0,37	18,42±0,04	31,31±5,77
	Ort.	44,33±0,18 A	18,46±0,11 B	
2021-2022	S1	57,03±0,24	21,15±0,17	39,09±8,02
	S2	56,79±0,08	21,04±0,22	38,92±7,99
	S3	56,54±0,17	20,88±0,12	38,71±7,97
	Ort.	56,79±0,11 A	21,02±0,10 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 40. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Hasatta Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	67,40±0,15 b	23,44±0,06 c	45,42±9,83
	S2	67,99±0,15 a	23,09±0,09 c	45,54±10,04
	S3	68,05±0,19 a	23,02±0,23 c	45,54±10,07
	Ort.	67,81±0,13 A	23,18±0,10 B	
2022	S1	43,81±0,43	18,28±0,12	31,04±5,71
	S2	43,47±0,12	18,18±0,19	30,82±5,66
	S3	43,65±0,15	18,40±0,23	31,02±5,65
	Ort.	43,64±0,14 A	18,29±0,10 B	
2021-2022	S1	55,61±0,17	20,86±0,03	38,23±7,77
	S2	55,73±0,02	20,64±0,13	38,18±7,85
	S3	55,85±0,06	20,71±0,13	38,28±7,86
	Ort.	55,73±0,06 A	20,74±0,06 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 41. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Sezonluk Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	29,96±0,10	19,01±0,27	24,49±2,45
	S2	29,08±0,32	19,61±0,18	24,34±2,12
	S3	29,51±0,68	20,24±0,45	24,88±2,11
	Ort.	29,52±0,25 A	19,62±0,24 B	
2022	S1	24,73±0,02	4,92±0,07	14,83±4,43
	S2	24,49±0,13	4,96±0,46	14,73±4,37
	S3	24,56±0,12	4,66±0,25	14,61±4,45
	Ort.	24,60±0,06 A	4,85±0,16 B	
2021-2022	S1	27,35±0,05	11,97±0,14	19,66±3,44
	S2	26,79±0,09	12,28±0,31	19,53±3,25
	S3	27,04±0,37	12,45±0,23	19,74±3,27
	Ort.	27,06±0,14 A	12,33±0,14 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 42. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Mayıs Dönemi Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	2,76±0,15	1,57±0,07	2,17±0,28
	S2	2,30±0,30	1,34±0,07	1,82±0,26
	S3	2,96±0,34	1,39±0,14	2,18±0,39
	Ort.	2,68±0,17 A	1,44±0,06 B	
2022	S1	2,30±0,14	0,49±0,06	1,40±0,41
	S2	2,42±0,36	0,58±0,08	1,50±0,45
	S3	2,56±0,19	0,57±0,06	1,56±0,45
	Ort.	2,43±0,13 A	0,55±0,4 B	
2021-2022	S1	2,53±0,11	1,03±0,03	1,78±0,34
	S2	2,36±0,03	0,96±0,02	1,66±0,31
	S3	2,76±0,26	0,98±0,10	1,87±0,42
	Ort.	2,55±0,10 A	0,99±0,03 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 43. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Haziran Dönemi Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	3,29±0,04	2,11±0,10	2,70±0,27 B
	S2	3,44±0,16	2,44±0,13	2,94±0,24 AB
	S3	3,51±0,02	2,66±0,14	3,08±0,20 A
	Ort.	3,41±0,06 A	2,40±0,10 B	
2022	S1	2,66±0,13	0,58±0,06	1,62±0,47
	S2	2,50±0,18	0,57±0,04	1,54±0,44
	S3	2,48±0,16	0,57±0,07	1,53±0,43
	Ort.	2,55±0,08 A	0,58±0,03 B	
2021-2022	S1	2,97±0,06	1,34±0,03	2,16±0,37 B
	S2	2,97±0,02	1,51±0,06	2,24±0,33 AB
	S3	3,00±0,08	1,62±0,10	2,31±0,31 A
	Ort.	2,98±0,03 A	1,49±0,05 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 44. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Temmuz Dönemi Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	4,14±0,09	2,89±0,11	3,51±0,29
	S2	4,56±0,12	3,05±0,10	3,81±0,34
	S3	4,38±0,24	3,20±0,05	3,79±0,29
	Ort.	4,36±0,10 A	3,05±0,06 B	
2022	S1	3,95±0,18	0,75±0,08	2,35±0,72
	S2	4,07±0,13	0,77±0,06	2,42±0,74
	S3	3,99±0,22	0,74±0,04	2,36±0,73
	Ort.	4,00±0,09 A	0,75±0,03 B	
2021-2022	S1	4,04±0,13	1,82±0,06	2,93±0,50
	S2	4,31±0,01	1,91±0,04	3,11±0,54
	S3	4,18±0,22	1,97±0,03	3,08±0,51
	Ort.	4,18±0,08 A	1,90±0,03 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 45. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Ağustos Dönemi Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	4,17±0,05	3,03±0,10	3,60±0,26
	S2	3,92±0,15	2,87±0,18	3,40±0,26
	S3	3,97±0,24	2,93±0,04	3,45±0,26
	Ort.	4,02±0,09 A	2,94±0,07 B	
2022	S1	3,90±0,16	0,67±0,07	2,28±0,73
	S2	3,71±0,13	0,66±0,05	2,19±0,69
	S3	3,87±0,15	0,65±0,04	2,26±0,72
	Ort.	3,83±0,08 A	0,66±0,03 B	
2021-2022	S1	4,03±0,10	1,85±0,08	2,94±0,49
	S2	3,81±0,02	1,77±0,09	2,79±0,46
	S3	3,92±0,19	1,79±0,01	2,85±0,49
	Ort.	3,92±0,07 A	1,80±0,04 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 46. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Eylül Dönemi Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	3,60±0,39 a	0,51±0,36 c	2,05±0,73 A
	S2	2,30±0,53 b	1,03±0,33 c	1,66±0,40 AB
	S3	1,39±0,19 bc	0,54±0,25 c	0,96±0,24 B
	Ort.	2,43±0,38 A	0,69±0,18 B	
2022	S1	1,11±0,44	0,45±0,12	0,78±0,25
	S2	1,18±0,38	0,32±0,77	0,75±0,43
	S3	0,85±0,44	0,02±0,40	0,44±0,33
	Ort.	1,05±0,22 A	0,26±0,26 B	
2021-2022	S1	2,35±0,13 a	0,48±0,22 c	1,42±0,44
	S2	1,74±0,14 ab	0,67±0,52 c	1,21±0,34
	S3	1,12±0,18 bc	0,28±0,28 c	0,70±0,24
	Ort.	1,74±0,19 A	0,48±0,19 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

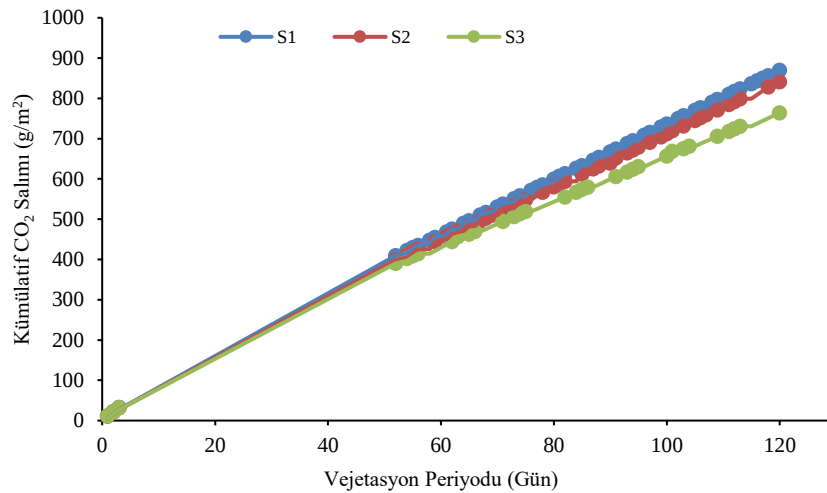
Tablo 47. Gübre ve Sulama Uygulamalarında Sezonluk Potansiyel CO₂ Salımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	3,63±0,01	2,31±0,03	2,97±0,30
	S2	3,53±0,04	2,38±0,02	2,95±0,26
	S3	3,58±0,08	2,45±0,05	3,02±0,26
	Ort.	3,58±0,03 A	2,38±0,03 B	
2022	S1	3,12±0,00	0,62±0,01	1,87±0,56
	S2	3,09±0,02	0,63±0,06	1,86±0,55
	S3	3,10±0,02	0,59±0,03	1,84±0,56
	Ort.	3,11±0,01 A	0,61±0,02 B	
2021-2022	S1	3,38±0,01	1,46±0,02	2,42±0,43
	S2	3,31±0,01	1,50±0,04	2,41±0,40
	S3	3,34±0,05	1,52±0,03	2,43±0,41
	Ort.	3,34±0,02 A	1,50±0,02 B	

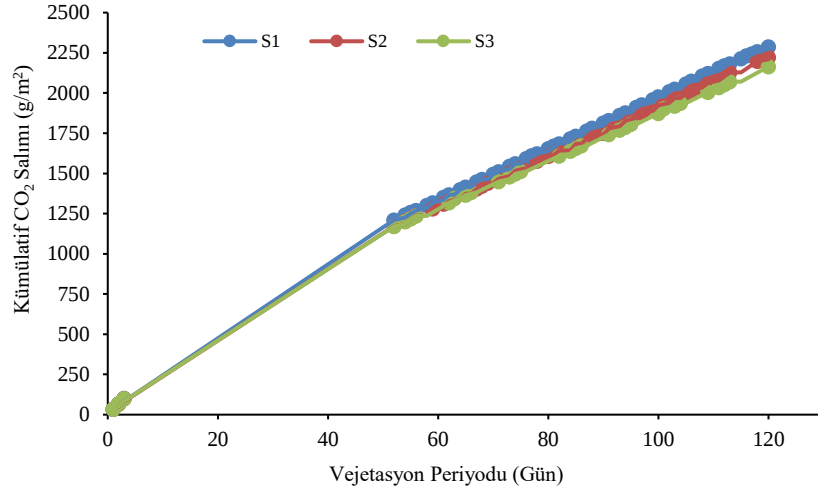
AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

2022 yılı CO₂ salımları ve toprak nemi, H₂O salımı, toprak ve hava sıcaklığıyla ilişkileri

2022 yılında doğrudan yapılan ölçümler sonucunda, sezon başından sezon sonuna kadar CO₂ salımlarında istatistiksel olarak anlamlı doğrusal bir artış eğilimi gözlemlenmiştir (Şekil 58 ve 59). Bu doğrusal değişimler, aylık karbon stoklarındaki değişimlerle de paralellik göstermiştir (Tablo 35-41). Karbon stokunun en yüksek olduğu ahır gübresi uygulamasında en fazla kümülatif CO₂ salınımı kaydedilmiştir. Ayrıca toprağın daha nemli kalmasını sağlayan S1 uygulamasında da yüksek kümülatif CO₂ salınımı tespit edilmiştir.



Şekil 58. 2022 yılında mineral gübre koşullarında sulama uygulamalarının kümülatif CO₂ salımlarına etkisi



Şekil 59. 2022 yılında ahır gübresi koşullarında sulama uygulamalarının kümülatif CO₂ salımlarına etkisi

Denemenin ikinci yılında, toprak işleme ve ekim döneminde, sulama döneminde ve tüm sezon boyunca gübre ve sulama uygulamalarına bağlı olarak atmosfere salınan CO₂ ve H₂O miktarları, 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinde ölçülen nem ve sıcaklık değerleri ile hava sıcaklık değerleri Tablo 48’de sunulmuş, değerlere ait varyans analiz sonuçları ise Ek 41-49 ve 76-78’de verilmiştir. Ahır gübresi ve sık sulama uygulamalarının atmosfere yayılan CO₂ ve H₂O miktarları üzerinde, önemli etkileri olduğu belirlenmiştir ($p < 0,01$) (Ek 41, 42, 76). Ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye kıyasla ortalama CO₂ salımı; toprak işleme-ekim döneminde yaklaşık 3,1 kat, sulama döneminde 2,7 kat ve tüm sezon boyunca da 2,7 kat daha fazla olmuştur. Sulama döneminde S1 uygulaması, S3 uygulamasına göre ortalama CO₂ salımını %8,1 oranında artırmıştır. Toprak işleme-ekim döneminde ve sezon genelinde de S1 uygulamasının S3’e göre sırasıyla %1,2 ve %7,9 oranlarında daha fazla CO₂ salımı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Ahır gübresiyle toprağa daha fazla organik karbon kazandırılması CO₂ salımını artırmıştır (Sosulski *et al.* 2023; Altun and Sahin, 2025). Toprağın sık sık sulanmasının toprakta artan mikroorganizma faaliyetiyle organik maddenin mineralizasyonu artırarak CO₂ emisyonlarını artırdığı değerlendirilmiştir (Yerli and Sahin, 2021; Jiao *et al.* 2023; Altun and Sahin, 2025). Ancak, ahır gübresi uygulamasında sezonluk kümülatif CO₂ salımı MG uygulamasından 2,7 kat yüksek olmasına rağmen, artan verimle birim verim başına CO₂ salımı 2 kat seviyesine gerilemiştir (Badaou and Sahin, 2025).

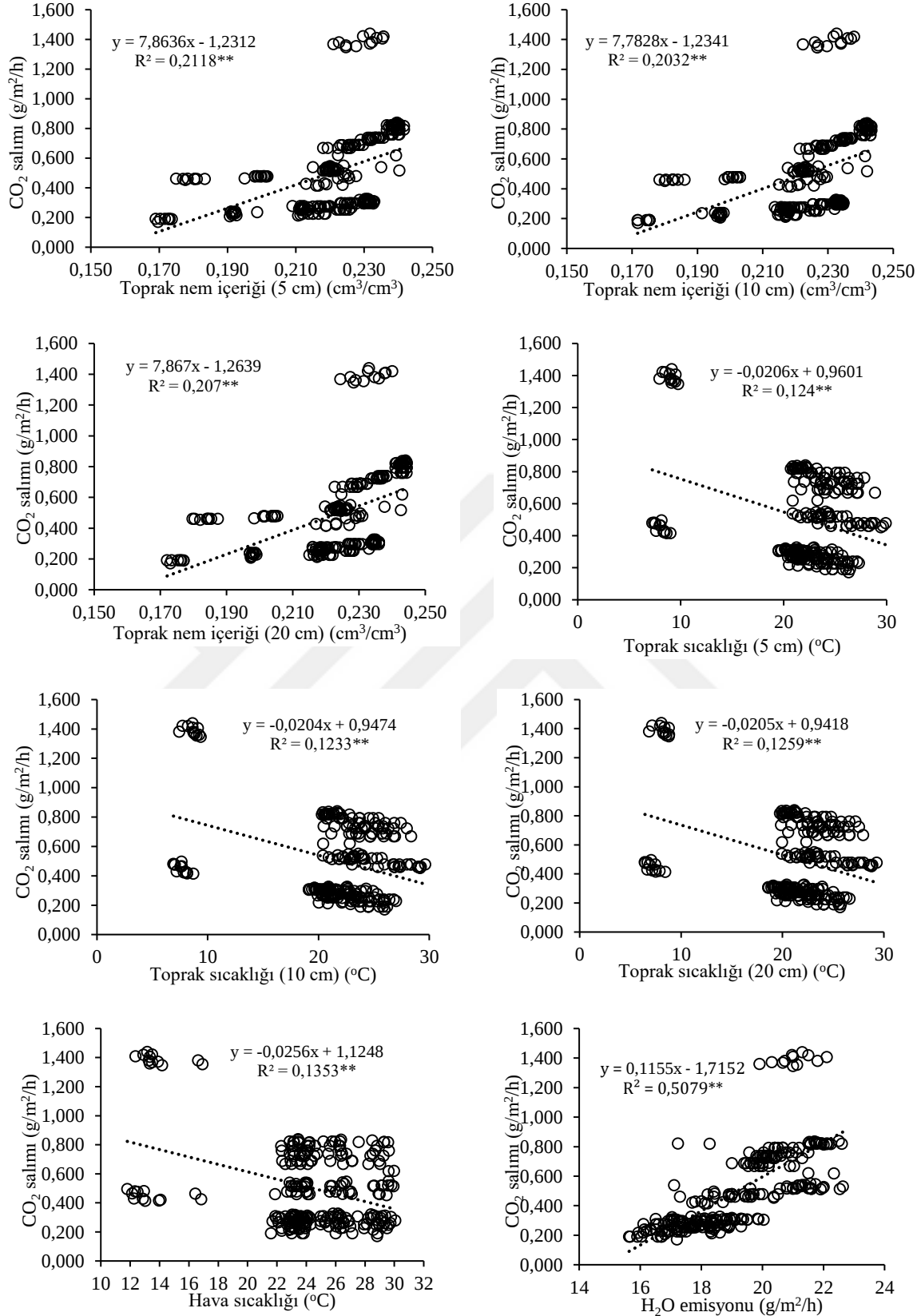
Şekil 60’da görüleceği üzere, farklı derinliklerde ölçülen toprak nemi ile CO₂ salımı arasında önemli ($p < 0,01$) pozitif ilişkiler bulunmuştur. Bu durum, H₂O salımı artışıyla doğru orantılı olarak toprakta artan nem dinamiklerinin organik maddeyi ayrıştırma süreçlerini hızlandırmasıyla ilişkilendirilmiştir (Shaaban *et al.* 2022). CO₂ salımı ile hava ve toprak

sıcaklığı arasındaki ilişkilerde, sıcaklık azaldıkça salımın önemli seviyede ($p<0,01$) arttığı görülmüştür (Şekil 60). Benzer şekilde Gultekin *et al.* (2023) silajlık mısır yetiştirilen bir alandan CO₂ salımının sulamayla artan nem ve nispeten azalan toprak sıcaklığıyla arttığını belirlemiştir. Altun and Sahin (2025)'de, organik materyal eklenmiş silajlık mısır tarlasında topraktan CO₂ salımının toprak sıcaklığındaki azalışıyla arttığı belirlenmiştir.

Tablo 48. 2022 Yılı Gübre ve Sulama Uygulamalarında Ortalama CO₂ ve H₂O Salımlarıyla Toprak Nemi, Toprak ve Hava Sıcaklıkları

Parametre	Sulama	Toprak işleme-ekim dönemi			Sulama Dönemi			Tüm sezon		
		MG	AG	Ort.	MG	AG	Ort.	MG	AG	Ort.
CO ₂ (g/m ² /h)	S1	0,456±0,00	1,402±0,00	0,929±0,21	0,296±0,00	0,772±0,00	0,534±0,11	0,299±0,00 d	0,788±0,00 a	,544±0,11 A
	S2	0,446±0,00	1,371±0,00	0,909±0,21	0,286±0,00	0,750±0,00	0,518±0,10	0,290±0,00 e	0,765±0,00 b	,527±0,11 B
	S3	0,445±0,00	1,391±0,00	0,918±0,21	0,259±0,00	0,729±0,00	0,494±0,11	0,263±0,00 f	0,746±0,00 c	,504±0,11 C
	Ort.	0,449±0,00 B	1,388±0,01 A		0,280±0,01 B	0,750±0,01 A		0,284±0,01 B	0,766±0,01 A	
H ₂ O (g/m ² /h)	S1	18,1±0,06	20,9±0,16	19,5±0,63	18,2±0,12	21,0±0,21	19,6±0,64	18,2±0,12	21,0±0,21	19,6±0,64 A
	S2	18,8±0,26	21,5±0,38	20,2±0,63	17,1±0,13	19,9±0,31	18,5±0,65	17,1±0,14	20,0±0,31	18,5±0,65 B
	S3	18,5±0,20	20,7±0,21	19,6±0,51	17,1±0,08	19,8±0,17	18,4±0,62	17,1±0,09	19,8±0,17	18,5±0,62 B
	Ort.	18,5±0,14	21,0±0,18		17,4±0,20	20,2±0,23		17,5±0,19 B	20,3±0,22 A	
Toprak nemi (cm ³ /cm ³) 5 cm	S1	22,0±0,02	22,6±0,06	22,3±0,13	21,5±0,01	22,3±0,02	21,9±0,18	21,5±0,01	22,4±0,02	21,9±0,18 A
	S2	22,1±0,02	23,0±0,03	22,5±0,21	20,7±0,01	21,5±0,03	21,1±0,18	20,8±0,01	21,6±0,03	21,2±0,18 B
	S3	22,4±0,07	23,2±0,03	22,8±0,18	19,7±0,03	20,5±0,03	20,1±0,17	19,8±0,03	20,6±0,03	20,2±0,17 C
	Ort.	22,2±0,06	22,9±0,09		20,7±0,27	21,5±0,27		20,7±0,26 B	21,5±0,26 A	
Toprak nemi (cm ³ /cm ³) 10 cm	S1	22,4±0,03	22,8±0,05	22,6±0,10	21,9±0,02	22,5±0,03	22,2±0,14	21,9±0,02	22,6±0,03	22,2±0,14 A
	S2	22,2±0,02	23,2±0,02	22,7±0,22	21,1±0,02	21,7±0,03	21,4±0,15	21,1±0,02	21,8±0,03	21,4±0,15 B
	S3	22,6±0,03	23,4±0,06	23,0±0,19	19,9±0,02	20,7±0,05	20,3±0,19	20,0±0,02	20,8±0,05	20,4±0,19 C
	Ort.	22,4±0,06	23,1±0,09		21,0±0,29	21,7±0,26		21,0±0,28	21,7±0,25	
Toprak nemi (cm ³ /cm ³) 20 cm	S1	22,6±0,02	23,0±0,03	22,8±0,09	22,0±0,02	22,7±0,06	22,4±0,15	22,0±0,02	22,7±0,05	22,4±0,15 A
	S2	22,5±0,03	23,3±0,05	22,9±0,19	21,2±0,01	21,9±0,04	21,5±0,15	21,2±0,01	21,9±0,04	21,6±0,15 B
	S3	22,7±0,00	23,6±0,06	23,2±0,20	20,0±0,01	20,9±0,06	20,5±0,19	20,1±0,01	20,9±0,06	20,5±0,19 C
	Ort.	22,6±0,04	23,3±0,10		21,1±0,29	21,8±0,26		21,1±0,28	21,8±0,25	
Toprak sıcaklığı (°C) 5 cm	S1	7,8±0,02	8,5±0,12	8,1±0,16	18,4±0,09	19,6±0,02	19,0±0,26	18,2±0,08 f	19,3±0,02 e	18,7±0,26 C
	S2	8,1±0,09	9,3±0,10	8,7±0,26	20,1±0,04	21,5±0,04	20,8±0,31	19,8±0,03 d	21,2±0,04 b	20,5±0,30 B
	S3	8,2±0,07	9,0±0,08	8,6±0,19	21,0±0,04	22,4±0,03	21,7±0,31	20,6±0,04 c	22,0±0,03 a	21,3±0,31 A
	Ort.	8,0±0,07	8,9±0,13		19,8±0,37	21,1±0,41		19,5±0,37 B	20,8±0,40 A	
Toprak sıcaklığı (°C) 10 cm	S1	7,4±0,02	8,0±0,12	7,7±0,15	18,0±0,06	19,2±0,05	18,6±0,27	17,7±0,06 f	18,9±0,05 e	18,3±0,26 C
	S2	7,6±0,06	9,0±0,06	8,3±0,30	19,7±0,07	21,1±0,03	20,4±0,30	19,4±0,06 d	20,8±0,03 b	20,1±0,30 B
	S3	7,9±0,07	8,7±0,04	8,3±0,19	20,7±0,05	22,5±0,07	21,6±0,40	20,4±0,05 c	22,1±0,06 a	21,3±0,39 A
	Ort.	7,6±0,08	8,5±0,16		19,5±0,40	20,9±0,48		19,2±0,39 B	20,6±0,47 A	
Toprak sıcaklığı (°C) 20 cm	S1	6,8±0,04	7,4±0,19	7,1±0,16	17,4±0,08	18,6±0,07	18,0±0,28	17,2±0,08 f	18,4±0,07 e	17,8±0,27 C
	S2	7,0±0,05	8,5±0,02	7,8±0,34	19,4±0,02	20,6±0,05	20,0±0,27	19,0±0,02 d	20,3±0,05 b	19,7±0,27 B
	S3	7,6±0,03	8,4±0,01	8,0±0,17	20,3±0,08	22,1±0,06	21,2±0,40	20,0±0,08 c	21,8±0,06 a	20,9±0,40 A
	Ort.	7,2±0,13	8,1±0,19		19,0±0,43	20,4±0,50		18,7±0,42 B	20,1±0,50 A	
Tair (°C)	S1	12,4±0,03	13,4±0,07	12,9±0,23	22,1±0,22	22,4±0,10	22,3±0,13	21,8±0,22	22,2±0,09	22,0±0,13 A
	S2	15,6±0,13	15,8±0,23	15,7±0,12	21,9±0,12	22,2±0,11	22,0±0,09	21,7±0,12	22,0±0,11	1,9±0,09 AE
	S3	13,0±0,21	13,1±0,03	13,0±0,10	21,8±0,03	22,1±0,09	22,0±0,07	21,5±0,03	21,8±0,09	21,6±0,07 B
	Ort.	13,6±0,50	14,1±0,43		21,9±0,08	22,2±0,07		21,7±0,09 B	22,0±0,08 A	

AG: Ahrir gübresi; MG: Mineral gübre; $p < 0,05$



Şekil 60. 2022 yılı sezonluk CO₂ salımlarının hava sıcaklıkları ve H₂O salımları ile 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerindeki nem ve sıcaklık değerleriyle ilişkileri (n = 262). **: (p<0,01)

Bitki Ölçümleri

Silajlık mısırdaki fiziksel (bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot verimi, kuru madde verimi), kimyasal (asit deterjan lif (ADF), nötr deterjan lif (NDF), ham protein, makro (N, P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn, Zn) element içerikleri) ile fizyolojik (klorofil içeriği (SPAD), stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği, yaprak alan indeksi ve membran zararlanması) özellikler değerlendirilmiştir.

Bitki Fiziksel Özellikleri

Deneme yılları ve deneme yılları ortalamalarına ait silajlık mısırın bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot verimi ve kuru madde verimi değerlerinin varyans analiz sonuçlarına göre ahır gübresi ve sulama uygulamalarının genelde istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,01$) etkisinin olduğu belirlenmiştir (Ek 50-53 ve 79).

Bitki Boyu

İki yıllık ortalamalar göz önüne alındığında, ahır gübresi uygulamasında bitki boyunun mineral gübre uygulamasına göre %11,5 daha fazla olduğu belirlenmiştir (Tablo 49). Bu durum, ahır gübresinin başta azot olmak üzere makro ve mikro bitki besin elementleri ile bitki gelişimini desteklediğini göstermektedir. Başta ahır gübresi olmak üzere organik materyallerin sadece azot değil, aynı zamanda fosfor ve potasyum gibi makro besin elementleri bakımından da zengin olması ve toprak yapısını iyileştirerek ve kök gelişimi artırmasıyla besin maddesi alımını artırdığı Arslan (2016), Karagöz (2018) ve Atasever *et al.* (2020) tarafından da ifade edilmiştir.

Sulama uygulamaları arasında, S1 uygulamasının bitki boyunu en fazla artıran uygulama olduğu belirlenmiştir (Tablo 49). S1 sulama uygulaması, S2'ye göre %8,9 ve S3'e göre ise %14,7 daha yüksek bitki boyu sağlamıştır. Bu sonuçlar, bitkinin suya daha kolay erişiminin ve vejetatif büyümesinin teşvik edilmesinin kritik olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, toprağın kuru kalma süresinin uzadığı ve böylece su stresinin arttığı S3 sulama uygulaması koşullarında, bitki gelişiminin baskılandığı ve bu nedenle bitki boyunun önemli ölçüde azaldığı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, birçok araştırmacı da su stresinin artmasıyla birlikte silajlık mısırdaki bitki boyunun azaldığını bildirmişlerdir (Çakmakçı, 2018; Akşit, 2020; Keten, 2020; Bhattarai *et al.* 2020; Demir ve ark., 2021; Yerli, 2022; Balbaa *et al.* 2022; Ata, 2023; Altun, 2024; Schmitt *et al.* 2024).

Tablo 49. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Boyuna (cm) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	243,7±4,14	222,1±5,25	232,9±5,68 A
	S2	221,5±4,70	206,0±2,19	213,7±4,17 B
	S3	212,6±6,99	202,8±1,92	207,7±3,91 B
	Ort.	225,9±5,37 A	210,3±3,46 B	
2022	S1	270,7±2,46	232,1±5,99	251,4±9,11 A
	S2	251,0±0,30	211,7±5,05	231,4±9,09 B
	S3	225,4±4,81	203,9±4,46	214,6±5,63 C
	Ort.	249,0±6,75 A	215,9±4,95 B	
2021-2022	S1	257,2±2,64	227,1±5,08	242,2±7,20 A
	S2	236,3±2,24	208,8±3,45	222,5±6,40 B
	S3	219,0±5,88	203,3±1,44	211,2±4,42 C
	Ort.	237,5±5,87 A	213,1±4,03 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Gövde Çapı

Silajlık mısır bitkisinde gövde (sap) çapı, sık sulamayla artış göstermiş, S1 uygulaması, daha geniş aralıklı S2 uygulamasına göre %4,6 ve S3 uygulamasına göre ise %12,9 daha fazla gövde çapı sağlamıştır (Tablo 50).

Sık sulama koşullarında, topraktaki nem seviyesinin daha uzun süre optimum düzeyde tutulması, bitki metabolizmasının düzenli işlemlerini sağlayarak hem hücre genişlemesi hem de doku kalınlaşması yoluyla gövde çapında artışa neden olmuştur. Çamoğlu *et al.* (2011), Çakmakçı (2018), Demir *et al.* (2021), Yerli (2022) ve Altun (2024) özellikle mısır bitkisi gibi yüksek su ihtiyacı olan türlerde yetersiz sulamanın gövde çapını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Tablo 50. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Gövde Çapına (mm) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	23,2±1,91	21,1±0,34	22,1±0,99
	S2	21,2±1,04	20,9±0,57	21,1±0,54
	S3	19,9±1,04	19,3±0,43	19,6±0,52
	Ort.	21,5±0,84	20,4±0,36	
2022	S1	24,6±0,39	22,4±0,26	23,5±0,53 A
	S2	23,0±0,42	22,3±0,06	22,6±0,25 B
	S3	21,2±0,37	20,6±0,43	20,9±0,28 C
	Ort.	22,9±0,53	21,7±0,33	
2021-2022	S1	23,9±1,14	21,7±0,15	22,8±0,70 A
	S2	22,1±0,32	21,6±0,31	21,8±0,23 A
	S3	20,6±0,52	19,9±0,06	20,2±0,27 B
	Ort.	22,2±0,61	21,1±0,30	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Silajlık Ot Verimi

İki yıllık ortalamalara göre, ahır gübresi uygulanan parsellerde silajlık ot verimi, mineral gübre uygulamasına kıyasla %32,6 oranında daha yüksek belirlenmiştir. Benzer şekilde, sık sulanan S1 uygulamasında, S2'ye göre %16,3 ve S3'e göre %42,4 daha fazla silajlık ot verimi elde edilmiştir (Tablo 51). En yüksek verimin elde edildiği AG-S1 uygulaması (14,2 t/da), MG-S1 uygulamasına göre %42 daha fazla silajlık ot verimi sağlamıştır. Toprağın kuru kalma sürecinin artması, ahır gübresinin mineral gübreye göre verim avantajını sınırlamış, S2 uygulamasında %36,4, S3 uygulamasında ise %17,9 verim artışı belirlenmiştir. Bu durum, toprak neminin ahır gübresinin mineralizasyonundaki önemini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, toprakta hem besin elementlerinin hem de nemin yeterli düzeyde bulunmasının verim artışında temel belirleyiciler olduğunu göstermektedir.

Ahır gübresinin toprak yapısını iyileştirmesi ve zengin azot, fosfor, potasyum gibi makro besin maddelerinin yanı sıra mikro elementleri de içermesi (Tablo 4), silajlık mısırın biyokütle üretimini desteklemektedir. Arslan (2016), organik gübre ile beslenen topraklarda silajlık mısırın veriminin önemli ölçüde arttığını belirtmiştir.

Tablo 51. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Silajlık Ot Verimine (t/da) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	12,4±0,51 a	9,4±0,50 bc	10,9±0,75 A
	S2	10,0±0,68 b	8,3±0,21 cd	9,2±0,5 B
	S3	8,7±0,50 bcd	7,2±0,38 d	7,9±0,44 C
	Ort.	10,4±0,62 A	8,3±0,38 B	
2022	S1	16,0±0,09 a	10,7±0,13 c	13,3±1,19 A
	S2	14,0±0,82 b	9,3±0,17 de	11,7±1,11 B
	S3	9,6±0,15 cd	8,3±0,25 e	9,0±0,32 C
	Ort.	13,2±1,00 A	9,4±0,35 B	
2021-2022	S1	14,2±0,29 a	10,0±0,32 c	12,1±0,95 A
	S2	12,0±0,32 b	8,8±0,02 d	10,4±0,73 B
	S3	9,2±0,29 d	7,8±0,29 e	8,5±0,37 C
	Ort.	11,8±0,74 A	8,9±0,35 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Gezer (2012) ve Altun (2024)'de organik materyal karıştırılmış toprakta makro ve mikro besin elementlerinin artışıyla birlikte silajlık ot veriminin önemli miktarda arttığı vurgulanmıştır. Saraçoğlu (2023) ve Norouzi *et al.* (2024) tarafından yapılan çalışmalarda da özellikle azot içeriğindeki artışın bitki verimini artırdığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Bozpolat

(2009), akmakı (2018), Yağmur ve Okur (2018), Yılmaz (2018), Yerli (2022) ile Ateş ve açan (2023)'de toprakta N, P, K başta olmak üzere besin elementlerinin artışına bağı olarak mısır veriminde önemli artışlar rapor etmişlerdir.

Sık sulama yapılan koşullarda daha yüksek verim elde edilmesi, su stresinin silajlık mısır üzerindeki baskılayıcı etkisini açıkça göstermiştir. Benzer şekilde, akmakı (2018)'de silajlık mısırdaki artan su kısıtının verimde önemli miktarda düşüşe neden olduğunu belirlemiştir. Ayrıca Yerli (2022), Kamali *et al.* (2022), Balbaa *et al.* (2022), Araujo *et al.* (2023) ve Altun (2024)'te su stresinin silajlık ot verimi üzerindeki olumsuz etkisini teyit etmişlerdir.

Ek 93'te gösterildiğı gibi, silajlık ot verimi ile bitki boyu ve gövde çapı arasında anlamlı pozitif ilişkiler bulunmuş ve verimin bitki boyu ve gövde çapındaki artışlarla doğrudan ilişkili ($p<0,01$) olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, morfolojik göstergelerin biyolojik verimi desteklediğini ortaya koymuştur.

Bitkinin fotosentetik kapasitesini gösteren yaprak klorofil içeriğinin bir göstergesi olan SPAD değeri, yaprak yüzeyinde gaz alışverişini düzenleyerek CO₂ alımını kolaylaştıran stoma iletkenliğı ile birlikte, yaprak alan indeksi ve bitki büyümesini ve metabolik süreçlerin etkinliğini artıran yaprak oransal su içeriğı, silajlık ot verimi ile pozitif yönlü ve istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) korelasyon göstermiştir. Diğer yandan, membran zararlanması ile negatif yönde ve istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,01$) bir ilişki bulunmuştur. Bu durum, bitkinin fizyolojik stres düzeyindeki artışın verim üzerinde baskılayıcı etkisi olduğunu göstermektedir (Ek 93). Böylece, artan gübre dozları ve daha sık sulama koşullarında fizyolojik göstergelerin iyileşmesinin verim artışını desteklediğı ortaya konulmuştur. Moreira *et al.* (2020), organik materyal uygulamasının mısır bitkisinde fotosentetik aktivite ve stoma iletkenliğini iyileştirdiğini, Motta ve Maggiore (2013) ve Karagöz (2018) ise bitkiye azot girişiyle fizyolojik gelişmelerin mısır veriminde artışa neden olduğunu vurgulamışlardır.

Kuru Madde Verimi

En yüksek kuru madde verimi, ahır gübresi uygulanan ve sık sulama yapılan AG-S1'den (4,18 t/da) elde edilmiştir (Tablo 52). AG-S1 uygulaması kuru madde verimini MG-S1 uygulamasına göre %44,6 artırmıştır. Silajlık ot verimi ve kuru madde verimi arasında güçlü bir korelasyon ($p<0,01$) belirlenmiş ve kuru madde veriminin, silajlık ot verimiyle paralel olarak değıştiğı ortaya konmuştur (Ek 93). Benzer şekilde, akmakı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024) çalışmalarında silajlık ot verimi ile kuru madde verimi arasında pozitif ilişki olduğu ifade edilmiştir.

Bozpolat (2009), Arslan (2016) ve Yılmaz (2018), organik materyallerin organik madde ve besin elementleri sayesinde kuru madde veriminde artış sağlandığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada SPAD, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve stoma iletkenliği gibi fizyolojik parametreler ile kuru madde verimi arasında anlamlı ve pozitif ($p<0,01$), membran zararlanma ile negatif ($p<0,01$) ilişkiler saptanmıştır. Gomaa *et al.* (2021), kuru madde veriminde su stresinin fotosentez üzerindeki olumsuz etkisine vurgu yaparken, Bouazzama *et al.* (2012) yaprak alanındaki azalmanın kuru madde verimini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Artan su stresinin bitki metabolizmasını yavaşlattığı, klorofil içeriğini azalttığı ve bu nedenle fotosentezin sınırlandırılarak kuru madde üretiminin azaldığı göz önüne alındığında, topraktaki su stresinin artması, kuru madde verimini azaltan önemli bir etken olarak öne çıkmıştır (Ucak *et al.* 2016; Kale *et al.* 2018; Çakmakçı, 2018; Yerlikaya, 2018; Demir ve ark., 2021; Yerli, 2022; Altun, 2024).

Tablo 52. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Kuru Madde Verimine (t/da) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	3,61±0,191	2,69±0,130	3,15±0,229 A
	S2	2,82±0,212	2,33±0,050	2,58±0,147 B
	S3	2,43±0,163	1,98±0,105	2,20±0,133 C
	Ort.	2,95±0,197 A	2,33±0,115 B	
2022	S1	4,75±0,094 a	3,08±0,073 c	3,92±0,376 A
	S2	3,99±0,257 b	2,63±0,021 d	3,31±0,325 B
	S3	2,69±0,060 d	2,29±0,097 d	2,49±0,102 C
	Ort.	3,81±0,312 A	2,67±0,120 B	
2021-2022	S1	4,18±0,074 a	2,89±0,096 c	3,53±0,293 A
	S2	3,40±0,107 b	2,48±0,031 d	2,94±0,213 B
	S3	2,56±0,109 d	2,13±0,089 e	2,35±0,114 C
	Ort.	3,38±0,239 A	2,50±0,116 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; $p < 0,05$

Bitki Kimyasal Özellikleri

ADF (asit detarjan lif), NDF (nötr detarjan lif) ve ham protein oranı

ADF, yemlerde sindirilemeyen selüloz ve lignin gibi lif bileşenlerinden, NDF ise selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi sindirim direnci yüksek lif bileşenlerinden oluşmaktadır. ADF ve NDF üzerine gübre ve sulama uygulamalarının önemli ($p<0,01$) etkiler oluşturduğu tespit edilmiştir (Ek 54-55, 79). İki yıllık ortalama değerlere göre, en yüksek ADF ve NDF değerleri mineral gübre ve S3 sulama uygulamalarında kaydedilmiştir (Tablo 53-54). Buna

karşılık, ahır gübresi uygulamalarında ADF ve NDF oranlarında mineral gübreye göre önemli azalmalar gözlemlenmiştir. ADF oranı, mineral gübreye kıyasla ahır gübresi uygulamasında %5,4, NDF oranı ise %5 daha düşük bulunmuştur. Sulama uygulamaları açısından değerlendirildiğinde de, sık sulanan S1 sulama uygulaması ile ADF ve NDF oranlarının S3'e kıyasla sırasıyla %4,4 ve %3,3 daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

ADF değeri yükseldikçe, yemin sindirilebilir enerji içeriği düşmektedir. Benzer şekilde, yüksek NDF oranları da hayvanların yem tüketimini ve sindirim verimliliğini olumsuz etkilemekte, yemden sağlanan toplam enerjiyi azaltmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada mineral gübre ve toprakta stresi artıran sulama uygulamalarının ADF ve NDF oranlarındaki artışla, yem kalitesini düşürdüğü görülmüştür. Çakmakçı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024)'de silajlık mısırdaki toprakta artan stresin ADF ve NDF'yi azalttığını belirlemişlerdir.

Tablo 53. Gübre ve Sulama Uygulamalarının ADF Oranına (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	28,74±0,154	30,14±0,056	29,44±0,322 C
	S2	29,26±0,127	30,46±0,103	29,86±0,279 B
	S3	29,84±0,064	31,43±0,299	30,64±0,380 A
	Ort.	29,28±0,170 B	30,68±0,214 A	
2022	S1	29,32±0,304	31,49±0,100	30,40±0,505 C
	S2	30,25±0,203	31,59±0,036	30,92±0,313 B
	S3	30,76±0,127	33,14±0,330	31,95±0,554 A
	Ort.	30,11±0,239 B	32,07±0,286 A	
2021- 2022	S1	29,03±0,167	30,81±0,078	29,92±0,407 C
	S2	29,75±0,129	31,02±0,069	30,39±0,292 B
	S3	30,30±0,094	32,28±0,310	31,29±0,466 A
	Ort.	29,70±0,196 B	31,38±0,248 A	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 54. Gübre ve Sulama Uygulamalarının NDF Oranına (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	53,21±0,046 f	55,90±0,062 c	54,55±0,603 C
	S2	54,44±0,060 e	57,09±0,064 b	55,76±0,594 B
	S3	55,10±0,029 d	58,41±0,078 a	56,76±0,740 A
	Ort.	54,25±0,278 B	57,13±0,364 A	
2022	S1	54,59±0,255 e	57,91±0,039 c	56,25±0,752 C
	S2	56,37±0,159 d	58,69±0,134 b	57,53±0,527 B
	S3	56,43±0,123 d	59,30±0,134 a	57,87±0,646 A
	Ort.	55,80±0,316 B	58,63±0,208 A	
2021-2022	S1	53,90±0,148 f	56,91±0,012 c	55,40±0,676 C
	S2	55,40±0,050 e	57,89±0,040 b	56,64±0,556 B
	S3	55,77±0,072 d	58,86±0,103 a	57,31±0,692 A
	Ort.	55,02±0,290 B	57,89±0,283 A	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

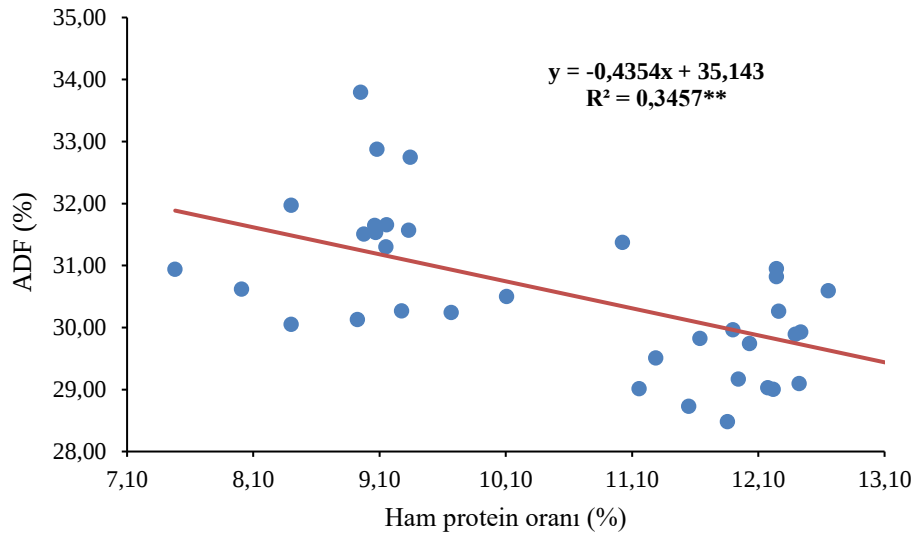
Araştırma sonuçları, ahır gübresinin silajlık mısır bitkisinde ham protein oranı üzerine önemli ($p<0,01$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur (Ek 56, 79). İki yıllık ortalamalara göre, ahır gübresi uygulamasında ham protein oranı, mineral gübre uygulamasına göre %33,2 daha yüksek belirlenmiştir (Tablo 55). Bu önemli artış, ahır gübresinin yüksek miktarda azot içermesiyle açıklanabilir (Tablo 4). Azot, bitkide amino asit ve protein sentezini artırmakta ve böylece yem kalitesi açısından önemli bir parametre olan ham protein oranını yükseltmektedir. Benzer şekilde, Kale *et al.* (2018) ve Yerli (2022) topraktaki azot içeriğinin artması ile silajlık mısırdaki ham protein oranının paralel şekilde yükseldiği belirtmişlerdir. Toprakta ahır gübresinin yavaş salınımlı sürekli erişilebilir azot kaynağı olması, bitkinin azot alımını optimize ederek büyüme döneminde protein sentezini desteklemektedir.

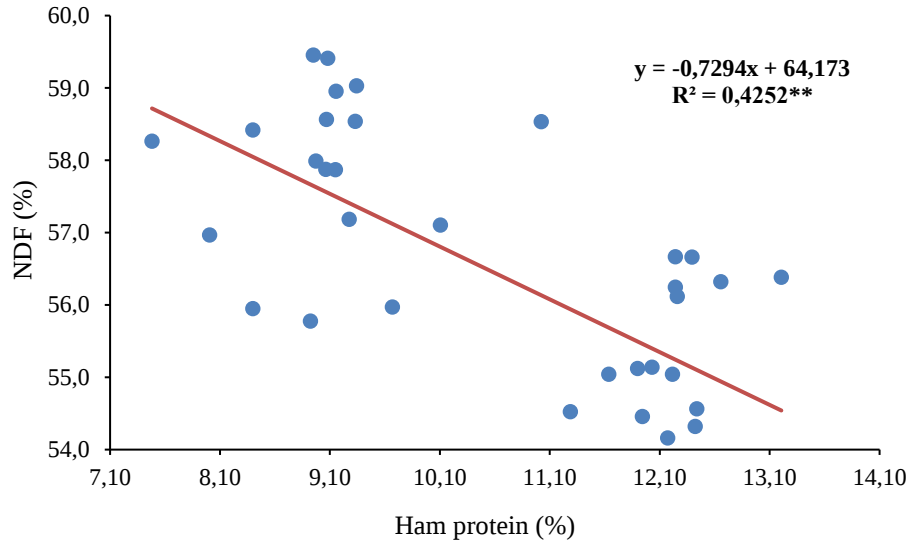
Tablo 55. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Ham Protein Oranına (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	11,52±0,203	9,00±0,368	10,26±0,595
	S2	11,89±0,330	9,13±0,611	10,51±0,690
	S3	11,86±0,116	8,97±1,062	10,41±0,803
	Ort.	11,75±0,130 A	9,03±0,370 B	
2022	S1	12,28±0,081	9,06±0,051	10,67±0,720
	S2	12,44±0,116	9,19±0,077	10,81±0,730
	S3	12,56±0,321	9,13±1,116	10,84±0,784
	Ort.	12,43±0,109 A	9,12±0,046 B	
2021-2022	S1	11,90±0,106	9,03±0,175	10,47±0,648
	S2	12,16±0,196	9,16±0,328	10,66±0,693
	S3	12,21±0,208	9,05±0,509	10,63±0,749
	Ort.	12,09±0,100 A	9,08±0,183 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Ahır gübresi uygulamalarında ham protein içeriğinin daha yüksek olması, ADF ve NDF değerlerinin daha düşük olmasıyla birlikte gözlenmiştir. Bu durum, ham protein oranı ile ADF ve NDF oranları arasındaki önemli ($p < 0,01$) negatif ilişkilerle desteklenmiştir (Şekil 61,62, Ek 93).

**Şekil 61.** Ham protein oranı ile ADF arasındaki ilişki (n=36; $p < 0,01$)



Şekil 62. Ham protein oranı ile NDF arasındaki ilişki (n=36; p<0,01)

Bitkide makro-mikro element içerikleri

Silajlık mısır bitkisinde makro (N, P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn, Zn) element içerikleri üzerine gübre uygulamalarının etkisi önemli (p<0,01) bulunmuş, sulama uygulamalarının ise sadece P içeriği üzerine önemli (p<0,01) etkisinin olduğu belirlenmiştir (Ek 57-66, 79). Ahır gübresi ile gübreleme hem makro hem de mikro element içeriklerinde, mineral gübre uygulamasına göre daha fazla artışlar sağlamıştır (Tablo 56-65).

Ahır gübresinin toprakta, özellikle yüzey tabakada, besin maddesi yoğunluğunu artırarak (Tablo 13-20, 23-26), bitki köklerinin bu elementlere erişimini kolaylaştırması, bu sonucun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ahır gübresi, organik maddece zengin yapısı sayesinde besin elementi alımını destekleyerek, bu elementlerin bitkiler tarafından alınabilirliğini artırmaktadır. Çakmakçı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024) de katı veya çözünmüş organik madde girişiyle toprakların verimlilik düzeylerinin yükseldiğini ve bunun bitki dokularında mineral içeriklerini artırdığını ifade etmişlerdir.

Sulama uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, sık sulama yapılan S1 uygulamasında P içeriğinin azaldığı belirlenmiştir (Tablo 57). Fosforun toprakta düşük hareketliliği ve nemli koşullarda kil mineralleri ve kalsiyumla güçlü bağlar oluşturmalarının fosforun bitkiler tarafından alınabilirliğini azalttığı ifade edilebilir (Altun, 2024).

Sodyumun da bitki fizyolojisinin düzenlenmesinde, K ve Ca ile oranı üzerinden önemli etkileri bulunmaktadır. Çünkü K/Na oranının artması; protein sentezi, azot-karbon metabolizması, fotosentez ve stoma düzenlemesi gibi birçok fizyolojik süreç üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Oosterhuis *et al.* 2014; Hu *et al.* 2016; Xu *et al.* 2020). Ca/Na oranının artması da, kalsiyumun hücre duvarını koruyucu işlevi sayesinde, sodyumun toksik etkilerini

sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada ahır gübresi uygulamasında, iki yıllık ortalama, K/Na oranı 1,08 ve mineral gübre uygulamasında 0,96, Ca/Na oranı da ahır gübresi uygulamasında 0,48, mineral gübre uygulamasında 0,45 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu durum ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre artan klorofil içeriği ve stoma iletkenliği ile azalan membran zararlanmasını da açıklayabilir (Tablo 66, 70).

Tablo 56. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki N İçeriğine (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	1,85±0,032	1,44±0,059	1,64±0,095
	S2	1,90±0,053	1,46±0,098	1,68±0,110
	S3	1,90±0,019	1,43±0,170	1,67±0,129
	Ort.	1,88±0,021 A	1,45±0,059 B	
2022	S1	1,97±0,013	1,45±0,008	1,71±0,115
	S2	1,99±0,019	1,47±0,012	1,73±0,117
	S3	2,01±0,051	1,46±0,019	1,74±0,125
	Ort.	1,99±0,018 A	1,46±0,007 B	
2021-2022	S1	1,90±0,017	1,44±0,028	1,67±0,104
	S2	1,95±0,031	1,47±0,053	1,71±0,111
	S3	1,95±0,033	1,45±0,081	1,70±0,120
	Ort.	1,93±0,016 A	1,45±0,029 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 57. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki P İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	0,242±0,010 b	0,173±0,012 c	0,207±0,017 B
	S2	0,250±0,006 b	0,186±0,006 c	0,218±0,015 B
	S3	0,359±0,011 a	0,180±0,012 c	0,270±0,041 A
	Ort.	0,284±0,019 A	0,180±0,006 B	
2022	S1	0,239±0,030 b	0,169±0,006 c	0,204±0,021 B
	S2	0,247±0,017 b	0,182±0,009 c	0,214±0,017 B
	S3	0,341±0,018 a	0,176±0,008 c	0,259±0,038 A
	Ort.	0,275±0,020 A	0,176±0,004 B	
2021-2022	S1	0,241±0,020 b	0,171±0,009 c	0,206±0,018 B
	S2	0,248±0,009 b	0,184±0,003 c	0,216±0,015 B
	S3	0,350±0,011 a	0,178±0,003 c	0,264±0,039 A
	Ort.	0,279±0,019 A	0,178±0,003 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 58. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki K İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	1,42±0,077	1,12±0,100	1,27±0,088
	S2	1,39±0,029	1,10±0,085	1,25±0,076
	S3	1,40±0,006	1,19±0,041	1,29±0,049
	Ort.	1,40±0,024 A	1,14±0,042 B	
2022	S1	1,38±0,077	1,10±0,100	1,24±0,085
	S2	1,37±0,023	1,09±0,085	1,23±0,072
	S3	1,39±0,005	1,18±0,041	1,28±0,049
	Ort.	1,38±0,024 A	1,12±0,042 B	
2021-2022	S1	1,40±0,039	1,11±0,050	1,25±0,071
	S2	1,38±0,015	1,10±0,043	1,24±0,066
	S3	1,39±0,005	1,19±0,020	1,29±0,046
	Ort.	1,39±0,012 A	1,13±0,024 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 59. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Ca İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	0,650±0,020	0,513±0,023	0,582±0,034
	S2	0,653±0,009	0,547±0,007	0,600±0,024
	S3	0,590±0,012	0,533±0,015	0,562±0,015
	Ort.	0,631±0,013 A	0,531±0,009 B	
2022	S1	0,609±0,032	0,502±0,019	0,555±0,029
	S2	0,619±0,003	0,550±0,023	0,585±0,019
	S3	0,558±0,004	0,532±0,012	0,545±0,008
	Ort.	0,595±0,013 A	0,528±0,012 B	
2021-2022	S1	0,633±0,026 a	0,507±0,017 c	0,570±0,031
	S2	0,637±0,006 a	0,550±0,015 bc	0,593±0,021
	S3	0,573±0,008 b	0,533±0,001 bc	0,553±0,010
	Ort.	0,614±0,013 A	0,530±0,009 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 60. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Mg İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	2,05±0,218	1,65±0,055	1,85±0,135
	S2	2,02±0,130	1,66±0,028	1,84±0,100
	S3	1,93±0,026	1,67±0,030	1,80±0,061
	Ort.	2,00±0,076 A	1,66±0,020 B	
2022	S1	1,97±0,013	1,64±0,055	1,80±0,080
	S2	1,99±0,130	1,67±0,028	1,83±0,093
	S3	1,89±0,015	1,67±0,007	1,78±0,052
	Ort.	1,95±0,041 A	1,66±0,019 B	
2021-2022	S1	2,01±0,103	1,64±0,028	1,83±0,095
	S2	2,00±0,065	1,66±0,014	1,83±0,081
	S3	1,91±0,017	1,67±0,012	1,79±0,055
	Ort.	1,97±0,039 A	1,66±0,010 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 61. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Na İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	1,33±0,047	1,17±0,053	1,25±0,047
	S2	1,29±0,007	1,18±0,015	1,24±0,027
	S3	1,31±0,012	1,18±0,030	1,25±0,032
	Ort.	1,31±0,015 A	1,18±0,018 B	
2022	S1	1,25±0,020	1,16±0,020	1,21±0,023
	S2	1,26±0,017	1,18±0,030	1,22±0,023
	S3	1,28±0,011	1,18±0,017	1,23±0,026
	Ort.	1,27±0,010 A	1,17±0,012 B	
2021-2022	S1	1,29±0,014	1,17±0,031	1,23±0,031
	S2	1,28±0,011	1,18±0,014	1,23±0,023
	S3	1,30±0,011	1,18±0,013	1,24±0,028
	Ort.	1,29±0,007 A	1,18±0,011 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 62. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	157,5±11,605	122,3±4,949	139,9±9,686
	S2	157,0±7,446	124,1±3,408	140,6±8,219
	S3	164,6±3,432	120,2±8,324	142,4±10,711
	Ort.	159,7±4,281 A	122,2±3,016 B	
2022	S1	154,7±0,914 b	121,6±1,746 c	138,2±7,449
	S2	154,7±2,746 b	123,0±1,265 c	138,8±7,201
	S3	163,6±1,415 a	119,2±0,216 c	141,4±9,949
	Ort.	157,7±1,759 A	121,3±0,834 B	
2021-2022	S1	156,1±5,984	122,0±1,856	139,0±8,133
	S2	155,8±3,030	123,6±2,311	139,7±7,414
	S3	164,1±1,500	119,7±4,268	141,9±10,131
	Ort.	158,7±2,406 A	121,8±1,600 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 63. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	3,27±0,267	2,41±0,189	2,84±0,242
	S2	3,09±0,188	2,45±0,069	2,77±0,169
	S3	3,07±0,157	2,35±0,074	2,71±0,179
	Ort.	3,14±0,109 A	2,40±0,064 B	
2022	S1	3,06±0,146	2,36±0,022	2,71±0,169
	S2	2,88±0,057	2,39±0,121	2,64±0,125
	S3	2,86±0,115	2,31±0,036	2,58±0,133
	Ort.	2,93±0,064 A	2,35±0,039 B	
2021-2022	S1	3,16±0,146	2,39±0,104	2,78±0,191
	S2	2,99±0,121	2,42±0,078	2,70±0,142
	S3	2,96±0,076	2,33±0,027	2,65±0,146
	Ort.	3,04±0,067 A	2,38±0,041 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 64. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	43,20±2,574	35,54±1,775	39,37±2,212
	S2	42,73±1,334	36,44±1,196	39,59±1,619
	S3	42,09±0,983	34,94±0,921	38,52±1,709
	Ort.	42,68±0,898 A	35,64±0,707 B	
2022	S1	41,39±0,755	35,17±0,541	38,28±1,452
	S2	40,92±0,333	36,07±0,797	38,49±1,152
	S3	40,28±1,084	34,57±0,743	37,43±1,407
	Ort.	40,87±0,425 A	35,27±0,413 B	
2021-2022	S1	42,30±1,632	35,35±0,623	38,83±1,738
	S2	41,83±0,827	36,25±0,571	39,04±1,325
	S3	41,19±1,030	34,75±0,796	37,97±1,552
	Ort.	41,77±0,627 A	35,45±0,400 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Tablo 65. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Bitki Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

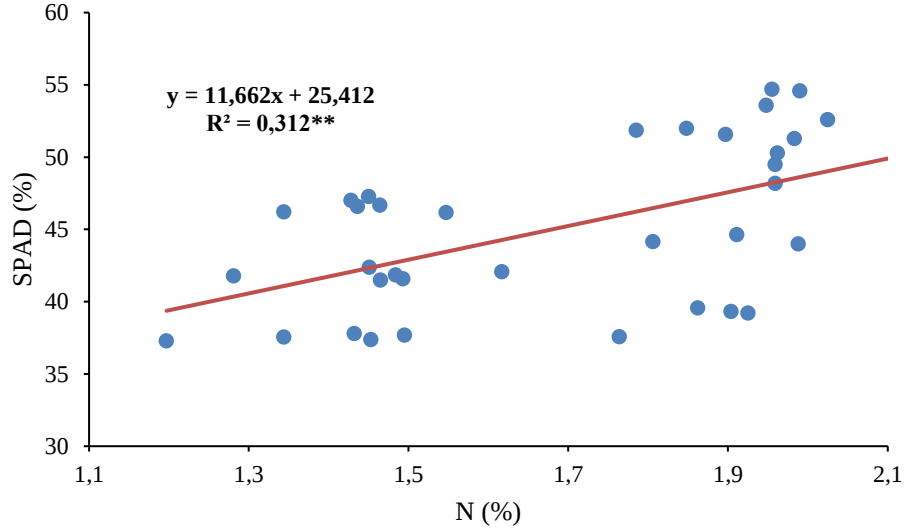
Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	12,35±0,616 ab	9,97±0,811 c	11,16±0,700
	S2	12,83±0,707 a	10,42±0,269 bc	11,63±0,636
	S3	12,76±0,649 a	9,68±0,632 c	11,22±0,798
	Ort.	12,65±0,338 A	10,03±0,325 B	
2022	S1	12,04±0,620	9,90±0,371	10,97±0,577
	S2	12,52±0,169	10,37±0,584	11,45±0,551
	S3	12,45±0,293	9,63±0,368	11,04±0,666
	Ort.	12,34±0,217 A	9,97±0,251 B	
2021-2022	S1	12,20±0,607	9,94±0,228	11,07±0,583
	S2	12,68±0,332	10,40±0,285	11,54±0,546
	S3	12,61±0,358	9,65±0,134	11,13±0,682
	Ort.	12,49±0,237 A	10,00±0,156 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Bitki Fizyolojik Ölçümleri

Gübre ve sulama uygulamalarının sezon içi ortalama klorofil içeriği (SPAD) ve stoma iletkenliği ile sezon sonu yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma üzerine önemli ($p<0,01$) etkilerinin olduğu belirlenmiştir (Ek 67-71, 79). Membran zararlanma dışında ahır gübresi uygulamasında daha yüksek değerler belirlenmiş, sulamanın daha sık yapılmasının da pozitif etkiler sağladığı görülmüştür. Membran zararlanmasında ise tersine en düşük değerler belirlenmiştir (Tablo 66-70).

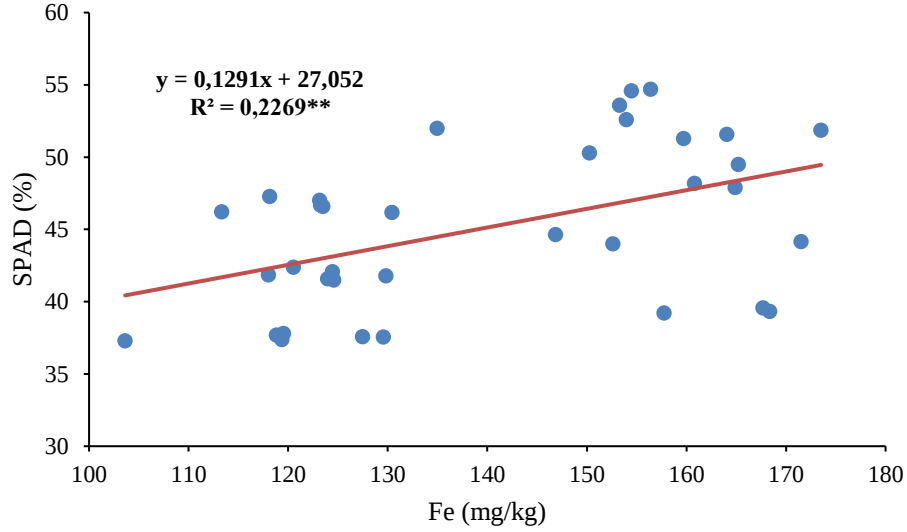
İki yıllık ortalama göre, ahır gübresi uygulaması mineral gübreyle kıyasla %15 oranında daha yüksek SPAD değeri sağlamıştır (Tablo 66). Ahır gübresinin SPAD değerini artırmadaki etkisi, bitkide yüksek azot içeriğiyle açıklanabilir. Azot, klorofil molekülünün temel yapısal bileşeni olduğundan, azot miktarının artması klorofil sentezini artırmaktadır. Khadem *et al.* (2010), mısır bitkisinde maksimum yaprak klorofil değerinin ahır gübresi uygulamasında görüldüğünü bildirmişlerdir. Naderia ve Ghadiri (2010)'ise, ahır gübresinin mısır bitkisinin hem klorofil içeriğini (SPAD) hem de yaprak N içeriğini artırdığını, dolayısıyla SPAD değerleri ile yaprak azotu arasında önemli bir ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Çakmakçı (2018) ve Altun (2024)'da mısır bitkisinde azot ve SPAD arasında pozitif doğrusal bir korelasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da bitki azot içeriği ile SPAD arasında önemli ($p<0,01$) pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 63).



Şekil 63. N içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Sulama uygulamaları göz önüne alındığında, en düşük SPAD değeri, su stresinin en yüksek olduğu S3 sulama uygulamasında belirlenmiştir. S1 sulama uygulamasına kıyasla, S2 uygulamasında %10, S3 uygulamasında ise %18,2 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Bitkinin su stresi girmesi klorofil sentezini baskılanmıştır göstermektedir. Su stresi, turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesini yavaşlamakta, protein ve klorofil sentezini olumsuz yönde etkilemektedir. Badaou ve Şahin (2021), bitki su dengesindeki bozulmanın hücre büyümesini ve membran sentezini sınırlandırarak, protein ve klorofil içeriğini azalttığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Khadem *et al.* (2010), Çakmakçı (2018) ve Altun (2024)'de silajlık mısırdaki artan stres koşullarında yaprak klorofil içeriğinin olumsuz etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Fe kloroplast ve protein oluşumunda öneminden dolayı klorofilin önemli bir kaynağıdır (Altun, 2024). Bu çalışmada da Fe içeriği ile SPAD değeri arasında önemli (p<0,01) doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Silajlık mısırdaki benzer ilişki Yerli (2022) ve Altun (2024) tarafından da belirlenmiştir.



Şekil 64. Fe içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Tablo 66. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Klorofil İçeriğine (SPAD) (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	51,8±0,13 a	46,5±0,27 b	49,2±1,20 A
	S2	44,3±0,19 c	41,9±0,09 d	43,1±0,54 B
	S3	39,4±0,11 e	37,5±0,09 f	38,4±0,43 C
	Ort.	45,2±1,81 A	42,0±1,30 B	
2022	S1	54,3±0,35 a	46,9±0,22 d	50,6±1,67 A
	S2	51,4±0,67 b	41,8±0,29 e	46,6±2,16 B
	S3	48,5±0,49 c	37,6±0,12 f	43,1±2,45 C
	Ort.	51,4±0,87 A	42,1±1,34 B	
2021-2022	S1	53,1±0,24	46,7±0,11	49,9±1,43 A
	S2	47,8±0,41	41,9±0,14	44,9±1,35 B
	S3	44,0±0,30	37,6±0,06	40,8±1,44 C
	Ort.	48,3±1,33 A	42,0±1,32 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Stoma iletkenliği bitkinin gaz alışverişi potansiyelini, dolayısıyla karbon beslenmesini ve transpirasyon etkinliğini doğrudan etkileyen önemli fizyolojik göstergelerden biridir. Stoma iletkenliği sulama uygulamalarına göre önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 67). Su stresi arttıkça stoma iletkenliğinde önemli düşüşlerin yaşandığı tespit edilmiştir. S1 uygulaması ile karşılaştırıldığında, S2 uygulamasına göre S2’de %46,9, S3’te ise %59,8 oranında daha düşük stoma iletkenliği ölçülmüştür (Tablo 67). Pietragalla ve Pask (2012), daha açık stomanın daha yüksek iletkenlikle fotosentez ve terleme (transpirasyon) oranlarının artmasını sağladığını ifade etmiştir. Bu çalışmada, stoma iletkenliği ile SPAD arasında belirlenen önemli doğrusal ilişki de (p<0,01) bu durumu desteklemektedir (Ek 93).

Tablo 67. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Stoma İletkenliğine (mmol/m²s) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	180,1±1,12 a	154,0±0,85 b	167,1±5,87 A
	S2	91,1±1,19 c	85,7±0,85 d	88,4±1,37 B
	S3	71,5±1,31 e	63,2±0,96 f	67,4±1,99 C
	Ort.	114,2±16,72 A	101,0±13,65 B	
2022	S1	186,4±2,03 a	154,9±0,67 b	170,7±7,11 A
	S2	95,3±0,39 c	86,5±0,94 d	90,9±2,01 B
	S3	73,1±0,87 e	63,7±1,10 f	68,4±2,21 C
	Ort.	118,3±17,35 A	101,7±13,72 B	
2021-2022	S1	183,3±1,41 a	154,5±0,36 b	168,9±6,47 A
	S2	93,2±0,48 c	86,1±0,86 d	89,7±1,64 B
	S3	72,3±0,28 e	63,5±1,02 f	67,9±2,04 C
	Ort.	116,3±17,03 A	101,3±13,68 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Sulama uygulamalarında yaprak oransal su içeriği açısından da stoma iletkenliğine benzer bir eğilim gözlenmiştir. Su stresinin daha uzun sürdüğü S3 uygulamasında, yaprak oransal su içeriği S2 ve S1 uygulamalarına göre sırasıyla %6,5 ve %9,9 daha düşük bulunmuştur (Tablo 68). Birçok çalışmada da belirtildiği gibi (Dhanda and Sethi, 2002; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022), yaprak oransal su içeriği ile su stresi arasında ters yönlü bir değişim olduğu görülmüştür. Sampathkumar *et al.* (2014)'de, mısırdaki yeterli sulanan bitkilerde, su stresine maruz kalanlara göre daha yüksek yaprak su içeriği değerleri gözlemlenmiştir. Su stresinin artması, yaprakların turgorunu kaybetmesiyle yaprak oransal su içeriğini düşürmekte ve böylece büyüme ve metabolik işlevlerde yavaşlamaya yol açmaktadır (Altun, 2024).

Tablo 68. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Yaprak Oransal Su İçeriğine (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	89,3±0,34	87,0±0,43	88,2±0,57 A
	S2	86,5±0,05	83,9±0,28	85,2±0,59 B
	S3	80,5±0,11	78,8±0,25	79,6±0,39 C
	Ort.	85,4±1,31 A	83,3±1,21 B	
2022	S1	92,4±0,28 a	87,4±0,03 c	89,9±1,11 A
	S2	88,7±0,21 b	84,2±0,03 d	86,4±1,02 B
	S3	81,8±0,12 e	79,9±0,39 f	80,8±0,47 C
	Ort.	87,6±1,56 A	83,8±1,10 B	
2021-2022	S1	90,8±0,10 a	87,2±0,22 b	89,0±0,82 A
	S2	87,6±0,10 b	84,1±0,15 c	85,8±0,80 B
	S3	81,1±0,09 d	79,3±0,25 e	80,2±0,42 C
	Ort.	86,5±1,43 A	83,5±1,15 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

İki yıllık ortalamalara göre, ahır gübresi uygulamasında yaprak alan indeksi değerleri mineral gübre uygulamasına göre %18,3 daha yüksek belirlenmiştir (Tablo 69). Bu artış, ahır gübresinin sağladığı yüksek düzeyde azot ve organik madde içeriğinin, bitki gelişimini teşvik edici etkisiyle doğrudan ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Bitki azot içeriğiyle yaprak alan indeksi arasında önemli ($p < 0,01$) doğrusal bir ilişki belirlenmiştir (Ek 93). Bitkinin fotosentez kapasitesinin büyük ölçüde yaprak alanına bağlı olduğu göz önüne alındığında, yaprak alan indeksi ile SPAD arasında da önemli ($p < 0,01$) pozitif ilişki bulunmuştur (Ek 93). Benzer şekilde, Altun (2024)'da silajlık mısırdaki yaprak alan indeksinin organik gübreleme koşullarında, fotosentez artışıyla birlikte verim artışına önemli katkılar sağladığını ifade etmiştir.

Su stresi ise, hem ahır hem de mineral gübre uygulamalarında yaprak alan indeksini düşürmüş, su stresinin en fazla olduğu S3 sulama uygulamasında en düşük değerler gözlemlenmiştir (Tablo 69). Ahır gübresi uygulamasında, S1 sulama rejimine kıyasla S2 ve S3 uygulamalarında sırasıyla %14,6 ve %25,6 oranlarında azalma kaydedilmiştir. Mineral gübre uygulamasında azalmalar da sırasıyla %6,2 ve %15,4 olarak belirlenmiştir (Tablo 69). Bu bulgular, su stresinin yaprak büyümesini baskıladığını, buna bağlı olarak yaprak yüzey alanının küçüldüğünü ve bunun da fotosentetik aktivitenin düşmesine neden olarak verimi azalttığını ortaya koymaktadır (Tablo 51). Benzer şekilde, Çakmakçı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024)'ün de mısırdaki artan stresin yaprak alan indeksini önemli derecede azalttığını ve verimi olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir.

Tablo 69. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Yaprak Alan İndeksine (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	7,7±0,17 a	6,4±0,09 c	7,0±0,31 A
	S2	6,7±0,08 b	6,0±0,08 d	6,3±0,17 B
	S3	5,8±0,12 de	5,5±0,03 e	5,6±0,08 C
	Ort.	6,7±0,29 A	6,0±0,13 B	
2022	S1	8,6±0,06 a	6,6±0,12 c	7,6±0,45 A
	S2	7,3±0,04 b	6,2±0,11 d	6,7±0,25 B
	S3	6,3±0,06 d	5,6±0,03 e	6,0±0,18 C
	Ort.	7,4±0,33 A	6,1±0,16 B	
2021-2022	S1	8,2±0,09 a	6,5±0,10 c	7,3±0,38 A
	S2	7,0±0,02 b	6,1±0,10 d	6,5±0,21 B
	S3	6,1±0,09 d	5,5±0,03 e	5,8±0,12 C
	Ort.	7,1±0,31 A	6,0±0,14 B	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

Hücre zarı bütünlüğünün bozulması anlamına gelen membran zararlanması su eksikliği, yüksek sıcaklık veya oksidatif stres gibi çevresel baskıların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Hücre zarı, osmotik dengelemeyi ve metabolik faaliyetleri kontrol ettiği için, bu yapının zarar görmesi bitki sağlığını ciddi şekilde etkilemektedir. Silajlık mısır bitkisinde membran zararlanması, sulama düzeylerine bağlı olarak önemli düzeyde değişim göstermiştir (Ek 71). S3 uygulamasında membran zararlanması, S2'ye göre %30, S1'e göre ise %100 oranında daha fazla bulunmuştur (Tablo 70). Benzer şekilde, Yerli (2022) ve Altun (2024)'te silajlık mısır bitkisinde membran zararlanmasının su stresiyle doğru orantılı olarak arttığını ifade etmişlerdir. Su stresinin artışıyla birlikte bitki dokularında artan su kaybı, stomaların kapanmasına ve sonuçta yaprak sıcaklığında yükselmeye neden olarak membran yapılarında zarara yol açmaktadır (Pıtır, 2015; Çakmakçı, 2018; Yarış, 2018). Bu çalışmada da stoma iletkenliği ve membran zararlanma arasında önemli ($p < 0,01$) negatif korelasyon belirlenmiştir (Ek 93).

Tablo 70. Gübre ve Sulama Uygulamalarının Membran Zararlanma İndeksine (%) Etkisi

Yıl	Sulama	AG	MG	Ort.
2021	S1	12,1±0,34	14,0±0,48	13,1±0,49 C
	S2	19,0±0,44	21,0±0,31	20,0±0,52 B
	S3	24,7±0,05	26,8±0,45	25,8±0,50 A
	Ort.	18,6±1,83	20,6±1,86	
2022	S1	11,0±0,17	13,9±0,55	12,5±0,71 C
	S2	18,0±0,05	21,0±0,23	19,5±0,67 B
	S3	24,1±0,24	26,7±0,32	25,4±0,62 A
	Ort.	17,7±1,89	20,5±1,86	
2021-2022	S1	11,6±0,25	14,0±0,51	12,8±0,59 C
	S2	18,5±0,19	21,0±0,27	19,7±0,58 B
	S3	24,4±0,13	26,7±0,39	25,6±0,56 A
	Ort.	18,1±1,86	20,6±1,86	

AG: Ahır gübresi; MG: Mineral gübre; p < 0,05

SONUÇ ve ÖNERİLER

Silajlık mısır yetiştiriciliğinde ahır gübresi (AG) ve mineral gübrele (MG) uygulamaları ile farklı sulama rejimlerinin (S1, S2 ve S3) toprak özellikleri, topraktan CO₂ salımı, verim, fizyoloji ve kalite ile su verimliliğinde uygulamaların önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Deneme yılları ortalaması göz önüne alındığında, sulama suyu ihtiyacı ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre %5,7, toprağın kuru kalma sürecinin en fazla olduğu S3 uygulamasında da S1 ve S2'ye göre sırasıyla %9,3 ve %5,2 daha az belirlenmiştir.

Ahır gübresi uygulaması, mineral gübreye göre gerçek evapotranspirasyon (ETa) değerini %4,8 azaltmıştır. S2 sulama rejimi ise S1'e göre %2,9 ve S3'e göre %8,7 daha az su tüketimine neden olmuştur.

Silajlık ot verimi ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre %32,9 daha fazla belirlenmiştir. Sık sulanan S1 uygulamasında S2'ye göre %16,3, S3'e göre %43,3 daha fazla verim elde edilmiştir. En yüksek verim, AG-S1 uygulamasında 14,20 t/da olarak belirlenmiş, MG-S1'e göre %44,4 daha fazla olmuştur.

Silaj verimi arttıkça su verimliliği de önemli derecede artmış, ahır gübresi mineral gübreye göre su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (IWP) değerlerini sırasıyla %39,4 ve %40,1 artırmıştır. S1 uygulamasında WP değerleri S2'ye göre %13,1, S3'e göre %52,3, IWP değeri de S2'ye göre %11,5 ve S3'e göre %30,2 daha fazla belirlenmiştir. AG-S1 uygulamasında (35,1 kg/m³) MG-S1'e göre WP %48,1, IWP (46,5 kg/m³) %49,5 daha fazla belirlenmiştir.

Deneme öncesine göre, ahır gübresi uygulaması toprak kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerini iyileştirmiştir. Ahır gübresinin karıştırıldığı yüzey tabakada (0-30 cm) etkinin en fazla olduğu belirlenmiştir. Sulama rejimlerinin ise yüzey tabakada bazı parametrelerde (NO₃-N, değişebilir Ca ve Mg, KDK, Cu, Mn, porozite, tarla kapasitesi ve yarayışlı su) kısmi anlamlı etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.

Denemenin ikinci yılında, toprak kimyasal özelliklerindeki iyileşmelerde ilk yıla göre kısmi azalmalar gözlenmiştir.

İki yıllık ortalamalarına göre 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak tabakalarında ahır gübresi uygulamasında pH değeri (7,40, 7,68 ve 7,86) mineral gübreye göre sırasıyla %3,1, %2,9 ve

%2,8 daha düşük bulunmuştur. Yüzey tabakada sulama rejimlerinin etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Ahır gübresi uygulaması, yüzey tabakada EC değerini (0,367 dS/m) mineral gübreye göre 2,1 kat artırmıştır. Ancak artan EC'nin, hem toprak tuzluluğu eşik değeri olan 4 dS/m'nin hem de mısır yetiştiriciliği için sınır kabul edilen 1,7 dS/m'nin oldukça olduğu belirlenmiştir.

0-30 cm ve 30-60 cm'lik tabakalarda CaCO_3 içeriği ahır gübresi uygulamasında düşen pH etkisiyle önemli derecede azalmıştır. Bu kapsamda mineral gübreye göre (%0,44 ve %1,46) 0-30 cm'de %29,6 ve 30-60 cm'de %2,7 daha düşük belirlenmiştir. Topraklar çok az kireçli sınıfta (< %2) yer almıştır.

Gübrenin karıştırıldığı yüzey tabakada ahır gübresinin yüksek organik madde içeriğine (%43) bağlı olarak toprakta mineral gübreye göre (%0,94) 2,78 kat daha fazla organik madde içeriği belirlenmiştir. Ahır gübresi uygulaması toprakların ilk yıl (%3,18) zengin (> %2,5), ikinci yıl (%2,04) orta (%1,5-2,5) seviyede organik maddeye sahip sınıfta yer almasını sağlamıştır.

Ahır gübresi uygulaması, yüzey tabakada toplam Kjeldahl-N içeriğini (%0,350) 3,5 kat, $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriğini (1,42 mg/kg) ise 5,1 kat artırmıştır. Daha sık sulamada (S1) $\text{NO}_3\text{-N}$ 'deki artışı desteklemiş ve S1 de S3'e göre artış %20,3 daha yüksek değerler göstermiştir.

Yüzey tabakada, ahır gübresi uygulamasında sırasıyla 12,05 kg/da ve 116,80 kg/da olarak belirlenen alınabilir fosfor (P_2O_5) ve potasyum (K_2O) içerikleri gübreye göre %17,6 ve %11,6 daha fazla belirlenmiştir. Alınabilir fosfor ve potasyum içerikleri bakımından her iki gübre uygulamasında da topraklar iyi sınıfta (> 6 kg/da ve > 59 kg/da) yer almıştır.

Yüzey tabakada ahır gübresi uygulamasında içerikten kaynaklı olarak mineral gübre uygulamasına göre değişebilir Ca, Mg, Na ve K içerikleri (18,1 cmol/kg, 6,72 cmol/kg, 0,430 cmol/kg ve 1,004 cmol/kg) sırasıyla %13,2, %13,9, %20,1 ve %14,2 oranında artmıştır. KDK'da artış miktarı ise mineral gübreye göre (%23,13 cmol/kg) %13,5 olarak belirlenmiştir. KDK'ya miktar olarak en önemli katkı değişebilir Ca ile sağlanmıştır. Değişebilir Na etkisiyle, ahır gübresi uygulamasında ESP değeri mineral gübreye göre %5,8 artış göstermiştir. Buna karşın %1,64'lük ESP değeri toprakta sodyumluluk sınırının çok altında (< %15) kalmıştır.

Değişebilir Ca ve Mg içeriğinde en fazla artış, ahır gübresi uygulamasında S2 sulama rejiminde belirlenmiş olup topraktaki Mg artışının Ca artışı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Ahır gübresi uygulamasında S2 sulama rejimi ile KDK değerinin de en yüksek olduğu (26,46 cmol/kg) belirlenmiştir.

Ahır gübresinin mevcut mikro element içeriğinden kaynaklanarak, Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri yüzey tabakada mineral gübreye göre (3,37 mg/kg, 2,80 mg/kg, 6,98 mg/kg ve 57,54 mg/kg) sırasıyla %8, %13,9, %3,2 ve %7,4 daha yüksek bulunmuştur. Sık sulama uygulaması ahır gübresinin Cu ve Mn katkısını daha fazla artırmıştır. Artan makro ve mikro besinler bitki gelişimini ve verimdeki önemli artışları desteklemiştir.

Ahır gübresi uygulamasında yüzey tabakada kütle yoğunluğunda ($1,23 \text{ g/cm}^3$) ve tane yoğunluğunda (2,64) mineral gübreye göre düşüş oranları ile porozitede (%53,55) artış oranı sırasıyla %3,2, %1,5 ve %1,6 olarak belirlenmiştir.

Organik madde katkısı ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre (%49,60) ıslak agregat stabilitesini %15 artırmıştır. Ahır gübresi uygulamasında, özellikle agregasyonun ve kısmen porozitenin iyileşmesi, düşük tansiyonlarda tutulan su miktarını artıran gözenek büyüklük dağılımını olumlu etkilemiştir. Bu durum yüzey tabakada %24,46 olarak belirlenen tarla kapasitesindeki su miktarını mineral gübrelemeye göre %1,8, 41,86 mm olarak belirlenen yarayıslı su miktarını ise %0,6 artırmıştır.

Ahır gübresi infiltrasyon hızını artırmış, mineral gübre uygulamasında kararlı infiltrasyon hızı, iki yıllık ortalamada, ahır gübresine göre %87,1 daha düşük belirlenmiştir. S1 sulama uygulamasına kıyasla da S2 ve S3 uygulamalarında da sırasıyla %10,6 ve %17,5 daha düşük kararlı infiltrasyon hızları belirlenmiştir.

Toprakta organik karbon stok değişimlerine bağlı olarak potansiyel CO₂ salımı, iki yıllık ortalama veriler göz önüne alındığında, ahır gübresi uygulamasında mineral gübre uygulamasına göre %122,7 daha fazla bulunmuştur.

İki bin yirmi iki yılı CO₂ salımı ölçüm sonuçlarına göre, ortalama salımın ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre %169,7, S1 uygulamasında ise S3'e göre %7,9 daha fazladır. CO₂ salımı, toprak nemi ve H₂O salımıyla önemli derecede lineer ilişkiler, toprak ve hava sıcaklığıyla negatif lineer ilişkiler göstermiştir.

Ahır gübresi uygulamasıyla artan bitki boyu ve gövde çapındaki etkilerle silajlık ot verimi (11,8 t/da) mineral gübreye göre %32,6 daha fazla belirlenmiştir. Kuru madde verimi de (3,38 t/da) %35,2'lik bir artışla silajlık ot verimine yakın değişim göstermiştir.

Silajlık ot verimi sulamanın sık yapıldığı koşullarda da yüksek bulunmuş, AG-S1 uygulaması MG-S1 uygulamasına göre silajlık ot verimini (14,2 t/da) ve kuru madde verimini (4,18 t/da) sırasıyla %42 ve %44,6 oranında artırmıştır.

Ahır gübresi uygulaması, bitkide yüksek N içeriğiyle ham protein oranını artırarak ADF ve NDF oranlarını önemli seviyede düşürmüştür. Ahır gübresi uygulamasında ADF ve NDF

oranları (%29,70 ve %55,02) mineral gübreye göre sırasıyla %5,4 ve %5 daha düşük, ham protein oranı da (%12,09) %33,1 daha fazla belirlenmiştir. ADF ve NDF için en düşük değerler AG uygulamasında sık sulama koşullarında gözlenmiştir.

Sık sulama koşulları bitkide P birikimini sınırlarken, ahır gübresi uygulamasında toprakta artan verimlilikle birlikte bitki makro (N, P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn, Zn) element içerikleri önemli seviyede artmıştır.

Ahır gübresi uygulamasında ve sık sulama koşullarında bitki klorofil içeriği (SPAD), stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği ve yaprak alan indeksi önemli seviyede artmış, membran zararlanma ise azalmıştır. Böylece, iyileşen fizyolojik göstergeler ve artan bitki beslenmesi verimdeki önemli artışları desteklemiştir.

Bu çalışmada ahır gübresi mineral gübrelemeye göre daha fazla besin sağlayarak ve fiziksel, kimyasal ve hidrolik toprak özelliklerini iyileştirerek bitki sağlığını destekleyen ve böylece yüksek üretkenliğe neden olan koşulların oluşmasına katkı sağlamıştır. Toprağa ve bitkiye sağlanan birçok faydaya rağmen, ahır gübresinin çevresel etki kapsamında CO₂ salımlarında artışa yol açabileceği de göz ardı edilmemelidir. Toprakta karbon iyi yönetilemezse ahır gübresi uygulamasının verimi artırma potansiyeli çevresel risklerle kısıtlanmış olacaktır. Toprak, bitki ve çevre sağlığını birlikte iyileştirmek için, ahır gübresi uygulanan koşullarda, toprak neminin iyi yönetilmesi ve birim verim başına CO₂ salımlarını azaltacak sulama yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda S1 uygulamasında CO₂ salımları artmasına rağmen artan verimden dolayı birim verim başına CO₂ salımlarının azaltılmasının sağlanabilmesi önemli bulunmuştur (Badaou and Sahin, 2025).

KAYNAKLAR

- Abdallah A.H.M., Sahin U., 2020. Saline-sodic soil reclamation with stabilized sewage sludge and recycled wastewater. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(12), 2121-2137.
- Açıkgöz, N., 1993. Tarımda Araştırma ve Deneme Metotları. E.Ü.Z.F. Yayınları, No: 478, III. Basım, İzmir.
- Adekiya, A.O., Agbede, T.M., Olayanju, A., Ejue, W.S., Adekanye, T.A., Adenusi, T.T., Ayeni, J.F., 2020. Effect of biochar on soil properties, soil loss, and Cocoyam yield on a tropical sandy loam alfisol. *The Scientific World Journal*, 2, 1-9.
- Adeyemo, A.J., Akingbola, O.O., Ojeniyi, S.O., 2019. Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 73-80.
- Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Bird, M.I., 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295-306.
- Ağaçayak, T., Öztürk, L., 2017. Türkiye’de Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Stratejiler. İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi. İmak Ofset Basım Yayın San. ve Tic. Ltd. Şti. ISBN: 978-605-9178-95-2.
- Aita, C., Giacomini, S.J., Hübner, A.P., 2007. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42, 95-102.
- Ak, A., 2017. Banaz Koşullarında Silajlık Mısır Çeşitlerinin Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Akın, A.İ., Adıgüzel, M.C., 2020. Determination of different soil tillage methods effects on irrigation water saving to silage maize grown under Erzurum plateau. *Turkish Journal of Nuclear Science*, 32(1).
- Akila, D., Ramasubramanian, V., 2015. Studies on the nutrients status from two different wastes by using *Eisenia foetida*. *Indian Journal of Science and Technology*, 15(45), 42-49.
- Akşit, C., 2020. Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemi ile Uygulanan Farklı Sulama Suyu Miktarlarının Silajlık Mısır Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alkharabsheh, H.M., Seleiman, M.F., Battaglia, M.L., Shami, A., Jalal, R.S., Alhammad, B.A., Al-Saif, A.M., 2021. Biochar and its broad impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review. *Agronomy*, 11(5), 993.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56, Rome.
- Altun, M., 2024. Farklı Sulama Rejimleri Altında Arıtma Çamuru Uygulamasının Silajlık Mısır Yetiştirilen Toprakta Üretkenlik Parametreleri ve Karbon Stok Değişimi Üzerine

- Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Altun, M., Sahin, U., 2025. Frequent irrigation of silage maize in soil containing sewage sludge reduces CO₂ emissions per unit yield by increasing productivity. *Water, Air and Soil Pollution*, 236, 231.
- Anđın, N., 2006. İkinci Ürün Mısırdaki Farklı Sulama Zamanlarının Fotosentetik Su Kullanım Etkinliği ve Bununla İlgili Diğer Yaprak Özelliklerine Etkisi. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ankenbauer, K., Loheide, S.P., 2016. II. The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes*. 31, 891–901.
- Anonymous, 1996. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf> (17.07.2022).
- Anonymous, 2007. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (23.03.2023).
- Anonymous, 2018. Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet. Karbon Proje, 27 Eylül 2018, İlis Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymous, 2019. Bayer Crop Science, Türkiye. <https://www.cropscience.bayer.com.tr/turkiye/urunlerimiz/dekalb-misir/urun-ayrintisi.html/dkc6777.html> (18.06.2025).
- Anonymous, 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN> (08.05.2024).
- Araujo, J.L., De Mesquita, A.J., Rocha, R.H.C., Santos, J.Z.L., Dos Santos Barbosa, R., Da Costa, F. M.N., da Silva Sá, F.V., 2023. Beneficial microorganisms affect soil microbiological activity and corn yield under deficit irrigation. *Agriculture*, 13(6), 1169.
- Arıtürk, M.E., 2008. İkinci Ürün Silajlık Mısırın Sulama Zamanının Planlanması ve Su Verim Kalite İlişkilerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Arıtürk, M.E., Erdem Y., 2011. İkinci ürün silajlık mısırın (*Zea Mays L.*) sulama zamanının planlanması ve su-verim-kalite ilişkilerinin belirlenmesi. *Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 73-82.
- Arslan, A., 2016. Silajlık mısır yetiştiriciliğinde organik gübre kullanımının verim ve bazı verim özelliklerine etkisi. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9(2), 37-41.
- Asri, F.Ö., Demirtaş, E.I., Özkan, C.F., Arı, N., 2011. Organik ve kimyasal gübre uygulamalarının hıyar bitkisinin verim, kalite ve mineral içeriklerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 139-143.
- Ata, B., 2023. Konya-Beyşehir İlçesinde Farklı Ekim Şekli ve Sulama Seviyelerinin Damla Sulama ile Sulanan Silajlık Mısır Bitkisinin Verim ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Etkisi. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Atakul, Ş., Kahraman, Ş., Kılınç, S., 2016. Diyarbakır ikinci ürün şartlarında bazı silajlık mısır genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (DUFED)*, 5(2), 47-50.
- Atasever, M., Yılmaz, Ş., Ertekin, İ., 2020. Ekim zamanının Amik Ovası koşullarında yetiştirilen bazı mısır (*Zea mays L.*) çeşitlerinde ot verimi ve kalitesine etkisi. Mustafa

- Ateş, Y.K., Çağan, E., 2023. İki farklı taban gübresi uygulamasının bazı silajlık mısır çeşitlerinin hasıl verimi ve kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 13(2), 154-163. .
- Avcı, S.N., 2019. Bazı Atıdışı Hibrid Mısır (*Zea Mays* L.) Genotiplerinin Silaj Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Ayamba, B.E., Abaidoo, R.C., Opoku, A., Ewusi-Mensah, N., 2021. Enhancing the fertilizer value of cattle manure using organic resources for soil fertility improvement: a review, *Journal of Bioresource Management*, 8(3), 9.
- Aydemir, M., Kara, Z., 2023. Yumuşak çekirdekli meyve yapraklarının toprakların bazı özelliklerine etkisi. *Spec Journal of Agricultural Sciences*, 7(1), 45-52.
- Aydınşakir, K., Ünlü, A., Yılmaz, S., Arı, N., 2011. Kentsel katı atık kompost uygulamalarının toprak özellikleri ve düğün çiçeği (*Ranunculus Asiaticus* ‘Orange’)’nin verim ve kalitesi üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 55-60.
- Ayyıldız, M., 1983. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 879/24, Ankara.
- Badaou, A.N.A.D., Şahin, U., 2021. The effect of different irrigation regimes on chlorophyll content (spad) in silage maize grown by organic fertilization. 3rd International Conference on Food, Agriculture and Animal Sciences (ICOFAAS 2021), Erzurum, Türkiye, 13 - 17 Ekim 2021, ss.299-306.
- Badaou, A.N.A.D., Sahin, U., 2022. Effects of sewage sludge amendment and wetting-drying cycles of wastewater irrigation on structural improvement of clay soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(7), 6453-6466.
- Badaou, A.N.A.D., Sahin, U., 2025. Frequent irrigation in manure-fertilized soil reduces CO₂ emissions per unit yield by increasing maize silage yield. *Water Air and Soil Pollution*, 236, 449.
- Balbaa, M. G., Osman, H. T., Kandil, E. E., Javed, T., Lamlom, S. F., Ali, H. M., Abdelghany, A. M., 2022. Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 959203.
- Baran, Ö., 2015. Farklı Sulama Seviyeleri ve Azot Dozlarının Silajlık Mısırdaki (*Zea mays* l.) Verim, Verim Ögeleri ile Silaj Kalitesine Etkileri. Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Barut, B.Z., Turgut, M.M., Akbolat, D., Celik, I., 2012. Effects of tillage systems on CO₂ emissions from soil. *International Conference of Agricultural Engineering CIGRAgeng*, 8-12.
- Basso, B., Ritchie J.T., 2018. Evapotranspiration in high-yielding maize and underincreased vapor pressure deficit in the US Midwest. *Agricultural and Environmental Letter*, 3, 170039.
- Başer, İ., Gençtan, T., 1999. Heritability and effects of some characters on silage yields in dent corn varieties (*zea mays indentata sturt.*) grown under drought conditions. *Journal of Korean Grassland Science*, 19(2), 177-182.
- Bedel, L., Legout, A., Poszwa, A., Van Der Heijden, G., Court, M., Goutal-Pousse, N., Ranger, J., 2018. Soil aggregation may be a relevant indicator of nutrient cation availability. *Annals of Forest Science*, 75, 1-12.

- Benešová, M., Hola, D., Fischer, L., Jedelský, P. L., Hnilička, F., Wilhelmová, N., Fridrichova, L., 2012. The physiology and proteomics of drought tolerance in maize: early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration. *PLoS One*, 7(6), e38017.
- Benke, M.B.; Indraratne, S.P.; Hao, X.; Chang, C.; Goh, T.B., 2008. Trace element changes in soil after long-term cattle manure applications. *Journal of Environmental Quality*, 37, 798-807.
- Bhatt, M.K., Labanya, R., Joshi, H.C., 2019. Influence of Long-term Chemical fertilizers and Organic Manures on Soil Fertility - A Review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177-188.
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L., 2020. Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. *Crop Science*, 60(4), 2167-2179.
- Biswas, S.K., Mojid, M.A., Wyseure, G.C.L., 2017. Physicochemical properties of soil under wheat cultivation by irrigation with municipal wastewater in Bangladesh. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(1), 1-10.
- Black, C.A., 1965. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Inc, Publisher, Madison, Wisconsin USA.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986a. Particle density, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No: 9, Madison, 377-381.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986b. Bulk density, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No:9, Madison, pp. 363-375.
- Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P., Mailhol, J.C., 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(4), 1-10.
- Bozkurt, S., Yazar, A., 2011. Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research*, 6(23), 5291-5300.
- Bozpolat, A.T., 2009. Fülvik Asit + Humik Asit, Humus ve Kompostun Saksıda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Kuru Madde Miktarı ve Bazı Bitki Besin Elementleri Üzerine Etkisi. Y. Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Brunetto, G., Comin, J.J., Schmitt, D.E., Guardini, R., Mezzari, C.P., Oliveira, B.S., Moraes, M.P., Gatiboni, L.C., Lovato, P.E., Ceretta, C.A., 2012. Changes in soil acidity and organic carbon in an sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *Revista Brasileira do Ciencia Solo*, 36, 10-20.
- Budak, M., Günal, H., 2018. Yukarı Dicle havzasında farklı arazi kullanımları altındaki toprakların karbon depolama potansiyelleri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 61-74.
- Buragiene, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriauciūnienė, Z., Avižienytė, D., Naujokienė, V., 2019. Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment*, 662, 786-795.
- Butler, T.J., Han, K.J., Muir, J.P., Weindorf, D.C., 2008. Süt gübresi kompostunun mısır silajı üretimi ve toprak özellikleri üzerindeki etkileri. *Agronomy Journal*, 100, 1541-1545.
- Cakir, H.N., Cimrin, K.M., 2020. The effect of sewage sludge applications on the growth of

- maize (*Zea mays* L.) and some soil properties. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2), 321-327.
- Cakmakci, T., Sahin U., 2021. Improving silage maize productivity using recycled wastewater under different irrigation methods. *Agricultural Water Management*, 255, 107051.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field Capacity and Available Water Capacity. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph No. 9, Soil Science Society of America, Madison, 901-926.
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M., Akpinar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160, 236-243. .
- Change, I.P.O.C., 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- Chávez, C., Limón-Jiménez, I., Espinoza-Alcántara, B., López-Hernández, J. A., BárcenasFerruzca, E., Trejo-Alonso, J., 2020. Water-use efficiency and productivity improvements in surface irrigation systems. *Agronomy*, 10(11), 1759.
- Chen, S.C., Liang, Z.Z., Webster, R., Zhang, G.L., Zhou, Y., Teng, H.F., Hu, B.F., Arrouays, D., Shi, Z., 2019. A high-resolution map of soil pH in China made by hybrid modelling of sparse soil data and environmental covariates and its implications for pollution. *Science of the Total Environment*, 655, 273–283.
- Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, F., Wang, X., 2021. Effects of soil water deficit at different growth stages on maize growth, yield, and water use efficiency under alternate partial root-zone irrigation. *Water*, 13(2), 148.
- Cüre, B., 2022. Kimyasal ve Organik Gübrelerin Çevre Üzerine Etkisi. *Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 3(2), 98-107.
- Çağır, S., 2020. Farklı Olum Dönemlerinde Hasat Edilen Silajlık Mısır Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Çakmak, B., Avcı, S., 2017. Supports provided to irrigation systems in Turkey. *Nevşehir Journal of Science and Technology*, 6, 172–177.
- Çakmakcı, T., 2018. Farklı Yöntemlerle Değişen Seviyelerde Arıtılmış Atık Su Uygulamalarının Silajlık Mısırdaki Su Kullanımı, Bitki ve Toprak Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çamoğlu, G., Genç, L., Aşık, Ş., 2011. Tatlı mısırdaki (*Zea mays saccharata* Sturt) su stresinin fizyolojik ve morfolojik parametreler üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(2), 141-149.
- Çelebi, F.G., Türk, M., 2021. Yüzey Altı Damla Sulama Yöntemi İle Sulanan Silajlık Mısırdaki (*Zea mays* L.) Kısıtlı Su Uygulamalarının Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 207-213.
- Çelebi, R., Çelen, A.E., Çelebi Zorer, Ş., Şahar A.K., 2010. Farklı azot ve fosfor dozlarının mısırın (*Zea mays* L.) silaj verimi ve kalitesine etkisi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4), 16-24.
- Çetin, Ö., Kara, A., 2019. Assessment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. *Agricultural Water Management*. 223, 105693.
- Çıtak, S., Sönmez, S., Koçak, F., Yaşın, S., 2011. Vermikompost ve ahır gübresi uygulamalarının ıspanak (*Spinacia oleracea* var. L.) bitkisinin gelişimi ve toprak

- verimliliği üzerine etkileri. *Derim*, 28(1), 56-69.
- Çiçek, S., 2019. Farklı Önbitki ve Azot Dozlarının Atıdışı Mısır Çeşidinde Verim ve Verim Öğerlerine Etkileri. Y. Lisanas Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Çiğdem, İ., Uzun, F., 2006. Samsun ili taban alanlarında ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek bazı silajlık sorgum ve mısır çeşitleri üzerine bir araştırma. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(1), 14-19.
- Dağdelen, N., Akçay, H., Sezgin, F., Ünay, A., Gürbüz, T., 2009. Farklı sulama rejimleri altında silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7, 53-64.
- Dağdelen, N., Başal, H., Yılmaz, E., Gürbüz, T., Akçay, S., 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 96(1), 111-120.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L., 1986. Porosity, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No: 9, Madison, pp. 443-460.
- Demir, D.A., Sahin, U., 2017. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 24856-24879.
- Demir, D.A., Sahin, U., 2020. Effects of recycled wastewater applications with different irrigation practices on the chemical properties of a vertisol. *Environmental Engineering Science*, 37(2), 132-141.
- Demir, E., Topaç, F.O., 2019. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı: topraktaki azot proseslerinde meydana gelen değişimler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 337-354.
- Demir, M., Sarıyev, A., Acar, M., Sesveren, S., Wahab, T.S., 2021. Kısıntılı sulama altında hibrit mısır çeşitlerinin bazı büyüme parametreleri üzerine bir sera çalışması. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(2), 391-404.
- Deng, Q., Wang, J., Iwuzo, S., Yu, C.L., Jima, T., Smart, D., Reddy, C., Dennis, S., 2015. Corn yield and soil nitrous oxide emission under different fertilizer and soil management: a three-year field experiment in Middle Tennessee. *PLOS ONE* 10(4), e0125406.
- Deniz, N., 2019. Kullanılan Farklı Gübre Çeşitlerinin N₂O ve CO₂ salınımına Etkisi. Y. Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Dhaliwal, S.S., Naresh, R.K., Mandal, A., Walia, M.K., Gupta, R.K., Singh, R., Dhaliwal, M.K., 2019. Effect of manures and fertilizers on soil physical properties, build-up of macro and micronutrients and uptake in soil under different cropping systems: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 2873-2900.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S., 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 139(3), 319-326.
- Dhull, S., Goyal, S., Kapoor, K., Mundra, M., 2004. Microbial biomass carbon and microbial activities of soils receiving chemical fertilizers and organic amendments. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50(6), 641-647. <https://doi.org/10.1080/08927010400011294>.
- Diacono, M., Montemurro, F., 2011. Long-Term Effects of Organic Amendments on Soil Fertility. In: Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M., Debaeke, P. (eds) *Sustainable*

- Diler, S., 2025. Effect of manure addition after reclamation of saline-sodic soils on soil properties and barley yield. *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*,13(2), 413-422.
- Ding, W., Cai, Y., Cai, Z., Yagi, K., Zheng, X., 2007. Soil respiration under maize crops: effects of water, temperature, and nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 944-951.
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, D.S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Angadi, S.V., 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417.
- Doğan, K., Sarioğlu, A., Şakar, E., Karanlık, S., 2018. Zeytin karasuyu, ısıtılmış solucan gübresi ve çiftlik gübresi uygulamalarının toprak mikrobiyal aktivite değişimlerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 151-159.
- Domingues, R.R., Sánchez-Monedero, M.A., Spokas, K.A., Melo, L.C., Trugilho, P.F., Valenciano, M.N., Silva, C.A., 2020. Enhancing cation exchange capacity of weathered soils using biochar: feedstock, pyrolysis conditions and addition rate. *Agronomy*, 10(6), 824.
- DSİ, 2023. 2023 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ, 2024. 2024 yılı Faaliyet Raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- Eghball, B., Wienhold, B.J., Gilley, J.E., Eigenberg, R.A., 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57, 470-473.
- Ekinci, M., Ors, S., Sahin, U., Yildirim, E., Dursun, A., 2015. Responses to the irrigation water amount of spinach supplemented with organic amendment in greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(3), 327-342.
- Ergül, Y., 2008. Silajlık Mısır Çeşitlerinin Önemli Tarımsal ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Fandika, I.R., Kadyampakeni, D., Bottomani, C., Kakhiwa, H., 2007. Comparative response of varied irrigated maize to organic and inorganic fertilizer application. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 1107-1116.
- FAO, 2017. Soil Organic Carbon: The hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fares, A., Bensley, A., Bayabil, H., Awal, R., Fares, S., Valenzuela, H., Abbas, F., 2017. Carbon dioxide emission in relation with irrigation and organic amendments from a sweet corn field. *Journal of Environmental Science and Health*, 52(6), 387-394.
- Fening, J.O., Ewusi-Mensah, N., Safo, E.Y., 2010. Improving the fertilizer value of cattle manure for sustaining small holder crop production in Ghana. *Journal of Agronomy*, 9(3), 92-101.
- Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z-M., Condon, A.G., Saavedra, A.L., 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies, *Crop Science*, 38(6), 1467-1475.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No 9, Madison, pp. 383-412.

- Gezer, E., 2012. İkinci Ürün Silajlık Mısır Üretiminde İSKİ Atık Su Arıtma Çamuru Kullanımının Toprak Özellikleri, Bitki Gelişimi ve Su Kullanımına Etkisi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., Dinçer, A.R., 2023. Mısır bitkisinin ikinci ürün ve silajlık olarak yetiştirilmesinde kullanılan arıtma çamurunun topraktaki makro besin elementleri üzerine etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 798-808.
- Gezgin, S., 2018. Türkiye Topraklarının Organik Madde Durumu, Organik Madde Kaynaklarımız ve Kullanımı. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, Sena Ofset Ambalaj Matbaacılık Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., 12-16. ISBN: 978-975-7169-89-5.
- Giroto, E., Ceretta, C.A., Brunetto, G., Santos, D.R., Silva, L.S., Lourenzi, C.R., Lorensini, F., Renan Vieira, C.B., Schmatz, R., 2010. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 955-965.
- Giroto, E., Ceretta, C.A., Rossato, L.V., Farias, J.G., Tiecher, T.I., De Conti, L., Schmatz, R., Brunetto, G., Schetinger, M.R.C., Nicoloso, F.T., 2013. Triggered antioxidant defense mechanism in maize grown in soil with accumulation of Cu and Zn due to intensive application of pig slurry. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 145–155.
- Gomaa, M.A., Kandil, E.E., El-Dein, A.A.M.Z., Abou-Donia, M.E.M., Ali, H.M., Abdelsalam N.R., 2021. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress, *Science Reports*, 11, 224.
- Gözübüyük, Öztürk, İ., Demir, O., Çelik, A., 2012. Erzurum kuru tarım koşullarında farklı toprak işleme-ekim sistemlerinin toprak nem değişimine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(4), 365-374.
- Gultekin, R., Aavaş, K., Görgişen, C., Öztürk, Ö., Yeter, T., Alsan, P. B., 2023. Effect of deficit irrigation practices on greenhouse gas emissions in drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111757.
- Guo, Z.C., Zhang, Z.B., Zhou, H., Rahman, M.T., Wang, D.Z., Guo, X.S., Li, L.J., Peng, X.H., 2018. Long-term animal manure application promoted biological binding agents but not soil aggregation in a Vertisol. *Soil Tillage Research*, 180, 232-237.
- Gümüş, İ., Şeker, C., Negiş, H., Özaytekin, H. H., Karaarslan, E., Çetin, Ü., 2016. Buğday ekili alanlarda agregat stabilitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 236-242.
- Günen, M., 2016. Tokat Zile Ekolojik Koşullarında Ana Ürün Olarak Yetiştirilebilecek Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Güney, E., Tan, M., Gül, Z.D., Gül İ., 2010. Erzurum şartlarında bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve silaj kalitelerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 105-111.
- Gürel, S., 2024. Gıda atığı kompostu ile kimyasal gübre uygulamasının marul ve ıspanak yetiştirilen vertisol grubu toprakların verimliliğine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(2), 396-408.
- Han, M., Zhang, H., DeJonge K.C., Comas L.H., Trout, T.J., 2016. Estimating maize water stress by standard deviation of canopy temperature in thermal imagery. *Agricultural Water Management*, 177, 400-409.
- Hanson, P.J., Edwards, N.T., Garten, C.T., Andrews, J.A., 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations.

Biogeochemistry, 48, 115-146.

- Hniličková, H., Hnilička, F., Orsák, M., Hejnák, V., 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. *Plant, Soil and Environment*, 65(2), 90-96.
- Hossain, B., Rahman, M., Biswas, J.C., Miah, M.U., Akhter, S., Maniruzzaman, Choudhury, A.K., Ahmed, F., Shiragi, H.K., Kalra, N., 2017. Carbon mineralization and carbon dioxide emission from organic matter added soil under different temperature regimes. *International Journal Recycling of Organic Waste Agriculture*, 6, 311-319.
- Hou, H., Han, Z., Yang, Y., Abudu, S., Cai, H., Li, Z., 2020. Soil CO₂ emissions from summer maize fields under deficit irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4442-4449.
- Hu, W., Jiang, N., Yang, J., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., Zhou, Z., 2016. Potassium (K) supply affects K accumulation and photosynthetic physiology in two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars with different K sensitivities. *Field Crops Research*, 196, 51-63.
- Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., Van Der Zee, S., 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management*, 95(2), 143-153.
- Jat, L.K., Singh, Y.V., Meena, S.K., Meena, S.K., Parihar, M., Jatav, H.S., Meena, R.K., Meena, V.S., 2015. Does integrated nutrient management enhances agricultural productivity? *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9(2), 1211-1221.
- Jiao, P., Yang, L., Nie, X., Li, Z., Liu, L., Zheng, P., 2023. Dependence of cumulative CO₂ emission and microbial diversity on the wetting intensity in drying-rewetting cycles in agriculture soil on the Loess Plateau. *Soil Ecology Letters*, 5, 220147. <https://doi.org/10.1007/s42832-022-0147-1>.
- Kacar, B., 2009. Toprak Analizleri, Genişletilmiş 2. Baskı. Nobel Yayın No: 1387, Ankara.
- Kacar, B., 2014. Bitki, Toprak ve Gübre Analizleri 2. Kolay Uygulanabilir Bitki Analizleri. Nobel Yayın No: 910, Ankara.
- Kacar, B., Katkat, V., 2018. Bitki Besleme. 7. Baskı, Ankara.
- Kale, H., Kaplan, M., Ulger, I., Unlukara, A., Akar, T., 2018. Feed value of maize (*Zea mays* var. *indentata* (Sturtev.) LH Bailey) grain under different irrigation levels and nitrogen doses. *Turkish Journal of Field Crops*, 23(1), 56-61.
- Kamali, B., Jahanbakhshi, F., Dogaru, D., Dietrich, J., Nendel, C., AghaKouchak, A., 2022. Probabilistic modeling of crop-yield loss risk under drought: A spatial showcase for sub-Saharan Africa. *Environmental Research Letters*, 17(2), 024028.
- Kanber, R., 2010. Tarla Sulama Sistemleri. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Kanber, R., Ünlü, M., 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap No: A-87, Adana.
- Kaplan, M., Kara, R., 2014. Silaj Sorgum'da bazı fizyolojik özelliklerin verim üzerine etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(3), 20-31.
- Kara, S., 2011. Konya Ekolojik Koşullarında Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Mısır Bitkisinde Su-Verim İlişkileri. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karaca, A., Turgay, O.C., 2012. Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13-19.

- Karaca, S., 2021. Ağrı ovası tarım topraklarındaki organik madde miktarının diğer toprak özellikleri ve coğrafi koşullarla ilişkisi. *Journal of Ağrı İbrahim Çeçen University Social Sciences Institute*, 7(1), 233-258.
- Karagöz, Ş.M., 2018. Farklı Azotlu Gübre ve Dozlarının Silajlık Mısırın Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi. Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Karakuş, İ., 2021. Şeker Mısırında (*Zea mays saccharata sturt*) Farklı Sulama ve Azot Seviyelerinin Taze Koçan Verimi ile Verim Ögeleri Üzerine Etkisi, Y. Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Karasu, A., Kuscı, H., Mehmet, O.Z., Bayram, G., 2015. The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage maize (*Zea mays indentata Sturt.*). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici ClujNapoca*, 43(1), 138-145.
- Karaşahin, M., 2008. Konya Ekolojik Koşullarında Farklı Olum Grubundan Hibrit Mısır Çeşitlerinin (*Zea mays L.*) Damla ve Karık Sulama Yöntemlerinde Optimum Bitki Sıklığının Tespiti. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kayıkçıoğlu, H.H., Okur, N., 2012. Sera gazı salınımlarında tarımın rolü. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2), 25-38.
- Kayser, M., Isselstein, J., 2005. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass Forage Science*, 60, 213-224.
- Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen-inorganic forms. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 643-698.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No 9, Madison, pp. 425-442.
- Keskin, B., Akdeniz, H., Temel, S., Eren, B., 2018. Farklı tane mısır (*Zea mays L.*) çeşitlerinin besleme değerlerinin belirlenmesi. *Atatürk Üni. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49(1), 15-19.
- Keten, M., 2020. Kısıntılı Sulama Koşullarında Bitki Stres İndeksleri (CWSI ve WDI) Kullanılarak Silajlık Mısır ve Sorgum Bitkilerinin Su-Verim İlişkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Khadem, A.F., Jetten, P.A.M.S., Camp, H.J.M., 2010. Nitrogen fixation by the verrucomicrobial methanotroph 'Methyacidiphilum fumariolicum'. *Microbiology Society*, 156, 1052-1059. <https://doi.org/10.1099/mic.0.036061-0>.
- Kılıç, B., Sönmez, İ., 2019. Farklı organik gübre ve dozlarının toprak özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32, 91-96. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.559450>.
- Kızılgöz, İ., 2012. Organik bitkisel üretimin vazgeçilmez girdisi: ahır gübresi. *Ziraat Mühendisliği*, (358), 14-17.
- Kızılsimşek, M., Akbay, F., Günaydın, T., Kabakçı, A., 2024. Investigation of agronomic characteristics in different silage maize (*Zea mays L.*) varieties under Kahramanmaraş Conditions. *Turkish Journal of agriculture Food science and Technology*, 12(11), 1922-1929.
- Kızıloğlu, F.M., Şahin, U., Kuşlu, Y., Tunc, T., 2009. Determining water-yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. *Irrigation Science*, 27, 129-137.

- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, ASA and SSSA, Madison, 635-662.
- Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 225-245.
- Kobak, Ö., 2019. İkinci Ürün Silajlık Mısırdaki Dinamik Sulama Programı. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Kobak, Ö., Taş İ., 2021. İkinci ürün silajlık mısırdaki dinamik sulama programının verim ve morfolojik özellikler üzerine etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 49-57.
- Kolade, O.O., Coker, A.O., Sridhar, M.K.C., Adeoye, G.O., 2006. Palm kernel waste management through composting and crop production. *Journal of Environmental Health Research*, 5(2): 81-86.
- Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Damalas, C.A., Fotiadis, S., 2023. Municipal sewage sludge effects on maize yield, nitrogen use efficiency, and soil properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 1209-1221.
- Kökten, K., Kaplan, M., Akçura, M., 2017. Farklı çevrelerde yetiştirilen silajlık mısır çeşitlerinin kuru ot verimi ile bazı kalite özellikleri arasındaki ilişkilerinin çeşit özellik biplot analizi ile değerlendirilmesi. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 20, 46.
- Köleli, N., Kantar, Ç., 2006. Fosforlu gübrelerde ağır metal tehlikesi. *Ekoloji Dergisi*, 9, 1-5.
- Kuscu, H., Karasu, A., Oz, M., Demir, A.O., Turgut, I., 2013. Effect of irrigation amounts applied with drip irrigation on maize evapotranspiration, yield, water use efficiency, and net return in a sub-humid climate. *Turkish Journal of Field Crops*, 18, 13-19.
- Kuş, E., Yıldırım, Y., 2017. Geleneksel ve azaltılmış toprak işleme şartlarına bağlı olarak bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi. *Iğdır Üni. Fen Bil. Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 51-61.
- Kuşçu, H., 2010. Bursa Koşullarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinde Kısıntılı Sulamanın Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Uludağ Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kuşvuran, A., Kaplan, M., Nazlı, R.İ., Saruhan, V., Karadağ, Y. 2015. Orta Kızılırmak havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin silajlık olarak yetiştirilme olanaklarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 57-67.
- Lai, R., Arca, P., Lagomarsino, A., Cappai, C., Seddaiu, G., Demurtas, C.E., Reggero, P.P., 2017. Manure fertilization increases soil respiration and creates a negative carbon budget in a Mediterranean maize (*Zea mays* L.)-based cropping system. *Catena*, 151, 202-212.
- Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., Jedidi, N., Gianfreda, L., Abdelly, C., 2010. The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 10(1), 40-47.
- Laurent, C., Bravin, M. N., Crouzet, O., Pelosi, C., Tillard, E., Lecomte, P., Lamy, I., 2020. Increased soil pH and dissolved organic matter after a decade of organic fertilizer application mitigates copper and zinc availability despite contamination. *Science of the Total Environment*, 709, 135927.
- Li, X., Guo, Z., Ma, Y., Leite, P.A.M., Li, Z., Wu, G.L., 2025. Incorporating cattle manure improves hydraulic properties and enhances infiltration rates of low-infiltrability saline-

- sodic soils. *Land Degradation; Development*, 36(3), 945-953.
- Liu, J., He, T., Yang, Z., Peng, S., Zhu, Y., Li, H., Wei, Y., 2024. Insight into the mechanism of nano-TiO₂-doped biochar in mitigating cadmium mobility in soil-pak choi system. *Science of The Total Environment*, 916, 169996.
- Liu, Z., Gao, J., Liu, P., Zhao, B., Zhang J., 2018. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of summer maize response to different nitrogen supplies. *Frontiers in Plant Science*, 9, 576.
- Li-Xian, Y., Guo-Liang, L., Shi-Hua, T., Gavin, S., Zhao-Huan, H., 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Science and Total Environment* 383, 106-114.
- Liza, M.M.J., Islam, M.R., Jahiruddin, M., Hasan, M.M., Alam, M.A., Shamsuzzaman, S.M., Samsuri, A.W., 2014. Residual effects of organic manures with different levels of chemical fertilizers on rice. *Life Science Journal*, 11(12), 6 - 12.
- Loss, A., Da Rosa Couto, R., Brunetto, G., Da Veiga, M., Toselli, M., Baldi, E., 2019. Animal manure as fertilizer: changes in soil attributes, productivity and food composition. *International Journal of Research - Granthaalayah*, 7(9), 307-331.
- Lu, X., Hou, E., Guo, J., Gilliam, F.S., Li, J., Tang, S., Kuang, Y., 2021. Nitrogen addition stimulates soil aggregation and enhances carbon storage in terrestrial ecosystems of China: A meta- analysis. *Global Change Biology*, 27(12), 2780-2792.
- Maillard, É., Angers, D.A., 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 20, 666–679.
- Maltas, A., Kebli, H., Oberholzer, H.R., Weisskopf, P., Sinaj, S., 2018. The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment under a Swiss conventional farming system. *Land Degradation and Development*, 29, 926-938.
- Mancinelli, R., Marinari, S., Brunetti, P., Radicetti, E., Campiglia, E., 2015. Organic mulching, irrigation and fertilization affect soil CO₂ emission and C storage in tomato crop in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 152, 39-51.
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R., Arbones, A., Rufat, J., 2015. Effect of irrigation, nitrogen application, and a nitrification inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from an olive orchard. *Science of the Total Environment*, 538, 966-978.
- Martínez, E., Domingo, F., Roselló, A., Serra, J., Boixadera, J., Lloveras, J., 2017. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated maize and soil N and organic C. *European Journal of Agronomy*, 83, 78-85.
- Mbanjwa, V.E., Hughes, J.C., Muchaonyerwa, P., 2022. Organic carbon and aggregate stability of three contrasting soils as affected by arable agriculture and improved pasture in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2378-2391.
- Mc Lean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement, in: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Agronomy No 9, Madison, pp. 199–223.
- McCauley, A., Jones, C., Olson-Rutz, K., 2017. Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Module No: 8*, Montana State University Extension, p. 16.
- Melenya, C., Bonsu, M., Logah, V., Quansah, C., Adjei-Gyapong, T., Yeboah, I.B., Tuffour, H.O., Abubakari, A., 2015. Carbon sequestration in soils under different land use systems and it impact on climate change. *Applied Research Journal*, 1(3), 164–168.

- Meng, Q., Ma, X., Zhang, J., Yu, Z., 2019. The long-term effects of cattle manure application to agricultural soils as a natural-based solution to combat salinization. *Catena*, 175, 193-202.
- Menšík, L., Hlisnikovský, L., Pospíšilová, L., 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 2813–2822.
- Meşe, A., Gülümser, E., 2021. Silajlık mısır çeşitlerinin ham protein verimi ile bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(3): 231-237.
- Miller, J., Beasley, B., Drury, C., Larney, F., Hao, X., 2016. Influence of long-term application of composted or stockpiled feedlot manure with straw or wood chips on soil cation exchange capacity. *Compost Science and Utilization*. 24, 54–60.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2017. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*. 69, 39–47.
- Moreira, R.S., Lense, G.H.E., Favero, L.F., Junior, O.B.M.D., Mincato, R.L., 2020 Nutritional status and physiological parameters of maize cultivated with sewage sludge. *Cienc Agrotecnol*, 44, 029919.
- Motta, S.R., Maggiore, T., 2013. Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grows on soil amended with sewage sludge and urea. *European Journal of Agronomy*, 45, 59-67.
- Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., Zagal, E., 2010. Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: a review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3), 485-497.
- Müjdeci, M., Sarıyev, A., Polat, V., 2005. Buğdayın (*Triticum aestivum* L.) gelişme dönemleri ve yaprak alan indeksinin matematiksel modellenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(3), 278-282.
- Naderia, R., Ghadiri, H., 2010. Urban waste compost, manure and nitrogen fertilizer effects on the initial growth of corn (*Zea mays* L.). *Desert*, 15, 159-165.
- Nazlı, R.İ., Kuşvuran, A., İnal, İ., Demirbaş, A., Tansı, V., 2014. Effects of different organic materials on forage yield and quality of silage maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 23-31.
- Nelson, D.W., Sommers L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods*. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA, 539-579.
- Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 181-198.
- Ni, J.J., Bordoloi, S., Shao, W., Garg, A., Xu, G., Sarmah, A.J., 2020. Two-year evaluation of hydraulic properties of biochar-amended vegetated soil for application in landfill cover system. *Science of the Total Environment*, 712, 136486.
- Nikoli, T., Matsi, T., 2011. Influence of liquid cattle manure on micronutrients content and uptake by corn and their availability in a calcareous soil. *Agronomy Journal*, 103, 113–118.
- Nilahyane, A., Islam A., 2018. Different irrigation systems and nitrogen rates improve yield and water use efficiency of corn silage. *University Wyoming Extension*, B-1326.
- Norouzi, J., Sayfzadeh, S., Asli, E.D., Zakerin, H., Masouleh, H.E., 2024. The effect of nitrogen

splitting on some agronomic and physiological traits of two corn cultivars under normal irrigation and drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 47(1), 110-123.

- Okalebo, J.R., Palm, C.A., Lekasi, J.K., Nandwa, S.M., Othieno, C.O., Waigwa, M., Ndungu, K.W., 2004. Use of organic and inorganic resources to increase maize yields in some Kenyan infertile soils: a five-year experience. *Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil Fertility in Sub-Saharan Africa*, Academy of Science Publishers, Nairobi, Kenya. pp: 359 - 372.
- Okur, N., Kayıkçıoğlu, H., 2008. Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen küresel gazlar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(1), 49-55.
- Okursoy, H., 2009. Trakya Koşullarında Farklı Sulama Yöntemleri Altında İkinci Ürün Silajlık Mısırın Su Üretim Fonksiyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Olgun, M., Kutlu, İ., Ayter, N.G., Başçıftı, Z.B., Kayan, N., 2012. Farklı silajlık mısır genotiplerinin Eskişehir koşullarında adaptasyon yeteneklerinin belirlenmesi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (1), 93-97.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 403-427.
- Olson, K.R., Al-Kaisi, M.M., 2015. The importance of soil sampling depth for accurate account of soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss. *Catena*, 125, 33-37.
- Oosterhuis, D.M., Loka, D.A., Kawakami, E.M., Pettigrew, W.T., 2014. The physiology of potassium in crop production. *Advances in agronomy*, 126, 203-233.
- Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., Sahin, U., 2016. Changes in gas exchange capacity and selected physiological properties of squash seedlings (*Cucurbita pepo* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(12), 1700-1710.
- Ors, S., Sahin, U., Kiziloglu F.M., 2015. Yield, quality and irrigation water use of dripirrigated silage maize with different irrigation techniques. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52, 595-607.
- Özata, E., Ahmet, Ö., Kapar, H., 2012. Silajlık hibrit mısır çeşit adaylarının verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(1), 37-41.
- Özgür, A.Z., Orman, Ş., Hüseyin, O.K., Tavalı, İ.E., 2023. Evaluation of sewage sludge effects on soil fertility and silage maize growth. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 36(3), 147-152.
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G., Özdemir, O., 2009. Yeşil gübre uygulamalarının mısır-buğday münavebesinde bitkilerin verim ve bazı tarımsal özellikleri üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(1), 21-33.
- Parham, J.A., Deng, S.P., Da, H.N., Sun, H.Y., Raun, W.R., 2003. Long-term cattle manure application in soil. II. Effect on soil microbial populations and community structure. *Biology and Fertility of Soils*, 38, 209-215.
- Pernes, D.A., Tessier, D., 2004. Soil physical properties affected by long-term fertilization. *European Journal of Soil Science*, 55(3), 505-512.
- Pıtır, M., 2015. Biber Yetiştiriciliğinde Farklı Su Kısıtlarının Meydana Getirdiği Fizyolojik, Morfolojik ve Kimyasal Değişikliklerin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Pietragalla, J., Pask, A., 2012. Stomatal conductance. *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. CIMMYT, Mexico, 15-17.
- Premalatha, R.P., Poorna Bindu, J., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., Davamani, V., 2023. A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1092637.
- Rawls, W.J., Nemes, A., Pachepsky, Y., 2004. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. *Develop. Soil Science*, 30, 95-114.
- Rayne, N., Aula, L., 2020. Livestock Manure and the impacts on soil health: a review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>.
- Ren, F., Zhang, X., Liu, J., Sun, N., Wu, L., Li, Z., Xu, M., 2017. A synthetic analysis of greenhouse gas emissions from manure amended agricultural soils in China. *Scientific Reports*, 7, 8123.
- Richards, J.C., Rodgers, T., 1982. Approach, design, and procedure. *Tesol Quarterly*, 16(2), 153-168.
- Rivenshield, A., Bassuk, N.L., 2007. Using organic amendments to decrease bulk density and increase macroporosity in compacted soils. *Arboriculture and Urban Forestry*. 33, 140-146.
- Roy, S., Gupta, S., 2016. Effect of wastewater irrigation on soil and some selected vegetables grown in Asansol, West Bengal. *International Journal of Environmental Sciences*, 6(5), 894-904.
- Rutkowska, B., Szulc, W., Sosulski, T., Skowrońska, M., Szczepaniak, J., 2018. Impact of reduced tillage on CO₂ emission from soil under maize cultivation. *Soil and Tillage Research*, 180, 21-28.
- Sabtow, H. A., Kızıloğlu, F. M., 2022. The effect of wetting-drying cycles of treated wastewater on hydraulic conductivity in stabilized sewage sludge and gypsum treated saline-sodic soils. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(9), 1741–1746.
- Sahin, U, Kiziloglu, F., Abdallh, A.H.M., Dan Badaou, A.N.A., Sabtow, H.A., Conbolat, M.Y., 2020. Use of a stabilized sewage sludge in combination with gypsum to improve saline-sodic soil properties leached by recycled wastewater under freeze-thaw conditions. *Journal of Environmental Management*, 274, 111171.
- Sahin, U., Angin, I., Kiziloglu, F.M., 2008. Effect of freezing and thawing processes on some physical properties of saline-sodic soils mixed with sewage sludge or fly ash. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 254-260.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M., 2015. Response of cucumbers to different irrigation regimes applied through drip-irrigation system. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(1), 198-205.
- Sainju, U.M., Jabro, J.D., Stevens, W.B., 2008. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 37(1), 98-106.
- Saltalı, K., Kara, Z., 2022. Effects of gytja applications on some chemical properties of acidic soils. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(2), 374-379.
- Sampathkumar, T., Pandian, B.J., Jeyakumar, P., Manickasundaram, P., 2014. Effect of deficit irrigation on yield, relative leaf water content, leaf proline accumulation and chlorophyll stability index of cotton-maize cropping sequence. *Experimental Agriculture*, 50, 407-425.

- Saraçoğlu, M., 2023. Fertigasyon Yöntemiyle Farklı Miktarlarda Uygulanan Azotun Mısır Bitkisinin (*Zea mays* L. *indentata*) Verim ve Verim Parametreleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Sarker, T.C., Incerti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S., Bonanomi, G., 2018. Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from ^{13}C NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 175-184.
- Schmitt, K.F.M., Do Amaral Junior, A.T., Kamphorst, S.H., Pinto, V.B., De Lima, V.J., De Oliveira, U.A., Campostrini, E., 2024. Decoding the effects of drought stress on popcorn (*Zea mays* var. *everta*) flowering combining proteomics and physiological analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208, 108444.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V., 2017. Mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) ekim zamanı ve çeşidin silaj kalitesi üzerine etkisi. *Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(3), 361-366.
- Sezen, Y., 1991. Toprak Kimyası. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayınları No: 127, Erzurum.
- Shaaban, M., Khalid, M.S., Hu, R., Zhou, M., 2022. Effects of water regimes on soil N_2O , CH_4 and CO_2 emissions following addition of dicyandiamide and N fertilizer. *Environmental Research*, 212, 113544.
- Shakoor, A., Shakoor, S., Rehman, A., Ashraf, F., Abdullah, M., Shahzad, S.M., Fraoq, T.H., Ashraf, M., Manzoor, M.A., Altaf, M.M., Altaf, M.A., 2021. Effect of animal manure, crop type, climate zone, and soil attributes on greenhouse gas emissions from agricultural soils-A global meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124019.
- Sharma, P., 2024. Biochar application for sustainable soil erosion control: a review of current research and future perspectives. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1373287.
- Sikder, R. K., Wang, X., Zhang, H., Gui, H., Dong, Q., Jin, D., Song, M., 2020. Nitrogen enhances salt tolerance by modulating the antioxidant defense system and osmoregulation substance content in *Gossypium hirsutum*. *Plants*, 9(4), 450.
- Silva, L.V., De Lima, V.L., Pearson, H.W., Silva, T.T., Maciel, C.L., Sofiatti, V., 2016. Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20 (4), 308-315.
- Simsek, M., Can, A., Denek, N., Tonkaz, T., 2011. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(31), 5869-5877.
- Singh, H., Northup, B.K., Rice, C.W., Prasad, P.V., 2022. Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a metaanalysis. *Biochar*, 4(1), 8.
- Sonsri, K., Watanabe, A., 2023. Insights into the formation and stability of soil aggregates in relation to the structural properties of dissolved organic matter from various organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 232, 105774.
- Sosulski, T., Srivastava, A.K., Ahrends, H.E., Smreczak, B., Szymańska, M., 2023. Carbon storage potential and carbon dioxide emissions from mineral-fertilized and manured soil. *Applied Sciences*, 13, 4620.
- Sosulski, T., Szymańska, M., Szara, E., 2020. CO_2 emissions from soil under fodder maize cultivation. *Agronomy*, 10, 1087.
- Sou, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H., Boivin, P., 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200, 31-39.

- Souza, E.G.F., da Cruz, E.A., Silva, M.O., Prates, F.B.S., Júnior, A.P.B., Neto, F.B., 2020. Profitability of maize for silage fertigated with nitrogen doses in different crops in a semiarid region of Brazil. *Acta Scientiarum, Agronomy*, 42, e42458.
- Soysal, A.Ö.Ş., Öner, F., Şahan, H., 2022. Bazı at dışı mısır (*Zea mays*. indendata Sturt.) çeşitlerinin silaj verim potansiyelleri. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(4), 866-873.
- Sönmez, İ., Kaplan, M., Sönmez, S., 2008. Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Derim*, 25 (2), 24-34.
- Stewart, D.W., Dwyer, L.M., 1999. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. *Crop Science*, 39, 422-427.
- Sullivan, D.M., Bary, A.I., Thomas, D.R., Fransen, S.C., Cogger, C.G., 2002. Food waste compost effects on fertilizer nitrogen deficiency, available nitrogen and tall fescue yield. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 154 - 161.
- Sumiahadi, A., 2021. Farklı bitki artıklarının bazı toprak özellikleri ve bazı baklagil yem bitkilerinin gelişimi üzerine etkileri. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sun, Y., Guo, G., Shi, H., Liu, M., Keith, A., Li, H., Jones, K. C., 2020. Decadal shifts in soil pH and organic matter differ between land uses in contrasting regions in China. *Science of the Total Environment*, 740, 139904.
- Sungur, A., Soylak, M., Ozcan, H., 2014. Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: relationship between soil properties and heavy metals availability. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 26(4), 219-230.
- Şen, H., 2017. Küçük Menderes Havzasında Bazı Silajlık Mısır (*zea mays* l.) Çeşitlerinin Adaptasyon, Verim Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın
- Şenlikoğlu, G., 2015. Organik Materyal İlavesi ve Azotlu Gübre Uygulamalarının Ispanak Bitkisinin (*Spinacia oleracea* L.) Gelişimi ve Nitrat Akümüülasyonuna Etkileri. Y. Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Şenyigit, U., Akbolat, D., 2010. Farklı sulama yöntemlerinin topraktan CO₂ çıkışı üzerine etkisi. *Ekoloji*, 19(77), 59-64.
- TAGEM., 2017. Türkiyede Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. <https://www.tarimorman.gov.tr/tagem>.
- Talantimur, V., 2014. Alternatif Toprak İşleme Uygulamalarının CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tan, M., 2021. Silajlık Mısır Tarımı. <http://tarim.atauni.edu.tr/wpcontent/uploads/2018/02/Silajl%C4%B1k-M%C4%B1s%C4%B1r-Tar%C4%B1m%C4%B1.pdf> (08.12.2021).
- Tarı, A.F., 2022. The impact of different irrigation intervals and levels on yield and quality of drip irrigated corn silage (*Zea mays* L.) under arid climate. *Applied Ecology And Environmental Research*, 20(5), 4173-4191.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma* 145, 325-334.
- Tian, R., Qi, G., Kang, Y., Jia, Q., Wang, J., Xiao, F., Chen, Q., 2023. Effects of irrigation and nitrogen application on soil water and nitrogen distribution and waternitrogen utilization of wolfberry in the Yellow River Irrigation Region of Gansu Province, China. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1309219.

- Topak, R., Süheri, S., Bilal, A., 2009. Kısıntılı damla sulamanın mısır verimine ve su kullanımına etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(49), 74-80.
- TUİK, 2024. Bitkisel ve Hayvansal Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- Ucak, A.B., Ayasan, T., Turan, N., 2016. Yield, quality and water use efficiencies of silage maize as effected by deficit irrigation treatments. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4 (12), 1228-1239.
- Ucak, A.B., Bagdatli, M.C., 2015. The negative effects of high temperature and low moisture on aftercrop silage maize. *International Conference on Civil and Environmental Engineering*, Nevşehir.
- Uçgun, K., Kelebek, C., Cansu, M., Altındal, M., Yalçın, B., 2019. Toprak pH'sını etkileyen bazı materyallerin hububat tarımında kullanımı. *Toprak Su Dergisi*, 94-100.
- Uğurlu, H., 2017. Silajlık Mısırdaki Farklı Azot Dozlarının Azot Kullanım Etkinliği, Verim ve Kalite Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi, Y. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Unver, M.C., Dogan, Y., Kucuk, M., Tufekcioglu, A., 2012. Farklı bitki örtüsü altındaki topraklarda mineralleşme potansiyeli (Artvin-Genya Dağı Yöresi- Türkiye). *Ekoloji*, 21, 85, 57-63.
- Uzun, S., Özaktan, H., Uzun, O., 2020. Effects of different nitrogen dose and sources as top-dressing on yield and silage quality attributes of silage maize. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20190030.
- Van Soest, P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46, 829-835.
- Wang, F., Xue, J., Xie, R., Ming, B., Wang, K., Hou, P., Li, S., 2022. Assessing growth and water productivity for drip-irrigated maize under high plant density in arid to semihumid climates. *Agriculture*, 12(1), 97.
- Wang, S., Hu, K., Feng, P., Qin, W., Leghari, S.J., 2023. Determining the effects of organic manure substitution on soil pH in Chinese vegetable fields: a metaanalysis. *Journal of Soils and Sediments*, 23(1), 118-130.
- Wang, X., Jia, Z., Liang, L., Yang, B., Ding, R., Nie, J., Wang, J., 2016. Impacts of manure application on soil environment, rainfall use efficiency and crop biomass under dryland farming. *Scientific Reports*. 6, 20994.
- Wang, Y., Li, Q., Li, C., 2023. Organic fertilizer has a greater effect on soil microbial community structure and carbon and nitrogen mineralization than planting pattern in rainfed farmland of the Loess Plateau. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1232527.
- Wei, C., Ren, S., Yang, P., Wang, Y., He, X., Xu, Z., Wei, R., Wang, S., Chi, Y., Zhang, M., 2021. Effects of irrigation methods and salinity on CO₂ emissions from farmland soil during growth and fallow periods. *Science of the Total Environment*, 752, 141639.
- Wulanningtyas, H.S., Gong, Y., Li, P., Sakagami, N., Nishiwaki, J., Komatsuzaki, M., 2021. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. *Soil and Tillage Research*, 205, 104749.
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Jiang, Y., 2020. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11, 904.
- Yağmur, B., Okur, B., 2018. Bazı doğal toprak düzenleyicilerin mısır (*Zea Mays* L.) bitkisinin

- verim parametreleri üzerine etkileri. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 55 (4), 471-477.
- Yang, F., Zhang, G., Yang, J., Li, D., Zhao, Y., Liu, F., Yang, R., Yang, F., 2014. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 519, 3086-3093.
- Yao, Y., Chen, J., Li, F., Sun, M., Yang, X., Wang, G., Sun, W., 2022. Exchangeable Ca^{2+} content and soil aggregate stability control the soil organic carbon content in degraded Horqin grassland. *Ecological Indicators*, 134, 108507.
- Yarış, A., 2018. Farklı Sulama Oranlarının Taze Fasülyede Meydana Getirdiği Fizyolojik, Morfolojik ve Kimyasal Değişikliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yerli, C., 2022. Farklı Toprak İşleme-Ekim Koşullarında Silajlık Mısır Yetiştiriciliğinde Arıtılmış Atık Su Düzeylerinin Bitki ve Toprak Özellikleri ile CO_2 Salınımına Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yerli, C., Cakmakci, T., Sahin, U., 2023. Soil CO_2 emission linearly increases with organic matter added using stabilized sewage sludge under recycled wastewater irrigation conditions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(1), 56.
- Yerli, C., Sahin, U., 2021. Effect of different manure applications and wetting-drying cycles on CO_2 emissions from soil. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20, 1513–1520.
- Yerli, C., Sahin, U., Oztas, T., 2022. CO_2 emission from soil in silage maize irrigated with wastewater under deficit irrigation in direct sowing practice. *Agricultural Water Management*, 271, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107791>.
- Yerlikaya, R., 2018. Sera koşullarında toprağa uygulanan farklı dozlarda bor ve sulama suyunun mısır bitkisinin büyüme ve kuru madde verimine etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Enstitüsü, Adana.
- Yıldız, N., 2018. Mineral gübrelerin toprak ekosistemi, çevre ve bitkisel üretim üzerine olası etkileri. Organomineral Gübre Çalıştayı, Sena Ofset Ambalaj Matbaacılık Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., 212-243. ISBN: 978-975-7169-89-5.
- Yıldız, S., Erdoğan, S., 2018. Van koşullarında yetiştirilen silajlık mısır (*Zea mays* L.) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.)'nin verim parametreleri ve besin madde kompozisyonuna kalite özellikleri. *Türkiye Tarımsal Araştırma Dergisi*, 5(3), 280-285.
- Yılmaz, M.S., 2018. Mikoriza Uygulaması ve Farklı Gübre Dozlarının Silajlık Mısır (*Zea Mays* L.)'in Verim ve Verim Öğelerine Etkileri. Y. Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Yılmaz, N., Akman, O., Öner F., 2020. Bazı silajlık mısır çeşitlerinde (*Zea mays* L.) bitkisel özelliklerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(1), 103-110.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., 2010. Effects of short-term amendments of farmyard manure on some soil properties in the Mediterranean region – Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 859-862.
- Zhalnina, K., Dias, R., De Quadros, P.D., Davis-Richardson, A., Camargo, F.A., Clark, I.M., McGrath, S.P., Hirsch, P.R., Triplett, E.W., 2015. Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. *Microbial Ecology*, 69, 395–406.
- Zhang, Q., Wang, Z., Miao, F., Wang, G., 2017. Dryland maize yield and water-use efficiency

- responses to mulching and tillage practices. *Agronomy Journal*, 109, 1196-1209.
- Zhong, Y., Li, J. and Xiong, H., 2021. Effect of deficit irrigation on soil CO₂ and N₂O emissions and winter wheat yield. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123718.
- Zhong, Y., Yan, W., Shangguan, Z., 2015. Impact of long-term N additions upon coupling between soil microbial community structure and activity, and nutrient-use efficiencies. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, 151-159.
- Zornoza, R., Rosales, R.M., Acosta, J.A., de la Rosa, J.M., Arcenegui, V., Faz, A., Pastor, P.A., 2016. Efficient irrigation management can contribute to reduce soil CO₂ emissions in agriculture. *Geoderma*, 263, 70–77.
- Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M.I., Qing, M., Siddique, K.H., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler
Adı Soyadı: Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU
Eğitim
Lise : Lycée Kouara (2010) Lisans: Université Abdou Moumouni de Niamey/Faculté d'Agronomie (2013) Yüksek lisans: Atatürk Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2019) Doktora: Atatürk Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2025)
Yabancı Dil Bilgisi
İngilizce: B2 Fransızca: Anadil