



**FARKLI SULAMA REJİMLERİ ALTINDA ARITMA
ÇAMURU UYGULAMASININ SİLAJLIK MISIR
YETİŞTİRİLEN TOPRAKTA ÜRETKENLİK
PARAMETRELERİ VE KARBON STOK DEĞİŞİMİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Mehmet ALTUN

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
Doktora Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı
2024

(Her hakkı saklıdır.)

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

**FARKLI SULAMA REJİMLERİ ALTINDA ARITMA ÇAMURU UYGULAMASININ
SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİLEN TOPRAKTA ÜRETKENLİK PARAMETRELERİ
VE KARBON STOK DEĞİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

(Effects of Sewage Sludge Application on Soil Productivity Parameters and Changes in
Carbon Stock in Silage Maize Cultivation Under Different Irrigation Regimes)

DOKTORA TEZİ

Mehmet ALTUN

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Erzurum

Eylül, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Mehmet ALTUN tarafından hazırlanan “Farklı Sulama Rejimleri Altında Arıtma Çamuru Uygulamasının Silajlık Mısır Yetiştirilen Toprakta Üretkenlik Parametreleri ve Karbon Stok Değişimi Üzerine Etkileri” başlıklı çalışması 16/09/2024 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. Taşkın ÖZTAŞ

Atatürk Üniversitesi

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Harun KAMAN

Akdeniz Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Hakan ARSLAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU

Atatürk Üniversitesi

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

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2021-8673

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 “Farklı Sulama Rejimleri Altında Arıtma Çamuru Uygulamasının Silajlık Mısır Yetiştirilen Toprakta Üretkenlik Parametreleri ve Karbon Stok Değişimi Üzerine Etkileri” 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	17	30
Kuramsal Temeller	14	30
Materyal ve Metot	17	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	8	20
Sonuçlar ve Öneriler	5	20
Tezin Geneli	8	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
Mehmet ALTUN	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
16.9.2024	16.9.2024
İmza:	İmza:

* 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

Tez konumun seçimi ve yürütülmesi boyunca değerli desteğini esirgemeyen, bilgisinden ve tecrübesinden yararlandığım çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e sabrı ve anlayışı nedeni ile sonsuz teşekkür ederim. Doktora tez izleme jürisinde bulunan ve tezimin değerlendirilmesinde katkılarını sunan Sayın Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ ve Prof. Dr Fatih Mehmet KIZIOĞLU hocalarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Deneme alanının hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Bitkisel üretim Uygulama ve Araştırma Müdürlüğü ve personeline, arıtma çamurunun temini için destek sağlayan Erzurum Atıksu ve Arıtma Tesisi Müdürlüğü ve çalışanlarına, arazi ve laboratuvar çalışmalarına desteklerinden dolayı Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU' ya, özellikle hasat zamanında yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Cahide Sude TAŞ, Dr. Öğr. Üyesi Ekrem SULUKAN, Ziraat Yüksek Mühendisi Enes ŞAHİNOĞLU, Arş. Gör. Handan UĞUZ, Arş. Gör. Kübra EKİNCİ, Arş. Gör. Ali KAYA, Arş. Gör. Cenk KESKİN, Doktora öğrencisi Muhammet ALTUN, Ziraat Yüksek Mühendisi Metehan AYDIN ve Latif ÜNAL arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen sevgili ve değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya FDK-2021-8673 numaralı projesi ile finansal destek sağlayan BAP' a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Mehmet ALTUN

Eylül, 2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI SULAMA REJİMLERİ ALTINDA ARITMA ÇAMURU UYGULAMASININ SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİLEN TOPRAKTA ÜRETKENLİK PARAMETRELERİ VE KARBON STOK DEĞİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Mehmet ALTUN

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Amaç-Yöntem: Bu çalışma da; silajlık mısır bitkisinde, farklı dozlarda stabilize arıtma çamuru uygulanmış toprakta gerçek zamanlı su tüketimi yaklaşımıyla farklı su tüketim düzeylerinde damla sulamayla üretkenlik parametreleri, karbon stok değişimi ve CO₂ salınımı üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Dört farklı arıtma çamuru dozu (0, 30, 60 ve 90 t/ha) ve üç farklı sulama rejimi (Gerçek zamanlı su tüketim değerleri ile etkili yağış farkı $\sum(E_{Tc} - P_{eff})$ 25 mm (S1), 50 mm (S2) ve 75 mm (S3) olduğunda sulama) ile deneme tam şansa bağlı plana göre toplam 36 parselde, 2021 ve 2022 yıllarında Erzurum İlinde Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi deneme alanında yürütülmüştür.

Bulgular: Arıtma çamuru dozları arasında bitki su tüketimi benzer bulunmuş en yüksek WP ve IWP değerleri iki yıllık ortalamalara göre D3 dozunda belirlenmiştir. Sulama uygulamaları arasında ise en yüksek WP ve IWP değerleri iki yıllık ortalamalar dikkate alındığında sık sulama yapılan su tüketimi de S2 ve S3'e göre sırasıyla % 1,8 ve % 3,2 daha düşük bulunmuş, S1 uygulamasında belirlenmiştir. D3 dozunda WP değerinin D0, D1 ve D2'e göre sırasıyla % 42,0, % 20,3 ve % 12,2, IWP değerinin ise % 41,5, % 18,6 ve % 12,7 daha fazla olduğu belirlenmiştir. S1' in WP değeri S2' den % 15, S3' ten % 32,5 IWP değerinin de % 7,4 ve % 14,1 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Porozite, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, EC, ESP, KDK, bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimleri, ham protein oranı, SPAD, stoma iletkenliği yaprak alan indeksi ve membran zararlanma arıtma çamru doz artışıyla artmış, kütle yoğunluğu, pH, CaCO₃, ADF ve NDF azalmıştır. Su stresinin artmasıyla toprakta toplam Kjeldahl N ve NO₃, bitkide membran zararlanma artarken, bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot verimi ve kuru madde verimi, SPAD, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği azalmıştır. Arıtma çamuru uygulaması toprağın OM, TN, P₂O₅ ve K₂O içeriklerini artırmıştır. Arıtma çamuru hem bitkide hem de toprakta makro-mikro elementler ve ağır metal içeriklerini artırmıştır. Ancak, ağır metallerde artışlar sınır değerlerinin oldukça altında kalmıştır. Bitki mikro element ve ağır metal içerik birikimi sırasıyla Fe > Mn > B > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > Ni şeklinde sonuçlanmıştır. Arıtma çamuru doz artışıyla toprakta CO₂ salınımı ve karbon stoku önemli seviyede artmış, su stres seviyesinin artmasıyla CO₂ salınımlarında azalışlar tespit edilmiştir. CO₂ salınımı H₂O salınımı, farklı derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) toprak nemleri arasında önemli pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Artan dozla infiltrasyon hızları artmıştır; D3 dozunda D0' a göre 7,7 kat daha fazla bulunmuştur. İkinci yıl, bu artışlar daha düşük seviyelerde kalmış, ancak yine de artışlar önemli bulunmuştur. Benzer şekilde, S3 uygulaması ile karşılaştırıldığında, S1 ve S2 uygulamalarında da infiltrasyon hızları daha yüksek belirlenmiştir.

Sonuç: Arıtma çamurunun toprak ve bitki verimini olumlu yönde etkilerken CO₂ salınımlarını da arttırdığı belirlenmiştir. Yüzey toprakta ıslanma kuruma süreci uzadıkça CO₂ salınımı azalmıştır ve buna bağlı olarak birim alan başına sezonluk CO₂ salınımı da azalmıştır. Sık sulamada CO₂ salınımı artmasına rağmen artan verimden dolayı aynı verimi sağlama koşulunda sık sulamada alan miktarı daha az olacağı için böylece toplam salınım miktarı da azalacağından birim verim başına CO₂ salınımı düşük olan sık sulama pratiği daha önerilebilir bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Silajlık mısır, stabilize arıtma çamuru, su kullanım etkinliği, karbon stoku, CO₂ salınımı, toprak verimliliği

Eylül 2024, 277 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

EFFECTS OF SEWAGE SLUDGE APPLICATION ON SOIL PRODUCTIVITY PARAMETERS AND CHANGES IN CARBON STOCK IN SILAGE MAIZE CULTIVATION UNDER DIFFERENT IRRIGATION REGIMES

Mehmet ALTUN

Supervisor: Prof. Dr. Ustun SAHIN

Purpose-Method: This study aimed to determine the effects of drip irrigation at different water consumption levels on productivity parameters, carbon stock change and CO₂ release in soil under sludge maize cultivation and treated with different doses of stabilized sewage sludge with a real-time water consumption approach. The experiment was carried out with four different sewage sludge doses (0, 30, 60 and 90 t/ha) and three different irrigation regimes (when the difference between the real-time water consumption and the effective rainfall was 25 mm (S1), 50 mm (S2) and 75 mm (S3)) in a total of 36 plots according to a completely randomized design in 2021 and 2022 in the experimental fields of Atatürk University Plant Production Application and Research Center.

Findings: The results indicated that water consumption was similar among the sludge doses and the highest water productivity (WP) and irrigation water productivity (IWP) values were determined in the D3 dose according to the two-year averages. Out of the different irrigation methods, the S1 regime showed the greatest WP and IWP values, found to be 1.8% and 3.2% lower than S2 and S3, respectively. It was determined that the WP value in the D3 dose was 42.0%, 20.3% and 12.2% higher than D0, D1 and D2, respectively, while the IWP value was 41.5%, 18.6% and 12.7% higher. It was determined that the WP value of S1 was 15% higher than S2 and 32.5% higher than S3, and the IWP value was 7.4% and 14.1% higher. When comparing the irrigation regimes, the water productivity (WP) value for S1 was 15% higher than for S2 and 32.5% higher than for S3. Likewise, the irrigation water productivity (IWP) value for S1 was 74% higher than for S2 and 141% higher than for S3. With the increase in the applied sludge dose, soil porosity, aggregate stability, field capacity, electrical conductivity (EC), exchangeable sodium percentage (ESP), cation exchange capacity (CEC), plant height, stem diameter, silage and dry matter yields, crude protein ratio, SPAD, stomatal conductance, leaf area index and integrity of cell membranes were determined to be higher, while bulk density, pH, calcium carbonate (CaCO₃), acid detergent fiber (ADF), and neutral detergent fiber (NDF) were determined to be lower. Water stress caused an increase in both total Kjeldahl nitrogen and nitrate levels in the soil, as well as more membrane damage in plants. However, it also resulted in a decrease in plant height, stem diameter, silage production, dry matter yield, SPAD readings, stomatal conductance, and leaf relative water content. The application of sewage sludge resulted in an increase in the levels of soil organic matter (OM), total nitrogen (TN), phosphate (P₂O₅), and potash (K₂O). The levels of both macro-micro elements and heavy metals in the soil and plants grew as the sewage sludge dosages increased, however the concentrations of heavy metals remained far below the limits set by regulations. The plants exhibited a pattern of accumulation for microelements and heavy metals, with iron (Fe) having the highest concentration, followed by manganese (Mn), boron (B), zinc (Zn), copper (Cu), chromium (Cr), lead (Pb), cadmium (Cd), and nickel (Ni). The application of larger sewage sludge dosages resulted in a notable increase in both soil CO₂ emissions and carbon stock. Conversely, the presence of increasing water stress led to a reduction in CO₂ emissions. Significant positive associations were found between carbon dioxide (CO₂) emissions, water vapor (H₂O) emissions, and soil moisture at various depths (5, 10, and 20 cm). The infiltration rates showed a significant rise when the sewage sludge dosages were raised. Specifically, the infiltration rate for the D3 dose was 77 times more than that of D0. While the gains in the second year were comparatively lesser, they remained noteworthy. Correspondingly the rates of infiltration were greater in S1 and S2 in comparison to S3.

Results: It was clearly obtained from this study that the use of sewage sludge positively effects soil and plant productivity, but it also leads to an increase in CO₂ emissions. As the duration of the wet-dry cycle of the top layer of soil increases, the release of CO₂ into the atmosphere decreases, resulting in a reduction in the amount of CO₂ emitted per unit area throughout different seasons. Although frequent irrigation leads to a rise in CO₂ emissions, the greater yield implies that the amount of land needed to

achieve the same yield would be reduced, resulting in a decrease in total CO₂ emissions per unit yield. Consequently, it is advisable to use frequent watering procedures, since they result in fewer CO₂ emissions per unit yield.

Keywords: Silage maize, Stabilized sewage sludge, Water efficiency, Carbon stock, CO₂ emissions, Soil productivity

September 2024, 277 pages



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİMİ VE İNTİHAL FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xviii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xxi
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER	5
Sulama Rejimi ve İlgili Çalışmalar	5
Arıtma Çamuru ve İlgili Çalışmalar	8
CO ₂ Salınımı İlgili Çalışmalar.....	14
Silajlık Mısır ve İlgili Çalışmalar	17
MATERYAL VE METOT	23
Materyal	23
Deneme alanı lokasyonu	23
Deneme alanı iklim özellikleri	24
Su kaynağı özellikleri.....	26
Sulama sistemi.....	26
Bitki materyali	27
Metot	27
Deneme konuları ve düzeni	27
Stabilize arıtma çamurunun toprağa karıştırılması, ekim ve diğer kültürel işlemler	28
Sulama zamanı ve miktarı.....	31
Gerçek evapotranspirasyonun (ET _a) belirlenmesi	37
Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (IWP)	37
Toprak örneklerinin alınması, analizler ve hesaplamalar	38
Toprak organik karbon stoku (SOC _{stock})	42
Toprak organik karbon stok değişiminden CO ₂ salınımlarının tahminlenmesi	43
Topraktan CO ₂ salınımlarının doğrudan ölçülmesi	44

İnfiltrasyon ölçümleri.....	44
Bitkide fiziksel, fizyolojik ölçümler ve kimyasal analizler	45
İstatiksel Analiz	51
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	52
Sulama Suyu Miktarı.....	52
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	52
Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa)	63
Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (IWP)	66
Deneme öncesi toprak özellikleri	67
Deneme Sonrası Toprak Özellikleri.....	69
Toprak fiziksel özellikleri	69
Toprak kimyasal özellikleri	77
Toprak mikro element ve ağır metal içerikleri	98
Toprak hidrolik özellikleri	110
Toplam infiltrasyon ve infiltrasyon hızı	115
Bitki Özellikleri	117
Morfolojik özellikler	118
Bitki boyu	118
Gövde çapı	119
Silajlık ot verimi	120
ADF (asit detarjan lif), NDF (nötr detarjan lif) ve ham protein oranı	122
Bitkide makro-mikro element ve ağır metal içerikleri.....	125
Bitki fizyolojik ölçümleri.....	134
Klorofil içeriği (SPAD).....	134
Stoma iletkenliği.....	137
Yaprak alan indeksi.....	138
Yaprak oransal su içeriği	139
Membran zararlanma	140
Toprak Organik Karbon Stok Değişimleri, Hesaplanan ve Ölçülen CO ₂ Salınımları ..	142
Toprak organik karbon stoku (SOC _{stock}) ve CO ₂ salınımları tahminlenmesi	142
Ölçülen CO ₂ salınımları, toprak nemi, H ₂ O salınımı, toprak ve hava sıcaklığıyla ilişkileri	149
Birim üretim alanı ve birim verim başına CO ₂ salınımları	157
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	159
KAYNAKLAR.....	164

EKLER.....	189
Ek-1. Su Verimliliği Varyans Analizi	189
Ek-2. Sulama Suyu Verimliliği Varyans Analizi	189
Ek-3. Tane Yoğunluğu Varyans Analizi	190
Ek-4. Kütle Yoğunluğu Varyans Analizi	191
Ek-5. Porozite Varyans Analizi	192
Ek-6. Islak Agregat Stabilitesi Varyans Analizi.....	193
Ek-7. Toprak pH Değeri Varyans Analizi	194
Ek-8. Toprak EC Değeri Varyans Analizi	195
Ek-9. Toprak CaCO ₃ İçeriği Varyans Analizi	196
Ek-10. Toprak OM içeriği varyans analizi	197
Ek-11. Toprak Kjeldahl N İçeriği Varyans Analizi	198
Ek-12. Toprak NO ₃ İçeriği Varyans Analizi	199
Ek-13. Toprak P ₂ O ₅ İçeriği Varyans Analizi.....	200
Ek-14. Toprak K ₂ O İçeriği Varyans Analizi	201
Ek-15. Toprak Ca İçeriği Varyans Analizi	202
Ek-16. Toprak Mg İçeriği Varyans Analizi	203
Ek-17. Toprak Na İçeriği Varyans Analizi	204
Ek-18. Toprak K içeriği varyans analizi	205
Ek-19. KDK Varyans Analizi.....	206
Ek-20. ESP Varyans Analizi.....	207
Ek-21. Toprak B İçeriği Varyans Analizi	208
Ek-22. Toprak Fe İçeriği Varyans Analizi.....	209
Ek-23. Toprak Cu İçeriği Varyans Analizi	210
Ek-24. Toprak Mn İçeriği Varyans Analizi	211
Ek-25. Toprak Zn İçeriği Varyans Analizi	212
Ek-26. Toprak Pb İçeriği Varyans Analizi	213
Ek-27. Toprak Cd İçeriği Varyans Analizi	214
Ek-28. Toprak Cr İçeriği Varyans Analizi.....	215
Ek-29. Toprak Ni İçeriği Varyans Analizi.....	216
Ek-30. Toprak Hg İçeriği Varyans Analizi.....	217
Ek-31. TK Varyans Analizi	218
Ek-32. SN Varyans Analizi	219
Ek-33. Yarayırlı Su Varyans Analizi	220
Ek-34. Bitki Boyu Varyans Analizi	221

Ek-35. Bitki Gövde Çapı Varyans Analizi	221
Ek-36. Silajlık Ot Verimi Varyans Analizi.....	222
Ek-37. Kuru Madde Verimi Varyans Analizi.....	222
Ek-38. ADF Varyans Analizi	223
Ek-39. NDF Varyans Analizi	223
Ek-40. Ham Protein Oranı Varyans Analizi	224
Ek-41. Bitki N İçeriği Varyans Analizi	224
Ek-42. Bitki P İçeriği Varyans Analizi	225
Ek-43. Bitki K İçeriği Varyans Analizi	225
Ek-44. Bitki Ca İçeriği Varyans Analizi	226
Ek-45. Bitki Mg İçeriği Varyans Analizi.....	226
Ek-46. Bitki Na içeriği varyans analizi	227
Ek-47. Bitki B İçeriği Varyans Analizi.....	227
Ek-48. Bitki Fe İçeriği Varyans Analizi	228
Ek-49. Bitki Cu İçeriği Varyans Analizi.....	228
Ek-50. Bitki Mn İçeriği Varyans Analizi.....	229
Ek-51. Bitki Zn İçeriği Varyans Analizi	229
Ek-52. Bitki Pb İçeriği Varyans Analizi	230
Ek-53. Bitki Cd İçeriği Varyans Analizi.....	230
Ek-54. Bitki Cr İçeriği Varyans Analizi	231
Ek-55. Bitki Ni İçeriği Varyans Analizi	231
Ek-56. SPAD Varyans Analizi	232
Ek-57. Stoma İletkenliği Varyans Analizi	232
Ek-58. Yaprak Alan İndeksi Varyans Analizi	233
Ek-59. Yaprak Oransal Su İçeriği Varyans Analizi	233
Ek-60. Membran Zararlanma İndeksi Varyans Analizi	234
Ek-61. Sezon Başı Karbon Stoku Varyans Analizi.....	234
Ek-62. Mayıs Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi	235
Ek-63. Haziran Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi	235
Ek-64. Temmuz Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi.....	236
Ek-65. Ağustos Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi.....	236
Ek-66. Hasat Dönemi Karbon Stoku Varyans Analizi	237
Ek-67. Sezonluk Karbon Stoku Varyans Analizi	237
Ek-68. Mayıs Ayı CO ₂ Salınımı Varyans Analizi.....	238
Ek-69. Haziran Ayı CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	238

Ek-70. Temmuz Ayı CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	239
Ek-71. Ağustos Ayı CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	239
Ek-72. Eylül Ayı CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	240
Ek-73. Sezonluk CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	240
Ek-74. Ölçülen Sezonluk CO ₂ Salınımı Varyans Analizi.....	241
Ek-75. H ₂ O Salınımı Varyans Analizi	241
Ek-76. Toprak Nemi Varyans Analizi (5 cm)	242
Ek-77. Toprak Nemi Varyans Analizi (10 cm)	242
Ek-78. Toprak Nemi Varyans Analizi (20 cm)	243
Ek-79. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (5 cm)	243
Ek-80. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (10 cm).....	244
Ek-81. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (20 cm).....	244
Ek-82. Birim Üretim Alanı Başına CO ₂ Salınımı Varyans Analizi	245
Ek-83. Birim Verim Başına CO ₂ Salınımı Varyans Analizi.....	245
Ek-84. 2021 D0S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	245
Ek-85. 2021 D0S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	245
Ek-86. 2021 D0S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	246
Ek-87. 2021 D1S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	246
Ek-88. 2021 D1S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	246
Ek-89. 2021 D1S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	247
Ek-90. 2021 D2S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	247
Ek-91. 2021 D2S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	247
Ek-92. 2021 D2S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	248
Ek-93. 2021 D3S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	248
Ek-94. 2021 D3S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	248
Ek-95. 2021 D3S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	249
Ek-96. 2022 D0S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	249
Ek-97. 2022 D0S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	249
Ek-98. 2022 D0S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	250
Ek-99. 2022 D1S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	250
Ek-100. 2022 D1S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	250
Ek-101. 2022 D1S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	251
Ek-102. 2022 D2S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	251
Ek-103. 2022 D2S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	251
Ek-104. 2022 D2S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	252

Ek-105. 2022 D3S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	252
Ek-106. 2022 D3S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	252
Ek-107. 2022 D3S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon	253
Ek-108. Farklı Artıma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarında Bazı Bitki Parametreleri Arasındaki Korelasyonlar (n=36)	253
Ek-109. CO ₂ , H ₂ O, Hava Sıcaklığı ve Farklı Derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) Toprak Nemi İle Toprak Sıcaklıkları Arasındaki Korelasyonlar (n=524).....	253
ÖZGEÇMİŞ.....	254



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Toprakta Kullanılacak Stabilize Arıtma Çamurunda İzin Verilen Maksimum Ağır Metal İçerikleri.....	10
Tablo 2. Toprakta Ağır Metal Sınır Değerleri	10
Tablo 3. Erzurum İli Uzun Yıllar ve Deneme Alanı 2021 ile 2022 Yılları Vejetasyon Periyodu İklim Verileri	24
Tablo 4. Stabilize Arıtma Çamurunun Bazı Kimyasal Özellikleri	29
Tablo 5. 2021 Yılında Sezonluk Sulama Suyu Miktarları	52
Tablo 6. 2022 Yılında Sezonluk Sulama Suyu Miktarları	52
Tablo 7. Farklı Sulama Uygulamaları ve Arıtma Çamuru Dozlarında Silajlık Mısırdaki Su Verimliliği	67
Tablo 8. Farklı Sulama Uygulamaları ve Arıtma Çamuru Dozlarında Silajlık Mısırdaki Sulama Suyu Verimliliği	67
Tablo 9. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özellikler	68
Tablo 10. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Kimyasal Özellikler	69
Tablo 11. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri	69
Tablo 12. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının ve 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Kütle Yoğunluğuna (g/cm^3) Etkisi.....	73
Tablo 13. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tane Yoğunluğuna Etkisi	74
Tablo 14. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Poroziteye (%) Etkisi	75
Tablo 15. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Islak Agregat Stabilitesine (%) Etkisi	76
Tablo 16. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında pH Değerine Etkisi	84
Tablo 17. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında EC Değerine (dS/m) Etkisi	85

Tablo 18. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında CaCO_3 (%) İçeriğine Etkisi.....	86
Tablo 19. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında OM İçeriğine (%) Etkisi	87
Tablo 20. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Toplam Kjeldahl Azotu İçeriğine (%) Etkisi.....	88
Tablo 21. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında NO_3 İçeriğine (mg/kg) Etkisi	89
Tablo 22. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında P_2O_5 İçeriğine (kg/da) Etkisi	90
Tablo 23. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında K_2O (kg/da) İçeriğine Etkisi	91
Tablo 24. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Ca İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	92
Tablo 25. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Mg İçeriğine (cmol/kg) Etkisi.....	93
Tablo 26. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Na İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	94
Tablo 27. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir K İçeriğine (cmol/kg) Etkisi	95
Tablo 28. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında KDK'ya (cmol/kg) Etkisi	96
Tablo 29. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında ESP'ye (%) Etkisi	97
Tablo 30. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının ve 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında B (mg/kg) İçeriğine Etkisi	100
Tablo 31. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Fe İçeriğine Etkisi	101
Tablo 32. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cu (mg/kg) İçeriğine Etkisi	102
Tablo 33. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Mn (mg/kg) İçeriğine Etkisi	103
Tablo 34. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Zn (mg/kg) İçeriğine Etkisi	104

Tablo 35. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Pb (mg/kg) İçeriğine Etkisi.....	105
Tablo 36. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cd (mg/kg) İçeriğine Etkisi	106
Tablo 37. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cr (mg/kg) İçeriğine Etkisi.....	107
Tablo 38. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Ni (mg/kg) İçeriğine Etkisi.....	108
Tablo 39. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Hg (mg/kg) İçeriğine Etkisi	109
Tablo 40. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında TK Değerine (Pw) Etkisi	112
Tablo 41. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında SN Değerine (Pw) Etkisi	113
Tablo 42. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Yarayışlı Su (mm) Miktarına Etkisi.....	114
Tablo 43. Toplam İnfiltrasyon (mm) ve İnfiltrasyon Hızı (mm/h) Eşitlikleri	116
Tablo 44. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Bitki Boyları.....	119
Tablo 45. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Gövde Çapları	120
Tablo 46. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Mısırdaki Silajlık Ot Verimleri	121
Tablo 47. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Kuru Madde Verimleri	122
Tablo 48. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide ADF (%) İçerikleri.....	124
Tablo 49. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide NDF (%) İçerikleri.....	124
Tablo 50. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ham Protein (%) İçerikleri	125
Tablo 51. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide N (%) İçerikleri	127
Tablo 52. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide P (mg/kg) İçerikleri.....	127

Tablo 53. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide K (mg/kg) İçerikleri	128
Tablo 54. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ca (mg/kg) İçerikleri	128
Tablo 55. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Mg (mg/kg) İçerikleri	129
Tablo 56. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Na (mg/kg) İçerikleri	129
Tablo 57. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide B (mg/kg) İçerikleri	130
Tablo 58. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Fe (mg/kg) İçerikleri	130
Tablo 59. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cu (mg/kg) İçerikleri	131
Tablo 60. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Mn (mg/kg) İçerikleri	131
Tablo 61. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Zn (mg/kg) İçerikleri	132
Tablo 62. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Pb (mg/kg) İçerikleri	132
Tablo 63. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cd (mg/kg) İçerikleri	133
Tablo 64. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cr (mg/kg) İçerikleri	133
Tablo 65. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ni (mg/kg) İçerikleri	134
Tablo 66. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Klorofil İçerikleri	137
Tablo 67. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Stoma İletkenlikleri.....	138
Tablo 68. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Yaprak Alan İndeksleri.....	139
Tablo 69. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Yaprak Oransal Su İçerikleri.....	140

Tablo 70. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Membran Zararlanma Değerleri.....	141
Tablo 71. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Ekim Döneminde Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	143
Tablo 72. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Mayıs Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	143
Tablo 73. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Haziran Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	144
Tablo 74. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Temmuz Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	144
Tablo 75. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Ağustos Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	145
Tablo 76. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Hasatta Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	145
Tablo 77. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Sezonluk Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi	146
Tablo 78. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Mayıs Dönemi CO ₂ Salınımları.....	146
Tablo 79. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Haziran Dönemi CO ₂ Salınımları.....	147
Tablo 80. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Temmuz Dönemi CO ₂ Salınımları.....	147
Tablo 81. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Ağustos Dönemi CO ₂ Salınımları.....	148
Tablo 82. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Eylül Dönemi CO ₂ Salınımları.....	148
Tablo 83. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Sezonluk Dönemi CO ₂ Salınımları.....	149
Tablo 84. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında CO ₂ , H ₂ O Salınımlarıyla Toprak Nemi, Toprak ve Hava Sıcaklıkları.....	153
Tablo 85. 2022 Yılı Sezonluk CO ₂ Salınım Değerlerinin Tahmin Değerlerine Oranları	155
Tablo 86. Farklı Arıtma Çamuru Dozu ve Sulama Uygulamalarında Birim Üretim Alanı ve Birim Verim Başına CO ₂ Salınımları	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Arıtma çamurunun fayda ve riskleri	9
Şekil 2. Türkiye'nin sera gazı salınımı	15
Şekil 3. Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı salınımı	16
Şekil 4. Türkiye'nin yıllara göre silajlık mısır üretimi ve ekilen alan	18
Şekil 5. Deneme alanının uydu ve drone görüntüsü	23
Şekil 6. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında plüvyometreyle ölçülmüş yağış miktarları.....	25
Şekil 7. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında plüvyometreyle ölçülmüş yağış miktarları.....	26
Şekil 8. Damla sulama sistemi	27
Şekil 9. DKC6777 çeşidinin Türkiye' de ekime uygunluk bölgeleri	27
Şekil 10. Deneme deseni	28
Şekil 11. Stabilize arıtma çamurunun toprağa karıştırılması	30
Şekil 12. Toprak işlemi ve ekim uygulaması	30
Şekil 13. Silajlık mısır parsellerinde hasat dönemi.....	31
Şekil 14. Vejetasyon periyodunda silajlık mısır 'k _c ' değerleri.....	32
Şekil 15. Toprak nem örneklenmesi	33
Şekil 16. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri.....	35
Şekil 17. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri.....	36
Şekil 18. Tane yoğunluğu analizi.....	38
Şekil 19. Toprak örneklerinde pH ölçümü	39
Şekil 20. Toprak örneklerinde EC ölçümü	39
Şekil 21. Toprak örneklerinde kireç analizi	40
Şekil 22. Toprak örneklerinde organik madde analizi	40
Şekil 23. Toprak örneklerinde Kjeldahl azot analizi	40
Şekil 24. Fosfor analizi	41
Şekil 25. Laboratuvarında tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan su miktarlarının belirlemesi.....	42
Şekil 26. CO ₂ , H ₂ O salınımları ile nem ve sıcaklık ölçümleri	44

Şekil 27. Otomatik infiltrometreyle ve çift silindir infiltrometreyle infiltrasyon ölçümleri ...	45
Şekil 28. Bitki boyunun ölçülmesi	45
Şekil 29. Bitki gövde çapının ölçülmesi	46
Şekil 30. Bitkilerin hassas terazide tartılması	46
Şekil 31. Kuru maddenin belirlenmesi	47
Şekil 32. NDF ve ADF analizi	47
Şekil 33. Bitkide toplam Kjeldahl azotu analizi.....	48
Şekil 34. Bitkide fosfor analizi.....	48
Şekil 35. Bitkide klorofil ölçümü.....	49
Şekil 36. Stoma iletkenliği ölçümü	49
Şekil 37. Yaprak alanın ölçülmesi	50
Şekil 38. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi	50
Şekil 39. Membran zararlanma indeksinin belirlenmesi	51
Şekil 40. 2021 yılı D0S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	53
Şekil 41. 2021 yılı D1S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	53
Şekil 42. 2021 yılı D2S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	54
Şekil 43. 2021 yılı D3S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	54
Şekil 44. 2021 yılı D0S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	54
Şekil 45. 2021 yılı D1S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	55
Şekil 46. 2021 yılı D2S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	55
Şekil 47. 2021 yılı D3S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	55
Şekil 48. 2021 yılı D0S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	56
Şekil 49. 2021 yılı D1S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	56
Şekil 50. 2021 yılı D2S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	56
Şekil 51. 2021 yılı D3S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	57
Şekil 52. 2022 yılı D0S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	57
Şekil 53. 2022 yılı D1S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	58
Şekil 54. 2022 yılı D2S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	58
Şekil 55. 2022 yılı D3S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	59
Şekil 56. 2022 yılı D0S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	59
Şekil 57. 2022 yılı D1S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	60
Şekil 58. 2022 yılı D2S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	60
Şekil 59. 2022 yılı D3S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	61
Şekil 60. 2022 yılı D0S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	61
Şekil 61. 2022 yılı D1S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	62

Şekil 62. 2022 yılı D2S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	62
Şekil 63. 2022 yılı D3S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi	63
Şekil 64. 2021 ve 2022 yılları sezonluk gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerleri	64
Şekil 65. 2021 ve 2022 yılları dozlara göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri.....	65
Şekil 66. 2021 ve 2022 yılları sulama uygulamalarına göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri	65
Şekil 67. Deneme yıllarına göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri	66
Şekil 68. Toprak örnekleme profili	68
Şekil 69. Tane yoğunluğuyla organik madde arasındaki ilişki	70
Şekil 70. Değişebilir Ca içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki	72
Şekil 71. Organik madde içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki	73
Şekil 72. Organik madde içeriğiyle pH değeri arasındaki ilişki	78
Şekil 73. pH değeriyle CaCO ₃ içeriği arasındaki ilişki	80
Şekil 74. Organik madde içeriğiyle tarla kapasitesi arasındaki ilişki	110
Şekil 75. Farklı dozlarda ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızının değişimi	117
Şekil 76. Ham protein oranı ile ADF arasındaki ilişki	123
Şekil 77. Ham protein oranı ile NDF arasındaki ilişki	123
Şekil 78. N içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki.....	135
Şekil 79. Fe içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki	136
Şekil 80. D0 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO ₂ salınımlarına etkisi	150
Şekil 81. D1 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO ₂ salınımlarına etkisi	150
Şekil 82. D2 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO ₂ salınımlarına etkisi	151
Şekil 83. D3 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO ₂ salınımlarına etkisi	151
Şekil 84. Toplam Kjeldahl azotu ile CO ₂ salınımı arasındaki ilişki	156

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ADF	: Asit detarjan lif
atm	: Atmosfer basıncı
°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
Gs	: Tane yoğunluğu
IWP	: Sulama suyu verimliliği
KDK	: Katyon değişim kapasitesi
n	: Porozite
NDF	: Nötr deterjan lif
Ø	: Boru çapı
OM	: Organik madde
P	: Toplam fosfor
Rf	: Yüzey akış
RSC	: Kalıcı sodyum karbonat
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
TN	: Toplam kjeldhal azot
WP	: Su verimliliği
γt	: Kütle yoğunluğu
ΔS	: Toprak nem içeriğindeki değişim
μ	: Mikron

GİRİŞ

Su, yaşamın temel unsurlarından biridir. Tüm organizmaların hayatta kalabilmesi ve çeşitli yaşamsal süreçleri sürdürebilmesi için suya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca hücresel seviyede metabolizma süreçlerinin gerçekleşmesi için suya gereksinim vardır. Hücre içindeki kimyasal reaksiyonların çoğu, suyun varlığında gerçekleşmektedir. Bitkiler kökler aracılığıyla topraktan besinleri almaktadır. Aynı zamanda, su bitkilerde fotosentez sürecinin gerçekleşmesi, çevresel ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliği ve yaşamın devamlığı için vazgeçilmez bir kaynaktır. Dünyamızın üçte ikisi suyla kaplı olsa da, tatlı su miktarının çok az olduğu ve sadece % 0,3' ünün yaşamsal faaliyetler için kullanıldığı, bu nedenle tatlı suların çok önemli kaynak olduğunu vurgulanmıştır (Yerli, 2022).

Dünyada ve ülkemizde şehirleşme ve endüstrileşmenin artmasıyla çevreyi ve insan sağlığını koruma gerekçeleriyle atıksu arıtma tesislerinin sayısındaki hızla artış, arıtma çamuru atığını da hızlı bir şekilde artırmaktadır. Atık çamurun çevreye zarar vermeden bertarafı önemli bir çevresel ihtiyaçtır. Pratikte önemli bertaraf seçenekleri arasında yakarak enerjiye dönüştürme veya tarım alanlarında kullanım yer almaktadır. Stabilizasyon yoluyla patojenlerden ve kokulardan arındırılan arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasını gerektiren en önemli hususlardan biri etkili ve ucuz bir gübre kaynağı olması ve ikincisi de iyi bir toprak düzenleyicisi olmasıdır. Bu iki husus tarımda arıtma çamurlarının kullanılmasını gündemde tutmuş ve ilginin artmasını sağlamıştır. Avantajlarına rağmen stabilize çamurların toprak ve bitkide ağır metal kirliliği riski yanında sera gazı salınımlarına etkisi de sürekli izleme-değerlendirmeyi gerektirmektedir. Ancak sanayi atıklarını içermeyen sadece evsel atıkları içeren arıtma çamurlarında ağır metal kirlilik riskinin sınırlanmadığı dikkate alınmalıdır.

Arıtma çamuru, endüstriyel, evsel ve belediye atık su arıtımının yan ürünüdür ve üretim prosesine bağlı olarak genellikle birincil çamur ve ikincil çamur olarak ikiye ayrılmaktadır (Kumar *et al.* 2017; Zoghلامي *et al.* 2020; Woo *et al.* 2022). Çamur; su, organik madde ve genellikle biyokatılar olarak adlandırılan inorganik bileşenlerden oluşmaktadır (Usman *et al.* 2012; Yuan and Dai 2016; Fijalkowski *et al.* 2017). Dünyada üretilen toplam arıtma çamuru miktarı, nüfus artışı, artan kentleşme” ve atık su arıtma seviyesindeki sürekli iyileştirmeler nedeniyle yıldan yıla artmaktadır (Turek *et al.* 2019; Nahar and Hossen 2021).

Dünya genelinde yıllık arıtma çamuru miktarı kuru katı madde olarak; ABD'de 4,96 milyon ton (Mt), Meksika'da 0,11 Mt, Kolombiya'da 0,15 Mt, Brezilya'da 2,5 Mt, Hindistan'da

4,36 Mt, Avustralya'da 0,41 Mt, Japonya'da 2,2 Mt, Çin'de 11,2 Mt ve İngiltere'de 1,25 Mt. olduğu rapor edilmiştir (Shiota *et al.* 2015; Leichman 2017; Australian Water Association 2020; Castellanos-Rozo *et al.* 2020; Singh *et al.* 2020; Environmental Protection Agency 2022a; Eurostat 2022; Liu *et al.* 2022). 2022 yılında Türkiye'de toplamda 348.038 ton kuru madde bazında arıtma çamuru elde edilmiştir. 235.585 ton atık işleme tesislerine gönderilmiştir, 51.034 ton belediye çöplüğünde bertaraf edilmiştir, 9.810 ton araziye atılmıştır, 19.766 ton tarım yararına veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye uygulanmıştır, 30.290 ton geçici olarak depolanmıştır ve 1.553 ton diğer yöntemlerle işlenmiştir (TUİK, 2023).

Arıtma çamurunun bertarafı teknik, ekonomik ve çevresel bir gereklilik olarak görülmektedir (Altun and Sahin, 2021). Arıtma çamurunun tarımsal üretim alanlarında kontrollü ve uygun dozlarda kullanımı bilinen en basit bertaraf seçenekleri arasında yer almaktadır (Mondal *et al.* 2015; Çakır and Çimrin, 2018; Poggere *et al.* 2019). Stabilize edilmiş arıtma çamuru potansiyel bir organik madde kaynağı olması yanında aynı zamanda önemli bir hazır besin kaynağıdır. Bu nedenle arıtma çamuru uygulaması ile toprağı bitki besleme açısından gerekli olan N, P, K ve mikro elementlerle zenginleştirmenin yanı sıra toprağın üretkenliğine sürdürülebilir katkı sağlayan organik madde kazandırılması da mümkündür (Szymańska *et al.* 2013; Zuo *et al.* 2019; Ravi *et al.* 2020). Organik maddenin etkisiyle toprağın yapısal özelliklerinin geliştirilmesiyle de bitki verimliliğine ilave katkılar sağlanabilmektedir (Ors *et al.* 2015; Sabtow, 2019; Abdallh and Sahin, 2020; Sahin *et al.* 2020; Badaou and Sahin, 2021). Ancak ağır metallerin varlığı nedeniyle arazi uygulamasında sınır değerlerinin aşılması gerektiğini, genellikle arıtma çamurunda bulunan ağır metaller sırasıyla $Zn > Cu > Cr \approx Pb \approx Ni > Cd$ şeklinde olduğunu belirtmişlerdir (Feng *et al.* 2023).

Tarımsal CO₂ salınımı, tarım faaliyetleri sırasında ortaya çıkan karbondioksit gazının atmosfere salınımını ifade etmektedir. Bitki yetiştiriciliği, hayvancılık, toprak işleme ve diğer tarımsal uygulamalar CO₂ salınımının meydana gelmesini sağlamaktadır. Bitkiler fotosentez yaparak atmosferden CO₂ emerken diğer taraftan büyüme ve gelişme sürecinde CO₂ salınımına da neden olmaktadır. Toprakta, bulunan organik madde karbon içermektedir. Doğru tarım uygulamaları ile toprakta karbon miktarı artırılarak karbonun atmosfere salınımının azaltılabileceği düşünülmektedir.

Kimyasal gübreleme, toprak işleme ve sulama gibi tarımsal uygulamalar, CO₂ salınımını artırmaktadır. Örneğin, yanlış sulama uygulamaları ve aşırı kimyasal gübre kullanımı, toprak erozyonuna ve karbon kaybına sebebiyet vererek CO₂ salınımının önemli derecede artmasına neden olmaktadır. CO₂ salınımının artmasıyla, küresel sıcaklık artışları ve kuraklık bitkilerin büyüme ve gelişme koşullarını negatif yönde etkilemektedir. Sürdürülebilir

tarım uygulamaları, toprak sağlığını artırmak, su kullanımını optimize etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler arasında en önemlisinin organik tarım yaklaşımı olduğu düşünölmektedir. Birçok ölkede, tarımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik politika ve düzenlemeler uygulamaktadır. Bu, tarım sektöründeki çiftçilerin ve üreticilerin çevresel olumsuz etkilerini azaltmaya teşvik etmektedir.

Karbon, toprak organik maddesinin temel unsurudur, organik madde ağırlığının % 48-58'ini oluşturur ki bu nedenle toprak, okyanuslardan sonra en büyük ikinci karbon havuzudur ve atmosferik karbon havuzundan iki kat daha büyük bir hacme sahiptir (Lefèvre *et al.* 2017; Dal Ferro *et al.* 2020). Arıtma çamuruyla toprağa organik madde kazandırması önemli olsa da, toprakta karbon stoklarının iyi yönetilememesi başta CO₂ olmak üzere sera gazı salınımlarında önemli artışlara neden olmaktadır.

Toprakta ana çevresel faktörler olarak organik karbon içeriği ile sıcaklık ve nem, mikrobiyal aktiviteyi etkilediğinden dolayı karbon ve azot mineralizasyonunda itici faktörlerdir (Bellitürk *et al.* 2009; Cenkseven *et al.* 2017; Yun *et al.* 2019). Amaonyumun nitrifikasyonla nitrata dönüşmesi çeşitli mikroorganizmalar (nitrifikasyon bakterileri) tarafından biyolojik oksidasyonla gerçekleşmektedir ve bakterilerin aktivitesini toprak sıcaklığı, pH'sı ve nemi önemli ölçüde etkilemektedir (Bellitürk *et al.* 2009). Düşük toprak nemi mikrobiyal aktivite ve kök solunumunu sınırlarken, aşırısı toprak porlarını bloke ederek O₂ ve CO₂ hareketini sınırlandırmaktadır. Genellikle, toprak organik karbon (SOC) mineralizasyonu toprak suyu içeriği ile artar. Nemin SOC mineralizasyonu üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığı kesin olarak bilinmemektedir. Birçok çalışma, SOC mineralizasyon oranının genellikle toprak suyu içeriğinin artmasıyla arttığını ve sıcaklık ve nem etkileşiminin, SOC mineralizasyonunu ve CO₂ emisyonunu önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (Yun *et al.* 2019).

Zornoza *et al.* (2018) CO₂ emisyonlarındaki düşüşlerin düşük su içeriği ile sınırlanmış organik madde bozulmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Maksimum organik madde ayrışmasının, atmosferden hem oksijen beslemesi ve hem de bir ara nem içeriğinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

Toprak organik karbonu konusunda bazı araştırmacılar, tekrarlanan kuru-ıslak döngülerin toprak mikrobiyal aktivitesini azalttığını, karbon mineralizasyonunun sabit nem koşullarından nispeten daha düşük olduğunu ve kuru-ıslak döngü sürelerinin artmasıyla toprak solunum hızının tepkisinin zayıfladığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların bazıları da, belirli bir inkübasyon süresinde kuru-ıslak döngü sürelerinin artmasıyla CO₂ salınım hızının azaldığını, toplam gaz salınım miktarının sabit nem koşullarından daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Sonuçların farklılığının kuru-ıslak döngülerin süresi, sıklığı ve yoğunluğu ve toprak organik karbon miktarı ve bileşimi ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir (Yun *et al.* 2019).

Silajlık mısır, dünya genelinde önemli bir yem bitkisi olarak kabul edilmektedir. Özellikle süt sığırcılığı için önemli bir yem kaynağı haline gelmiştir. Silajlık mısır, hayvanların ihtiyaç duyduğu temel besin maddelerini sağlayarak yüksek enerji ve besin değerı, hayvanların büyümesi, üremesi ve süt verimi gibi faktörler üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır.

Mısır, dünya genelinde, neredeyse Antartika dışında her kıtada başarıyla yetiştirilebilen iklim koşullarına uyum sağlamış önemli bir bitkidir (Babaoğlu, 2015). Mısır bitkisinin geniş adaptasyon yeteneği sahip olması, farklı iklim ve toprak tiplerine uyum sağlayabildiği anlaşılmaktadır. Sıcak ve nemli iklimlerden soğuk ve kuru iklimlere, hatta yüksek rakımlı bölgelere kadar birçok farklı iklim koşulunda mısır yetiştirilebilmektedir. Bununla birlikte, mısır bitkisi, farklı toprak türlerine de uyum sağlayabilen kumlu, killi, tınlı gibi farklı toprak tiplerinde yetişebilme kabiliyetine sahiptir. Bu adaptasyon yeteneği, mısırın dünya genelinde önemli bir tarım ürünü haline gelmesini sağlamıştır. Tarım faaliyetlerinin farklı coğrafyalarda yürütülmesine olanak tanıyarak gıda güvenliği açısından kritik bir rol oynamasını sağlamıştır.

Uluslararası Hububat Konseyi (IGC) verilerine göre mısır üretimi 1.162 milyar ton, tüketimi 1.176 milyar ton olup mısır ticaretinin 180 milyon ton, stok miktarının ise 272 milyon ton olduğunu belirtmişlerdir (IGC, 2023).

Bu çalışmada, farklı dozlarda sadece evsel kaynaklı atıkları içeren stabilize arıtma çamuru karıştırılmış toprak koşullarında sulamanın da yönetimiyle silajlık mısırın verim ve kalitesini artırmak, toprak özelliklerini iyileştirmek, toprak karbon stokunu artırarak CO₂ salınımlarından kaynaklanacak çevresel risklerin azaltılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda; Erzurum ekolojisinde, gerçek zamanlı su tüketimi yaklaşımı ile farklı su tüketim düzeylerinde sulama zamanlaması ile toprakta farklı nem rejimleri oluşturulmuştur. Toprakta retkenlik ve karbon stok artışı sağlayacak en uygun arıtma çamuru dozu ve sulama rejimi belirlenerek, farklı sulama nem rejimlerinin toprakta oluşturacağı farklı gerilimler, toprağın nem içeriği, toprak gzenekliklerinin suyla doluluğuna bağlı olarak değişen havalanma ve sıcaklığın organik madde mineralizasyonunu değiştirerek toprak-bitki-atmosfer döngüsü içerisinde verimlilik, toprakta karbon depolama ve atmosfere CO₂ salınımlarına etkisi Erzurum ekolojik koşullarında iki yıl süreyle araştırılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Sulama Rejimi ve İlgili Çalışmalar

Artan nüfus, su talebini artırarak su kaynaklarının daha hızlı bir şekilde tükenmesine yol açmaktadır. Plansız kentleşme ve sanayileşme, altyapı eksikliği, fosil yakıtların enerji üretiminde aşırı ve düzensiz kullanım, bilinçsiz sulama yöntemleri ve ormansızlaşma gibi tüm bu sorunlar sınırlı su kaynaklarının gelecekte çok daha büyük sorun oluşturacağını göstermektedir (Sahin *et al.* 2016; Song *et al.* 2018; Tüfenkçi vd 2021; Yerli and Sahin 2022).

Doğal ve tarımsal ortamlarda yetişen bitkiler, farklı çevresel streslere maruz kalmaktadırlar. Stres, genellikle canlı organizmanın normal yaşam sürecinden saparak, organizmanın işlevlerinde ve tepkilerinde değişikliklere neden olan bir durumu ifade etmektedir (Bayraktar and Tekce, 2018; Tekce *et al.* 2019). Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar abiyotik stres faktörlerine göre değerlendirildiğinde, kuraklık stresinin % 26 oranıyla en büyük paya sahip olduğu, ardından % 20 ile mineral stresi ve % 15 ile soğuk ve don stresi takip etmektedir (Öztürk ve Sefaoğlu, 2022).

Bu veriler bitkilerin en yaygın olarak kuraklık stresine maruz kaldığını göstermektedir. Su stresinin bitkiler için en önemli olumsuz faktörlerden olduğu ve bitkilerin çoğu için ortalama verimi yaklaşık % 50 civarında düşürdüğü bilinmektedir (Öztürk ve Sefaoğlu 2022). Su kaynaklarının sınırlılığının gelecekte su teminini zorlaştıracığı da dikkate alındığında, sürdürülebilir su yönetimi ve bilinçli kaynak kullanımı çok önemli bir konu haline gelmiştir.

Toprak nemi, mısır büyümesi için önemli bir sınırlayıcı faktör olarak kabul edilir (Peichl, 2018). Mısır su stresine oldukça duyarlıdır ve farklı gelişim aşamalarında su eksikliğine farklı tepkiler göstermektedir (Ors *et al.* 2015). Bir çalışmada üç farklı stres seviyesinde (az, orta ve yüksek) farklı toprak nem rejimleri oluşturularak yapılan silajlık mısır yetiştiriciliğinde toprak suyunun daha fazla tüketilmesinin kuru madde verimini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Shahrabian and Soleymani, 2011). Genel olarak, mısır verimi ile bitki su tüketimi veya sulama suyu derinliği arasında ilişkinin doğrusal olduğu ifade edilmektedir (Kiziloglu *et al.* 2009; Simsek *et al.* 2011; Bouazzama *et al.* 2012; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Ancak, Payero *et al.* (2008), verimin mısırın su tüketimiyle doğrusal olarak ilişkili olmasına rağmen, sulama derinliği ile polinomial değiştiğini göstermiştir. Benzer şekilde (Salemi *et al.* 2011)' da sulama miktarı ile silaj verimi arasında bir polinomial ilişki elde etmişlerdir. Yine Ors *et al.* (2015)' de sulama miktarı ile mısırın silajlık ve kuru madde

verimleri arasında istatistiksel olarak önemli ikinci derece polinomial (kuadratik) ilişkiler elde etmişlerdir.

Farklı sulama seviyelerinde mısır bitkisinin verim ve kalitesi üzerinde yapılan çalışmada en yüksek verim ve kalite sık sık sulanan konuda, en az verim ile kalite değerleri ise en az sulama yapılan konudan elde edildiği ifade edilmiştir (Bozkurt ve Yazar, 2011).

Gezer (2012), Tekirdağ koşullarında farklı sulama kısıt seviyelerinde (%100, 66, 33 ve 0) ve farklı dozlarda (0, 20, 40, 80 t/ha) İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi arıtma çamurunun silajlık mısırın su-verim ilişkilerine, toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisini araştırmıştır. 80 ton/ha konusunun toprağın organik madde içeriğini arttırması, gerekli bitki besin elementlerini sağlaması, toprakta ağır metal riski oluşturmaması ve yeterli ekonomik net karlılığı sağlaması nedeniyle önerilebilir bulunmuştur.

Bouazzama *et al.* (2012), yarı kurak koşullarda yetiştirilen mısırın su stresi altında verim ve kalitesini inceledikleri bir çalışmada, bitki büyümesi, yaprak alan indeksi ve bitki boyunun su stresi koşullarında ters orantılı olduğunu bildirmişlerdir.

Aydinsakir *et al.* (2013), iki farklı mısır çeşidinin farklı sulama seviyelerindeki performansı incelenmiştir. Su stresi arttıkça, glikoz, fruktoz ve sukroz içerikleri artmış, ham protein içeriği azaldığını, en yüksek su kullanımı Şafak çeşidinde %100 sulama uygulamasında elde edilmiş ve tane verimi açısından en yüksek sonuç %100 sulama uygulamasında elde edilmiştir. Araştırmacılar, su stresinin verim ve kalite kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Yaseen *et al.* (2014), silajlık mısır yetiştiriciliğinde farklı sulama uygulamalarının verim ve kalite parametrelerine etkilerini incelemiş, çalışmada sulama suyu arttıkça bitki boyu, bitki koçan uzunluğu, bin tane ağırlığı, biyolojik verim ve tane verimi artarken, su kullanım etkinliğinin kısıntılı sulamada tam sulamaya göre % 17,5 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Karasu *et al.* (2015), damla sulama yöntemiyle farklı seviyelerde sulanan silajlık mısırın verim ve kalitesi incelemişlerdir. Çalışmada, sulama suyu seviyeleri % 125, % 100, % 75, % 50, % 25 ve % 0 olarak uygulanmıştır. Su stresinin artmasıyla birlikte bitki boyu, koçan uzunluğu, bin tane ağırlığı ve tane veriminin azaldığını bildirmişlerdir.

Ucak *et al.* (2016), üç farklı sulama suyu uygulamasının (% 100, % 70 ve % 35) silajlık mısır bitkisine etkisi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, en düşük kuru madde verimi sulama uygulamasının en düşük olduğu konuda elde edilmiş, en yüksek kuru madde verimi ise tam sulama (% 100) uygulamasında belirlenmiştir. Ayrıca su stresi azaldıkça silajlık verim, bitki boyu ve yaprak alan indeksinin buna paralel olarak arttığını bildirmişlerdir.

Tabatabaei *et al.* (2017), daha önce yaptıkları çalışmada 3 farklı sulama seviyesinin (%100, %80 ve %60) silajlık mısır bitkisinde denemişler, su stresinin artmasıyla bitki boyu, bitki ağırlığı, yaprak alanı, koçan uzunluğu ve silajlık ot veriminde azalış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Zare *et al.* (2018), mısır bitkisine su stresinin olmadığı (%100), düşük stresli (% 80), orta derecede stresli (% 60) ve şiddetli stresli (% 40) olmak üzere 4 farklı sulama seviyesi uygulanmışlardır. Su stresinin artmasıyla kuru madde verimi, koçan uzunluğu, bitki gövde çapı ve bitki boyunun önemli seviyede azaldığını ifade etmişlerdir.

Çakmakcı (2018)' üç farklı sulama suyu seviyesiyle (% 33, % 67 ve %100) silajlık mısır bitkisinin verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiş, çalışmada sulama suyu seviyesi azaldıkça silajlık ot veriminin, kuru madde veriminin, bitki boyunun, bitki gövde çapının, klorofil içeriğinin, yaprak alan indeksinin, yaprak oransal su içeriğinin azaldığını, ancak sulama suyu seviyesinin azalmasıyla membran zararlanma indeksinin, ADF ve NDF değerlerinin arttığını belirtmiştir.

Gönülal ve Soylu (2019), üç farklı sulama suyu seviyesi (% 100, %70 ve %40) altında mısır bitkisinde sulama suyu seviyesinin düşmesiyle birlikte verim ve kalite değerlerinin azaldığı belirlemişlerdir. Ayrıca bin tane ağırlığı, tane sayısı, koçan boyu ve koçan ağırlığının azaldığını da belirtmişlerdir.

Bhattarai (2020), silajlık mısır ve sorgum bitkilerinin verim ve kalitesini 5 farklı sulama seviyesi altında (% 100, % 80, % 60, % 40 ve % 20) incelemiştir. Çalışma sonucunda, hem silajlık mısır hem de sorgumda en yüksek yeşil ot verimi, bitki boyu, gövde çapı, yaprak sayısı, klorofil ve protein içeriğinin tam sulama (% 100) koşullarında elde edildiğini, en düşük değerler ise % 20 kısıntılı sulama uygulamasında görüldüğünü bildirmiştir.

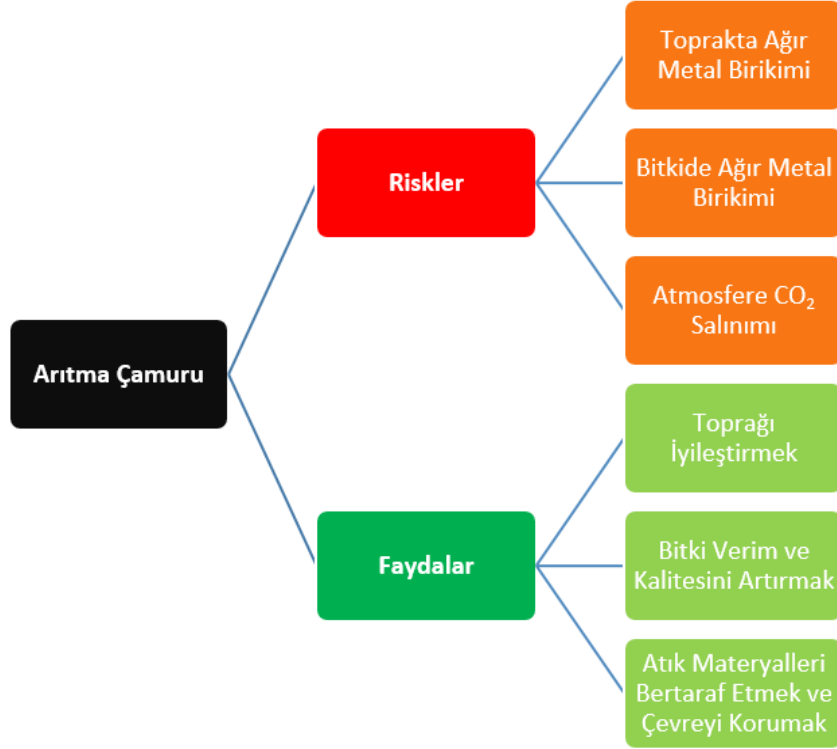
Kobak ve Taş (2021), dinamik sulama programıyla üç farklı sulama aralığı (3, 6 ve 9 gün) ile hesaplanan üç farklı evapotranspirasyon (ETc) seviyeleriyle (% 125, % 100 ve % 75) ikinci ürün silajlık mısır bitkisinin bazı verim ve morfolojik özellikleri incelemişlerdir. Çalışmada, gerçek evapotranspirasyon (ETa) değerinin 320 mm ile 582 mm, su verimliliği değerinin 3,91 kg/m³ ile 6,92 kg/m³, sulama suyu verimliliği değerinin 4,26 kg/m³ ile 6,92 kg/m³, silajlık ot veriminin 6087,8 kg/da ile 11062,8 kg/da, bitki boyunun, 222,8 cm ile 283 cm, yaprak ağırlığının 114,6 g ile 256,2 g, bitki gövde çapının 17,2 mm ile 27,3 mm, sap ağırlığının 544 g ile 710 g, ilk koçan yüksekliğinin 71,7 cm ile 101,2 cm ve koçan ağırlığının 342 g ile 594 g arasında değişiklikler gösterdiğini, en yüksek bitki boyunun 3 günlük sulama aralığında hesaplanan ETc değerinin % 125 ve silajlık ot veriminin ise altı günlük sulama aralığında hesaplanan ETc değerinin % 75' i uygulandığında elde edildiğini belirtmişlerdir.

Yerli (2022), farklı sulama suyu seviyeleriyle silajlık mısır yetiştiriciliğinde bazı verim ve kalite parametrelerinin su kısıtıyla değişimini incelemiştir. Çalışma sonucunda, sulama suyu miktarı azaldıkça bitki boyunun, gövde çapının, silajlık ot ve kuru madde verimlerinin, SPAD değerlerinin, ham protein oranının, yaprak alan indeksinin ve yaprak oransal su içeriğinin azaldığını, ancak membran zararlanamın, ADF ve NDF'nin ise arttığını belirtmiştir.

Araujo *et al.* (2023), 2 farklı sulama seviyesi (% 100 ve % 50) ve 4 farklı faydalı mikroorganizma (BM) (C: kontrol; T1: *Bacillus amyloliquefaciens* + *Azospirillum brasiliense*; T2: *B. subtilis*; ve T3: *A. brasiliense*) uygulanarak mısır bitkisinin verim ve topraktaki mikrobiyal aktivitesi üzerinde etkisi incelemiştir. Çalışmada, su stresinin artmasıyla bitki gelişimini ve ürün veriminde % 38 azalış olduğunu belirlemiştir. Ancak BM uygulaması ürün tanelerinde protein içeriğini ve topraktaki mineral azot konsantrasyonunu artırmış, ayrıca ürün verimini % 35, toprak mikrobiyal aktivitesini de önemli seviyede artırmıştır. BM ile bitki aşılması, ya kombinasyon halinde (*Bacillus amyloliquefaciens* + *A. brasiliense*) ya da tek başına (*B. subtilis*) mısırdaki su stresinin olumsuz etkilerini azalttığını tespit etmiştir.

Arıtma Çamuru ve İlgili Çalışmalar

Stabilize arıtma çamurları organik maddesi yüksek atık ürünüdür. Dolayısıyla arıtma çamuru uygulamasıyla topraklara organik madde kazandırılması yanında, toprakların bitki beslenme açısından önemli olan N, P, K ve mikro elementlerle zenginleştirilmesi de mümkün kılınmaktadır (Zuo *et al.* 2019, Ravi *et al.* 2020). Stabilize arıtma çamuru karıştırılması toprakların verimlilik yanında fiziksel ve hidrolik özelliklerini de geliştirmektedir (Şekil 1). Topraktaki organik madde artışı, ıslak agregat stabilitesini ve toprak gözenekliliğini doğrudan etkilemektedir (Yılmaz vd 2005). Bu değişimler gözenek büyüklük dağılımını etkileyerek infiltrasyon, su tutma kapasitesi ve havalandırmada önemli değişimlere yol açabilmektedir. Arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriği, toprakta fiziksel ve hidrolik özelliklerinin iyileştirdiğini birçok araştırmacı desteklemiştir (Ors *et al.* 2015; Liu *et al.* 2017; Samara *et al.* 2017; Rehman *et al.* 2018). Ancak toprakta organik maddenin korunamaması CO₂ salınımları açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Arıtma çamurunun fayda ve riskleri

Atık suların şehirleşme ve endüstriyel gelişmeyle sürekli artış göstermesi, atık giderimine yönelik çevresel ve yasal gereklilikler nedeniyle yaygınlaşan arıtma tesisleri, arıtma çamurları üretimini de hızlı bir şekilde artırmaktadır. Ham arıtma çamurlarının % 99,9 ‘unu su ve % 0,1’ini katılar, katıların da % 70’ini organik, % 30’unu inorganik materyal oluşturmaktadır (Mondal *et al.* 2015). Ham arıtma çamuru, yasal mevzuatlar gereğince arıtma tesislerinde stabilize edilerek biyokatı haline dönüştürülmektedir (Anonim, 2010). Stabilizasyonun amacı, arıtma çamurlarında bulunan patojen organizmaların azaltılması, hoş olmayan kokuların önlenmesi, çamurun çürüme ve bozulma süreçlerinin durdurulmasıdır.

Arıtma çamurlarının bertarafı teknik, ekonomik ve çevresel açıdan bir zorunluluk olarak dikkate alınmaktadır. Arıtma çamurlarının tarımsal üretim alanlarında kontrollü ve uygun dozlarda kullanılarak bertaraf edilmesi bilinen ve dikkate alınan en genel uygulamalardan birisidir (Mondal *et al.* 2015; Cakır ve Çimrin, 2018; Poggere *et al.* 2019). ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) ve Avrupa Birliği başta olmak üzere uluslararası kuruluşlar arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kontrollü kullanımını genelgeler doğrultusunda desteklemektedir (EPA, 2003; Inglezakis *et al.* 2014; Bianchini *et al.* 2016). Türkiye’ de de 2010 yılı 27605 Sayılı “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik” ile 2010 yılı 27661 sayılı “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair

Yönetmelik” arıtma çamurlarının toprakta kullanım sınırlarını ortaya koymaktadır. Ağır metal kirliliği ile ilgili yönetmenlik sınır değerler Tablo 1 ve 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. Toprakta Kullanılacak Stabilize Arıtma Çamurunda İzin Verilen Maksimum Ağır Metal İçerikleri

Ağır Metal	Sınır Değerler (mg/kg fırın kuru)
Kurşun (Pb)	1200
Kadmiyum (Cd)	40
Krom (Cr)	1200
Bakır (Cu)	1750
Nikel (Ni)	400
Çinko (Zn)	4000
Civa (Hg)	25

Tablo 2. Toprakta Ağır Metal Sınır Değerleri

Ağır Metal	pH 5-6** (mg/kg fırın kuru)	pH > 6** (mg/kg fırın kuru)
Kurşun (Pb)	50	300
Kadmiyum (Cd)	1	3
Krom (Cr)	100	100
Bakır (Cu)*	50	140
Nikel (Ni)*	30	75
Çinko (Zn)*	150	300
Civa (Hg)	1	1.5

*pH değeri 7’den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda sınır değerler %50’ye kadar artırılabilir. ** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Avrupa ve Amerika’ da arıtma çamurlarının sırasıyla % 77 ve % 64’ü enerji üretimi ve tarımda kullanım şeklinde faydalı amaçlara yönelik olarak değerlendirilmektedir. Çamurdan faydalanma amacı ülkeden ülkeye değişmekte, toprak organik maddesinin eksik olduğu ülkelerde, tarımsal kullanım en yaygın uygulamayı oluşturmaktadır. Bu kapsamda İspanya’da, biyo-katıların neredeyse % 100’ü tarımda değerlendirilmektedir. Brezilya, Ürdün, Meksika ve Türkiye gibi ülkelerde biokatıların tarımda kullanımı ise oldukça düşük olup (<% 5), ancak ılımlı bir şekilde artmaktadır. Japonya, Hollanda, İsviçre, Avusturya ve Almanya’da tarımda kullanımları sanayide kaynaklı kirleticilerle ilgili çevresel endişeler nedeniyle azalmaktadır. Ağır metal riskinin söz konusu olduğu ve toprak organik madde içeriğinin yüksek olduğu endüstriyel ekonomilerde enerji üretimi en çok tercih edilen seçenektir. Örneğin Hollanda’ da arıtma çamurunun tamamına yakını yakılmaktadır (Mateo-Sagasta *et al.* 2015).

Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2023 yılı verilerine göre kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,9 milyar m³ atıksuyun 4,4 milyar m³'ü, atıksu arıtma tesislerinde işlenmiştir. Bu arıtılan atıksuyun % 50,7' si ileri arıtma, % 27,1 'i biyolojik arıtma, % 21,9' u fiziksel arıtma ve % 0,3' ü doğal arıtma süreçlerinden geçmiştir. Arıtılan atıksuların % 46,5' i akarsulara, % 42,8' i denizlere, % 2,97' si barajlara, % 1,21' i göllere, % 0,04' ü göletlere, % 0,32' si arazilere ve % 6,3' ü diğeri alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Arıtılmış atıksuyun yüzde 2,3'ünün sanayi, tarımsal sulama gibi çeşitli alanlarda tekrar kullanıldığı ifade edilmiştir. Türkiye'de TÜİK 2023 yılı verilerine göre atık bertaraf yöntemine göre; açıkta yakma, belediye çöplüğünde depolama, diğeri bertaraf yöntemleri, çeşitli geri kazanım işlemleri, düzenli depolama, gömme ve kompost tesislerine gönderilen atık oranları sırasıyla % 0,06, % 17, % 0,3, % 12,8, % 69,4, % 0,02 ve % 0,4 olarak belirlenmiştir. Atıksu arıtma işlemleri sonucunda, kuru madde bazında 323 bin ton atıksu arıtma çamuru üretildiği belirlenmiştir (TÜİK, 2023).

Açıkta yakma, belediye çöplüğünde depolama, diğeri bertaraf yöntemleri, çeşitli geri kazanım işlemleri, düzenli depolama, gömme ve kompost tesislerine gönderilen

Arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasını teşvik eden öncelikli yön, yüksek organik madde ve besin içeriği nedeniyle ücretsiz veya düşük maliyetli bir gübre kaynağı olmasıdır (Romanos *et al.* 2019). Stabilize arıtma çamurlarının, bitki temel besin maddelerini (makro ve mikro besin maddeleri) geri kazanma fırsatı sağlaması ve yüksek organik madde içeriği nedeniyle toprakların fiziksel, hidrolik, kimyasal, biyolojik özelliklerini iyileştirmesi çamurun tarımsal alanlara uygulanarak bertarafını en iyi seçeneklerden biri haline getirmektedir (Saha *et al.* 2017; Collivignarelli *et al.* 2019; Hudcová *et al.* 2019). Organik maddenin artması fiziksel-hidrolik (su tutma, infiltrasyon, kütle yoğunluğu, agregasyon, gözeneklilik, havalanma) ve kimyasal toprak özelliklerini (özellikle daha yüksek katyon değişim kapasitesi) geliştirmektedir. Organik madde ve besin maddelerinin daha yüksek bulunabilirliği, toprak enzimlerinin aktivitesinin yanı sıra toprak mikrobiyal aktivitesini ve toprak mikrobiyal biyokütle büyümesini de artırmaktadır. Böylece uzun süreli toprak verimliliği ve besin kullanılabilirliği için gerekli olan biyolojik özellikleri de olumlu yönde desteklemektedir (Hudcová *et al.* 2019).

Yapılan çok sayıda çalışmada, arıtma çamuru karıştırılmış toprakların agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, toplam porozite, havalanma kapasitesi, su geçirgenliği, katyon değişim kapasitesi ve değişebilir Ca içeriği gibi fiziksel, hidrolik ve kimyasal özelliklerinde önemli iyileşmeler belirlenmiştir (Shirani *et al.* 2010; Mondal *et al.* 2015; Ors *et al.* 2015; Fan *et al.* 2016; Cherfouh *et al.* 2018; Norouzian *et al.* 2018).

Besin maddelerini ve organik madde sağlamak için arıtma çamuru kullanımı toprak için yararlı olabilirken, aynı zamanda yüksek çözünür tuz içeriği, NO₃ yıkanmaları, ağır metaller, organik bileşikler ve patojenler gibi kirletici içeriklerinden dolayı riskleri de barındırmaktadır (Mondal *et al.* 2015; Lamastra *et al.* 2018; Hudcová *et al.* 2019; Collivignarelli *et al.* 2019). Arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin salınımı ve topraktaki adsorpsiyonu toprak pH'sından, katyon değişim kapasitesinden ve organik madde içeriğinden etkilenmektedir (Singh and Agrawal, 2008; Hudcová *et al.* 2019). Toprak pH'sı 6.0'ın üzerinde tutulamazsa ve daha asidik seviyelere dönmesine izin verilirse, çamurdaki bazı eser metaller çözünür hale geçebilir ve böylece toprak çözeltisindeki metaller bitki alımına müsait hale gelebilir (EPA, 2003; Seven *et al.* 2018).

Arıtma çamurundaki kirletici madde ve / veya besin seviyesi, çamurun kaynağına bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (Liu and Sun, 2013). Arıtma çamuru ile muamele edilmiş toprakta çamur, yüksek C/N oranına, fazlaca ağır metallere, yüksek çözünür tuzlara sahip değilse veya aşırı yüksek oranlarda uygulanmazsa yetiştirilen mahsul genellikle önerilen gübre uygulamalarıyla muamele edilen topraklarda yetiştirilenlere eşit veya daha yüksek verim sağlamaktadır (Saha *et al.* 2017). Bununla birlikte, toprağa sanayi ağırlıklı stabilize arıtma çamuru uygulaması özellikle bitki dokularında birikebilecek ve gıda zinciri kontaminasyonuna neden olabilecek yüksek konsantrasyonlarda Cd, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metaller içerdiğinden, toprakta ve bitkide kirliliğine neden olabilmektedir (Saha *et al.* 2017).

Son yıllarda yapılmış birçok çalışmada düşük ağır metal içeriklerinden dolayı arıtma çamurlarından toprakta ve bitkide oluşan kirliliğin sınırlı düzeylerde kaldığı, risk oluşturmadığı görülmüştür. (Vaca *et al.* 2011) yürüttükleri çalışmanın sonucunda, toprağa arıtma çamuru eklenmesinin çevresel riskler oluşturmadığını ve organik atıkların nihai bertaraf sorununa bir çözüm sunduğunu ifade etmişlerdir. Hatay ili İskenderun ilçesi Biyolojik arıtma tesisi arıtma çamurunun farklı oranlarda toprağa uygulaması ile mısırdaki bitki özellikleri ile toprak özelliklerine olumlu etkileri belirlenmiş, herhangi bir ağır metal toksitesine rastlanılmamıştır (Cakır ve Cimrin, 2018). (Hamdi *et al.* 2019) tekrarlanan kentsel arıtma çamuru uygulama koşullarında, ağır metal (Cu, Zn, Ni ve Pb) içerikleri, toprak tuzluluğu ve fekal koliform değerlerinin, kirlenmiş topraklar için eşik değerlerin altında olduğunu belirlemişlerdir. (Protano *et al.* 2019) agronomik uygulama programı çerçevesinde art arda 6 yıl boyunca düzenli olarak kentsel arıtma çamuru ile muamele edilmiş topraklarda metal birikimi ve toplam ağır metal içeriklerinin, Avrupa ve İtalya yasal mevzuatları kapsamında belirlenen maksimum eşik konsantrasyonlarının altında olduğunu tespit etmişlerdir. (Skowrońska *et al.* 2020), karbon ve azotun doza bağlı olarak önemli ölçüde artışı özellikle yüksek oranda arıtma çamuru

uygulandığında gözlemlenmişler ve bu oranların topraktaki olumlu değişikliklerin daha uzun süre kalıcı olmasına izin verdiğini, ağır metal konsantrasyonları bağlamında da risk oluşturmadığını belirtmişlerdir.

Topraktaki yetersiz N içeriği, yaprak klorofil içeriğinde ve fotosentez ve biyokütle üretiminde azalmaya yol açarken (Yang *et al.* 2014), N zenginleştirici materyalin eklenmesi bitkilere yeterli bir N kaynağı sağlayabilir. Arıtma çamuru, yüksek N içeriği nedeniyle topraktaki azotu zenginleştirerek bitkilere geçişi artırmaktadır (Gezer, 2012).. Benzer şekilde Lakhdar *et al.* (2010) ve Abdallh and Sahin (2020), arıtma çamurunun özellikle yüksek dozlu uygulamalarda yüksek N içeriğinden dolayı toprakta N içeriğini önemli miktarda arttırabildiğini belirtmişlerdir.

Demir ve Cimrin (2011), farklı arıtma çamuru dozunun (%0, %10, %20 ve %30) mısır bitkisinin verim, bazı besin elementleri ve ağır metal içerikleri ile toprak özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, arıtma çamuru dozunun artmasıyla toprakta pH ve kireç içeriğinde azalmalar olurken, EC, organik madde, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Co içeriklerinde önemli artışlara neden olmuştur. Ayrıca, artan arıtma çamuru dozunun mısır bitkisinde yaş ve kuru ağırlıkları, bitki boyu, bazı besin elementlerinin ve ağır metal içeriklerinde (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Co) artışlar olduğunu belirtmişlerdir.

Cakır and Cimrin (2019)' arazi çalışmasında artan arıtma çamuru (% 0, % 2.5, % 5, % 7.5, % 10) uygulamaları ile mısır bitkisinin verim, kalite ve toprağın bazı özellikleri üzerinde etkisini incelemişlerdir. Arıtma çamuru dozlarının artmasıyla toprağın pH ve kireç içeriklerinde önemli azalmalar meydana gelirken, toprağın organik madde ve tuz içeriklerinde ise artışlar olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca mısır bitkisinin kuru ve yaş verimleri, bitki boyu ve bitki çapında istatistikler olarak önemli artış olduğunu belirtmişlerdir.

Daha önce yapılan birçok çalışmada toprakların pH ile kireç içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Demir, 2010; Turan at el., 2010; Dizikısa, 2014; Çakmakçı, 2018, Yerli, 2022). Arıtma çamuru uygulamalarında toprakta azalan pH kireç azalmasını desteklemiştir (Badaou and Sahin, 2022).

Corrêa *et al.* (2023), arıtma çamuru uygulanan toprakta mısır bitkisinin verim ve bazı kalite parametreleri üzerinde inceleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda arıtma çamuru uygulamasının verimi olumlu yönde etkilediğini belirlenmiş, protein ve lipidlerde artış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca mısır bitkisinde bazı mikro besin elementlerde (özellikle N, P ve S) artış olduğu gözlemlenmiştir.

Koutroubas *et al.* (2023), 3 farklı arıtma çamuru dozu (20, 40, ve 80 Mg/ha/yıl) ve mineral gübre (300 kg N/ha/yıl ve 26 kg P/ha/yıl) uygulamasında mısır bitkisinin verim ve azot kullanım etkinliği incelemişlerdir. Çalışmada, arıtma çamuru uygulamasında doz arttıkça azot alımının da kademeli olarak artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, arıtma çamurunun, dölleme döneminde bitki azot rezervini artırdığını, azotun tanelere taşınmasını sağlamak ve dölleme sonrası azot alımını artırmak için kullanılabileceğini önermişlerdir.

CO₂ Salınımı İlgili Çalışmalar

Tarım ve ilişkili arazi kullanımı, karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) gibi üç ana biyogenik sera gazının kaynağı olmaya devam etmektedir. Arazi kullanımı, toplam küresel antropojenik (insan kaynaklı) sera gazı emisyonlarının yaklaşık % 25'ine katkıda bulunmaktadır. Tarımsal üretimden doğrudan % 10-% 14'ü, çoğunlukla topraklardan ve hayvan yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları yoluyla, % 12-% 17'si de arazi kullanımı değişikliğinden, özellikle de ormansızlaşmadan kaynaklanmaktadır (Smith *et al.* 2014; Tubiello *et al.* 2015)

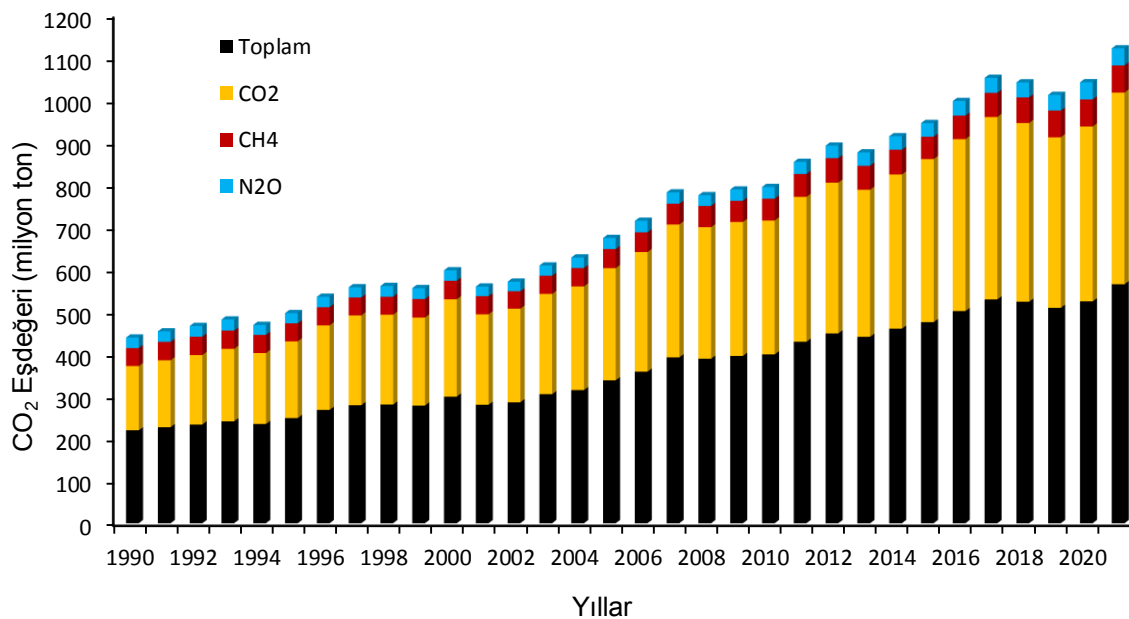
Toprakta organik madde ayrışımı, toprak agregalarının oluşumunu destekleyerek toprak porozitesini artırmaktadır. Daha iyi bir toprak yapısı, köklerin büyümesini ve su alımını kolaylaştırarak bitki veriminin artmasını sağlamaktadır. Ancak toprak karbon stoklarının iyi yönetilemediği durumlarda başta karbondioksit (CO₂) olmak üzere sera gazı salınımının da önemli artışlar görülebilmektedir (Yerli *et al.* 2023). Sera gazların dörtte biri tarımsal faaliyetlerden, geri kalanı ise fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır (Pathak and Wassmann, 2007; Tubiello *et al.* 2015; Vurarak and Bilgili, 2015). CO₂ salınımı toprak verimliliğin bir göstergesi olan organik madde uygulanan topraklarda farklı müdahaleler sonucunda karbonun O₂ ile karşılaşması sonucunda ortaya çıkmaktadır (Yerli *et al.* 2019, Tufenkci *et al.* 2021, Yerli and Sahin, 2021). CO₂, en önemli sera gazı olarak kabul edilerek ve diğer sera gazların % 82'sini oluşturduğu ifade edilmektedir (Thangarajan *et al.* 2012). Tarımsal CO₂ salınımının büyük kısmı topraktan kaynaklanmaktadır (Yerli *et al.* 2023).

Toprakta CO₂ salınımı, toprak mikroorganizmalarının organik maddeyi parçalayarak solunum yapması sonucu gerçekleşmektedir. Toprakta su eksikliği mikrobiyal aktiviteyi azaltarak toprakta CO₂ salınımı azaltmaktadır. Su kısıtı koşullarında toprakta yetersiz nemin, toprak mikroorganizmalarının aktivitesini olumsuz yönde etkilemesi sonucunda mikroorganizmaların besin kaynaklarına ulaşımını ve metabolik faaliyetlerini zorlaştırarak topraktan CO₂ salınımının azalmasını sağlamaktadır. Birçok araştırmacı toprak nem içeriğinin artmasının toprakta mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek CO₂ salınımının artırdığını bildirmişlerdir

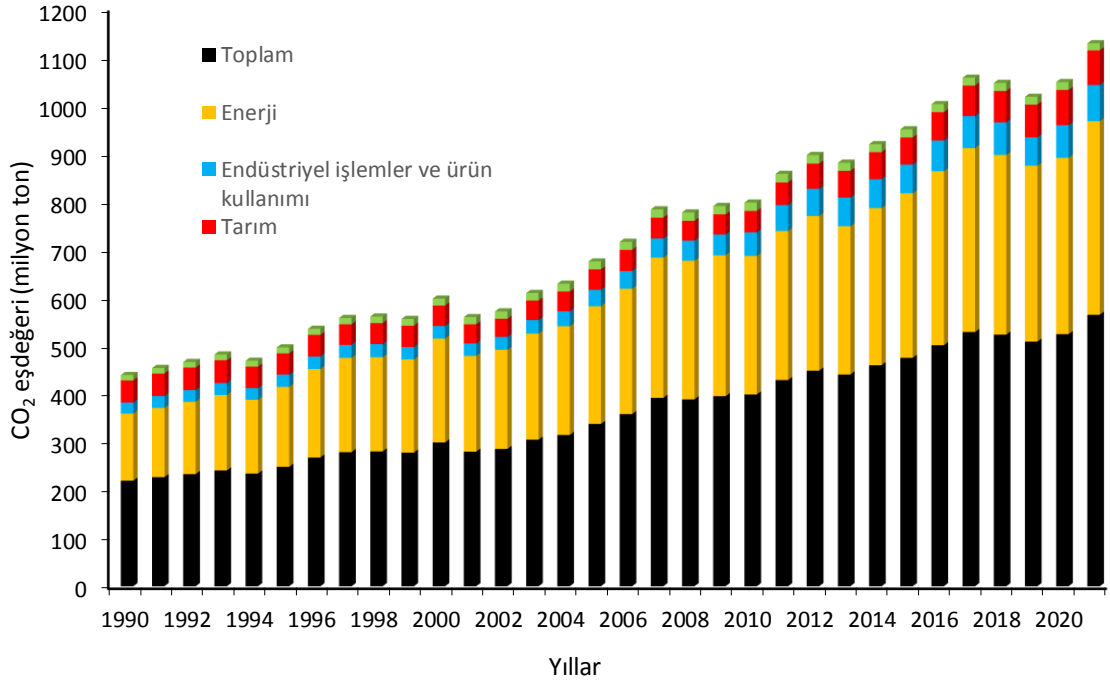
(Jabro *et al.* 2008; Zornoza *et al.* 2016; Sinaie *et al.* 2019; Zhong *et al.* 2021); Yerli *et al.* 2022; Yerli *et al.* 2023). Bu durumda toprağın nemini sınırlayan eksik sulama yaklaşımı CO₂ salınımını azaltıcı bir uygulama olarak kullanılabilir.

Toprakta nem ve sıcaklık mikorganizmaların faaliyetlerinin artırarak organik maddenin daha hızlı mineralizasyonun gerçekleşmesi sonucunda CO₂ salınımını artırabilmektedir. Daha yüksek CO₂ salınımı, genellikle daha yüksek sıcaklık ve daha nemli koşullarında gerçekleşmektedir. Bu koşullar bitki gelişimini hızlanmasını ve verimin artmasına da pozitif yönde etki etmektedir. Bir çok araştırmacı topraktan CO₂ salınımının toprak ve hava sıcaklığı, toprağın nemi, toprağın havalanma durumu, bitki artıkları gibi birçok faktör tarafından kontrol edildiği belirtmiştir (Sun *et al.* 2011, Rowlings *et al.* 2012, Evans and Burke, 2013, Mancinelli *et al.* 2015; Yerli *et al.* 2022). Bitki artıklarının bir kısmı CO₂ olarak atmosfere geri verilirken, önemli bir kısmı ise toprakta organik madde olarak korunmaktadır (Ntonta *et al.* 2022). Haddaway *et al.* (2017)' de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin CO₂ salınımını etkilediğini bildirmişlerdir.

Türkiye'de 2021 yılında toplam sera gazı salınımı 564,4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak tespit edilmiştir. Bu değer, bir önceki yıla kıyasla % 7,7 oranında bir artış göstererek 564,4 Mt CO₂ eşdeğeri olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Türkiye'de sektörlere göre toplam sera gazı salınımı en büyük payı enerji kaynaklı salınım alırken bunu sırasıyla endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarım ve atık sektörü takip etmektedir. Enerji sektörü salınımı 2021 yılında, 1990 yılına göre yaklaşık %190 artarak 402.5 Mt CO₂ eşd. olarak belirlenmiş, tarım sektörü salınımları ise yaklaşık % 55 artarak 72,1 Mt CO₂ eşd. tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Türkiye'nin sera gazı salınımı (TÜİK 2023)



Şekil 3. Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı salınımı (TÜİK 2023)

Mancinelli *et al.* (2015), farklı organik malçların, azotlu gübrelemenin (0 ve 100 kg/ha) ve sulama suyu seviyelerinin (% 100, % 75 ve % 50) toprakta karbon dioksit (CO₂) salınımına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, zamanla su stresi ile birlikte CO₂ salınımının azaldığını, bununla birlikte, toprakta suyun yüzeye girişinin, yüzey toprağının sıcaklığını düşürmesiyle CO₂ salınımının da ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir.

Fares *et al.* (2017), 3 farklı sulama seviyesi (% 75, % 100 ve % 125) ve 3 farklı azot dozu (0, 168, 336 ve 672 kg/ha) uygulamasıyla mısır bitkisi çalışmasında topraktan CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, azot dozunun artmasına bağlı toprak biyolojisinin iyileşmesiyle CO₂ salınımlarının artış gösterdiğini, ayrıca sulama seviyelerindeki artışın da CO₂ salınımlarını arttırdığını, CO₂ salınımı ile toprak nemi arasında pozitif bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir.

Hou *et al.* (2020), 3 farklı sulama suyu seviyeleri (% 100, % 40 ve % 20) altında sulanan mısırdaki topraktan CO₂ salınımlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, toprak nemin azaldıkça CO₂ salınımının da buna paralel olarak azaldığını, mısırın verim ve kalitesinde ise olumsuz yönde önemli bir etki belirlenmediğini bildirmişlerdir.

Zhong *et al.* (2021), altı farklı sulama suyu seviyesinin (% 10, % 20, % 30, % 40, % 50 ve % 100) topraktan karbon dioksit (CO₂) ve nitroz oksit (N₂O) salınımına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, tam sulama koşullarına göre % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 sulama suyu kısıntılarının CO₂ salınımlarını sırasıyla % 8,6, % 5,7, % 14,3, % 14,1 ve % 19,3

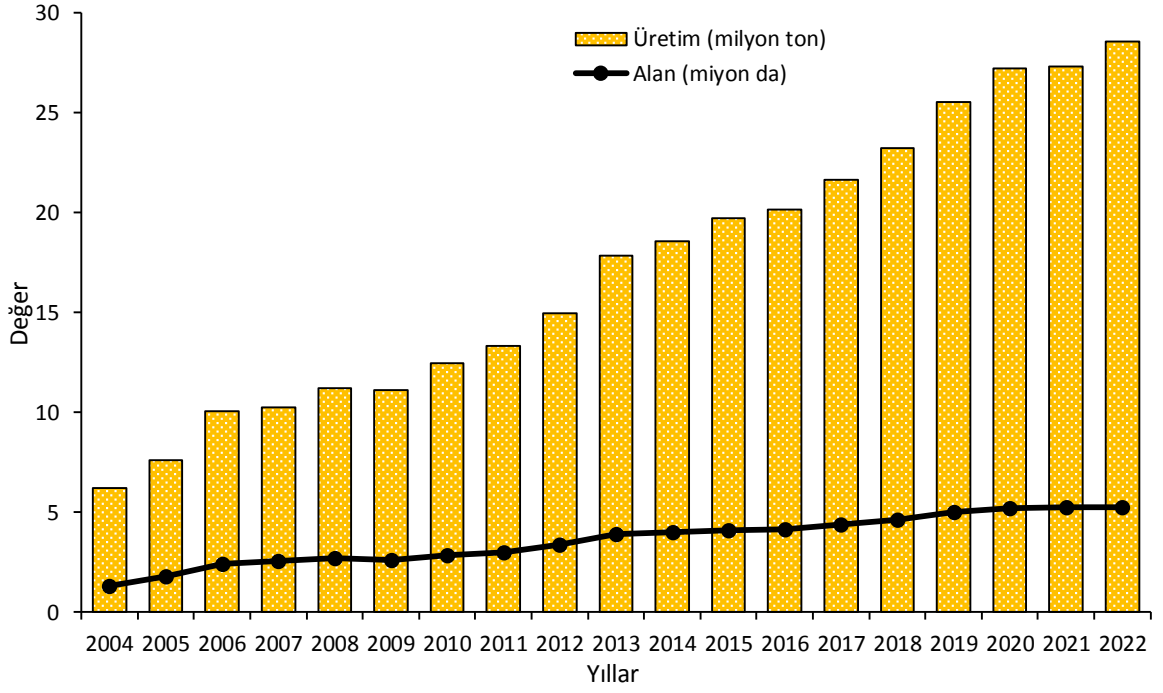
oranında azalttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, farklı sulama suyu seviyelerinin CO₂ salınımları üzerinde doğrusal bir etkisi olduğu, yani sulama suyu azaldıkça CO₂ salınımının da azaldığını ifade etmişlerdir.

Literatürde yer alan bilgilere göre, aşırı sulama uygulamaları, topraklardan CO₂ salınımını artırmaktadır. Bu durum, toprak yapısında ciddi bozulmalara neden olan organik madde kaybına yol açmaktadır. Toprak yapısının bozulması, aynı zamanda topraktaki mikrobiyal aktivitenin de azalmasına sebep olmaktadır. Mikrobiyal aktivitenin azalması, toprağın biyolojik verimliliğini düşürür, bu da bitkilerin besin maddelerine erişimini zorlaştırır ve tarımsal üretkenliği olumsuz yönde etkiler.

Silajlık Mısır ve İlgili Çalışmalar

Mısır (*Zea mays* L.), Dünya’ da olduğu gibi ülkemizde de en çok üretimi yapılan bitkilerden birisidir. TÜİK 2023 yılı verilerine göre 5 247 915 da alanda 28 558 983 ton silajlık mısır üretimi yapılmaktadır (Şekil 4). Erzurum ilinin 2022 yılında 2818.6 da alanda toplam üretim miktarı 15448 ton’ dur (TÜİK, 2023). Kuru madde içeriğinin ve yeşil ot veriminin yüksek olması, katkı maddesi gerektirmeden silaj yapımına uygun olması nedeniyle hayvan beslenmesinde silajlık mısır önemli bir yem bitkisi olarak tercih edilmektedir (Keskin vd 2018). Özellikle süt sığırcılığı için önemli bir yem bitkisidir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye’de, 9 882 219 Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde, 1 371 559 ve Erzurum ilinde ise 480 599 süt sığırcılığı yetiştiriciliği yapılmaktadır (TÜİK, 2023).

Süt sığırcılığı, dünya genelinde tarım sektörünün önemli bir parçasıdır ve birçok açıdan önem taşımaktadır. Çiftliklerin ürün yelpazesini çeşitlendirmesine olanak tanıyarak tarım işletmeleri süt üretimiyle birlikte diğer tarım ürünlerini yetiştirerek gelirlerini artırmaktadırlar. Atık yönetimi ve gübre üretimi açısından da önemli olan süt sığırcılığı hayvan gübresi, tarım alanlarında kullanılarak toprak verimliliğini artırmasını sağlamaktadır. Süt sığırcılığı, tarım sektöründe ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik, gıda güvencesi ve sosyal denge açısından önemli bir paya sahiptir.



Şekil 4. Türkiye'nin yıllara göre silajlık mısır üretimi ve ekilen alan (TÜİK, 2023)

Toprak nemi, mısır büyümesi için önemli bir sınırlayıcı faktör olarak kabul edilir (Peichl, 2018). Mısır su stresine oldukça duyarlıdır ve farklı gelişim aşamalarında su eksikliğine farklı tepkiler göstermektedir (Ors *et al.* 2015). Bir çalışmada üç farklı stres seviyesinde (az, orta ve yüksek) farklı toprak nem rejimleri oluşturularak yapılan silajlık mısır yetiştiriciliğinde toprak suyunun daha fazla tüketilmesinin kuru madde verimini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Shahrabian and Soleymani, 2011). Genel olarak, mısır verimi ile bitki su tüketimi veya sulama suyu derinliği arasında ilişkinin doğrusal olduğu ifade edilmektedir (Farre and Faci, 2009; Kiziloglu *et al.* 2009; Yenesew and Tilahun, 2009; Simsek *et al.* 2011; Bouazzama *et al.* 2012). Ancak, Payero *et al.* (2008), verimin mısırın su tüketimiyle doğrusal olarak ilişkili olmasına rağmen, sulama derinliği ile polinomial değiştiğini göstermiştir. Benzer şekilde (Salemi *et al.* 2011)' da sulama miktarı ile silaj verimi arasında bir polinomial ilişki elde etmişlerdir. Yine Ors *et al.* (2015)' de sulama miktarı ile mısırın silajlık ve kuru madde verimleri arasında istatistiksel olarak önemli ikinci derece polinomial (kuadratik) ilişkiler elde etmişlerdir.

Dünya genelinde üretilen mısırın büyük bir kısmı hayvan beslenmesinde, yaklaşık olarak % 65-70'i hayvan yemi olarak değerlendirilirken, % 20-25'i insan beslenmesinde, Kalan kısmı ise sanayi sektöründe çeşitli amaçlarla kullanılırken, özellikle gelişmiş ülkelerde, mısırın hayvan beslenmesinde kullanım oranı % 90'lara kadar çıkabilmektedir (Babaoğlu 2015). Türkiye'de mısır üretiminin büyük bir kısmı, yaklaşık %70 oranında, hayvan yemi olarak

kullanılırken, % 20'lik kısmı nişasta üretiminde ve geri kalanı ise biyodizel yakıt üretiminde kullanılan ana bileşenlerde (mısır yağı, glikol, etanol) kullanılmaktadır (Çevik 2012).

Güney vd (2010), Erzurum iklim koşullarında farklı silajlık mısır çeşitlerinin silajlık verim, kuru madde oranı, ham protein oranı, NDF oranı ve bitki boyu gibi parametreleri incelemişlerdir. Silajlık verimin 5038 kg/da ile 7032 kg/da, kuru madde oranının % 25,3 ile % 31,6, ham protein oranının % 8,3 ile % 10,3, NDF oranının % 46,8 ile % 56,9 ve bitki boyu 218,7 cm ile 276,3 cm arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Güven (2016), farklı silajlık mısır çeşitlerinde kuru madde verimi, bitki boyu, ADF ve NDF oranı parametrelerini incelemiştir. Çalışmada, kuru madde veriminin 850 kg/da ile 1534 kg/da, bitki boyunun 239,4 cm ile 299,4 cm, arasında değiştiğini, ADF ve NDF oranının ise sırasıyla % 31,8 ile % 36,9 ve % 48,7 ile % 59,4, arasında değişiklikler gösterdiğini belirtmiştir.

Güney ve Tan (2019), Erzurum iklim koşulları altında farklı silajlık mısır çeşitlerinin mısır silajı üretim potansiyelini ve çeşitler arasındaki farklılıkları değerlendirmek amacıyla bazı verim ve kalite parametrelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, silajlık veriminin 7000 kg/da ile 7857 kg/da, kuru madde oranının % 24,0 ile % 24,8, ham protein oranının % 9,6 ile % 9,8, ADF'nin % 34,0 ile % 34,2 ve NDF'nin % 39,8 ile % 40,2 arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Seydoşoğlu ve Saruhan (2017), Diyarbakır ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinde (Burak, Samada-07, DKC 7211, Ada 523 ve 31Y43) verim ve verim unsurları parametrelerini incelemişlerdir. Silajlık ot verimi, kuru madde verimi, bitki boyu, bitki çapı, yaprak oranı, bitki sap oranı ve bitki koçan oranı değerlerinin sırasıyla 6000,5 kg/da ile 10372,8 kg/da, 1656,9 kg/da ile 2556,9 kg/da, 248,8 cm ile 291,6 cm, 20,1 mm ile 28,4 mm, %16,0 ile % 22,7, %46,6 ile %58,4 ve %25,0 ile %30,9 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Deniz (2020), Manisa ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinde bazı verim ve kalite parametrelerini incelemiştir. Bitki boyu, yaprak/sap oranı, koçan/bitki oranı, silajlık ot verimi, kuru ot verimi, kuru madde oranı, ham protein oranı, ham protein verimi, ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla 318 cm ile 327,3 cm, 133,7 cm ile 184 cm, % 26,3 ile % 29,6, % 27,9 ile % 36, 7981,3 kg/da ile 10986,7 kg/da, 2795 kd/da ile 3760,3 kg/da, %32,7 ile % 38,3, ham protein oranı % 8,08 ile % 9,41, 240,5 kg/da ile 333,7 kg/da, % 3,40 ile % 11,96, % 15,9 ile % 28,7 arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Tanrikulu vd (2020), Kahramanmaraş koşullarında farklı silajlık mısır çeşitlerinin bazı verim ve kalite parametrelerini incelemişlerdir. Çalışmada, bitki boy (cm), bitki gövde çapı (mm), silajlık ot verimi, kuru madde verimi değerleri, ADF ve NDF oranının sırasıyla 244,4-

229 cm, 23,2-24,0 mm, 3615-3893 kg/da, 1608-1821 kg/da, % 30,2-% 30,8 ve % 47,8-% 48,2 arasında değişiklikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz vd (2020), Samsun iklim koşullarında çeşitli silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametreleri incelenmişlerdir. Silajlık mısır çeşitlerinin bitki boyunun 269,3-322,1 cm, bitki gövde çapının 23,7-27,2 mm, yaprak sayısı 10,6-14,2, ilk koçan yüksekliğinin 100-156 cm ve koçan ağırlığı 424,8-848,5 g arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Meşe (2021), Bilecik iklim koşulları altında silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini incelemişlerdir. Bitki boyu, bitki gövde çapı, koçan ağırlığı kuru ot verimi, ADF ve NDF değerleri sırasıyla 2, 98 m ile 3,78 m, 17,5 mm ile 27,6 mm, 0,99, 337,9 g ile 534,6 g, 2503,6 kg/da ile 4252,6 kg/da, % 29,3 ile % 42,7 ve % 46,7 ile % 67,2 arasında değişiklikler gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Şahin ve Kara (2021), Burdur ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, silajlık ot veriminin 9861,9 kg /da ile 13439,9 kg/da, bitki yaprak veriminin 178,8 g/bitki ile 289,3 g/bitki, bitki sap veriminin 434,2 g/bitki ile 757,3 g/bitki, bitki koçan veriminin 419,0 g/bitki ile 549,9 g/bitki, bitki boyunun 280,2 cm ile 362,2 cm, kuru madde oranının % 31,1 ile % 40,5, yaprak oranının %14,2 ile % 19,0, koçan oranının % 33,7 ile % 43,5 ve sap oranının % 40,2 ile % 48,1 arasında değişikler gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çelebi ve Türk (2021), Isparta ekolojisinde altı farklı sulama suyu seviyesi (% 150, %125, %100, %75, %50 ve %25) uygulaması altında silajlık mısırının bazı verim ve kalite parametrelerini incelemişlerdir. Çalışmada, bitki boyu, bitki gövde çapı ilk koçan yüksekliği, sap oranı, yaprak oranı, koçan oranı, koçan uzunluğu, silajlık ot verimi, kuru ot verimi, ham protein verimi, ham protein oranı, ADF ve NDF değerleri sırasıyla 237,5 cm ile 311,8 cm, 24,7 mm ile 30,2 mm, 95,7 cm ile 118,8 cm, % 35,8 ile % 41,8, % 40,6 ile % 41,1, %17,6 ile % 23,1, % 16,3 ile % 20,2, 5509,3 kg/da ile 10316,4 kg/da, 1165,9 kg/da ile 2506,8 kg/da, 158,4 kg/da ile 205,6 kg/da, % 8,2 ile % 9,2, % 37,3 ile % 42,5 ve % 51,2 ile % 56,6 arasında değişiklikler gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sulama suyu seviyesinin artmasıyla koçan oranı ve ham protein oranında azalma meydana geldiğini, ancak diğer verim ve kalite parametrelerinde ise artışlar olduğunu bildirmişlerdir.

Literatürdeki bilgilere göre, silajlık mısırın verim ve kalitesi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu faktörler arasında iklim, rakım, topografya, toprak özellikleri, su kaynağı, sulama miktarı ve yöntemi, gübreleme uygulamaları, ana ve ikinci ürün olma durumu ve bitki genotipi yer almaktadır. Her bir faktörün de silajlık mısırın hem verimini hem de kalitesini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Organik madde ve toprak özellikleri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde önemli etkisi olan önemli bir bileşendir. Bu özelliklerden biri suyun toprağa girme hızı olan toprak infiltrasyonudur. İnfiltrasyon, genellikle toprak veya diğer substratlar aracılığıyla suyun yüzeyden alt katmanlara geçişini ifade etmektedir. Organik madde, toprak mikrobiyolojisinin geliştirerek mikroorganizmalar sayesinde organik maddenin parçalanması ve dönüşümü sırasında toprak yapısını iyileştirerek agregat oluşumunu teşvik ederek toprak porozitesini artırarak suyun toprak içinde daha serbestçe hareket etmesini sağlar ve infiltrasyon hızını artırmaktadır. Yine organik madde, bitki kök gelişimini olumlu yönde gelişmesini sağlayarak bitki kökleri toprak içinde boşlukların artırarak suyun daha kolay toprak içine nüfuz etmesini sağlamaktadır. Arıtma çamurunda yüksek organik madde içerdiğinden dolayı, toprağın kılcal geçirgenliğini artırabilmektedir. Organik madde miktarının artması, organik maddenin toprakta granülasyonu sağlayarak toprağın agregatlaşması ve parçacıkların birbirine bağlanması durumunda, topraktaki boşluk hacminin artmasına ve infiltrasyon hızının artmasına neden olmaktadır. Arıtma çamuru, toprağın yapısını iyileştirerek, havalandırmayı ve infiltrasyonu artırarak ve toprağa besin maddeleri sağlayarak tarımsal arazilerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Badaou and Sahin., 2020). Daha önce yapılan birçok çalışmada, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, kütle yoğunluğu, porozite, havalandırma ve infiltrasyon gibi toprakların fiziksel ve hidrolik özelliklerinin arıtma çamuru kullanılarak iyileştirilebileceği ifade edilmiştir (Mondal *et al.* 2015; Ors *et al.* 2015; Fan *et al.* 2016; Outhman 2016).

Bahremand *et al.* (2003), farklı arıtma çamuru dozu (0, 25, 50 ve 100 ton/ha) uygulamasıyla toprağın bazı fiziksel özelliklerini inceledikleri çalışmada, arıtma çamuru dozunun artmasıyla toprakta hidrolik iletkenlik ve infiltrasyon hızında önemli ölçüde arttığı, hacim ağırlığının ise önemli derece düştüğünü, sonuç olarak arıtma çamurunun toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ve etkinin uzun süre devam ettiğini belirtmişlerdir.

Hussein (2009), iki farklı toprak tipi ve altı farklı arıtma çamuru dozu (Kontrol, 25, 50, 75, 100 ve 125 t/ha) uygulamaları altında toprağın bazı fiziksel özellikleri parametreleri üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, genel olarak arıtma çamurunun toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiği, özellikle toprak infiltrasyon hızının da doğrudan etkilendiği, toprak hacim ağırlığının azaldığını, porozitenin ise önemli derece arttırdığını belirtmiştir. Ayrıca arıtma çamurun organik gübre olarak kullanılması bitki büyümesini ve verimi arttırabileceğini önermiştir.

Yeganeh *et al.* (2010), silajlık mısır yetiştiriciliğinde dört yıl boyunca üst üste kuru ağırlık bazında dört farklı arıtma çamuru dozunu (0, 25, 50 ve 100 t/ha) toprağın üst katmanına

(20 cm) karıştırarak toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda arıtma çamuru uygulaması, çözünmüş organik madde içeriğini artırmış ve toprak yapısını değiştirmiş, toprak infiltrasyon oranını, doymuş hidrolik iletkenliği ve agregat stabilitesini artırmış, hacim ağırlığını ise azaltmıştır.

Badaou and Sahin (2020), üç farklı arıtma çamuru dozunun (50, 100 ve 150 mg/ha) killi toprakta bazı fiziksel özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada sonucunda, arıtma çamuru dozları arttıkça ıslak agregat stabilitesinin, tarla kapasitesinin ve ortalama infiltrasyon hızlarının arttığı, kütle yoğunluğunun ise azaldığını bildirmişlerdir.

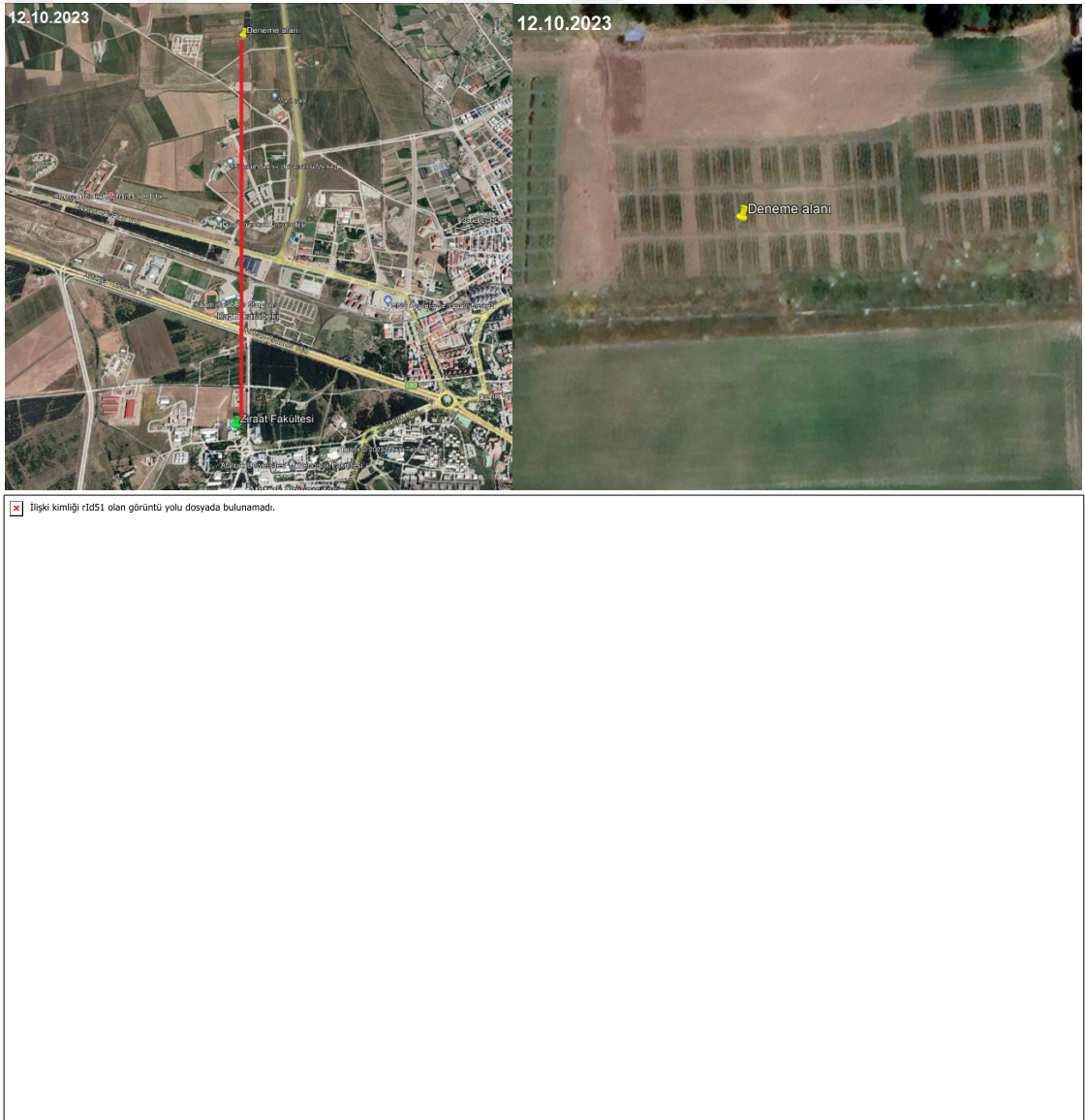
Literatür bilgilerinden, çeşitli araştırmalar arıtma çamurunun toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir. Arıtma çamuru uygulamaları toprakta hidrolik iletkenlik ve infiltrasyon hızını artırırken, hacim ağırlığını azaltmaktadır. Ayrıca, poroziteyi artırarak toprağın yapısını olumlu yönde etkilemekte, bitki büyümesini ve verimini artırmaktadır. Bu etkiler, arıtma çamurunun farklı dozlarda uygulanmasıyla killi topraklar da dahil çeşitli toprak tiplerinde gözlemlenebilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Deneme alanı lokasyonu

Çalışma, Erzurum İlinde Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi deneme alanında 2021 ve 2022 yıllarında yürütülmüştür (Şekil 5). Erzurum İli, Türkiye'nin kuzeydoğusunda 25 323 km²'lik yüzölçümüyle ülkenin dördüncü büyük ilidir. İl merkezindeki deneme alanı, 39.934⁰ kuzey enlem 41.235⁰ doğu boylamında bulunmaktadır ve denizden yüksekliği 1780 m'dir.



Şekil 5. Deneme alanının uydu ve drone görüntüsü

Deneme alanı iklim özellikleri

Erzurum ili karasal iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır. Kışlar uzun ve sert, yazlar kısa ve sıcak geçmektedir. İlin kuzey kısımları nispeten daha yumuşak bir iklime sahiptir. Sert iklimine rağmen ilde zengin bir bitki örtüsü bulunmaktadır (Karaoğlu *et al.* 2018). İklim verileri aynı havzada deneme alanına yaklaşık 5 km yatay uzaklıkta bulunan Erzurum Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan (39.9529 N, 41.1897 E) temin edilmiş iklim verilerine göre 2021 ve 2022 yılları silajlık mısır vejetasyon periyodu ve uzun yıllar (1990-2022) aylık ortalama yağış, sıcaklık, güneşlenme süresi, buharlaşma rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri ile deneme alanında kurulmuş plüvyometre ile doğrudan ölçülmüş yağış değerleri Tablo 3' te verilmiştir.

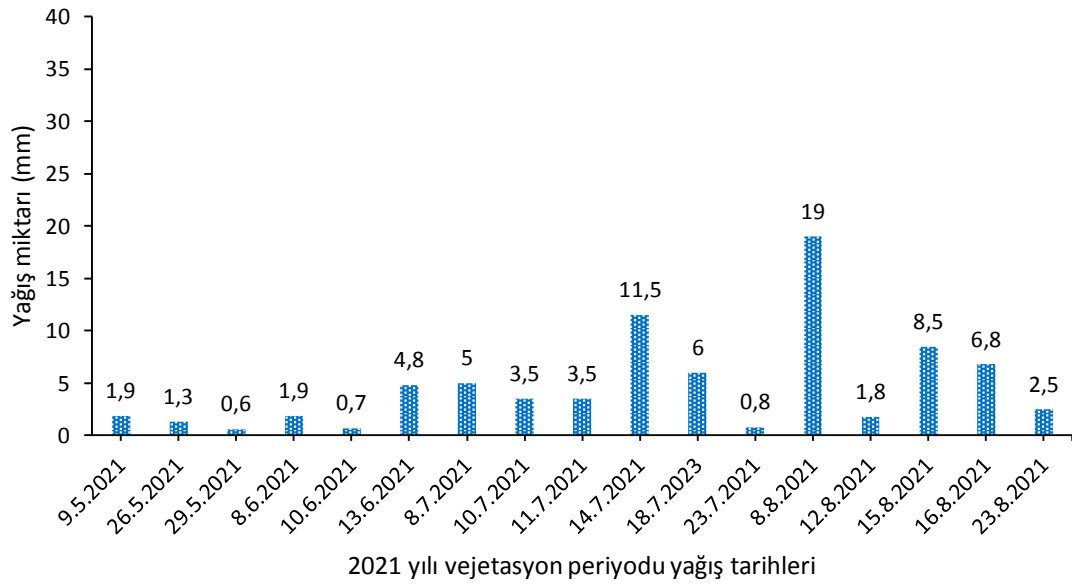
Tablo 3. Erzurum İli Uzun Yıllar ve Deneme Alanı 2021 ile 2022 Yılları Vejetasyon Periyodu İklim Verileri

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
2022	Parametre	13-31 Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	1-10 Eylül	Ort./Σ
	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

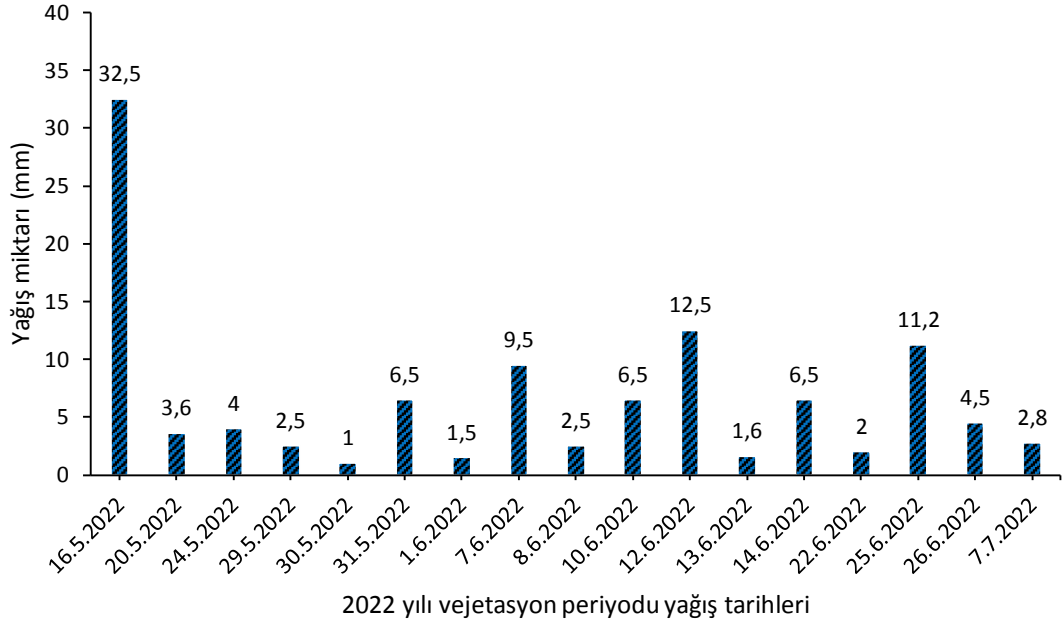
Tablo 3. (devamı)

	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

2021 yılı vejetasyon periyodu aylık ortalama en yüksek sıcaklık Temmuz (20,6⁰C) ve en düşük sıcaklık Mayıs (14,0 ⁰C), 2022 yılı vejetasyon periyodunda ise en yüksek Ağustos (21,9 ⁰C) ve en düşük Mayıs (10,2 ⁰C) aylarında belirlenmiştir. 2021 ve 2022 vejetasyon periyodu yıllarında toplam yağış miktarları sırasıyla 80,1 mm ve 111,2 mm olarak belirlenmiştir (Tablo 3 ve Şekil 6).



Şekil 6. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında plüvyometreyle ölçülmüş yağış miktarları



Şekil 7. 2021 ve 2022 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında plüvyometreyle ölçülmüş yağış miktarları

Su kaynağı özellikleri

Araştırmada kullanılan sulama suyu Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi deneme sahasındaki yeraltı suyundan temin edilmiştir. Havuzda depolanarak basınçlı boru hattıyla deneme parselleri yakınına kadar taşınan yer altı suyunun kullanım döneminde ortalama pH değeri 7,43 ve EC değeri 0,286 dS/m olarak belirlenmiş, deneme yıllarında önemli değişimler gözlenmemiştir. Sulamada kullanılmasında sorunsuz olduğu değerlendirilmiştir (Ayers and Westcot 1989).

Sulama sistemi

Sulamalar 70 cm aralıklarla her bitki sırasına bir laterale gelecek şekilde yüzey üstü damla sulama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Deneme tarlasında yapılmış infiltrasyon hızı testleri dikkate alınarak damlatıcı debi (4 L/h) ve aralıkları (33 cm) belirlenmiştir. Damlatıcı işletme basıncı 0.1 MPa olarak ayarlanmıştır. Lateraller (Ø 16) manifold borulara (Ø 32), manifold borular da ana boruya (Ø 63) bağlanarak boru hatları oluşturulmuştur (Şekil 8). Manifold boru hatları üç sulama rejimi için 3 ayrı hat olarak planlanmıştır. Her manifold hat girişine vana ve su sayacı yerleştirilmiştir. Su hidranttan yüksek basınçla alındığı için pompa kullanılmamış, ana boru girişinde basınç düşürücü ve manometre kullanılmıştır. Gereksinilen basınç, basınç regülatörü ve manometre ile doğrulanmıştır, su ana boruya girmeden önce ayrıca disk filtreden geçirilmiştir.



Şekil 8. Damla sulama sistemi

Bitki materyali

Çalışmada, silajlık mısırın bölgeye adapte olmuş, yazlık, orta erkenci, kuru ve yeşil ot verimi yüksek ve olum grubu FAO700 olan DKC6777 çeşidi kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. DKC6777 çeşidinin Türkiye’ de ekime uygunluk bölgeleri (<https://www.dekalb.com.tr/urun-katalogu/misir-tohumlari/dkc6777>)

Metot

Deneme konuları ve düzeni

Deneme dört farklı stabilize arıtma çamuru dozu ve üç farklı sulama rejimi dikkate alınarak, tam şansa bağlı deneme planına göre 4x3 faktöriyel düzende 3 tekerrürlü olarak toplam 36 parselde yürütülmüştür. 3.5 m x 7.2 m (25.2 m²) boyutundaki deneme parselleri, 70 cm sıra aralığında ve 15 cm sıra üzerinde bitki olacak şekilde 5 sıralı olarak düzenlenmiştir. Parseller arası 1.5 m, bloklar arasında 2 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 10). Stabilize arıtma çamuru Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı’na bağlı Erzurum-Ilıca yerleşkesinde yer alan atık su arıtım tesisinden temin edilmiştir. Stabilize arıtma çamuru dozları; D0:0 t/ha, D1:30 t/ha, D2:60 t/ha, D3:90 t/ha-yaş ağırlık (kuru madde oranı: % 29,9) hesabıyla oluşturulmuştur

(Gezer, 2012). Gerçek zamanlı su tüketim tahmin değerleri (ETc) ile etkili yağış (Peff) farkı toplamı [$\sum(ETc - Peff)$] yaklaşık 25 mm (S1), 50 mm (S2) ve 75 mm (S3) ulaştığında yapılan sulamalarla farklı sulama rejimlerini oluşturulmuştur.



Şekil 10. Deneme deseni

Stabilize arıtma çamurunun toprağa karıştırılması, ekim ve diğer kültürel işlemler

Proje kapsamında stabilize arıtma çamurunun kullanım öncesi kalite analizleri detaylı olarak yapılmış Tablo 4 'te verilmiştir. Tesiste arıtma çamuru, çürütücülerde anaerobik ve mezofilik şartlarda (35-37⁰C'de) asetojen ve metanojen bakterilerin faaliyetleri sonucunda stabilize edilmektedir. Stabilize arıtma çamuru ilk ekim yılı (2021) öncesi sonbahar döneminde (2020 Eylül sonu) araziye getirilerek, pullukla yaklaşık 25 cm derinlikte işlenmiş ve diskaro (diskli tırmık) geçirilmiş tarlada oluşturulan parsellerin yüzeyine belirtilen dozlarda homojen olarak serilerek, çapa makinesi ile 15 cm derinliğe kadar yüzey tabakaya karıştırılmıştır (Şekil 11).

Bölgede iklim koşullarına bağlı olarak 2021 yılında 7 Mayıs ve 2022 yılında 13 Mayıs tarihlerinde toprak dik rotovator kullanılarak 15 cm derinliğe kadar işlenecek ve ardından

pnomatik mibzerle ekim işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Bu bölgede silajlık mısırdaki yapılan bir çalışmada, azaltılmış toprak işleme kapsamında dik rotovator uygulaması hem geleneksel toprak işlemeyle istatistiksel olarak benzer verim sağlamış ve hem de enerji kullanım etkinliği dik rotovator uygulamasında geleneksel uygulamaya göre istatistiksel olarak daha yüksek belirlenmiştir (Gözübüyük *et al.* 2020).

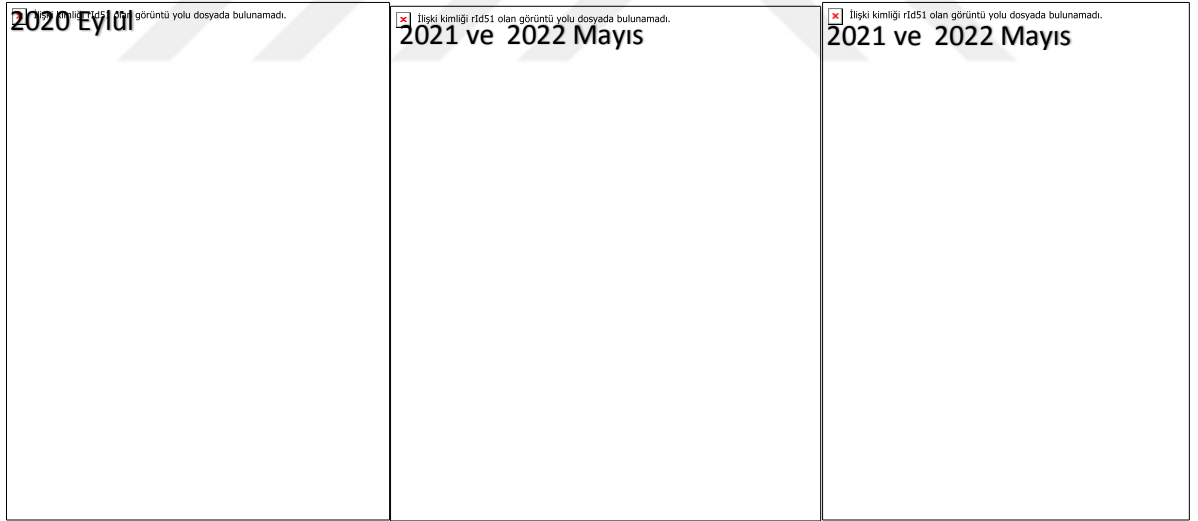
Tablo 4. Stabilize Arıtma Çamurunun Bazı Kimyasal Özellikleri

pH	EC (dS/m)	OM (%)	Toplam Kjeldahl azotu (%)	NO ₃ (mg/kg)	P (%)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)
6,72	6,51	38,6	4,13	451,5	1,32	40,96	83,62	16,35	10,42
B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)
4,04	133,70	8,90	203,90	447,40	19,90	0,06	36,79	3,43	0,31

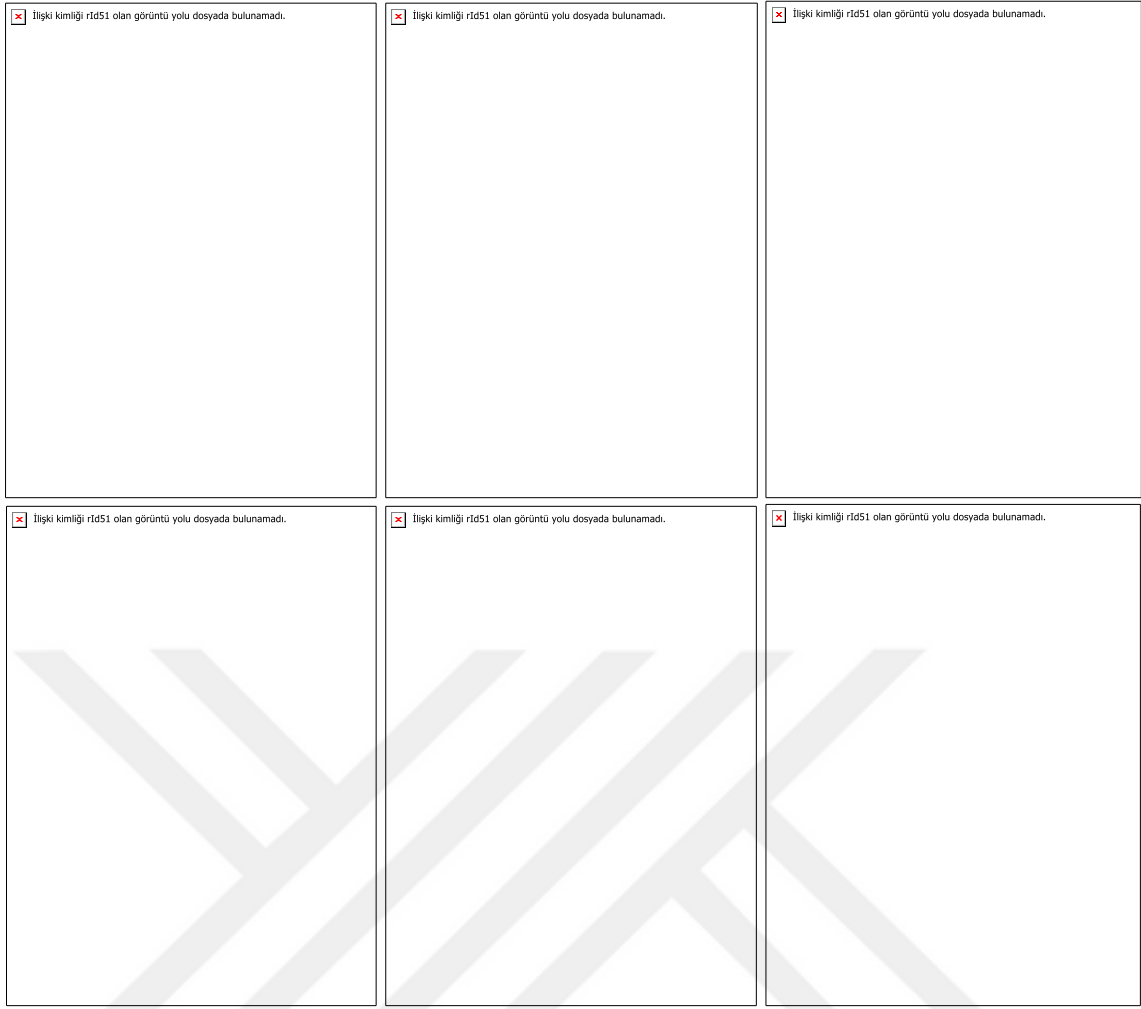
Denemede stabilize arıtma çamuru uygulanan parsellere her iki yılda da kimyasal gübre uygulaması yapılmamıştır. Arıtma çamuru içermeyen doz parsellerine uygulanacak azot ve fosforlu gübre miktarlarının belirlenmesi için her iki yılda da ekim öncesinde 30 cm ‘ lik yüzey tabakanın verimlilik analiz sonuçları dikkate alınmış, 10 kg/da üre (% 45-46 N) ve 15 kg/da triple süper fosfat (% 43-46 P₂O₅) dozlarına göre eksik miktarlar üzerinden gübreler bitki sıralarına homojen bir şekilde elle serpilerek uygulanmıştır (Çelebi *et al.* 2010). Azotlu gübrenin yarısı ekimle birlikte diğer yarısı bitkiler 4-6 yapraklı döneme (40-50 cm) ulaştınca uygulanmıştır. (Kuşvuran *et al.* 2015). Bitki boyları 15-20 cm olduğunda birinci çapalama yapılmış, bitki boyları 40-50 cm olduğu zaman (4-6 yapraklı) ikinci çapalama boğaz doldurma şeklinde uygulanmıştır (Çiğdem ve Uzun, 2006). Silajlık mısır süt-hamur olum dönemine ulaştığında (2021 yılında 9 Eylül ve 2022 yılında 10 Eylül) hasat yapılmıştır (Şekil 13).



Şekil 11. Stabilize arıtma çamurunun toprağa karıştırılması



Şekil 12. Toprak işleme ve ekim uygulaması

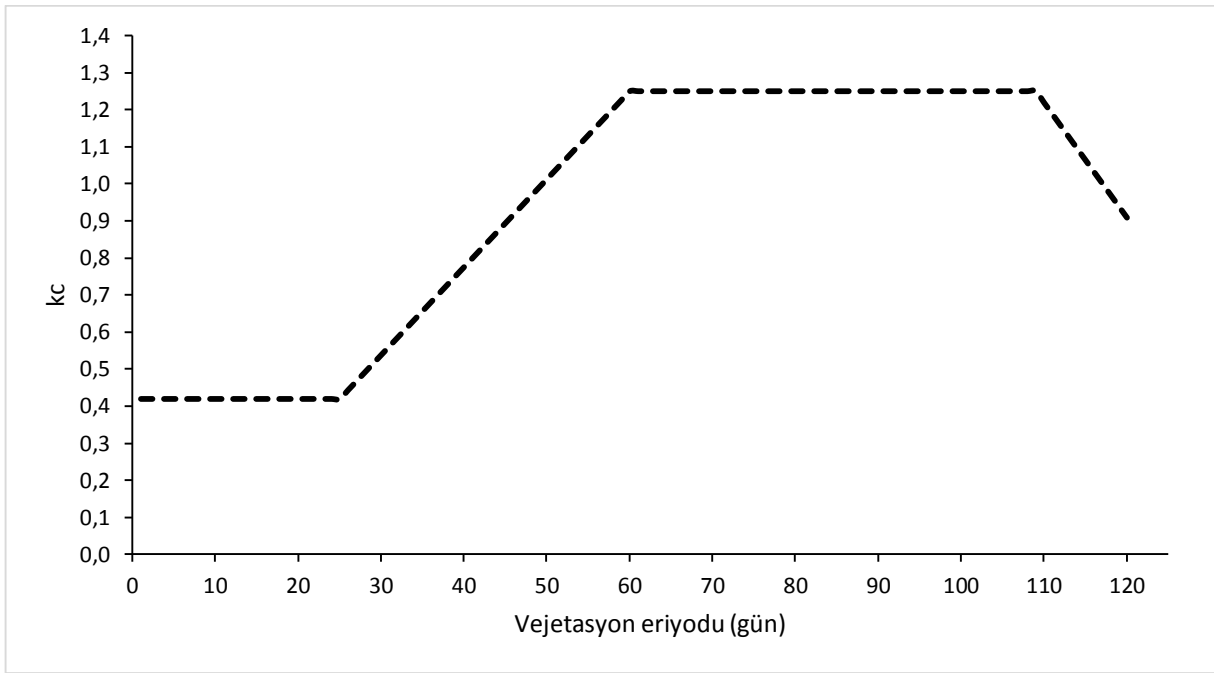


Şekil 13. Silajlık mısır parsellerinde hasat dönemi

Sulama zamanı ve miktarı

Sulama zamanını belirlemek için dinamik bitki su tüketimi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda vejetasyon süresi boyunca $\sum(ET_c - Peff)$ değerleri hesaplanmış, bu değer S1, S2 ve S3 konuları için sırasıyla 25 mm, 50 mm ve 75 mm' ye ulaştığında sulamalar gerçekleştirilmiştir. Her iki yılda da yağış tarihlerinde düşen yağışın tamamı kök bölgesinde depolandığından hepsi etkili yağış (Peff) kabul edilmiştir (Şekil 6).

Tahmini su tüketimi (ET_c) değerleri $ET_c = ET_o \times kc$ eşitliği ile günlük hesaplanmıştır. Erzurum bölgesi için bitki katsayısı ‘‘kc’’ değerleri Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) ve Devlet Su İşleri’nin 2017 yılında yayınladığı ‘‘Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi’’nden temin edilmiştir (Şekil 14) (TAGEM, 2017). Günlük referans bitki su tüketimi (ET_o) değerleri CROPWAT (Ver. 8.0) programı kullanılarak Penman-Monteith (FAO) eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte gereksinilen iklim verileri aynı havzada deneme alanına yaklaşık 5 km yatay uzaklıkta bulunan Erzurum Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan (39.9529 N, 41.1897 E) günlük temin edilmiştir.



Şekil 14. Vejetasyon periyodunda silajlık mısır ‘ k_c ’ değerleri (TAGEM, 2017)

Sulama rejimi uygulamalarını içeren konulu sulama uygulamaları bitki boyları 40- 50 cm’ e ulaştığında (4-6 yapraklı dönem) başlatılmıştır. Konulu sulama dönemine kadar tüm parseller gerektiğinde eşit düzeyde sulanmıştır. Bu dönemde sulamalar $\sum(ET_c - P_{eff})$ değeri 25 mm’ye ulaştığında 0.30 ıslatma oranı dikkate alınarak damla sulama sistemiyle, orta blok sıfır doz parsellerinde 30 cm’ deki eksilen nemi tarla kapasitesine getirmeye yetecek suyla bütün parseller eşit düzeyde sulanmıştır. 30 cm’deki nem 2021 yılında gravimetrik yöntemle 2022 yılında hem gravimetrik hem de araziye kalibrasyonu yapılmış nemölçer cihazıyla (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) belirlenmiştir (Şekil 15). Konulu sulama döneminde sulamalar 0.65 ıslatma oranıyla (Çakmakçı, 2018 ve TAGEM/TSKAD/14/AB/PO2/03:Erzurum koşullarında yüzey üstü ve yüzeyaltı damla sulamayla farklı azotlu gübre dozlarının silajlık mısırın verim ve kalite etkisi. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM Araştırma Projesi) hasada kadar sürdürülmüştür. Bu dönemde, gerçek zamanlı su tüketim değerleri etkili yağış farkı $[\sum(ET_c - P_{eff})]$ toplamı 25 mm, 50 mm ve 75 mm ulaştığında sulamalar gerçekleştirilmiştir. Her sulama rejimine ait belirlenen $\sum(ET_c - P_{eff})$ değerlerine ulaşıldıkça o sulama rejiminin orta blok sıfır doz parselindeki 90 cm’ deki eksilen nemi tarla kapasitesine getirecek kadar sulama miktarıyla bu sulama rejimindeki diğer parsellerin sulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde de 0-30, 30-60 ve 60-90 cm’ deki nem ölçümleri gravimetrik yolla yapılmıştır (2022 yılında 0-30 cm’ lik tabakada TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO nemölçer cihazıyla da izlenmiştir). Toplam sulama gereksinimi hesabında su uygulama randımanı %100 alınmıştır. Parsellere uygulanan sulama suyu derinliği ve hacmi aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır (Kanber, 2010).

$$I = \frac{(TK-MN) \times \gamma_t \times D \times P}{100} \quad (1)$$

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

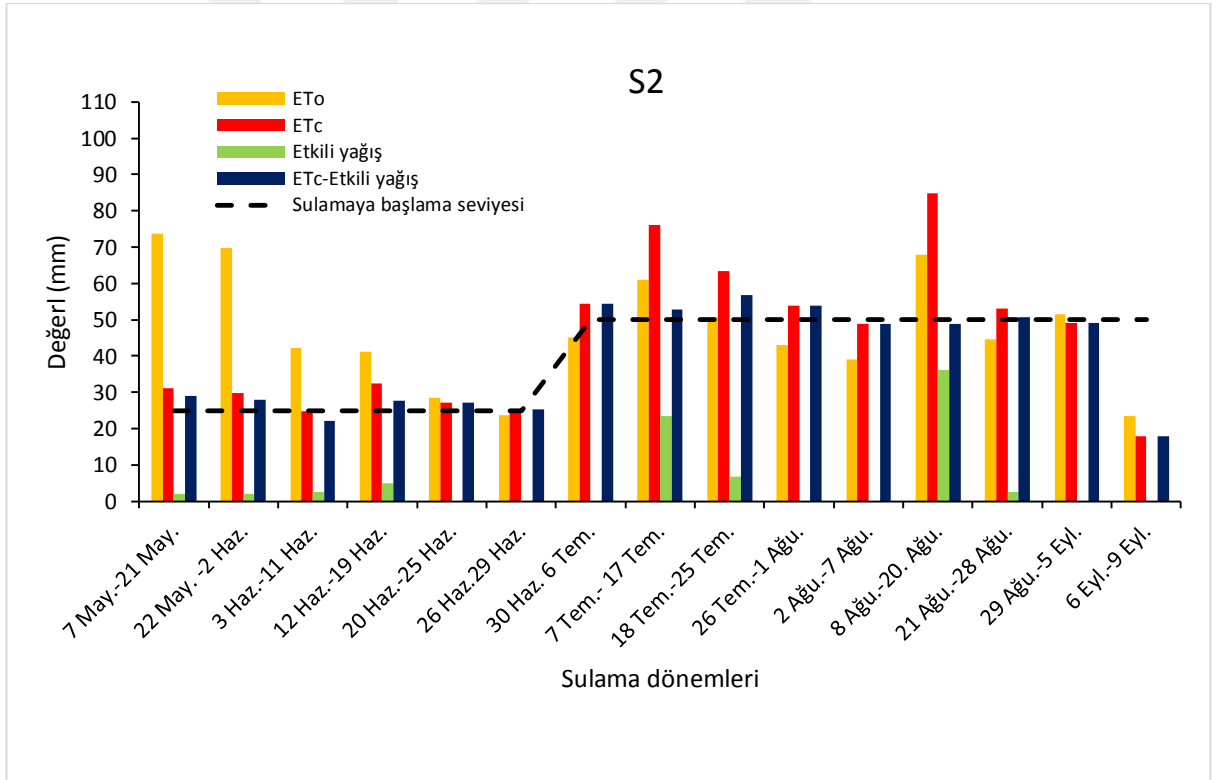
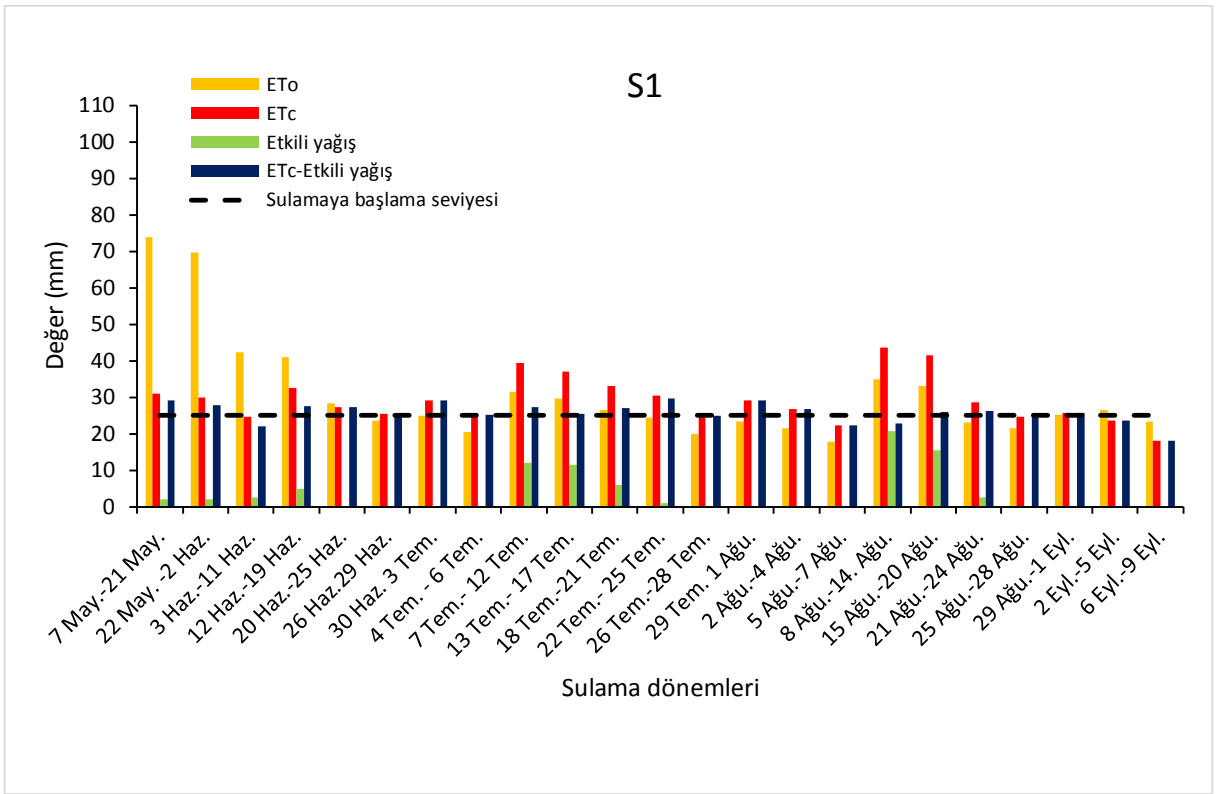
Eşitliklerde;

- I : Sulama derinliği (mm),
V : Her sulamada uygulanacak sulama suyu hacmi (L),
TK : Tarla kapasitesinde tutulan nem (Pw),
MN : Sıfır doz parselinde ölçülen mevcut nem (Pw),
 γ_t : Kütle yoğunluğu (g/cm³),
D : Toprak derinliği (mm),
P : Islatma oranı ve
A : Parsel alanı (m²)'dır.

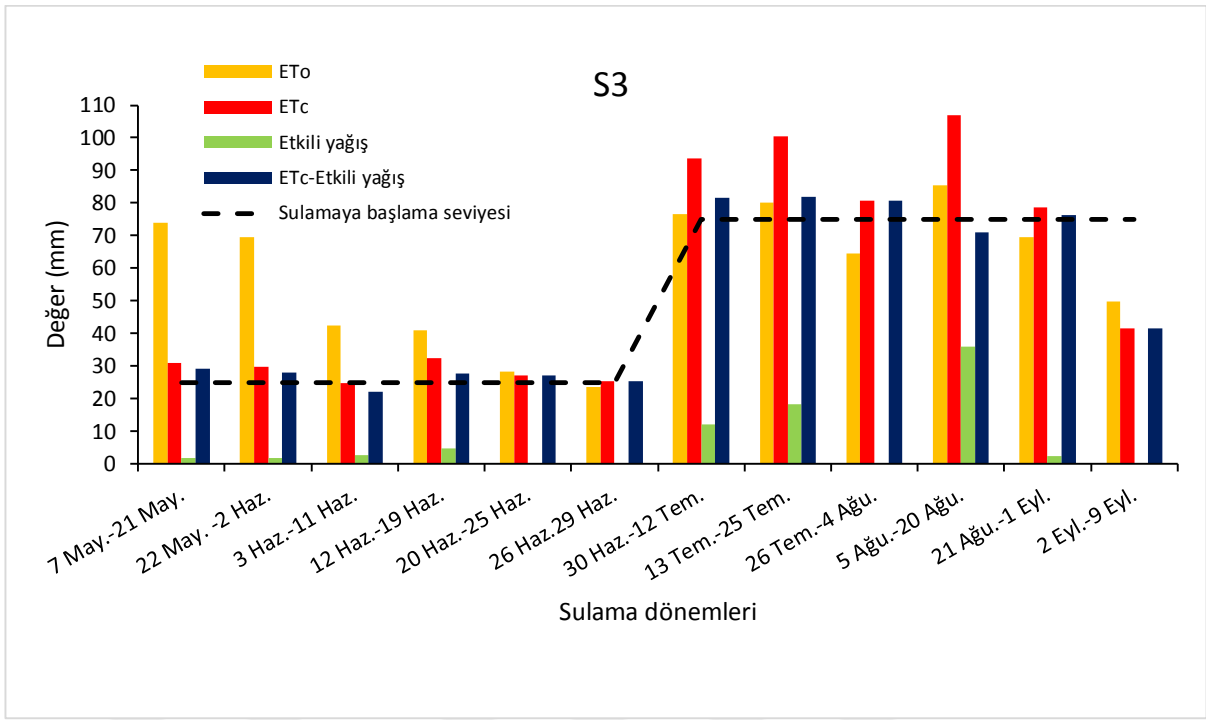


Şekil 15. Toprak nem örneklenmesi

2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında toplam ETo ve ETc değerleri sırasıyla 705,1 mm ve 672,0 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 16).

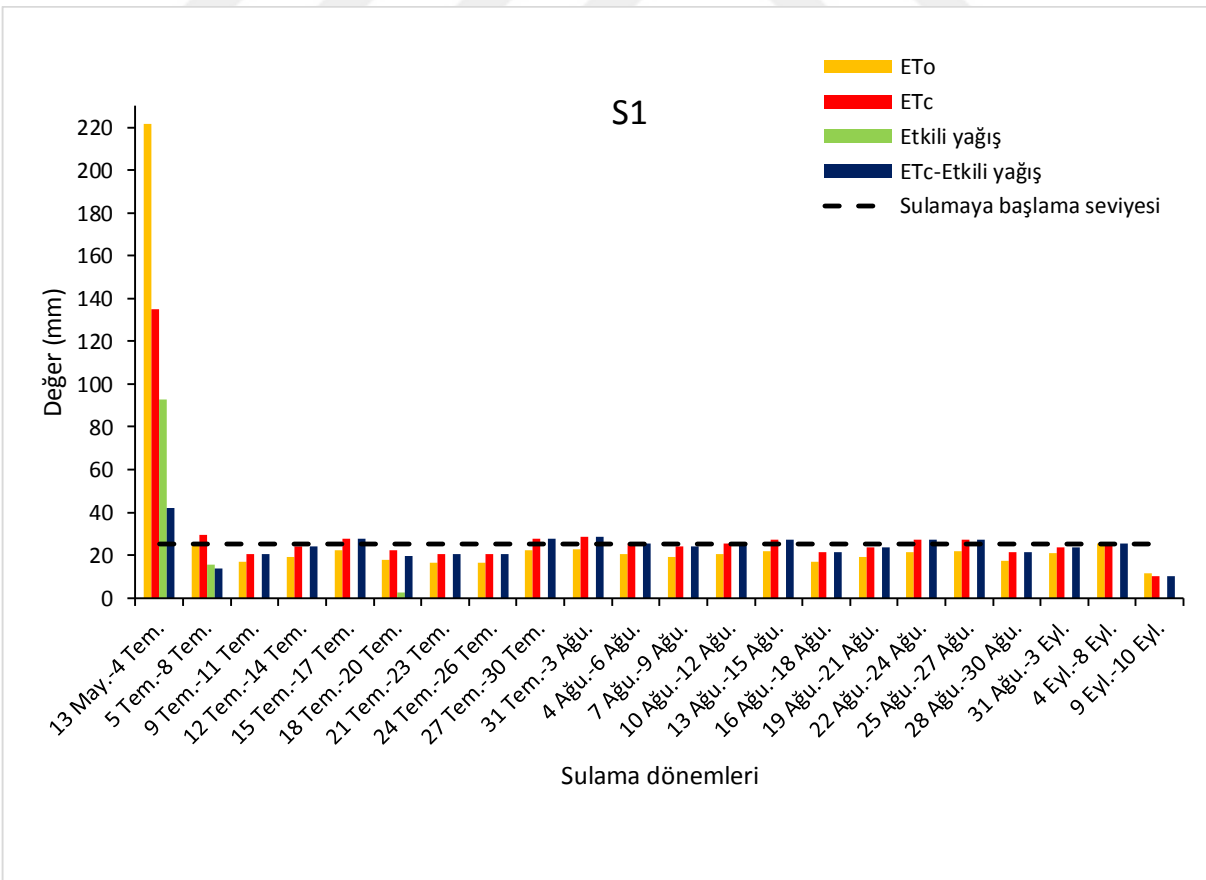


Şekil 16. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri (devamı)

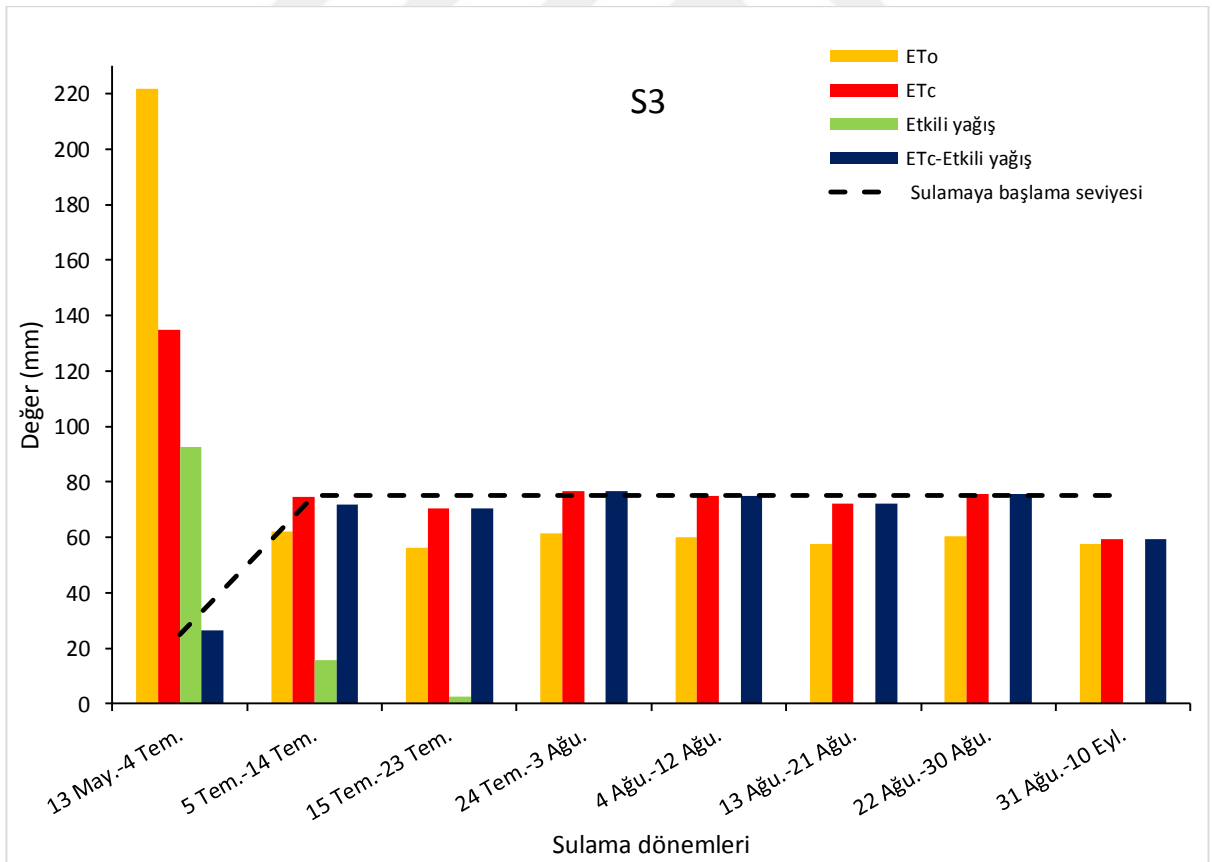
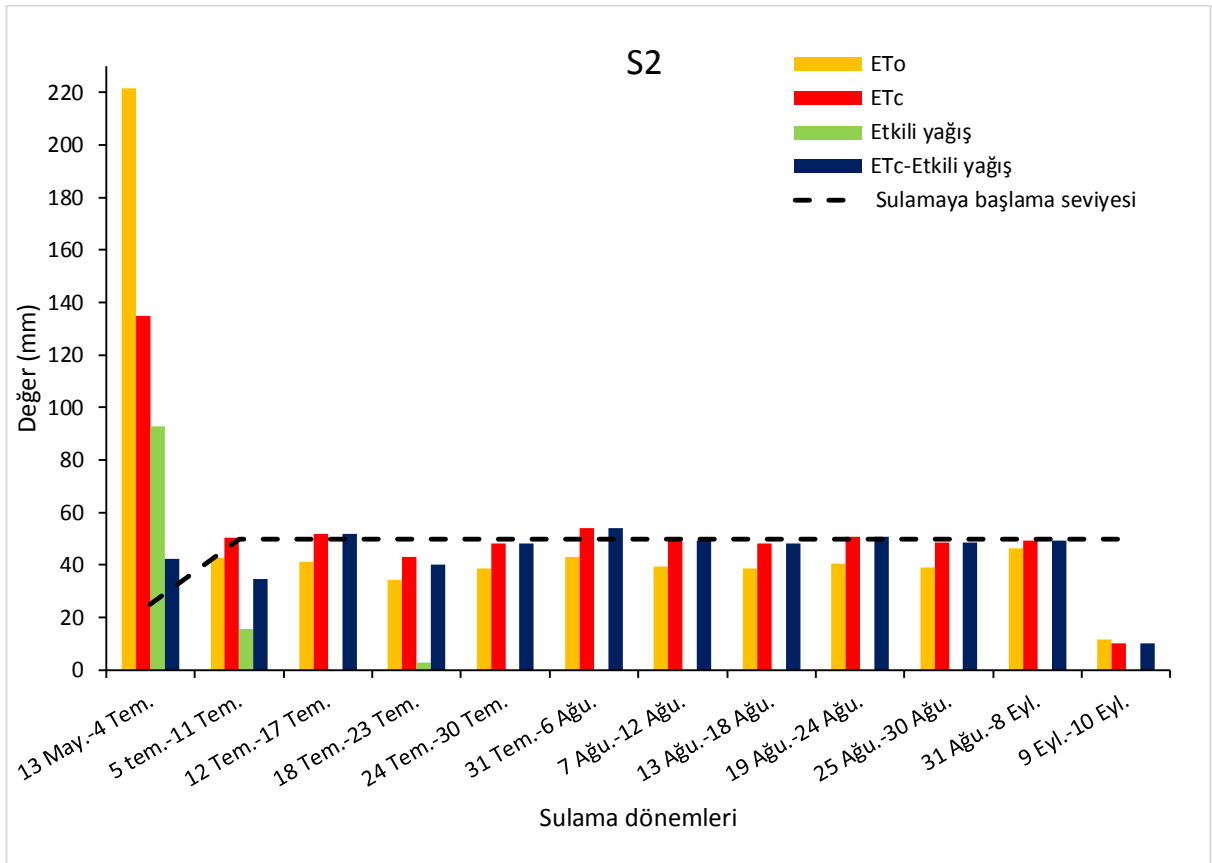


Şekil 16. 2021 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri

2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında toplam ETo ve ETc değerleri de sırasıyla 637,6 mm ve 638,7 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri (devamı)



Şekil 17. 2022 yılı vejetasyon periyodunda S1, S2 ve S3 konularında sulama dönemlerindeki ETo, ETc ve etkili yağış değerleri

Gerçek evapotranspirasyonun (ET_a) belirlenmesi

Gerçek evapotranspirasyon in aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Allen *et al.* 1998).

$$ET_a = I + P + Cr - Dw - Rf \pm \Delta S \quad (3)$$

Eşitlikte;

- ET_a : Gerçek evapotranspirasyon (mm),
- I : Sulama derinliği (mm),
- P : Yağış (mm),
- Cr : Kapillar yükselme (mm),
- Dw : Derine sızma (mm),
- Rf : Yüzey akış (mm) ve
- ΔS : Toprak nem içeriğindeki değişim (mm)'dir.

Deneme arazisinin bulunduğu bölgede taban suyu sorunu olmadığından dolayı kapillar yükselme dikkate alınmamıştır. Yağış deneme alanında kurulu olan plüviyometre ile doğrudan ölçülmüştür. Derine sızma 90-120 cm'deki nem değişimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Toprağın infiltrasyonu dikkate alınarak damlatıcı debisi ve aralığı seçildiğinden, yüzey akışla su kaybı olmamıştır. Toprak nem içeriğindeki değişimler, etkili kök derinliğindeki (90cm) nemin ölçülmesiyle hesaplanmıştır.

Orta bloktaki toplam 12 parselde nem ölçümleri 0-30, 30-60 ve 60-90 cm' de gravimetrik yolla gerçekleştirilmiştir (2022' de 0-30 cm de TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO nemölçer cihazıyla da izlenmiştir). Ölçümler; her sulama öncesi, sezon başı ve sezon sonu (hasatta) yapılmıştır. Ayrıca 90 – 120 cm'deki nem içerikleri de sezon başında her ayın sonunda ve hasatta gravimetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Nem ölçümleri, parsel ortasında iki bitki arasına denk gelecek şekilde damlatıcıdan yaklaşık 15-20 cm uzaklıkta yapılmıştır.

Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (IWP)

Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (IWP) belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Howell *et al.* 2001).

$$WP = \frac{Y}{ET_a} \quad (4)$$

$$IWP = \frac{Y}{I} \quad (5)$$

Eşitliklerde;

- WP : Su Verimliliği (kg/m³),
- IWP : Sulama Suyu Verimliliği (kg/m³),

Y : Silajlık ot verimi (kg/da),
ET_a : Sezonluk gerçek evapotranspirasyon (mm) ve
I : Sezonluk sulama miktarı (mm)' dir

Toprak örneklerinin alınması, analizler ve hesaplamalar

İlk deneme yılı ekim öncesi sıfır doz parsellerinden ve her deneme yılı hasat sonrasında da tüm parsellerden 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerine denk gelen tabakalarda örnekleme yapılmıştır. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde tekstür (bir kez deneme öncesinde), tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, ıslak agregat stabilitesi, toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, CaCO₃ içeriği, organik madde, toplam Kjeldahl azotu (N), nitrat (NO₃), alınabilir fosfor (P₂O₅) ve potasyum (K₂O), değişebilir katyonlar (K, Ca, Mg, Na), mikro element ve ağır metaller (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Hg, Cd, Cr) analizlerle belirlenmiştir. Toplam porozite, yarayırlı su miktarı, katyon değiştirme kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi ve toprak organik karbon stoku ise hesap yolu ile belirlenmiştir.

Dönem içi karbon stok değişim hesaplamaları için ayrıca 0-30 cm' lik tabakayı temsil edecek şekilde her iki yılda da ekim döneminde ve her ayın sonunda tüm parseller örneklenerek hacim ağırlıkları ve organik madde içerikleri belirlenmiştir.

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

Tane yoğunluğu: Piknometre yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 18) (Blake and Hartge, 1986).



Şekil 18. Tane yoğunluğu analizi

Kütle yoğunluğu: Yaklaşık 100 cm³ hacimli silindire alınan bozulmamış toprak örneklerinin etüvde 105 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra tartılarak belirlenen fırın kuru ağırlıklarının toplam örnek hacmine oranlanmasıyla belirlenmiştir (Blake and Hartge, 1986).

Porozite: Kütle ve tane yoğunluk değerleri ile aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Danielson and Sutherland, 1986).

$$Porozite = (1 - \frac{\gamma_t}{G_s \times \gamma_w}) \times 100 \quad (6)$$

Eşitlikte;

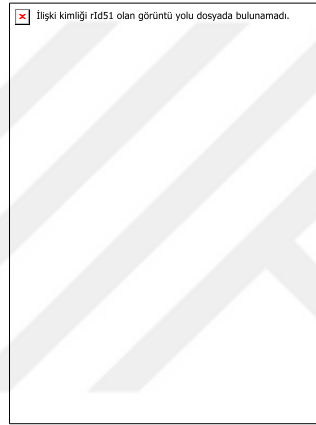
γ_t : Kütle yoğunluğu (g/cm³),

G_s : Tane yoğunluğu ve

γ_w : +4 °C'deki saf suyun hacim ağırlığı (g/cm³)'dır.

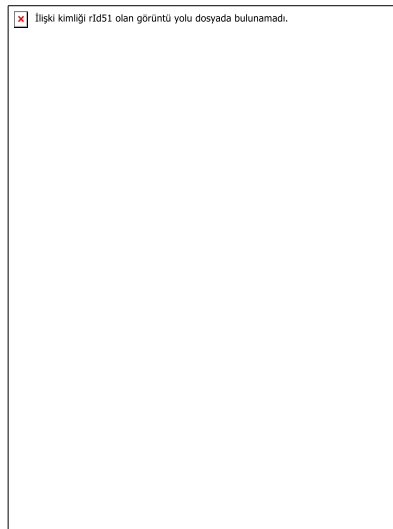
Islak agregat stabilitesi: Islak eleme yöntemiyle belirlenmiştir (Kemper and Rosenau, 1986).

pH ; Saturasyon ekstraktında pH metre ile doğrudan okuma yapılarak tespit edilmiştir (Şekil 19) (McLean, 1982).



Şekil 19. Toprak örneklerinde pH ölçümü

Elektriksel iletkenlik (EC); Saturasyon ekstraktında kondüktivimetre aleti ile okunarak dS/m olarak belirlenmiştir (Şekil 20) (Ayyıldız, 1983).



Şekil 20. Toprak örneklerinde EC ölçümü

CaCO₃ (%): Scheibler kalsimetresi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 21) (Kacar 2009).



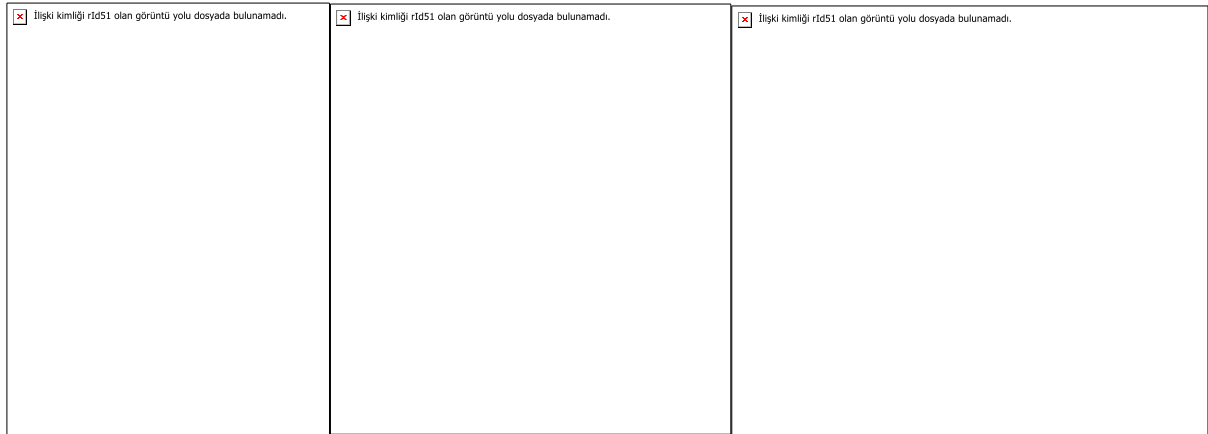
Şekil 21. Toprak örneklerinde kireç analizi

Toprak organik maddesi (%): Smith-Weldon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 22) (Nelson and Sommers, 1982).



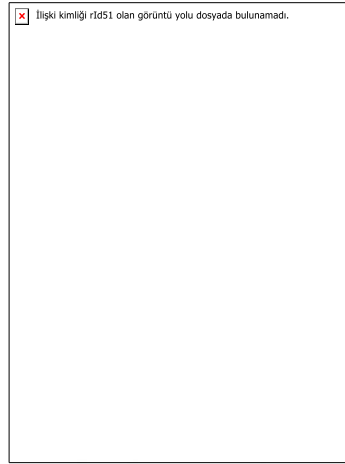
Şekil 22. Toprak örneklerinde organik madde analizi

Toplam Kjeldahl Azotu (%): Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 23) (Allison *et al.* 1965).



Şekil 23. Toprak örneklerinde Kjeldahl azot analizi

Alınabilir fosfor (P₂O₅): Nelson and Sommers (1982)' e göre, kimyasal çözeltiler ile Spektrofotometrede bulunan fosfor miktarı dönüşüm katsayı ile çarpılarak belirlenmiş, kg/da birimiyle ifade edilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Fosfor analizi

Alınabilir potasyum (K₂O): örnekler İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Kütle Spektrometre (ICP- MS) cihazı ile okunmasından sonra belirlenen K miktarına dönüşüm katsayısı uygulanarak belirlenmiş kg/da birimiyle ifade edilmiştir. (Richards 1982)

Nitrat (mg/kg): Nitrat azotu konsantrasyonu belirlemek için örnekler 2M KCl ile ekstrakte edilmiş, ekstraktlardaki konsantrasyon MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu ve titrasyon yoluyla ölçülmüştür (Keeney ve Nelson 1982).

Kasyon değişim kapasitesi (cmol/kg): Toprak örneklerinde belirlenen değişebilir katyonların (K, Ca, Mg ve Na) toplanması ile belirlenmiştir (Çakmakçı, 2018).

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

$$ESP = \frac{Na_x}{CEC} \times 100 \quad (7)$$

Eşitlikte;

ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi (%),

Na_x : Değişebilir sodyum miktarı (cmol/kg) ve

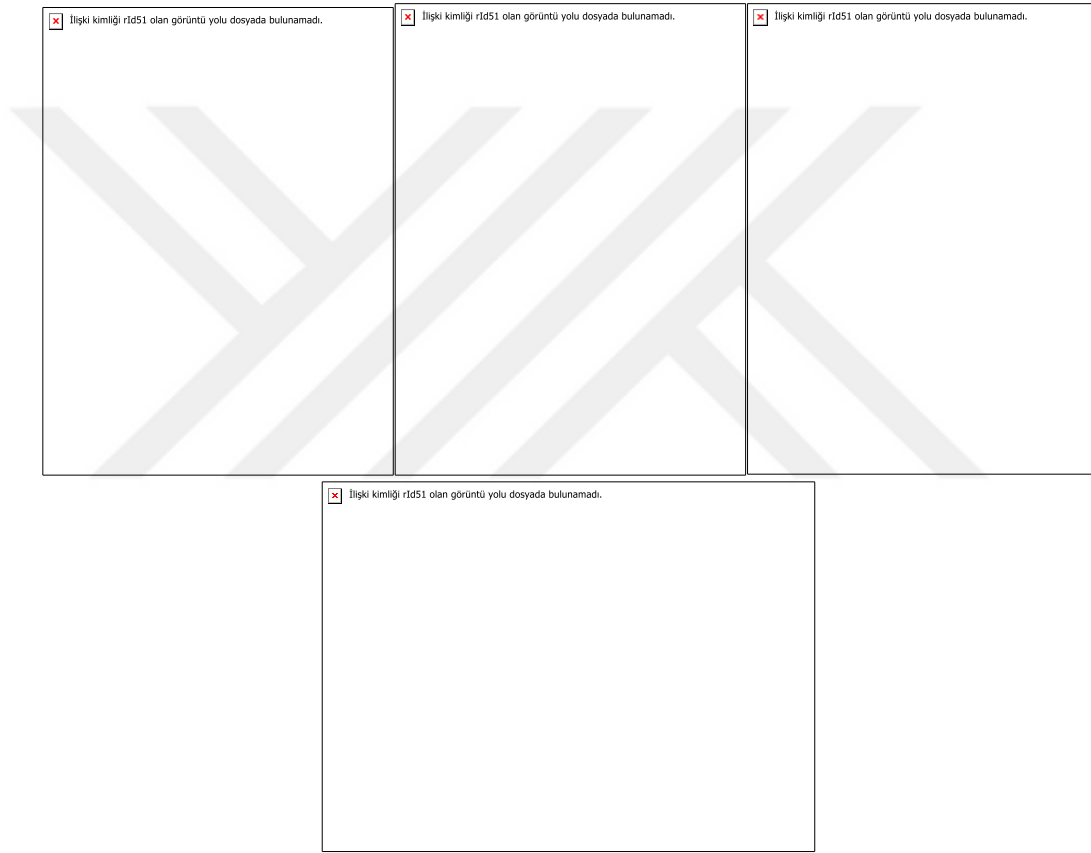
CEC : Kasyon değişim kapasitesi (cmol/kg)' dir.

Makro-mikro element ve ağır metal içerikleri (K, Ca, Mg, Na B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Hg, Cd, Cr): Havada kurutulmuş örnekler 0.15 mm'lik elekten geçirilerek ve elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine bırakıldıktan sonra 9 ml HNO₃ ve 3 ml H₂O₂ 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 gerçekleştirilmiş, makro element içerikleri cmol/kg, mikro element ve ağır metal içerikleri mg/kg olarak ifade edilmiştir (Anonymous 2007).

Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları (P_w): Tarla kapasitesi için 1/3 atmosferde ve solma noktası için 15 atmosferde tutulan nem miktarları laboratuvarında basınçlı membran aleti kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 25) (Klute, 1986).

Yarayışlı su miktarı (mm): Tarla kapasitesi ve solma noktası farkı ve hacim ağırlığı değerleri kullanılarak 3 tabaka için (0-30, 30-60 ve 60-90 cm) ayrı ayrı hesaplanmıştır (Cassel and Nielsen, 1986).



Şekil 25. Laboratuvarında tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan su miktarlarının belirlenmesi

Toprak organik karbon stoku (SOC_{stock})

Toprakta organik madde kütlesinin yaklaşık % 58' inin karbon olduğu yaklaşımla, bu çalışmada da 0.58 dönüşüm katsayısı kullanarak toprakta organik karbon içeriği toprak organik madde içeriğinden tahmin edilmiştir (FAO, 2017).

$$SOC = 0.58 \times SOM \quad (8)$$

Eşitlikte;

SOC : Organik karbon içeriği (%) ve
SOM : Organik madde içeriği (%)’ dir.

Birim alan (ha) için belirlenen hacimdeki toprak kütlesi ($\gamma_t \times D \times 10000$) dikkate alınarak 0-30 cm’deki toprak organik karbon stokunun (SOC_{stok}) tahmin edilmesinde de aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Melenya *et al.* 2015; FAO, 2017; Anonim, 2018; Budak and Günal, 2018).

$$SOC_{stok} = \left(\frac{SOC}{100} \right) \times (\gamma_t \times D \times 10000) \quad (9)$$

Eşitlikte;

SOC_{stok} : Organik karbon stoku (t /ha),
SOC : Toprak organik karbon içeriği (%),
 γ_t : Kütle yoğunluğu (t/m³) ve
D : Toprak tabaka derinliği (0.30 m)’ dir.

Toprak karbon stoklarını belirlemek için 0-30 cm toprak derinliğinin daha dinamik olduğu ifade edilmiştir (Olson and Al-Kaisi, 2015; Anonim, 2018). The Intergovernmental Panel on Climate Change (Change, 2006)’ e göre de SOC stoklarını tahmin etmek için, önerilen yönergelerle göre 0-30 cm derinlikteki organik karbon içerikleri dikkate alınmıştır.

Toprak organik karbon stok değişiminden CO₂ salınımlarının tahminlenmesi

Aylık ve sezonluk periyotlarda karbon stok değişimlerinden CO₂ salınımlarının tahmin edilmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Change, 2006).

$$\Delta CO_2 emission = \Delta SOC \times \left(\frac{44 \text{ unit } CO_2}{12 \text{ unit } C} \right) \quad (10)$$

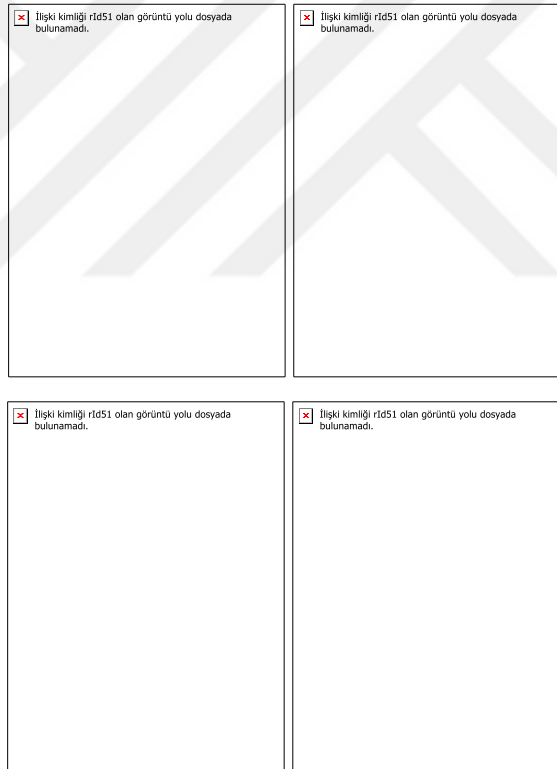
$$\Delta SOC = \frac{SOC_e - SOC_i}{T} \quad (11)$$

Eşitliklerde;

$\Delta CO_2 emission$: Aylık veya sezonluk CO₂ emisyonu (g/m²/h)
 ΔSOC : Karbon stoklarında aylık veya sezonluk değişim (g/m²)
 SOC_e : Döneminin sonunda toprak organik karbon stoku (g/m²)
 SOC_i : Döneminin başında toprak organik karbon stoku (g/m²)
T : Varsayılan zaman periyodu (h)

Toprakdan CO₂ salınımının doğrudan ölçülmesi

Toprakdan CO₂ salınımları denemenin ikinci yılında (2022) ekimde, ekimden 1, 2, 3, gün sonra, sulamalardan 1 gün önce ve 1, 2 ve 3 gün sonra ve hasatta ölçülmüştür. CO₂ salınımı ölçümünde EGM-5 kızılötesi gaz analizörü (CFX-2, PPSystems, Stotfold, UK) cihazı kullanılmıştır. Ölçümler orta bloкта, merkez bölgede iki bitki sıra arasına denk gelecek şekilde damlatıcılardan 15-20 cm uzaklıkta 3'er okuma şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 26). Ölçüm çemberi 1-2 cm toprağa çakılarak 1 dakikalık bir süreçte ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şenyigit and Akbolat, 2010; Barut *et al.* 2012). CO₂ salınım ölçümleri sırasında H₂O salınımları, hava sıcaklığı ve 5 cm, 10 cm ve 20 cm' de toprak nem ve sıcaklıkları da ölçülmüştür. (Sainju *et al.* 2008; Şenyigit and Akbolat, 2010; Zornoza *et al.* 2016; Buragiene *et al.* 2019). Nem ölçümü toprak nemölçer aleti (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) kullanılarak, H₂O salınımları ve hava sıcaklığı doğrudan CO₂ salınım cihazıyla ve sıcaklık ölçümü de CO₂ cihazına bağlanabilen bir proba yapılmıştır.

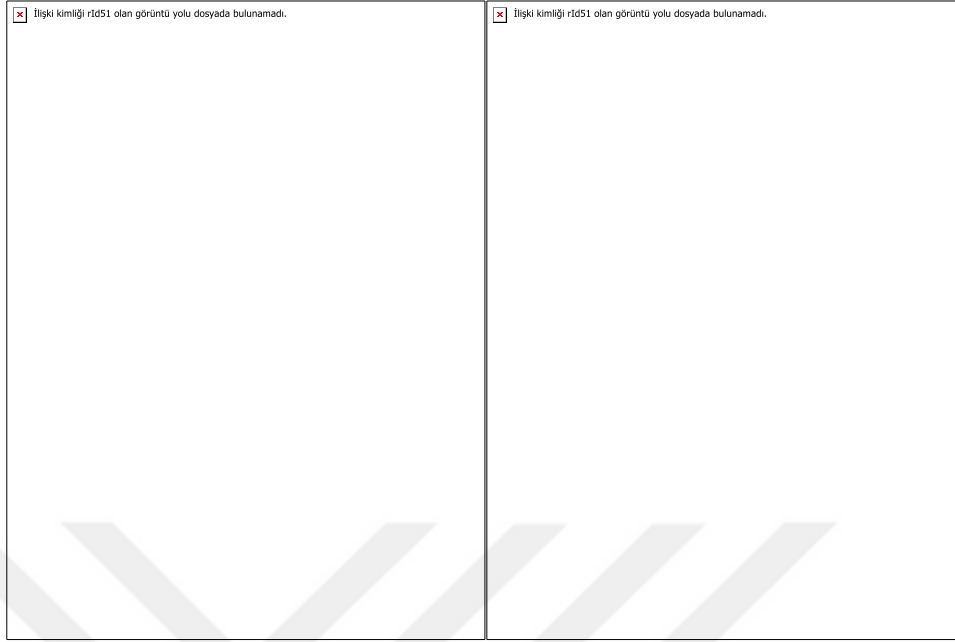


Şekil 26. CO₂, H₂O salınımları ile nem ve sıcaklık ölçümleri

İnfiltrasyon ölçümleri

Hem damlatıcı debi ve aralığını belirlemek için sezon başında sıfır doz parsellerinde 3 farklı yerde, hem de toprağın önemli hidrolik özelliklerinden birisi olarak her iki yılda sezon sonu hasattan yaklaşık 1 ay sonra orta bloktaki tüm parsellerde, otomatik infiltrometre ve çift silindir infiltrometre ile parsellerin orta bölgelerinde bitki sıra yakınına denk gelecek şekilde 2

saat süreyle ölçümler yapılmıştır (Şekil 27). Toplam infiltrasyon ve kararlı infiltrasyon hızları Kostiakov modeli uygulanarak belirlenmiştir.

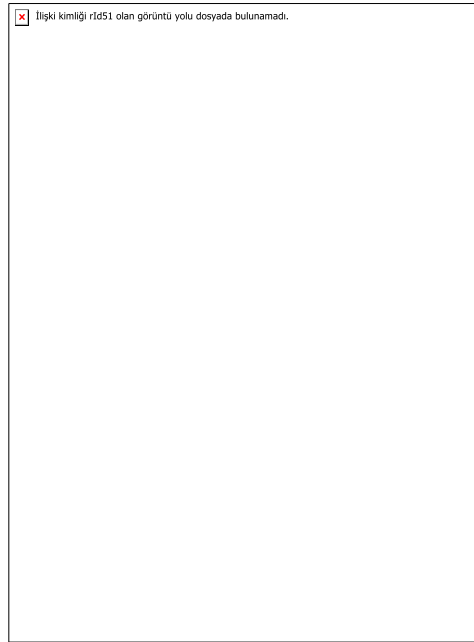


Şekil 27. Otomatik infiltrometreyle ve çift silindir infiltrometreyle infiltrasyon ölçümleri

Bitkide fiziksel, fizyolojik ölçümler ve kimyasal analizler

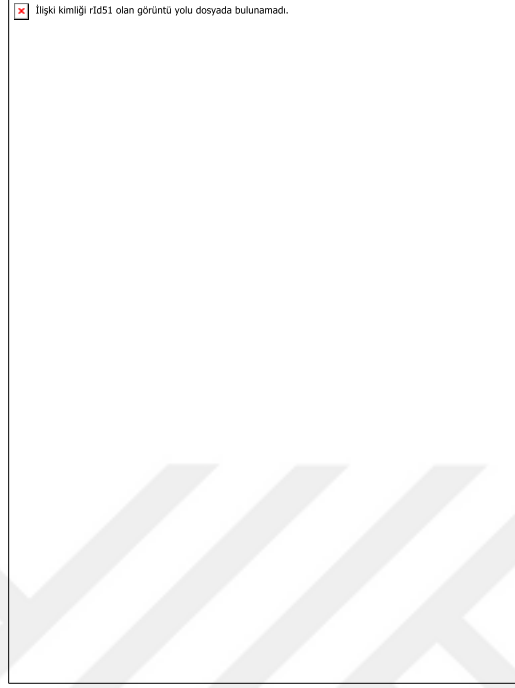
Bitkide fiziksel ölçümler

Bitki boyu (cm): Hasatta parsellerin merkez sıralarında kenar etkisi dışında kalan kısmından seçilen 10 bitkinin toprak yüzeyinden tepe püskülüne kadar olan kısmı ölçülerek ortalamasının alınmasıyla belirlenmiştir (Şekil 28) (Başer and Gençtan, 1999).



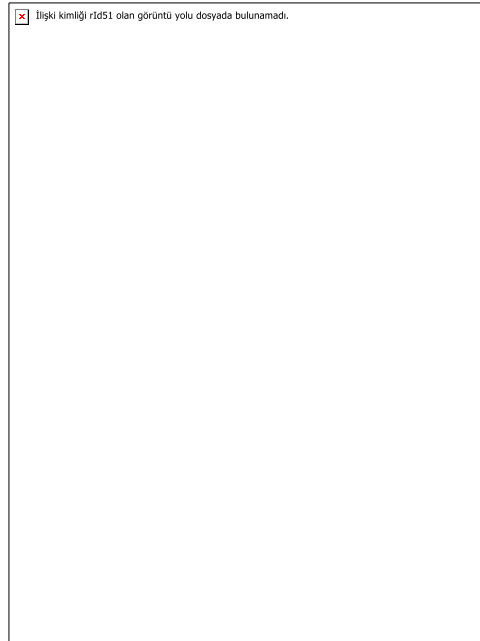
Şekil 28. Bitki boyunun ölçülmesi

Gövde çapı (mm): Hasatta parsellerin merkez sıralarında kenar etkisi dışında kalan kısımdan seçilen 10 bitkinin 2. ve 3. boğum arasındaki kalınlığı dijital bir kumpasla ölçülerek ortalamasının alınmasıyla belirlenmiştir (Şekil 29) (Başer and Gençtan, 1999).



Şekil 29. Bitki gövde çapının ölçülmesi

Silajlık ot verimi (kg/da): Süt-hamur olum döneminde parsellerin merkez sıralarında kenar etkisi dışında kalan kısımdaki 30 bitki hasat edilerek hassas terazide tartılmış, daha sonra birim alan için silajlık ot verimine dönüştürülmüştür (Şekil 30) (Kökten *et al.* 2017).



Şekil 30. Bitkilerin hassas terazide tartılması

Kuru madde verimi (kg/da): Kacar (2014)'a göre parsellerin merkez sıralarında parseli temsil edecek şekilde rastgele seçilen üç bitki yaş olarak tartıldıktan sonra solması için bir süre sera koşullarında bekletilmiş ve daha sonra 78°C'de 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlığı belirlenmiştir (Şekil 31). Kuru madde oranı (kuru ağırlık / yaş ağırlık) kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla kuru madde verimi hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru madde verimi (kg/da)} = \frac{\text{Kuru Ağırlık (g)}}{\text{Yaş Ağırlık (g)}} \times \text{Silajlık ot verimi (kg/da)} \quad (12)$$



Şekil 31. Kuru maddenin belirlenmesi

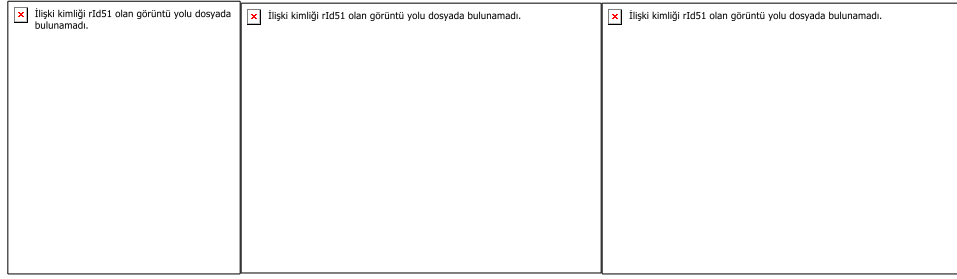
Bitkide kimyasal analizler

Nötr Deterjan Lif (NDF%) ve Asit Deterjan Lif (ADF%): 1 mm'lik eleklerden geçirilen örnekler Van Soest analiz yönteminin modifikasyonu sonucu geliştirilen Fibre Bag System (Gerhardt)'e göre solüsyonlar eklenerek ANKOM 200 Fiber Analizöründe belirlenmiştir (Şekil 32) (Van Soest 1963).



Şekil 32. NDF ve ADF analizi

Toplam azot (%): Öğütülmüş bitki örnekleri kullanılarak Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 33) Kacar (2014).



Şekil 33. Bitkide toplam Kjeldahl azotu analizi

Ham protein oranı (%): Kjeldahl yöntemiyle belirlenen azot miktarı 6.25 katsayısıyla çarpılarak hesaplanmıştır (Raju 1979).

Toplam fosfor: Yakma işleminden sonra elde edilen fosfor miktarı spektrofotometre olarak Kacar (2014)'a göre belirlenmiştir (Şekil 34).

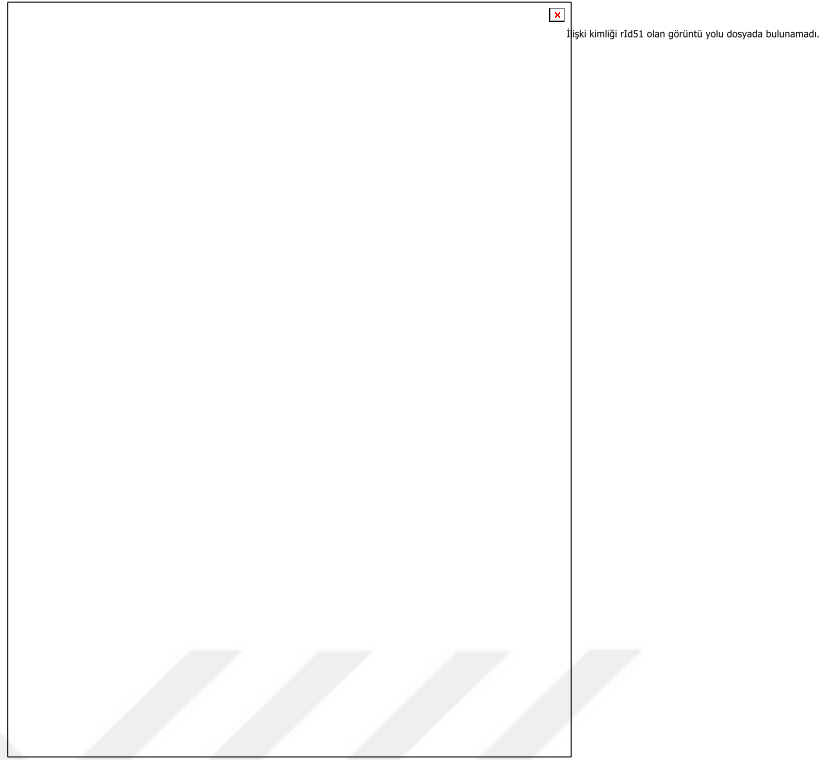


Şekil 34. Bitkide fosfor analizi

Makro - mikro besin elementler ve ağır metaller (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Hg, Cd, Cr): Öğütülmüş olan bitkiler yaş yakma tüplerine 9 ml HNO₃ ve 3 ml H₂O₂ asit eklenerek yüksek basınçta yaş yakılarak filtre kâğıdıyla süzülerek ICP-MS cihazında okumalar gerçekleştirilmiş makro elementler cmol/kg, mikro element ve ağır metaller mg/kg olarak ifade edilmiştir (Anonymous 2007).

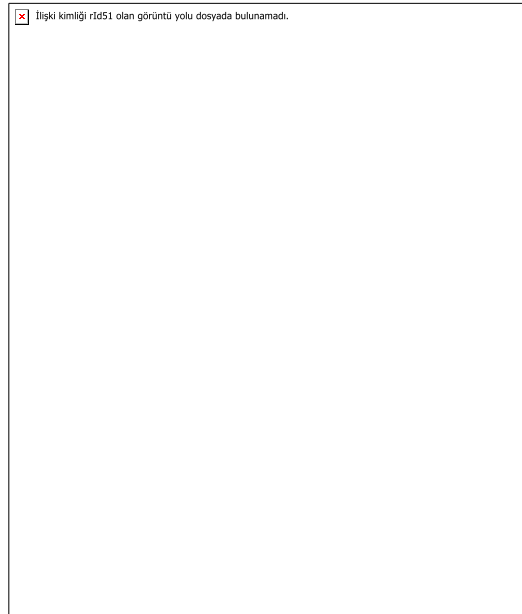
Bitkide fizyolojik ölçümler

Klorofil içeriği (SPAD) (%) : Konulu sulama döneminde her sulama öncesi tüm parsellerde seçilen üç bitkinin orta yapraklarında 10:00 ile 14:00 saatleri arasında SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) klorofilmetre cihazı ile 10'ar okuma yapıp ve okumaların ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 35) (Uğurlu, 2017).



Şekil 35. Bitkide klorofil ölçümü

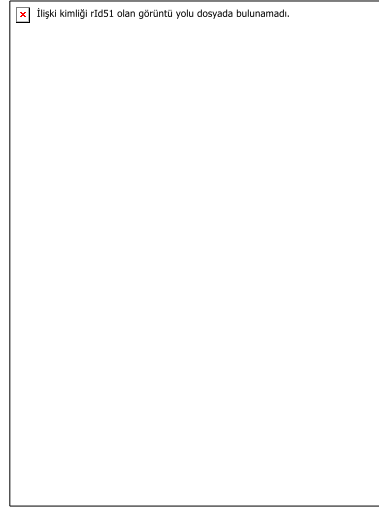
Stoma iletkenliği ($\text{mmol} / \text{m}^2\text{s}$): Konulu sulama döneminde her sulama öncesi tüm parsellerde seçilen üç bitkinin orta yapraklarında 10:00 ile 14:00 saatleri arasında Decagon Devices, Inc. SC-1 Leaf Porometer model taşınabilir porometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 36) (Fischer *et al.* 1998, Pietragalla and Pask, 2012).



Şekil 36. Stoma iletkenliği ölçümü

Yaprak alan indeksi (%): Hasat öncesi her parselden, hasat olgunluğuna gelmiş 3 bitkinin tüm yaprakları LI COR Marka LI 3000C Model yaprak alan ölçer aletiyle ölçülmüş, ortalama yaprak alanı bulunduktan sonra bir bitkiye ait birim alana (70 cm x 15 cm) oranlanarak

her bir sulama konusuna ait yaprak alan indeksi belirlenmiştir (Şekil 37) (Stewart and Dwyer, 1999).



Şekil 37. Yaprak alanın ölçülmesi

Yaprak oransal su içeriği (%): Hasat öncesi her parselden alınan 3'er adet yaprak örneğinin önce yaş ağırlıkları (YA), 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletildikten sonra turgor ağırlıkları (TA) tartılarak belirlenmiş, sonrasında örnekler 65°C sıcaklıkta 24 saat etüvde bekletildikten sonra kuru ağırlıkları da (KA) belirlenerek ve bu değerlerle aşağıdaki eşitlik yardımı ile yaprak oransal su içeriği hesaplanmıştır (Şekil 38) (Benešová *et al.* 2012).

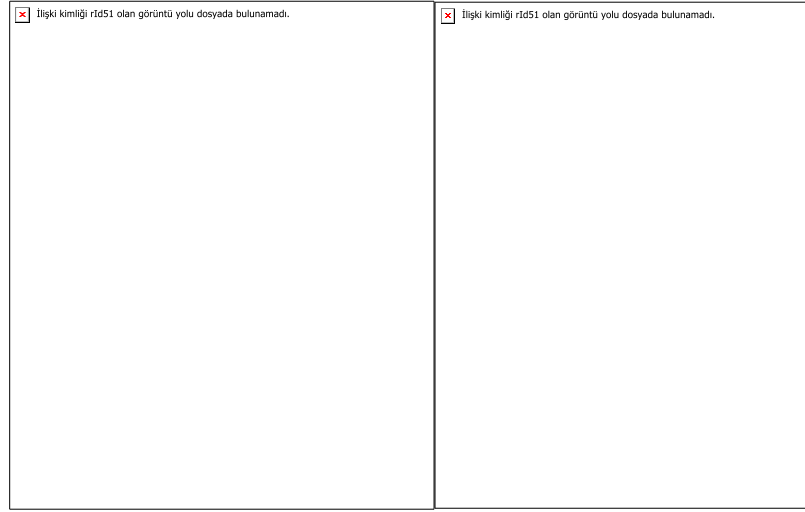
$$\text{Yaprak oransal su içeriği (\%)} = \frac{YA - KA}{TA - KA} \times 100 \quad (13)$$



Şekil 38. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Membran zararlanma indeksi (%): Hasat öncesi her bir parselde seçilen üç bitkinin yapraklarından alınan disk (10 mm çap) örnekleri iyonize su içerisinde 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve EC değerleri (EC1) ölçülmüştür. Daha sonra örnekler 20 dakika 95 °C sıcaklıktaki su banyosunda tutulduktan sonra tekrar EC değerleri (EC2) ölçülmüş ve aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile elektrolit geçirgenliği olarak membran zararlanma indeksi hesaplanmıştır (Şekil 39) (Hniličková *et al.* 2019).

$$\text{Membran Zararlanma İndeksi (\%)} = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (14)$$



Şekil 39. Membran zararlanma indeksinin belirlenmesi

İstatiksel Analiz

Dört farklı arıtma çamuru dozu ve üç farklı sulama uygulaması, üç tekerrürle birlikte değerlendirilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan veriler SPSS (ver. 22) istatistik paket programının da genel lineer modele göre analiz edilmiştir. Önemli bulunan ortalamalar için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak %5 önem seviyesinde sınıflandırma yapılmıştır (Duncan 1955; Açıköz 1993). Ayrıca, bazı parametreler arasındaki ikili ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizleri uygulanmıştır.

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 Sezonluk Sulama Suyu Miktarları (mm)

Sulama uygulaması	Konulu sulama öncesi	Konulu sulama dönemi	Toplam
S1	34,2	276,0	310,2
S2	34,2	259,0	293,2
S3	34,2	243,7	277,9

Tablo 6. 2022 Yılında Sezonluk Sulama Suyu Miktarları (mm)

Sulama uygulaması	Konulu sulama öncesi	Konulu sulama dönemi	Toplam
S1	7,7	329,1	336,8
S2	7,7	316,2	323,9
S3	7,7	289,7	297,4

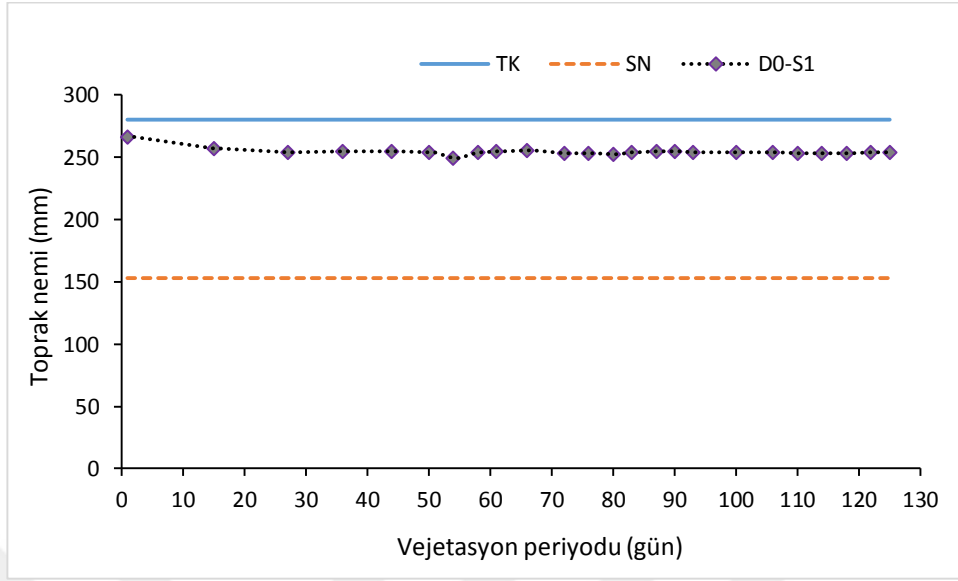
Denemenin her iki yılında da konulu sulama öncesi (bitkiler 4-6 yapraklı dönem) 2021 yılında 34,2 mm 2022 yılında ise 7,7 mm su tüm parsellere eşit düzeyde uygulanmıştır. 2021 yılında 6 Temmuz’da 2022 yılında ise 8 Temmuz’da konulu sulama dönemine başlanmış ve sezon sonuna kadar sürdürülmüştür. 2021 yılında S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında konulu sulama dönemi öncesi 6 sulama, konulu sulama döneminde ise S1, S2 ve S3 de sırasıyla 16, 8 ve 5 sulama yapılmış, toplamda S1’de 22, S2’de 14 ve S3’de 11 sulama yapılmıştır.

2022 yılında konulu sulama öncesi tüm sulama uygulamalarında 1 sulama yapılmış, konulu sulama döneminde ise S1, S2 ve S3 sulama uygulamalarında sırasıyla 20, 10 ve 6 sulama yapılmış olup toplamda 21, 11 ve 7 sulama yapılmıştır. 2022 yılında konulu sulama öncesi yağışların daha fazla olması nedeniyle sadece 1 sulama yapılmıştır, tersine konulu sulama döneminde ise yağışın çok düşük olmasının etkisiyle daha fazla sulama yapılmıştır (Tablo 3 ve Şekil 6)

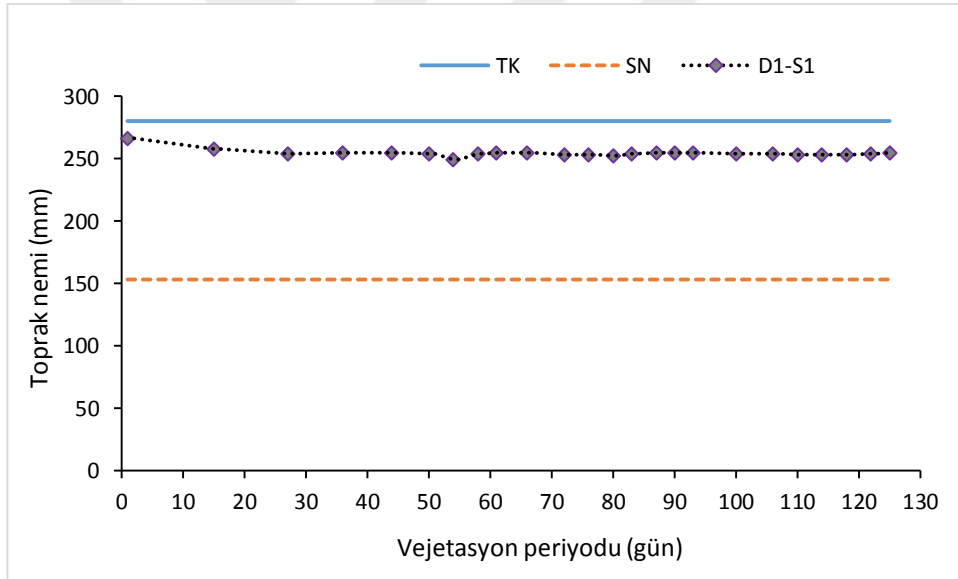
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler

Farklı arıtma çamuru dozu ve farklı sulama uygulamalarında toprakta sulamalar öncesi ve ekim ile hasat dönemlerinde belirlenen 2021 ve 2022 yılı nem değerleri Şekil 40-63’ te

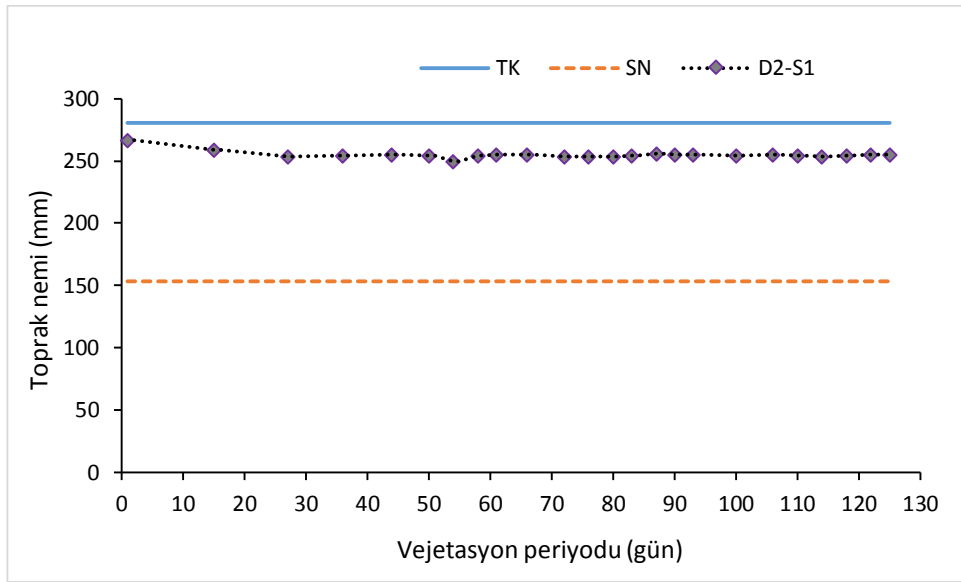
verilmiştir. Tüm konularda sulama öncesi toprak nem içerikleri sezon boyu tarla kapasitesi ile solma noktası arasında kalmıştır.



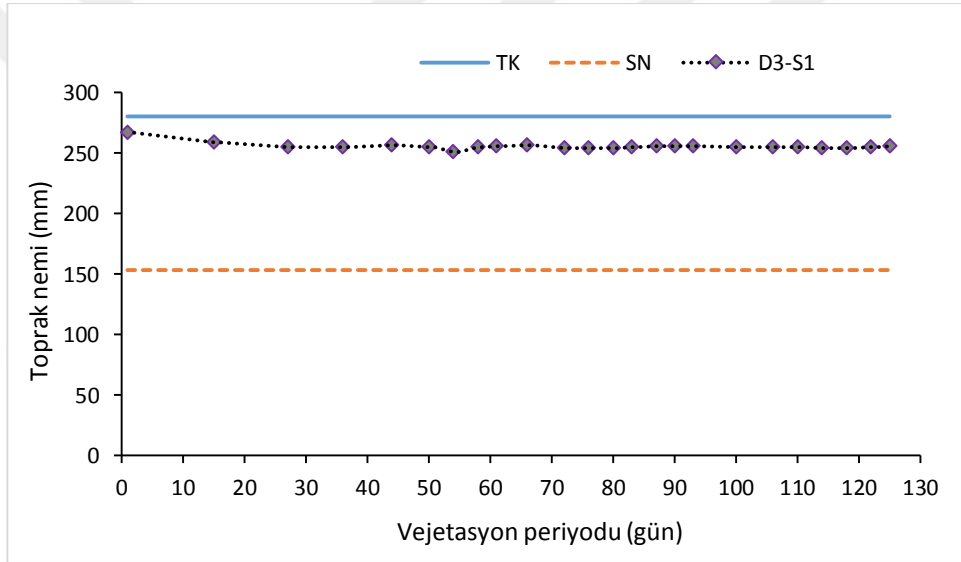
Şekil 40. 2021 yılı D0S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



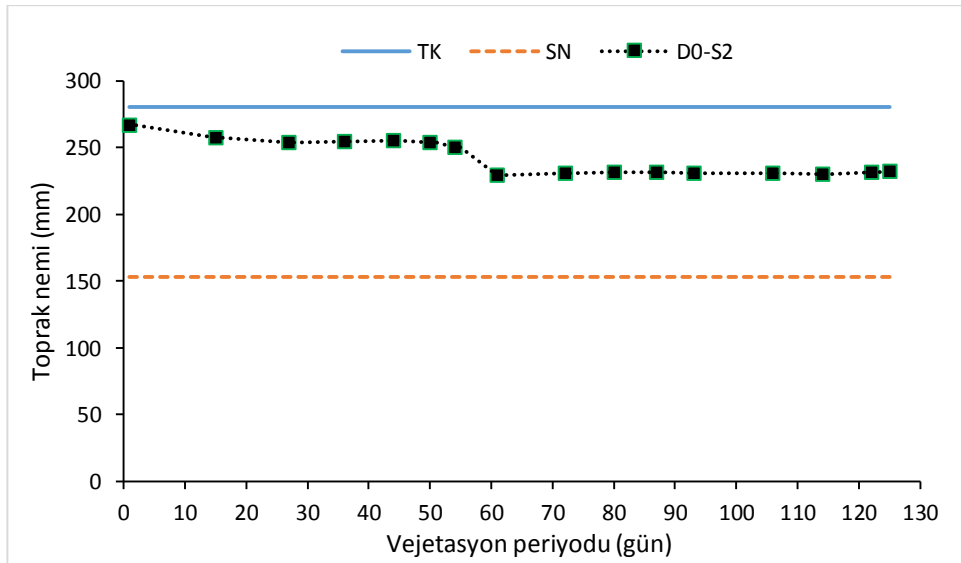
Şekil 41. 2021 yılı D1S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



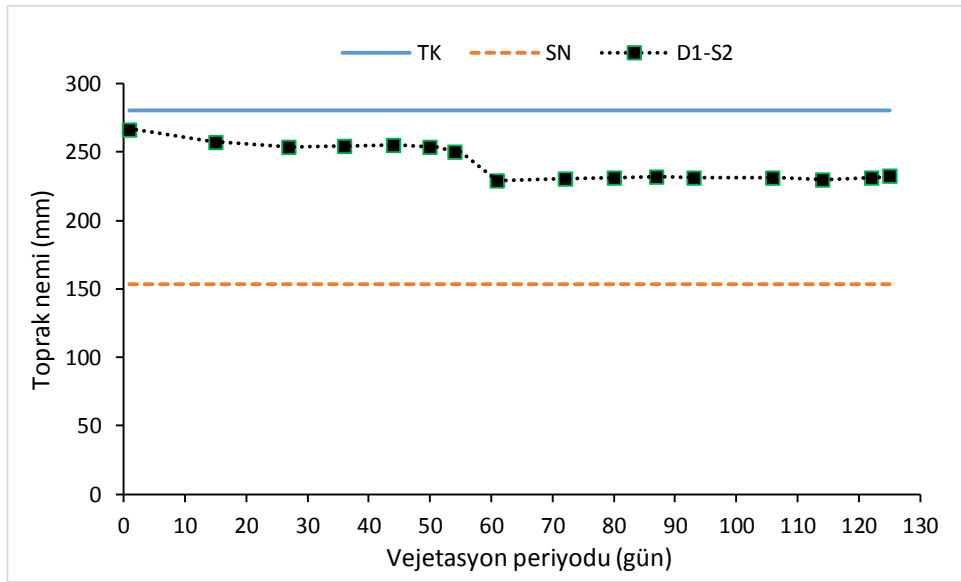
Şekil 42. 2021 yılı D2S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



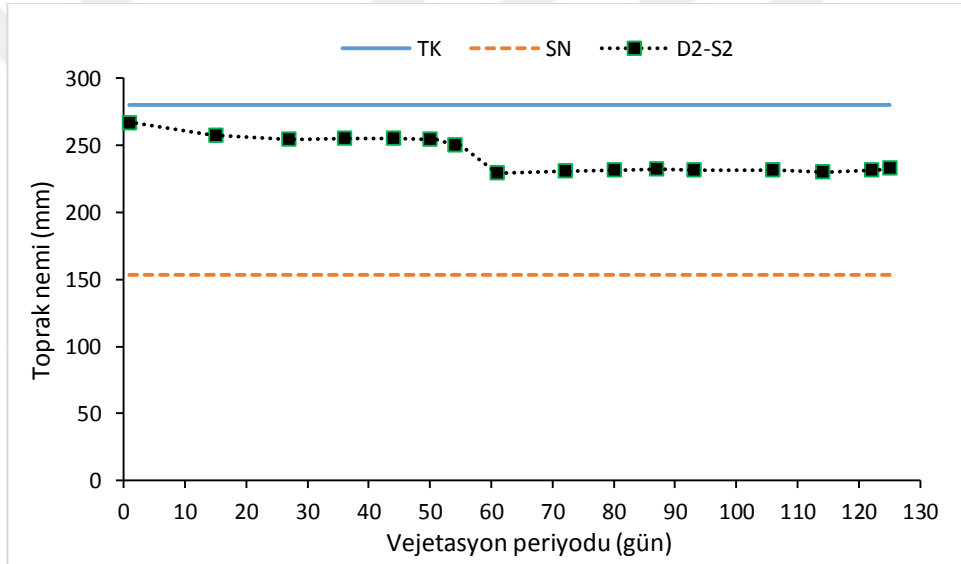
Şekil 43. 2021 yılı D3S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



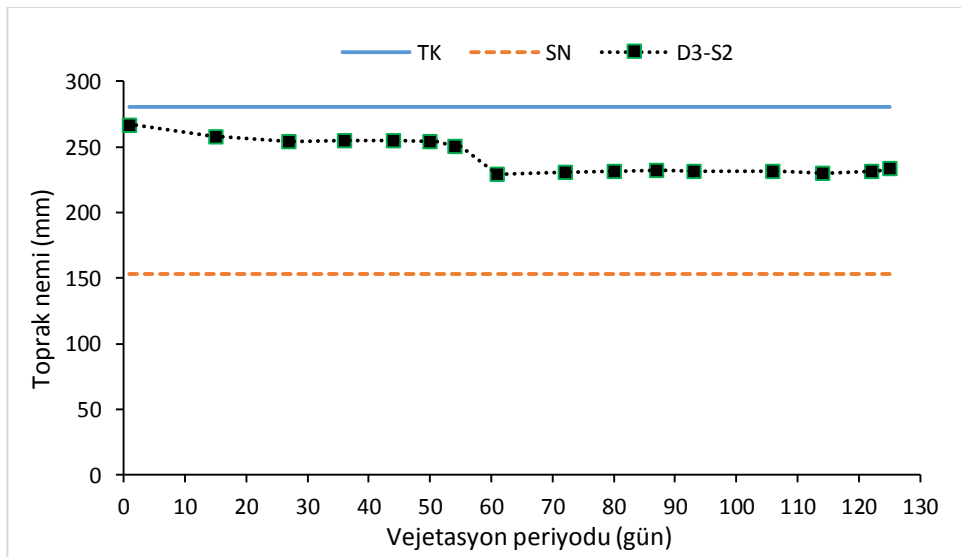
Şekil 44. 2021 yılı D0S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



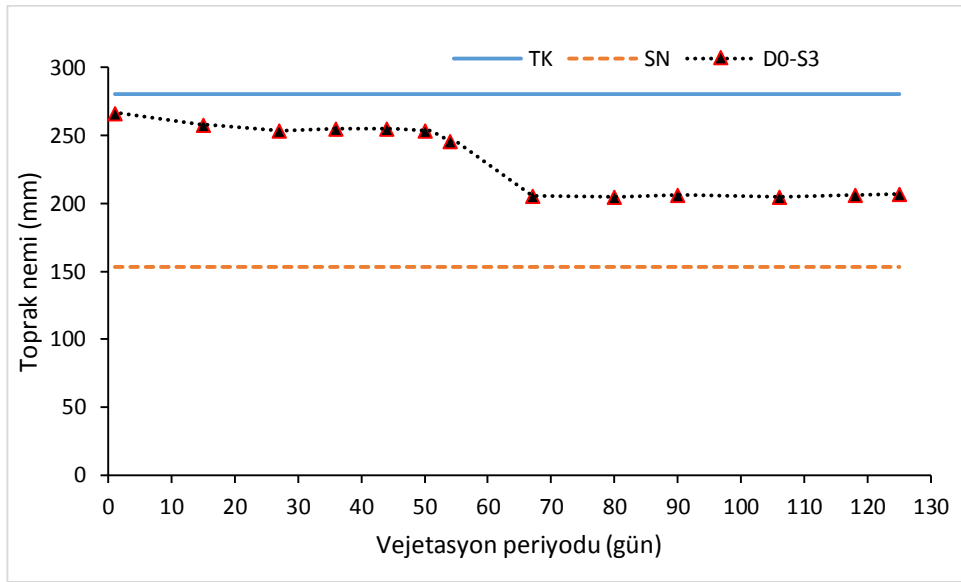
Şekil 45. 2021 yılı D1S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



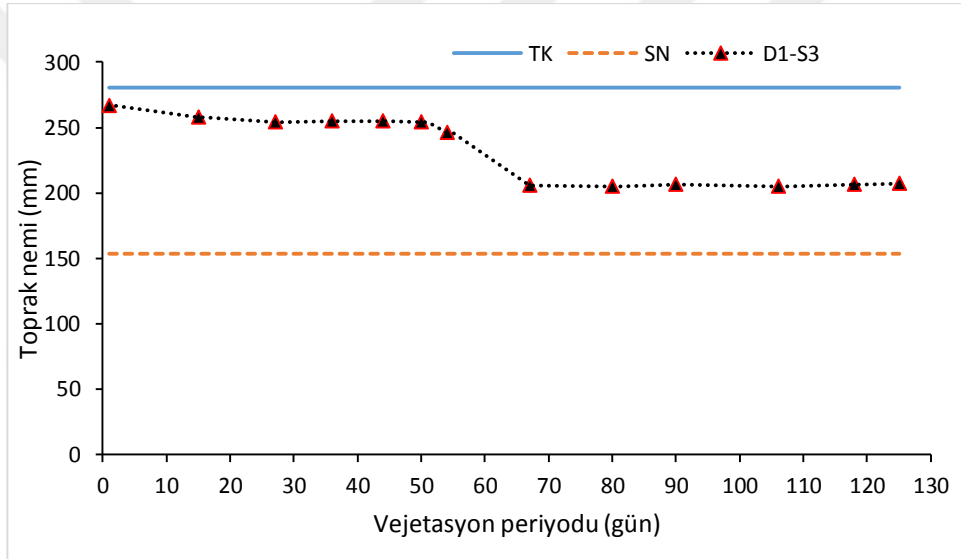
Şekil 46. 2021 yılı D2S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



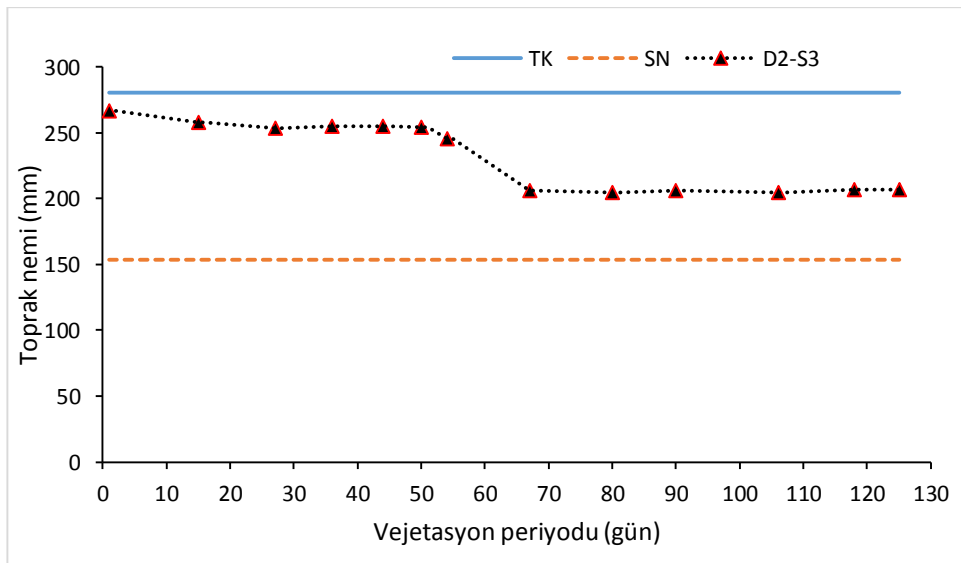
Şekil 47. 2021 yılı D3S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



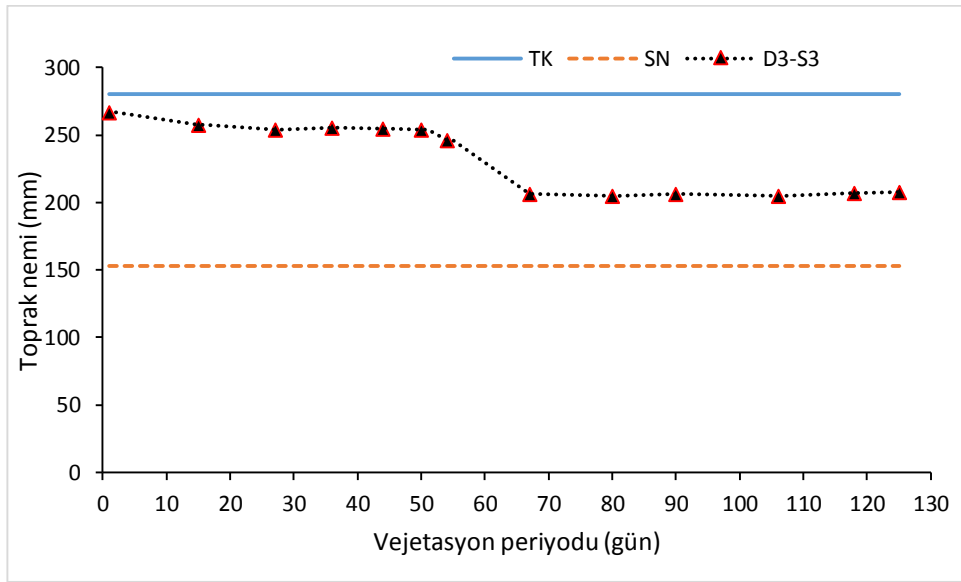
Şekil 48. 2021 yılı D0S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



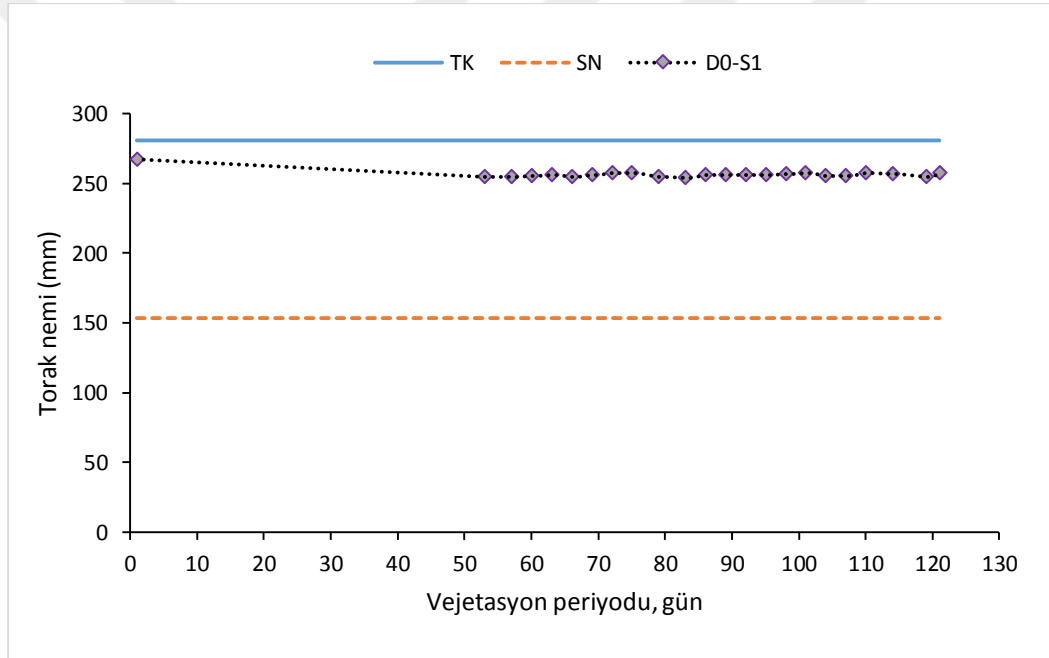
Şekil 49. 2021 yılı D1S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



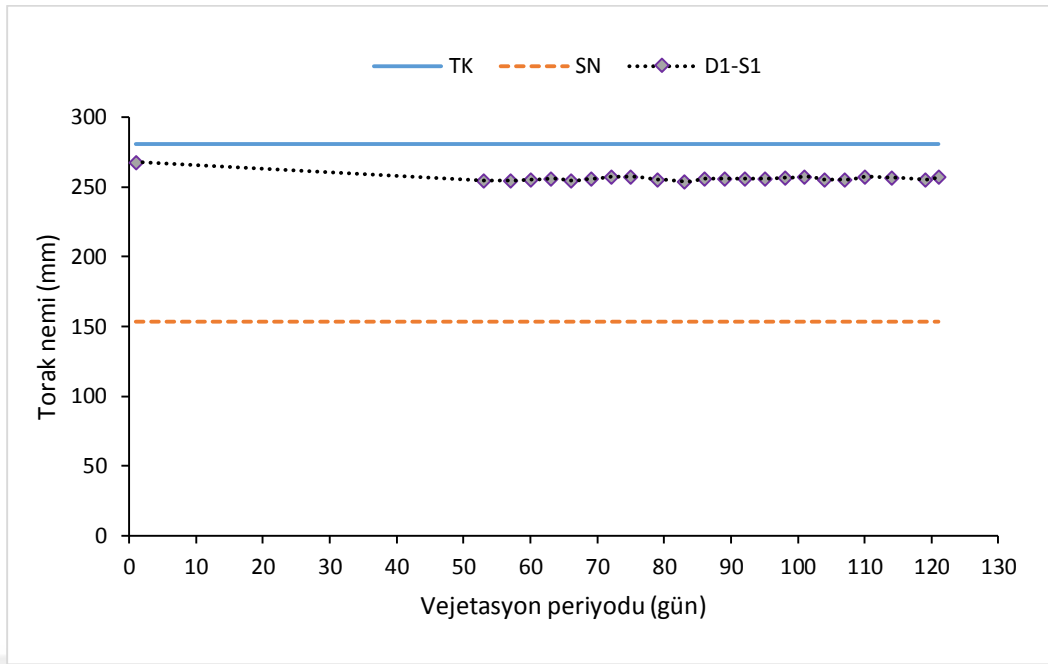
Şekil 50. 2021 yılı D2S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



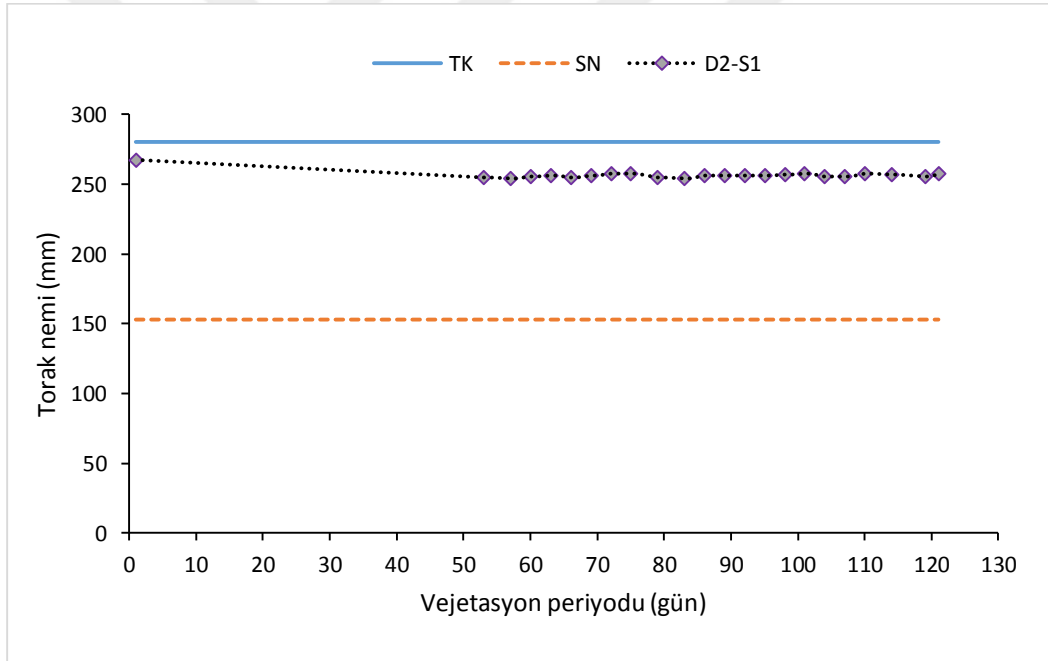
Şekil 51. 2021 yılı D3S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



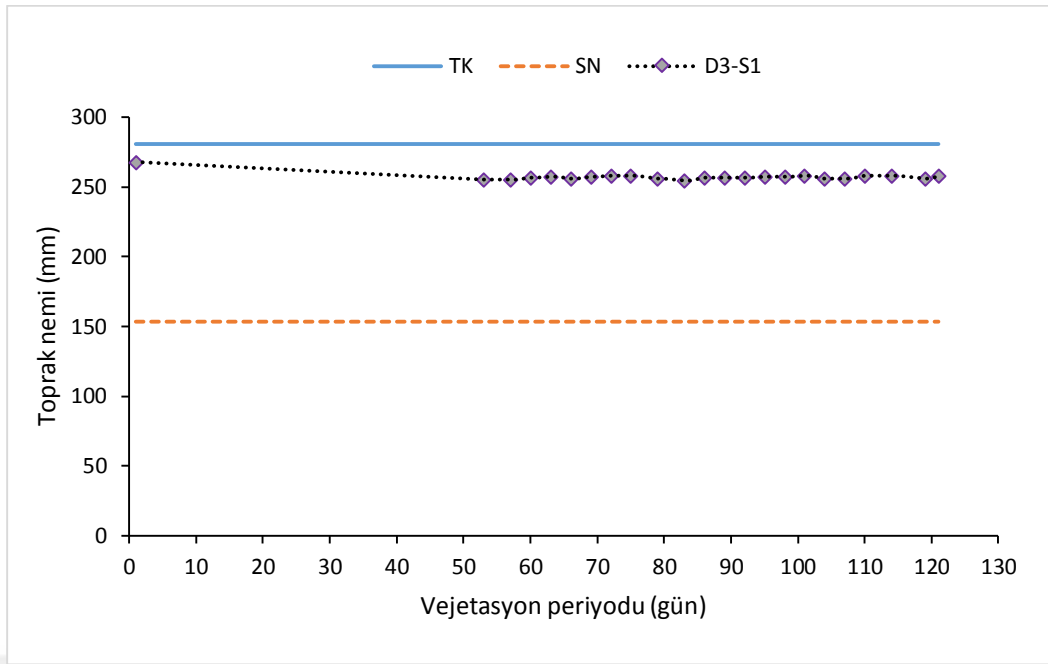
Şekil 52. 2022 yılı D0S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



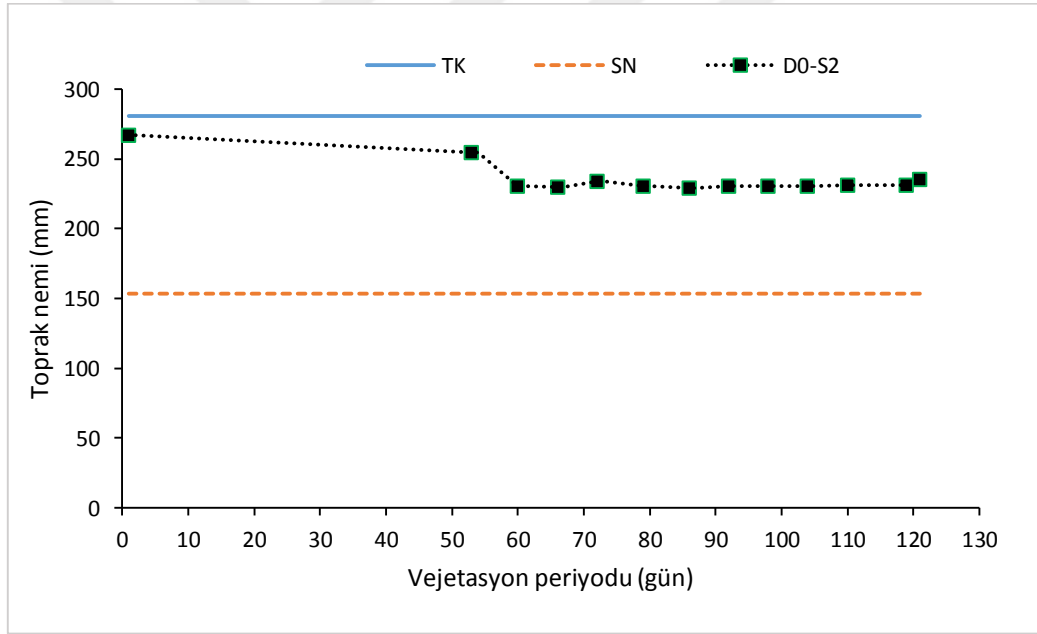
Şekil 53. 2022 yılı D1S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



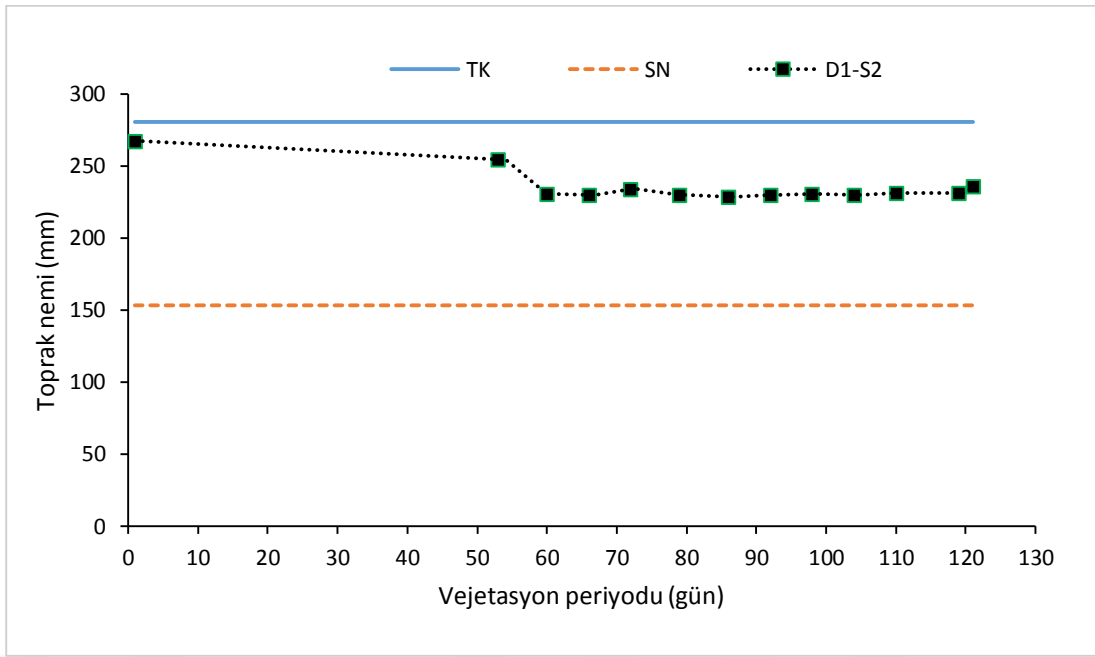
Şekil 54. 2022 yılı D2S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



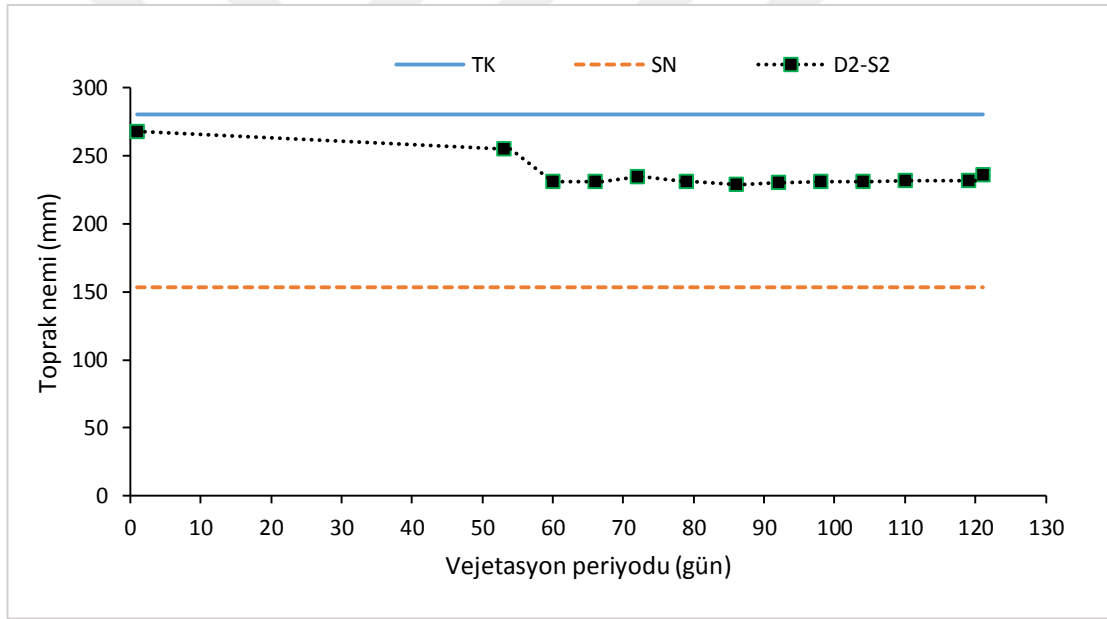
Şekil 55. 2022 yılı D3S1 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



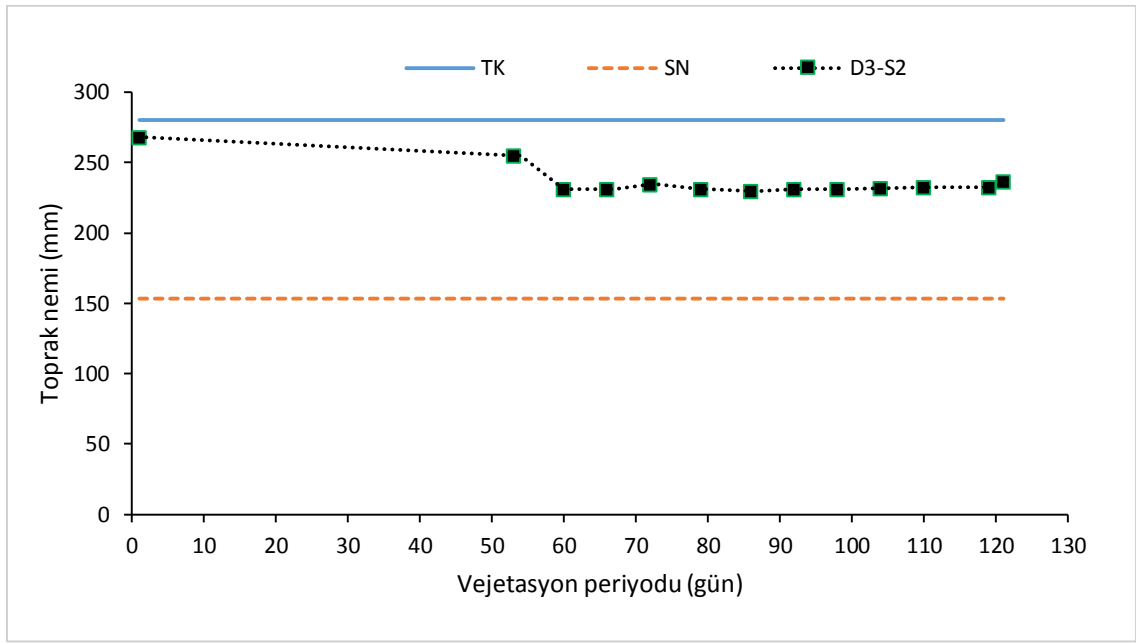
Şekil 56. 2022 yılı D0S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



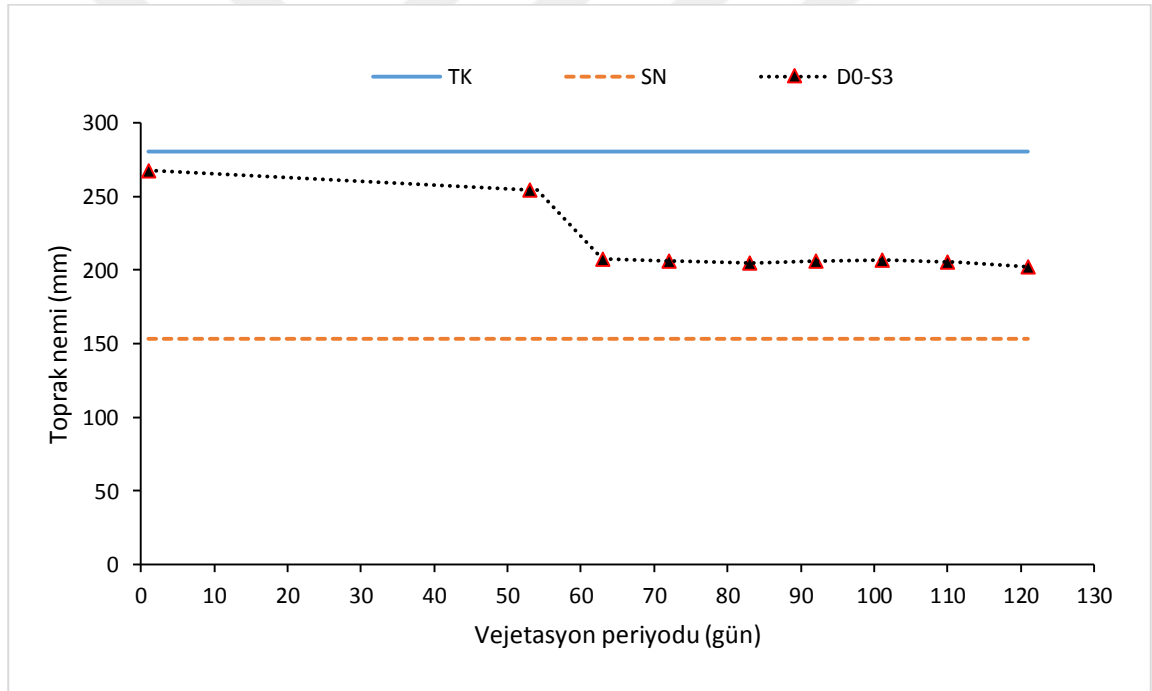
Şekil 57. 2022 yılı D1S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



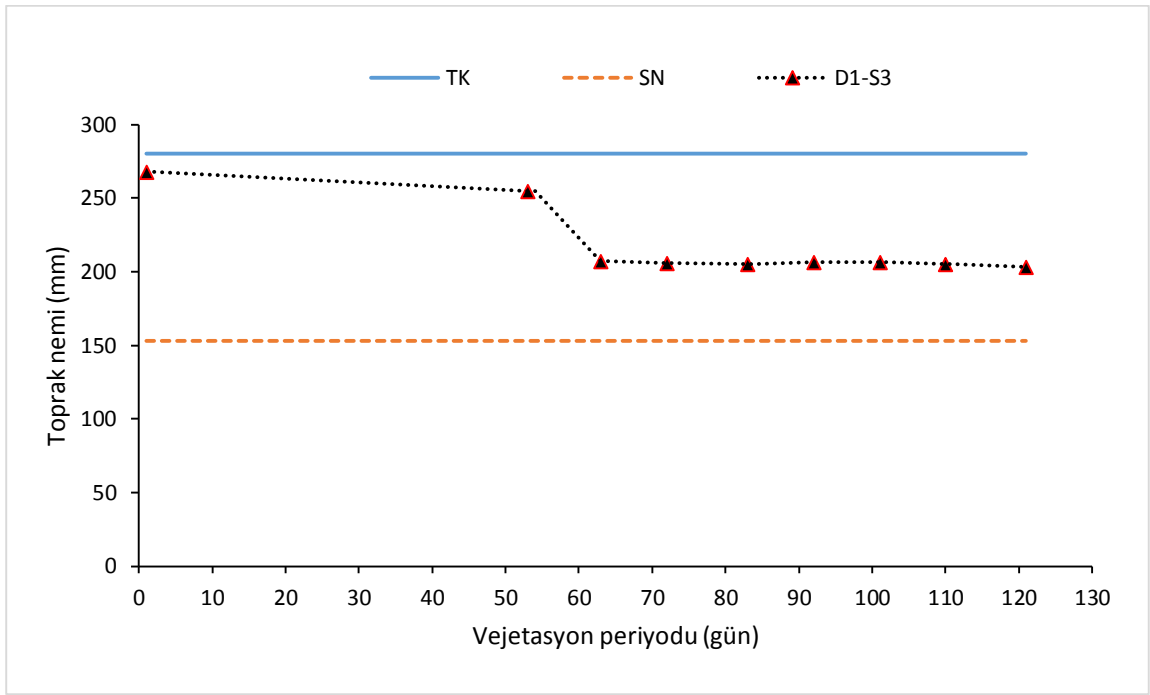
Şekil 58. 2022 yılı D2S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



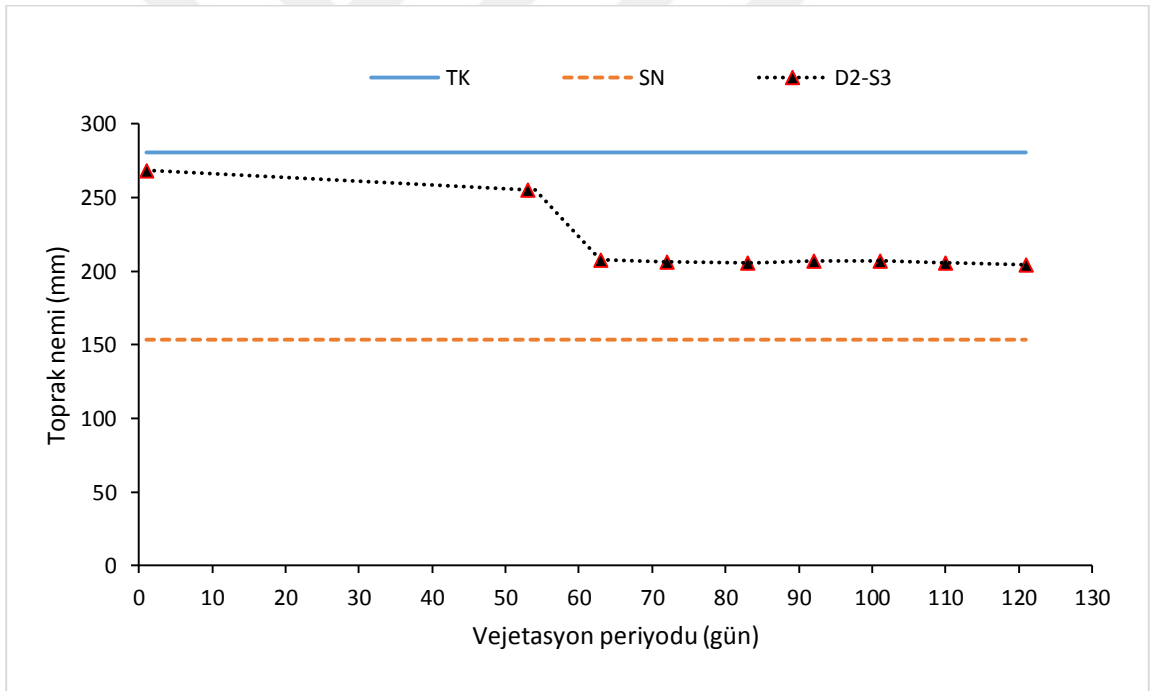
Şekil 59. 2022 yılı D3S2 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



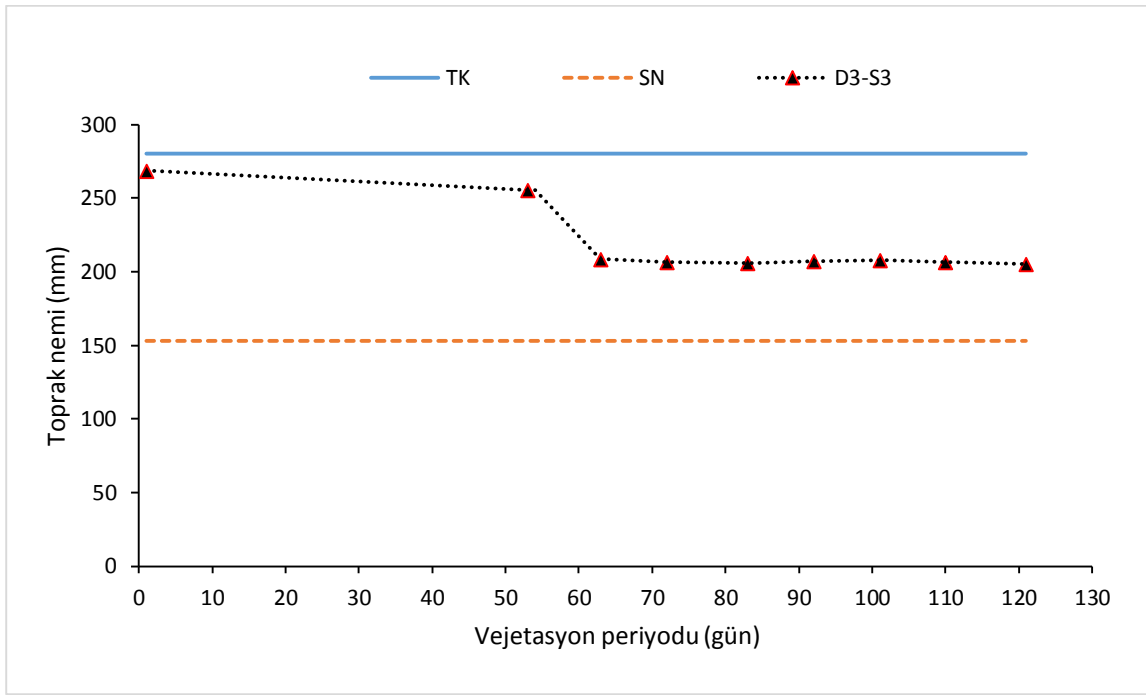
Şekil 60. 2022 yılı D0S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi



Şekil 61. 2022 yılı D1S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi



Şekil 62. 2022 yılı D2S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değışimi

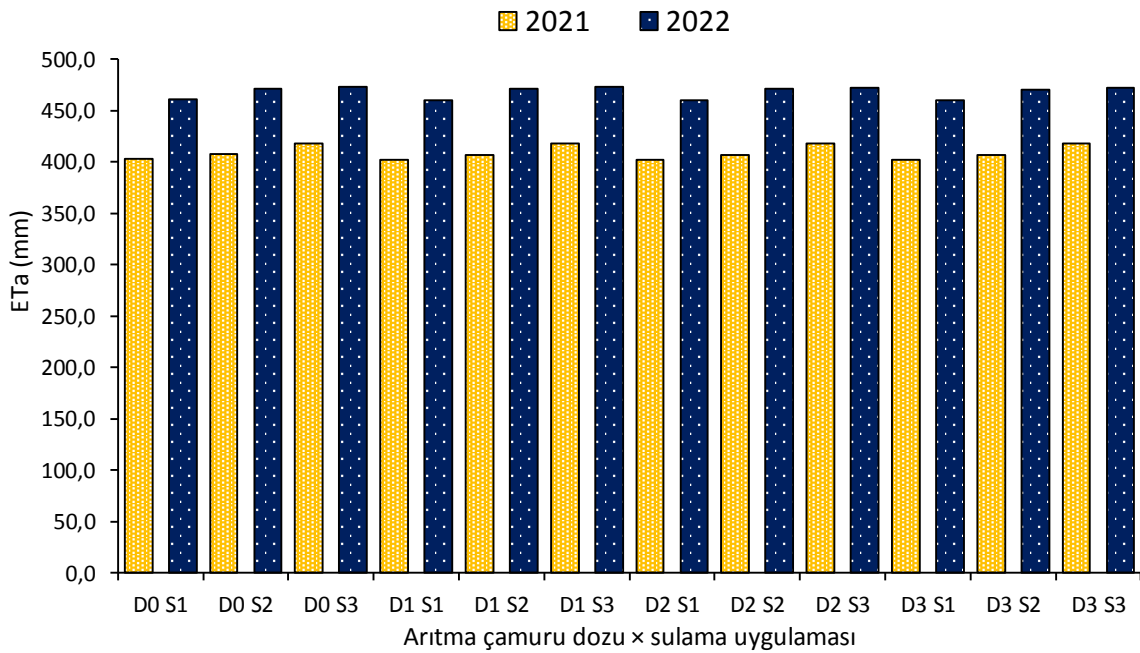


Şekil 63. 2022 yılı D3S3 konusunda vejetasyon periyodu toprak nem değişimi

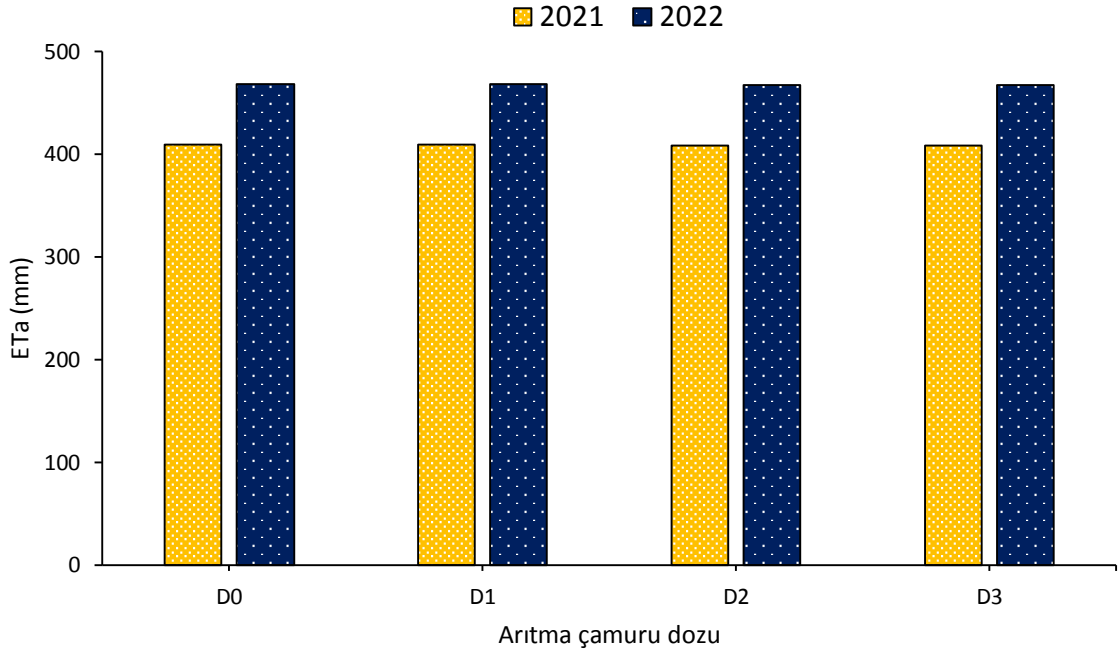
Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa)

Farklı arıtma çamuru dozu ve farklı sulama uygulamalarında 2021 ve 2022 deneme yıllarına ait sezonluk gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri Şekil 66-69’ da verilmiştir. 2021 yılı sezonluk değerleri D0S1, D0S2, D0S3, D1S1, D1S2, D1S3, D2S1, D2S2, D2S3, D3S1, D3S2 ve D3S3 sırasıyla 402,6 mm, 407,3 mm, 417,6 mm, 402,1 mm, 407,0 mm, 418,1 mm, 401,9 mm, 406,8 mm, 417,6 mm, 401,8 mm, 406,6 mm ve 417,4 mm belirlenmiş, 2022 yılında ise yine sırasıyla 460,4 mm, 470,8 mm, 473,4 mm, 460,1 mm, 470,9 mm, 473,1 mm, 459,8 mm, 470,9 mm, 472,2 mm, 459,7 mm, 470,6 ve 471,8 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 64). Farklı arıtma çamuru dozlarında ETa değerleri birbirine yakın bulunurken (Şekil 65), sulama uygulamalarına göre S1’den S3’e doğru bitki su tüketim değerlerinin kısmen arttığı tespit edilmiştir (Şekil 66) 2021 yılında S3 de artış oranı S1’ e göre % 3,9, S2’ye göre % 2,7 olmuştur. 2022 yılında ise yine sırasıyla % 2,7 ve % 0,38 artış belirlenmiştir. Sık sulamaya bağlı olarak Sı uygulamasında köklerin yüzey tabakalarda muhtemel yoğunlaşmasının etkili kök derinliğindeki bakiye suyun daha az kullanılmasını sağlayarak su tüketiminin daha düşük belirlenmesine neden olduğu değerlendirilmiştir. Yine sık sulamada artan yaprak alan indeksinin (Tablo 68) bir sonucu olarak örtü oranının fazla olmasının gölgelenme etkisiyle buharlaşmayı azalttığı da değerlendirilmektedir. 2022 yılında tüm konularda ETa değerleri 2021 yılına göre daha yüksek bulunmuştur. (Şekil 67). Konulu sulama döneminde Temmuz ve Ağustos aylarında daha fazla güneşlenme süresi ve Ağustos ayının daha sıcak geçmesinin ve artan buharlaşmanın 2022 yılı ETa değerlerini artırdığı değerlendirilmiştir.

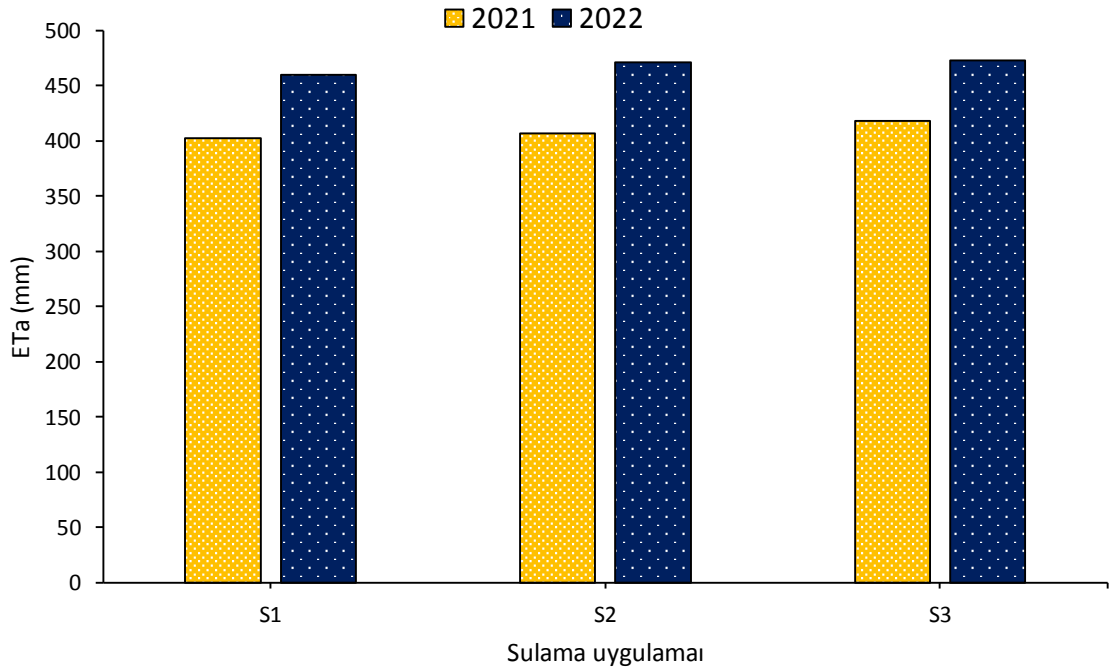
Bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak Cakmakci and Sahin (2021b) tarafından yürütülen iki yıllık çalışmada, Van ili ekolojisinde, geleneksel toprak işleme altında silajlık mısır bitkisinde, yüzey üstü damla sulama sistemiyle farklı sulama seviyelerinde sezonluk evapotranspirasyon değerleri tam sulamada ortalama 428,2 mm, % 33 ve % 67 kısıntılı sulamalarda seviyelerinde ise 349,9 mm ve 274,5 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci yılında ise, sezonluk evapotranspirasyon değerleri sırasıyla 416,3 mm, 329,8 mm ve 255,2 mm olarak belirlenmiştir. Ancak, Nilahyane and Islam (2018) 1333 m rakıma sahip bir bölgede yüzey üstü damla sulama yöntemiyle silajlık mısır yetiştiriciliğinde tam sulama konusunda evapotranspirasyon değerini 350 mm olarak daha düşük belirlemişlerdir. Daha önce yapılan diğer birçok çalışmada da silajlık mısır bitkisinde damla sulama yöntemiyle tam sulanan konularda evapotranspirasyon değerlerinin 635 mm ile 975 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (Dağdelen vd 2009; Kuşçu 2010; Kara 2011; Simsek *et al.* 2011; Ucak *et al.* 2016). Su tüketim değerlerindeki değişimlerin denemenin yürütüldüğü bölgelerin iklim koşullarındaki farklılıklarının ve deneme tarlası koşullarının farklılığının bir sonucu olduğu değerlendirilmiştir.



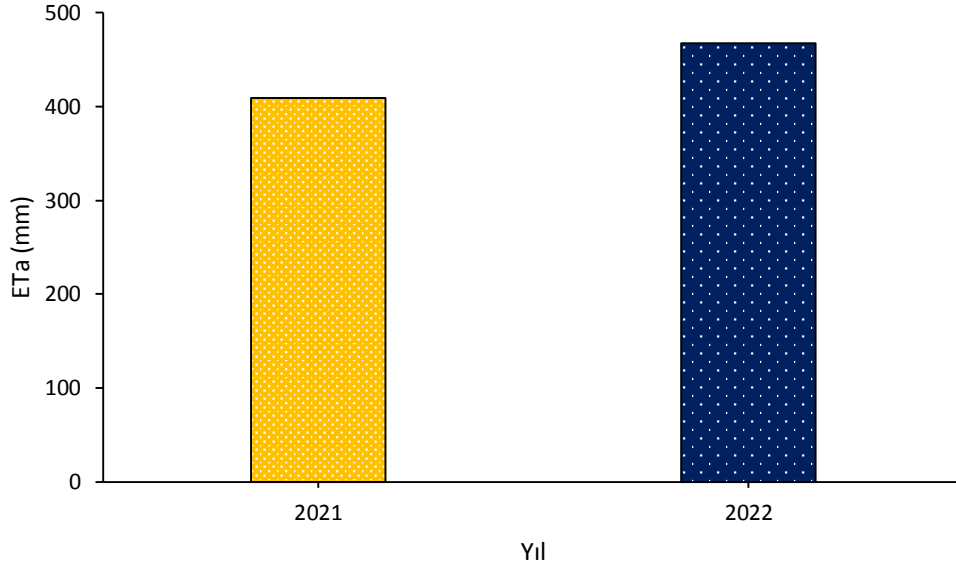
Şekil 64. 2021 ve 2022 yılları sezonluk gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerleri



Şekil 65. 2021 ve 2022 yılları dozlara göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri



Şekil 66. 2021 ve 2022 yılları sulama uygulamalarına göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri



Şekil 67. Deneme yıllarına göre gerçek bitki su tüketim (ETa) değerleri

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

Deneme sonrası, her iki yılda da sulama uygulaması ve arıtma çamuru dozunun WP ve IWP değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur (Ek 1-2). Deneme sonunda, iki yıllık ortalamaya göre D3 dozunda en yüksek silajlık ot verimi, en yüksek WP ve IWP değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır (Tablo 46, Tablo 7-8) D3 dozunda WP değerinin D0, D1 ve D2 dozlarına göre sırasıyla % 42,0, % 20,3 ve % 12,2 IWP değerinin ise % 41,5, % 18,6 ve % 12,7 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Aynı durum sulama uygulamalarında da görülmüş, S1 uygulaması daha yüksek WP ve IWP değerleri sağlarken, en düşük değerler S3 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 3 ve 4). S1' in WP değeri S2' de % 15, S3' ten % 32,5 IWP değerinin de % 7,4 ve % 14,1 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. WP ve IWP değerleri verimden doğrudan etkilenmiş, S1 uygulamasında daha fazla silajlık ot verimi (Tablo 46) daha yüksek su verimliliği değerlerini ortaya çıkarmıştır. Zhang *et al.* (2017)' de gübreleme etkisiyle sulama verimliliğinin önemli seviyede artırdığını ifade etmişlerdir. Basso and Ritchie (2018)' de mısır verimliliğinin artan su verimliliği ile sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Verim artışına bağlı olarak WP ve IWP değerlerinin arttığı diğer birçok çalışmada da belirtilmiştir (Çakmakçı, 2018; Chávez *et al.* 2020; Çakmakçı and Sahin, 2021b; Cheng *et al.* 2021; Zou *et al.* 2021; Yerli, 2022; Wang *et al.* 2022; Djaman *et al.* 2022).

Tablo 7. Farklı Sulama Uygulamaları ve Arıtma Çamuru Dozlarında Silajlık Mısırdaki Su Verimliliği (kg/m³)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	23,5±1,17	26,7±0,57	28,34±0,93	30,9±0,42	27,4±0,88 A*
	S2	18,9±0,76	24,1±0,35	24,6±0,85	28,2±0,34	23,9±1,04 B
	S3	16,2±0,58	19,0±0,35	20,5±0,81	23,7±0,88	19,8±0,87 C
	Ort.	19,5±1,15 D	23,3±1,16 C	24,5±1,21 B	27,6±1,09 A*	
2022	S1	20,7±0,40e	24,0±0,25cd	25,2±0,19b	29,8±0,48a*	24,9±0,99 A*
	S2	17,3±0,22f	21,2±0,37e	22,9±0,28d	24,8±0,39bc	21,6±0,84 B
	S3	16,2±0,31g	17,9±0,70f	21,0±0,20e	23,0±0,19d	19,5±0,81 C
	Ort.	18,1±0,70 D	21,1±0,90 C	23,0±0,62 B	25,8±1,03 A*	
2021-2022	S1	22,1±0,63	25,4±0,41	26,8±0,49	30,3±0,34	26,1±0,91 A*
	S2	18,1±0,46	22,7±0,33	23,8±0,40	26,5±0,15	22,7±0,93 B
	S3	16,2±0,44	18,5±0,31	20,7±0,38	23,4±0,53	19,7±0,82 C
	Ort.	18,8±0,91 D	22,2±1,02 C	23,8±0,90 B	26,7±1,03 A*	

*: p<0.05

Tablo 8. Farklı Sulama Uygulamaları ve Arıtma Çamuru Dozlarında Silajlık Mısırdaki Sulama Suyu Verimliliği (kg/m³)

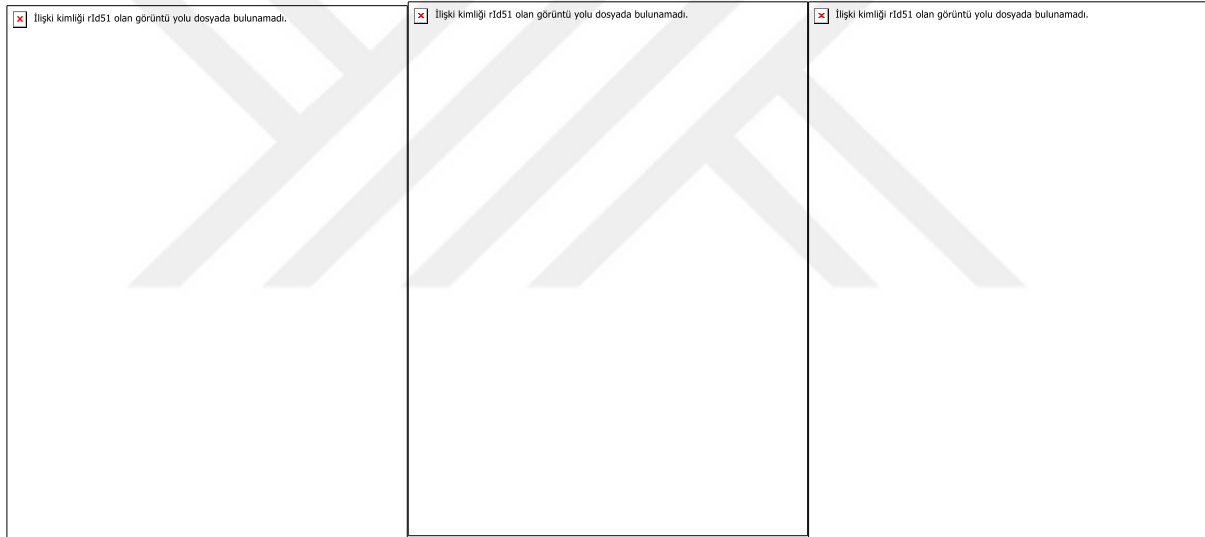
Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	30,5±1,52	34,7±0,74	36,7±1,21	40,02±0,54	35,5±1,14 A*
	S2	26,2±1,05	33,5±0,48	34,2±1,18	39,1±0,47	33,3±1,43 B
	S3	24,3±0,88	28,6±0,53	30,8±1,21	35,6±1,32	29,8±1,30 C
	Ort.	27,0±1,09 C	32,2±0,98 B	33,9±1,05 B	38,2±0,80 A*	
2022	S1	28,3±0,54e	32,8±0,34c	34,4±0,25c	40,6±0,66a*	34,0±1,35 A*
	S2	25,1±0,33f	30,9±0,54d	33,4±0,41c	36,0±0,56b	31,3±1,22 B
	S3	25,7±0,50f	28,5±1,12e	33,3±0,32c	36,5±0,30b	31,0±1,28 B
	Ort.	26,4±0,53 D	30,7±0,71 C	33,7±0,24 B	37,7±0,79 A*	
2021-2022	S1	29,4±0,83	33,7±0,53	35,6±0,63	40,3±0,45	34,7±1,21 A*
	S2	25,7±0,64	32,2±0,47	33,8±0,55	37,5±0,21	32,3±1,31 B
	S3	25,0±0,68	28,6±0,49	32,1±0,56	36,0±0,80	30,4±1,26 C
	Ort.	26,7±0,77 D	31,5±0,80 C	33,8±0,58 B	38,0±0,68 A*	

*: p<0.05

Deneme öncesi toprak özellikleri

Deneme tarlası toprağının deneme öncesi kimyasal, fiziksel ve hidrolik (pH, EC, organik madde, CaCO₃, değişebilir katyonlar, katyon değişim kapasitesi, makro-mikro

elementler ve ağır metaller, tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, porozite, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su) ve infiltrasyon arıtma çamuru uygulanmamış parsellerde 90 cm' ye kadar 30 cm 'lik tabaklar halinde örneklemelerle belirlenmiştir (Şekil 68). Deneme tarlası toprağının 0-30 cm'lik tabakasının bünyesi killi-tın, 30-60 ve 60-90 cm'lik tabakalarının bünyesi ise tın olarak belirlenmiş, hacim ağırlığı 1,29-1,31 g/cm³, tarla kapasitesi (P_w) ağırlık yüzdesi olarak % 23,2-24,4 ve solma noktası % 12,8-13,3 arasında değişmiştir. 0- 90 cm' de yarayışlı su miktarı 127,2 mm/90cm olarak hesaplanmıştır. Tane yoğunluğu 2,66-2,67, porozite % 50,8-51,9, ıslak agregat stabilitesi % 46,8-47,7 arasında belirlenmiştir (Tablo 9) Toprağın EC değerleri 0,163-0,243 dS/m, pH değerleri 7,61-8,08, organik madde içerikleri % 0,93-1,73, CaCO₃ içerikleri % 0,47-% 1,58 arasında değişmiştir (Tablo 10). Mikro element ve ağır metal içerikleri (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr ve Ni) sırasıyla; 0,76-0,82 mg/kg, 3,67-3,79 mg/kg, 2,96-3,18 mg/kg, 6,35-7,12 mg/kg, 49,82-56,98 mg/kg, 2,67-3,39 mg/kg, 0,01 mg/kg 0,46-0,48 mg/kg ve 0,63-0,69 mg/kg arasında değişmiştir (Tablo 11).



Şekil 68. Toprak örnekleme profili

Tablo 9. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özellikler

Tabaka (cm)	Tane büyüklük dağılımı (%)			Bünye sınıfı	Tarla Kapasitesi (% P _w)	Devamlı Solma noktası (% P _w)	Yarayışlı su (mm)	Tane yoğunluğu (g/cm ³)	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Porozite (%)	Islak Agregat Stabilitesi (%)
	Kil	Silt	Kum								
0-30	27,6	31,7	40,7	Killi-Tın	23,2	13,3	38,3	2,66	1,29	51,9	46,8
30-60	23,4	37,2	39,4	Tın	24,4	13,2	44,0	2,66	1,31	50,8	47,3
60-90	23,7	32,3	44,0	Tın	24,3	12,8	44,9	2,67	1,30	50,9	47,7

Tablo 10. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Kimyasal Özellikler

Tabaka (cm)	EC (dS/m)	pH	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)	Toplam Kjeldahl azotu (%)	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O (kg/da)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	KDK (cmol/kg)	ESP (%)
0-30	0,163	7,61	1,73	0,47	0,980	0,243	10,04	100,6	15,84	5,71	0,364	0,829	22,72	1,45
30-60	0,194	7,99	1,01	1,36	0,082	0,219	9,52	72,7	14,83	5,65	0,351	0,586	21,42	1,63
60-90	0,243	8,08	0,93	1,58	0,068	0,211	7,44	58,2	14,70	5,63	0,337	0,476	21,15	1,61

Tablo 11. Deneme Tarlasının Farklı Tabakalarında Ekim Öncesi Bazı Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri

Tabaka (cm)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0-30	0,776	3,79	3,18	7,12	57	3,39	0,014	0,478	0,693	*-
30-60	0,821	3,69	3,07	7,01	52,2	2,81	0,097	0,467	0,647	-
60-90	0,755	3,67	2,96	6,35	49,8	2,67	0,085	0,459	0,626	-

*Tespit edilememiştir.

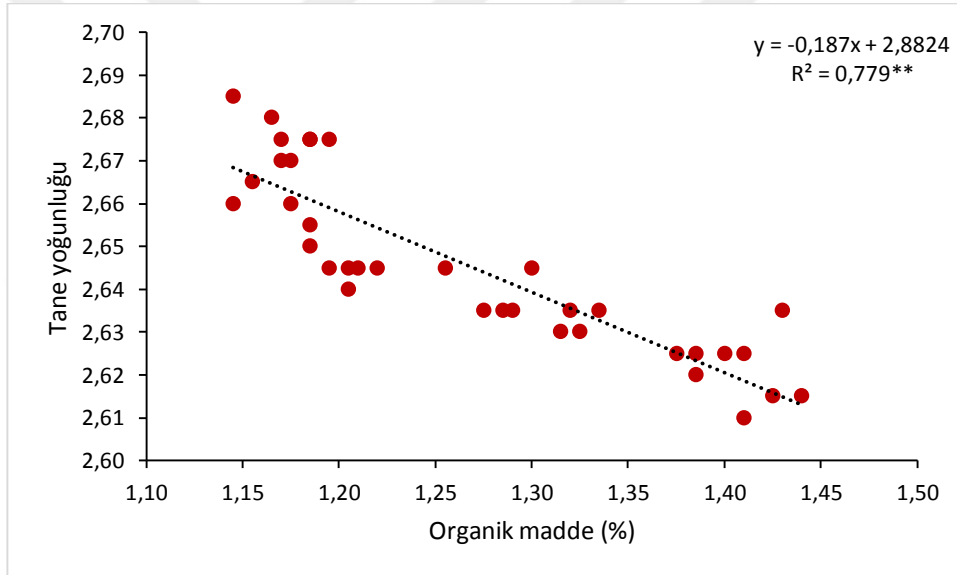
Deneme Sonrası Toprak Özellikleri

Denemenin her iki yılında da sezon sonu toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri (tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, porozite, agregat stabilitesi, pH, EC, organik madde, CaCO₃, toplam Kjeldahl, NO₃, P₂O₅, K₂O, değişebilir katyonlar, katyon değişim kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi, makro-mikro elementler ve ağır metaller) ile hidrolik özelliklerini (tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su) belirlemek için tüm parsellerin 0-30, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerden toprak örneklemeleri, karbon stok ve CO₂ salınım hesapları için her ay sonu toprak örnekleme kapsamında ekim tarihinde, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ayı sonlarında ve hasat tarihinde 0-30 cm’de organik madde ve kütle yoğunluğu değerleri belirlenmiştir.

Toprak fiziksel özellikleri

Farklı arıtma çamuru dozu ve sulama uygulamalarında denemenin iki yılına ve iki yıl ortalamalarına ait kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi değerleri Tablo 12-15’ de verilmiştir. Kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi değerlerine sadece 0-30 cm’ lik tabakada dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli (p<0,01) bulunmuştur (Ek 3-6). Doz artışıyla kütle yoğunluğu azalmıştır. D3 uygulamasında D0’ a göre kütle yoğunluğu % 3,1 daha düşük bulunmuştur (Tablo 12). Tablo 9’ deki başlangıç değerlerine göre kütle yoğunluğu değerleri arıtma çamuru uygulamalarında daha düşük belirlenmiştir. Doz artışıyla önemli düşüşün arıtma çamuru uygulamasıyla topraktaki organik maddenin artışına bağlı olduğu düşünülmektedir (Tablo 19). Arıtma çamuru oranı arttıkça kütle yoğunluğunun artan gözeneklilikle azaldığı Usman *et al.* (2012) tarafından da belirlenmiştir. Maria (2010)’ de

yaptığı çalışmada arıtma çamuru uygulanan topraklarda kütle yoğunluğunun azaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde Biswas *et al.* (2017)' de toprağın organik maddesinin artmasına bağlı olarak kütle yoğunluğunda düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Yine daha önce yapılan diğer çalışmalarda da toprakta organik maddenin artmasıyla kütle yoğunluğunun azaldığı ifade edilmiştir (Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Arıtma çamuru dozu artışıyla tane yoğunluğu azalmış D0' a göre D3 dozunda % 1,9 daha düşük değer belirlenmiştir. Bu değer başlangıç değerlerinden de düşük bulunmuştur (Tablo 13). Toprakta tane yoğunluğu ile organik madde içeriği arasında önemli ($p < 0,01$) negatif ilişki dikkate alındığında organik madde içerikleri artışın tane yoğunluğundaki düşüşün ana nedeni olduğu söylenebilir (Şekil 69). Keleşoğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada, organik materyallerin uygulandığı topraklarda doz artışıyla birlikte tane yoğunluğunda azalma gözlemlendiği belirtilmiştir. Benzer şekilde yapılan birçok çalışmada toprakta organik madde içeriği arttıkça tane yoğunluğunun azaldığı bildirilmiştir (Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Sabtow and Kiziloglu, 2022).



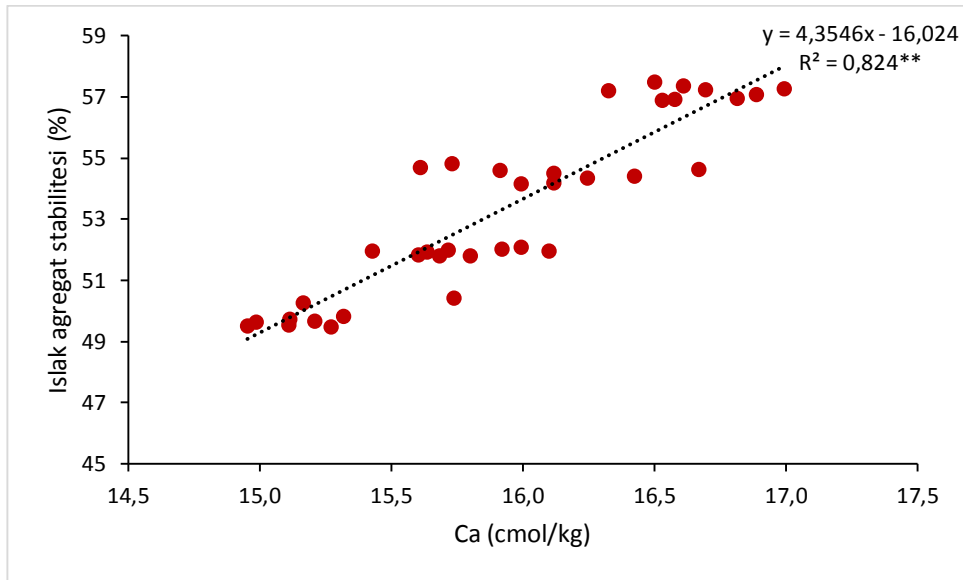
Şekil 69. Tane yoğunluğuyla organik madde arasındaki ilişki (n=36; ** $p < 0,01$)

Porozite, topraktaki boşlukların oranını ifade etmektedir. Arıtma çamurunun toprağa eklenmesiyle, arıtma çamurunda bulunan yüksek organik madde içeriği sayesinde toprağın fiziksel olarak iyileştirmesi poroziteyi pozitif yönde etkilemektedir. Porozitenin daha yüksek olduğu toprakta hava ve su geçişinin artmasıyla bitki köklerinin daha iyi havalandırılmasının yanısıra suya daha kolay erişimini de sağlandığı düşünülmektedir. Tablo 4 incelendiğinde arıtma çamuru dozunun toprakların porozitesine etkisi ($p < 0,01$) önemli bulunmuş deneme sonrası porozite değerlerinin deneme başlangıç değerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek porozite değeri D3 dozunda belirlenmiş D0' dan % 0,57, başlangıç değerinden de % 2,11 daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 14). Arıtma çamuru uygulamalarında toprakta artan organik maddenin daha düşük kütle yoğunluğu sağlamasından

dolayı porozite üzerine pozitif katkıları söz konusudur. Arıtma çamurunda bulunan organik madde içeriğinin toprağın agregat yapısını güçlendirerek toprak parçacıkları arasındaki boşlukların oluşmasına pozitif yönde katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Birçok araştırmacı da toprakta organik madde arttıkça porozitenin de arttığını bildirmiştir (Çakmakçı, 2018; Domingues *et al.* 2020; Alkharabsheh *et al.* 2021; Yerli, 2022; Liu *et al.* 2024; Sharma, 2024). Aydemir ve Kara. (2023), toprakta organik madde artışı, toprağın fiziksel özelliklerinden biri olan poroziteyi artırdığını ve ayrıca organik madde ile porozite arasında önemli pozitif bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır.

Doz artışıyla agregat stabilitesi artmış, en yüksek D3 dozunda elde edilmiştir (Tablo 15). D3 dozunun agregat stabilite değerinin D0' dan % 14,9, başlangıç değerinden % 22,2 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Agregat stabilitesi, toprak parçacıklarının bir arada tutunma yeteneğini ifade etmektedir. Kalsiyumun agregat stabilitesi üzerindeki etkisi, toprak kolloidlerinin yüzey yüklerini nötralize etmesiyle ilişkilidir. Kalsiyum, toprakta negatif yüklü kolloidlerle etkileşime girer ve bu yüzey yüklerini nötralize ederek toprak parçacıklarının bir arada tutunmasını kolaylaştırarak toprak agregatlarının daha sağlam olmasına ve daha iyi bir agregat stabilitesine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, yeterli kalsiyum içeriğine sahip topraklar genellikle daha iyi agregat stabilitesine sahip olmaktadır.

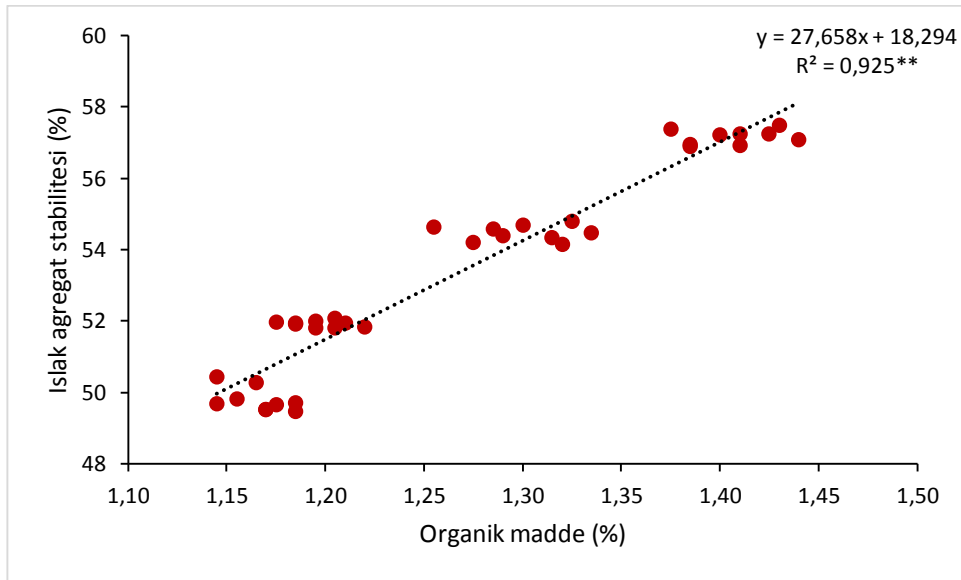
Araştırmalar, toprakların agregat stabilitesi ile değişebilir kalsiyum içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Değişebilir kalsiyum içeriği arttıkça, agregat stabilitesi de artmaktadır. Bu ilişkinin nedeni, kalsiyumun kil partikülleri arasında köprü görevi yapması ve agregatların oluşumunu ve stabilitesini artırmasıdır (Gümüş vd., 2016). Deneme sonucunda, toprakta agregat stabilitesi ile değişebilir kalsiyum (Ca) içeriği arasında önemli ($p<0,01$) pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 70). Benzer şekilde Bedel *et al.* (2018) ve Yao *et al.* (2022) yaptıkları çalışmada agregat stabilitesi ile değişebilir kalsiyum içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 70. Değişebilir Ca içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Toprakta organik madde miktarının artması, ıslak agregat stabilitesini artırmaktadır. Agregat stabilitesinin arıtma çamuru doz uygulamalarında artış göstermesi arıtma çamurun uygulandığı topraklardaki organik maddenin daha fazla olması ile bağlantılı olabilir (Tablo 4). Organik maddenin toprağın üst kısmında agregat oluşum ve stabilitesi üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Gümüş vd.,2016). Arıtma çamuru dozunun artmasına bağlı olarak agregat stabilitesi değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Usman *et al.* 2012). Birçok araştırmacı da toprakta organik madde içeriğinin artışının agregat stabilitesini de önemli seviyede arttırdığını belirtmişlerdir (Lu *et al.* 2023; Dong *et al.* 2023; Sun *et al.* 2023; Halder *et al.*2024; Akter *et al.* 2024).

Agregat stabilitesi ile organik madde içeriği arasında önemli (p<0,01) pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 71). Benzer şekilde yapılan birçok çalışmada da organik madde ile agregat stabilitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Sarker *et al.* 2018; Mbanjwa *et al.* 2022; Sonsri *et al.* 2023).



Şekil 71. Organik madde içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Organik madde, toprakta mikroorganizma aktivitesini teşvik ederek toprak yapıları arasındaki bağları güçlendirerek agregatlarının daha sağlam ve stabil olmasını sağlamaktadır. Lu *et al.* (2021), tarafından toprakta azot içeriğinin artmasının pH' nın düşmesine neden olduğu, bunun da topraktaki mikrobiyal aktiviteyi artırarak toprak agregat stabilitesini artırdığı ifade edilmektedir.

Tablo 12. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının ve 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Kütle Yoğunluğuna (g/cm³) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	1,27±0,01	1,26±0,00	1,25±0,01	1,23±0,01	1,25±0,01
		S2	1,27±0,01	1,26±0,00	1,25±0,00	1,24±0,01	1,26±0,00
		S3	1,26±0,01	1,26±0,01	1,26±0,01	1,23±0,01	1,25±0,00
		Ort.	1,27±0,00 A*	1,26±0,00 AB	1,25±0,00 B	1,23±0,00 C	
	2022	S1	1,27±0,01	1,26±0,00	1,24±0,00	1,23±0,00	1,25±0,00
		S2	1,27±0,00	1,26±0,00	1,25±0,01	1,23±0,01	1,25±0,00
		S3	1,26±0,01	1,27±0,00	1,25±0,01	1,24±0,01	1,25±0,00
		Ort.	1,27±0,00 A*	1,26±0,00 A	1,25±0,00 B	1,23±0,00 C	
	2021-2022	S1	1,27±0,00	1,26±0,00	1,25±0,00	1,23±0,00	1,25±0,00
		S2	1,27±0,01	1,26±0,00	1,25±0,00	1,23±0,00	1,25±0,00
		S3	1,26±0,00	1,27±0,00	1,25±0,01	1,24±0,01	1,25±0,00
		Ort.	1,27±0,00 A*	1,26±0,00 A	1,25±0,00 B	1,23±0,00 C	
30-60	2021	S1	1,29±0,00	1,29±0,01	1,28±0,01	1,28±0,00	1,29±0,00
		S2	1,30±0,00	1,30±0,01	1,29±0,01	1,29±0,01	1,30±0,00
		S3	1,29±0,01	1,30±0,01	1,29±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00	1,29±0,01	

Tablo 12. (devamı)

60-90	2022	S1	1,30±0,01	1,29±0,01	1,28±0,00	1,28±0,00	1,29±0,00
		S2	1,30±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00	1,30±0,00	1,30±0,00
		S3	1,28±0,00	1,30±0,00	1,29±0,01	1,28±0,01	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	
	2021-2022	S1	1,30±0,00	1,29±0,01	1,28±0,00	1,28±0,00	1,29±0,00
		S2	1,30±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00	1,30±0,01	1,30±0,00
		S3	1,29±0,01	1,30±0,01	1,29±0,00	1,28±0,01	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	
	2021	S1	1,30±0,01	1,30±0,01	1,29±0,01	1,29±0,01	1,29±0,00
		S2	1,30±0,01	1,30±0,01	1,29±0,01	1,28±0,01	1,29±0,00
		S3	1,29±0,01	1,29±0,01	1,28±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,30±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	
	2022	S1	1,30±0,00	1,30±0,01	1,30±0,01	1,29±0,01	1,30±0,00
		S2	1,28±0,00	1,30±0,00	1,29±0,01	1,29±0,01	1,29±0,00
		S3	1,30±0,00	1,29±0,01	1,29±0,01	1,30±0,00	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,30±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	
	2021-2022	S1	1,30±0,01	1,30±0,00	1,30±0,01	1,29±0,00	1,30±0,00
		S2	1,29±0,00	1,30±0,01	1,29±0,01	1,29±0,01	1,29±0,00
		S3	1,30±0,00	1,29±0,01	1,29±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00
		Ort.	1,29±0,00	1,30±0,00	1,29±0,00	1,29±0,00	

*: p<0.05

Tablo 13. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Tane Yoğunluğuna Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	2,67±0,01	2,66±0,01	2,64±0,00	2,63±0,00	2,65±0,01 A*
		S2	2,67±0,01	2,64±0,00	2,63±0,00	2,62±0,00	2,64±0,01 B
		S3	2,68±0,00	2,64±0,00	2,63±0,00	2,62±0,00	2,64±0,01 B
		Ort.	2,67±0,00 A*	2,65±0,00 B	2,63±0,00 C	2,62±0,00 D	
	2022	S1	2,68±0,01	2,66±0,00	2,65±0,00	2,62±0,01	2,65±0,01
		S2	2,67±0,01	2,65±0,00	2,64±0,00	2,62±0,01	2,65±0,01
		S3	2,68±0,00	2,65±0,00	2,63±0,00	2,63±0,01	2,65±0,01
		Ort.	2,67±0,00 A*	2,65±0,00 B	2,64±0,00 C	2,62±0,00 D	
	2021-2022	S1	2,67±0,01	2,66±0,01	2,64±0,00	2,62±0,00	2,65±0,01
		S2	2,67±0,00	2,65±0,00	2,64±0,00	2,62±0,00	2,64±0,01
		S3	2,68±0,00	2,64±0,00	2,63±0,00	2,63±0,01	2,64±0,01
		Ort.	2,67±0,00 A*	2,65±0,00 B	2,64±0,00 C	2,62±0,00 D	

Tablo 13. (devamı)

30-60	2021	S1	2,67±0,00	2,67±0,01	2,67±0,00	2,66±0,00	2,67±0,00
		S2	2,67±0,01	2,67±0,01	2,67±0,01	2,67±0,00	2,67±0,00
		S3	2,67±0,01	2,66±0,00	2,66±0,00	2,67±0,01	2,66±0,00
		Ort.	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	
	2022	S1	2,66±0,00	2,67±0,00	2,67±0,01	2,66±0,00	2,67±0,00
		S2	2,67±0,01	2,66±0,00	2,67±0,00	2,67±0,01	2,67±0,00
		S3	2,67±0,01	2,67±0,01	2,67±0,00	2,67±0,01	2,67±0,00
		Ort.	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	
	2021-2022	S1	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,01	2,66±0,00	2,67±0,00
		S2	2,67±0,00	2,66±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00
		S3	2,67±0,00	2,67±0,00	2,66±0,00	2,67±0,01	2,67±0,00
		Ort.	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	2,67±0,00	
60-90	2021	S1	2,68±0,00	2,67±0,01	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00
		S2	2,68±0,00	2,68±0,01	2,67±0,00	2,68±0,01	2,68±0,00
		S3	2,67±0,00	2,67±0,00	2,68±0,01	2,68±0,01	2,68±0,00
		Ort.	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	
	2022	S1	2,67±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00
		S2	2,68±0,00	2,68±0,01	2,68±0,00	2,67±0,00	2,68±0,00
		S3	2,68±0,01	2,67±0,01	2,68±0,01	2,68±0,00	2,68±0,00
		Ort.	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	
	2021-2022	S1	2,68±0,00	2,67±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00
		S2	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00
		S3	2,68±0,00	2,68±0,01	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00
		Ort.	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	2,68±0,00	

*: p<0.05

Tablo 14. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Poroziteye (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	52,4±0,12	52,5±0,24	52,8±0,26	53,2±0,21	52,7±0,13
		S2	52,6±0,24	52,1±0,20	52,3±0,06	52,7±0,32	52,4±0,12
		S3	53,0±0,28	52,1±0,28	52,0±0,17	53,2±0,25	52,6±0,18
		Ort.	52,6±0,14 AB	52,3±0,13 B	52,4±0,14 B	53,0±0,15 A*	
	2022	S1	52,7±0,43	52,8±0,11	53,0±0,19	52,9±0,16	52,9±0,11
		S2	52,6±0,22	52,4±0,07	52,6±0,17	53,1±0,29	52,6±0,111
		S3	52,8±0,32	52,1±0,16	52,7±0,29	52,8±0,38	52,6±0,15
		Ort.	52,7±0,17	52,4±0,12	52,8±0,13	52,9±0,15	

Tablo 14. (devamı)

30-60	2021-2022	S1	52,5±0,17	52,7±0,15	52,9±0,16	53,1±0,11	52,8±0,09
		S2	52,6±0,23	52,3±0,10	52,5±0,05	52,9±0,05	52,5±0,09
		S3	52,9±0,17	52,1±0,16	52,3±0,29	53,0±0,29	52,6±0,14
		Ort.	52,7±0,11 B	52,4±0,11 C	52,6±0,10 BC	53,0±0,10 A*	
	2021	S1	51,7±0,18	51,8±0,18	52,3±0,12	52,1±0,13	52,0±0,09
		S2	51,4±0,03	51,4±0,44	51,9±0,44	51,7±0,30	51,6±0,16
		S3	51,9±0,37	51,6±0,24	51,7±0,23	52,2±0,51	51,8±0,17
		Ort.	51,7±0,14	51,6±0,16	52±0,17	52,0±0,19	
	2022	S1	51,3±0,19	51,6±0,38	52,2±0,05	51,7±0,19	51,7±0,14
		S2	51,2±0,22	51,6±0,33	51,5±0,19	51,4±0,06	51,4±0,11
		S3	52,0±0,12	51,2±0,22	51,6±0,22	52,1±0,28	51,7±0,14
		Ort.	51,5±0,16	51,5±0,17	51,8±0,14	51,7±0,13	
	2021-2022	S1	51,5±0,05	51,7±0,28	52,2±0,09	51,9±0,10	51,8±0,10
		S2	51,3±0,10	51,5±0,39	51,7±0,13	51,6±0,12	51,5±0,10
		S3	52,0±0,24	51,4±0,19	51,7±0,23	52,1±0,14	51,8±0,12
		Ort.	51,6±0,12	51,5±0,16	51,9±0,12	51,8±0,10	
60-90	2021	S1	51,6±0,47	51,2±0,30	51,9±0,30	51,9±0,32	51,7±0,17
		S2	51,6±0,30	51,3±0,49	51,7±0,38	52,1±0,30	51,7±0,18
		S3	51,8±0,28	51,8±0,18	52,1±0,23	52,0±0,28	51,9±0,11
		Ort.	51,7±0,18	51,4±0,20	51,9±0,16	52,0±0,15	
	2022	S1	51,5±0,11	51,4±0,17	51,4±0,22	51,9±0,48	51,6±0,14
		S2	52,1±0,11	51,4±0,06	51,9±0,22	51,7±0,37	51,8±0,13
		S3	51,4±0,06	51,9±0,29	51,9±0,44	51,7±0,11	51,7±0,13
		Ort.	51,6±0,12	51,6±0,13	51,8±0,18	51,8±0,18	
	2021-2022	S1	51,6±0,28	51,3±0,07	51,7±0,23	51,9±0,17	51,6±0,11
		S2	51,8±0,12	51,3±0,23	51,8±0,29	51,9±0,32	51,7±0,13
		S3	51,6±0,11	51,8±0,15	52,0±0,16	51,9±0,09	51,8±0,07
		Ort.	51,7±0,10	51,5±0,12	51,8±0,13	51,9±0,11	

*: p<0.05

Tablo 15. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Islak Agregat Stabilitesine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	49,7±0,24	52,0±0,07	54,5±0,29	57,2±0,30	53,4±0,84
		S2	49,7±0,21	51,9±0,14	54,4±0,27	57,0±0,16	53,2±0,83
		S3	49,6±0,27	51,7±0,09	54,5±0,21	57,2±0,21	53,3±0,86
		Ort.	49,7±0,12 D	51,9±0,06 C	54,5±0,13 B	57,1±0,12 A*	
	2022	S1	50,0±0,59	52,0±0,08	54,6±0,17	57,0±0,04	53,4±0,80
		S2	49,7±0,37	51,9±0,10	54,4±0,22	57,3±0,21	53,3±0,86
		S3	50,0±0,28	52,2±0,10	54,6±0,09	57,4±0,07	53,5±0,83
		Ort.	49,9±0,22 D	52,0±0,07 C	54,5±0,09 B	57,2±0,09 A*	

Tablo 15. (devamı)

30-60	2021-2022	S1	49,9±0,28	52,0±0,03	54,5±0,16	57,1±0,15	53,4±0,82
		S2	49,7±0,08	51,9±0,05	54,4±0,13	57,1±0,10	53,3±0,84
		S3	49,8±0,24	52,0±0,06	54,6±0,13	57,3±0,11	53,4±0,84
		Ort.	49,8±0,11 D	51,9±0,03 C	54,5±0,07 B	57,2±0,07 A*	
	2021	S1	47,4±0,07	47,3±0,19	47,4±0,04	47,3±0,23	47,4±0,07
		S2	47,5±0,03	47,4±0,11	47,3±0,19	47,5±0,03	47,4±0,06
		S3	47,3±0,12	47,5±0,13	47,4±0,08	47,2±0,29	47,3±0,08
		Ort.	47,4±0,05	47,4±0,08	47,4±0,06	47,3±0,11	
	2022	S1	47,3±0,18	47,2±0,15	47,4±0,08	47,3±0,30	47,3±0,09
		S2	47,7±0,10	47,5±0,16	47,4±0,05	47,5±0,07	47,5±0,05
		S3	47,5±0,10	47,4±0,11	47,4±0,15	47,5±0,08	47,5±0,05
		Ort.	47,5±0,08	47,4±0,08	47,4±0,05	47,4±0,10	
	2021-2022	S1	47,4±0,06	47,3±0,15	47,4±0,06	47,3±0,03	47,3±0,04
		S2	47,6±0,04	47,5±0,12	47,3±0,11	47,5±0,02	47,5±0,05
		S3	47,4±0,09	47,4±0,05	47,4±0,09	47,4±0,16	47,4±0,05
		Ort.	47,5±0,05	47,4±0,07	47,4±0,05	47,4±0,06	
60-90	2021	S1	47,7±0,18	47,8±0,18	47,8±0,21	47,7±0,10	47,7±0,07
		S2	47,6±0,18	47,7±0,21	47,4±0,06	47,7±0,19	47,6±0,07
		S3	47,7±0,13	47,6±0,19	47,2±0,17	47,7±0,26	47,5±0,10
		Ort.	47,7±0,08	47,7±0,10	47,5±0,12	47,7±0,10	
	2022	S1	47,8±0,13	47,6±0,10	47,4±0,14	47,6±0,24	47,6±0,08
		S2	47,6±0,11	47,8±0,23	47,6±0,04	47,8±0,16	47,7±0,07
		S3	47,6±0,03	47,6±0,09	47,5±0,12	47,8±0,20	47,6±0,06
		Ort.	47,7±0,05	47,6±0,08	47,5±0,06	47,7±0,11	
	2021-2022	S1	47,7±0,10	47,7±0,05	47,6±0,07	47,6±0,11	47,7±0,04
		S2	47,6±0,04	47,7±0,07	47,5±0,04	47,7±0,07	47,6±0,04
		S3	47,6±0,06	47,6±0,14	47,4±0,10	47,7±0,16	47,6±0,07
		Ort.	47,7±0,04	47,7±0,05	47,5±0,05	47,7±0,06	

*: p<0.05

Toprak kimyasal özellikleri

Deneme topraklarının pH, EC, CaCO₃, organik madde, değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), KDK, ESP, toplam kjeldalh N, NO₃, P₂O₅, K₂O, makro, mikro elementler ve ağır metal içerikleri Tablo 16-39’da ve varyans analiz sonuçları da Ek 7-30’ da verilmiştir.

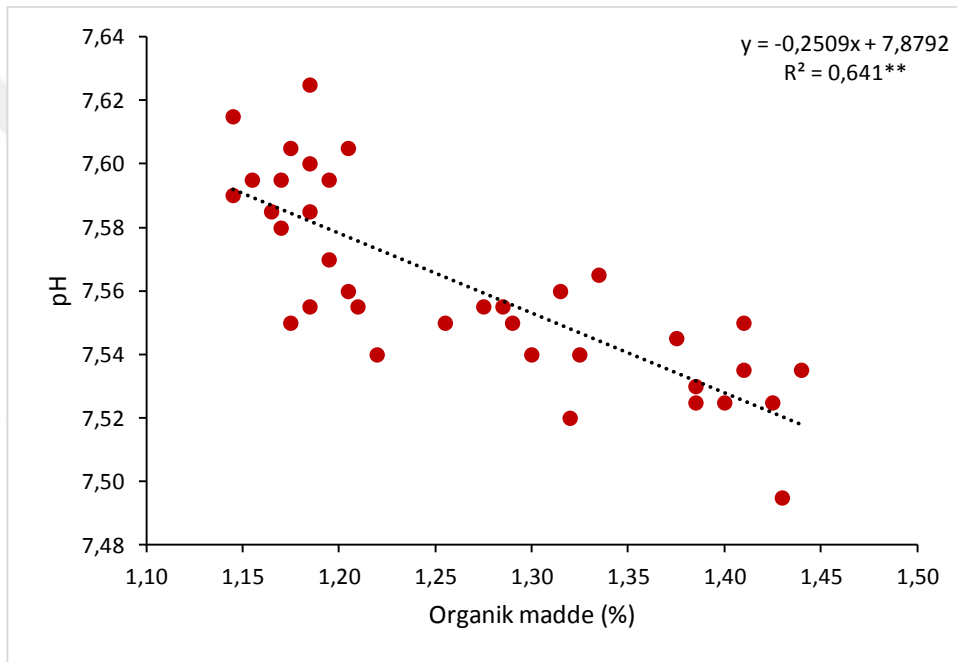
Varyans analiz sonuçlarına göre toprak kimyasal özelliklerinde değişimlerin sadece 0-30 cm’ lik toprak tabakasında önemli olduğu belirlenmiştir (Ek 7-30)

Uygulamalarda pH değerlerinin deneme öncesi değerlere göre genel olarak azaldığı görülmüştür (Tablo 10). Arıtma çamuru dozu artışıyla pH değerlerinde azalma tespit edilmiş, en düşük pH değerini belirlediği D3 dozu D0 dozuna göre % 0,9 daha düşük değer sağlanmıştır

(Tablo 16). Arıtma çamuru dozuyla pH değerinin düşük bulunmasının arıtma çamuru içeriğinde bulunan organik maddenin mineralizasyonu ile oluşan organik asitlerin pH'yı düşürmesi ve arıtma çamurunda azot içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Silajlık mısırdaki atık suyla sulama koşullarında toprak pH'sının temiz suyla sulamaya göre daha düşük olmasının yüksek azot içeriğinden kaynaklandığı önceki çalışmalarda da ifade edilmiştir (Çamakçı, 2018; Yerli, 2022). NH_3 nitrifikasyonunun toprak pH'sını düşürebilecek H^+ iyonlarının kaynağı olduğu bildirilmiştir (Silva *et al.* 2016).

Organik madde içeriği ile pH değeri arasında önemli ($p < 0,01$) negatif doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 73). Saltalı ve Kara (2022), organik madde içeriği ile pH arasında negatif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 72. Organik madde içeriğiyle pH değeri arasındaki ilişki (n=36; ** $p < 0,01$)

Asik *et al.* (2015) farklı arıtma çamuru dozu (0, 40, 80, 120 ve 160 t/ha) uygulanan toprakta doz arttıkça toprak pH değerlerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Shan *et al.* (2021) arıtma çamuru uygulanan toprakta pH değerinin, kontrol grubuna kıyasla önemli bir düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yine daha önce yapılan birçok çalışmada, toprakta organik madde içeriğinin artmasıyla toprağın pH değerinde önemli azalmalar meydana geldiği bildirilmiştir (Cakır and Cimrin, 2018; Gao *et al.* 2019; Zhou *et al.* 2019; Yerli, 2022; Badaou and Sahin, 2022; Mücevher, 2022; Wang *et al.* 2023; Cwieląg-Piasecka, 2023; Gürel, 2024). Laurent *et al.* (2020) tarafından uzun vadeli (on yıllık) bir çalışmada toprağa organik gübre uygulamasıyla toprağın pH değerlerinde önemli azalışlar meydana geldiği belirtilmiştir. Yine uzun vadeli başka bir

çalışmada da organik madde içeriğinin artmasıyla toprakta pH değerinde azalış tespit edilmiştir (Sun *et al.* 2020).

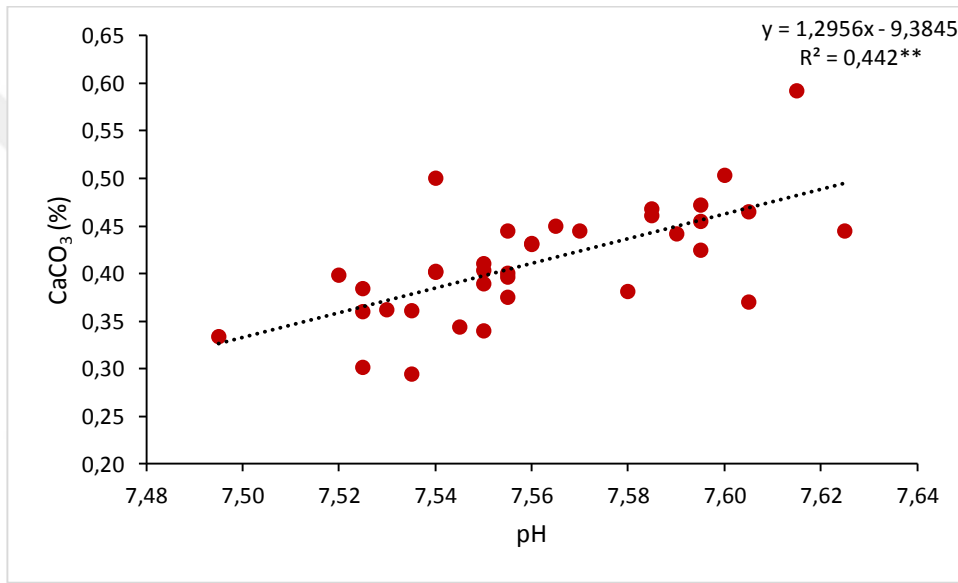
Toprağın pH değeri, toprakta bulunan minerallerin çözünürlüğünü etkilemektedir. Daha asidik pH seviyeleri, bazı minerallerin çözünürlüğünü artırırken, alkalın pH seviyelerini ise bu minerallerin çözünürlüğünü azaltmaktadır. Toprak pH'nın artması kolloidin negatif yükünün artmasına ve kolloid adsorbe edilmiş iyonlarının değişmesine katkıda bulunur, bu da kullanılabilirliğinin artmasına yol açmaktadır (Qian *et al.* 2015). Organik madde, topraktaki katyonların tutulmasını ve bitkilere alınabilirliğini artırarak pH'nın optimum aralıkta kalmasını sağlamaktadır (Uçgun vd 2019). Bitki gelişimi ve besin elementlerinin alınabilirliği için ideal toprak pH aralığı 6,5 ile 7,5 arasındadır (Anonymous, 2013; McCauley *et al.* 2017). Bu çalışmada da pH değerlerinin ideal değerlere yakın bulunması bitki beslenmesi açısından bir kısıt olmadığını göstermektedir.

Ayrıca pH değeri, toprakta bulunan mikroorganizmaların türlerini ve aktivitelerini de etkileyerek farklı mikroorganizma popülasyonlarına yol açarak topraktaki organik maddenin parçalanmasını ve bitki besin maddelerinin serbest bırakılmasını etkilemektedir (Zhalnina *et al.* 2015; Chen *et al.* 2019).

Aritma çamuru uygulanan toprakta doz arttıkça EC değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Deneme sonrası EC değerlerinin deneme öncesi (Tablo 10) değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 17). Aritma çamuru dozu konularında EC değerinin yüksek olması arıtma çamurun yüksek tuz içeriğinden kaynaklı olduğu da düşünülmüştür (Tablo 4). Aritma çamuru uygulanmış toprakta EC değerinde belirgin bir artış olduğu tespit Shan *et al.* (2021) tarafından da belirlenmiştir. Mücevher. (2022) tarafından farklı organik materyal uygulanmış toprakta EC değerinin kontrole göre artış gösterdiğini belirlemiştir. Atık su veya arıtma çamuruyla toprağa tuz girişi birçok çalışmada da belirlenmişti (Asik *et al.* 2015; Çakmakçı, 2018; Cakır and Cimrin, 2019; Yerli, 2022; Badaou and Sahin, 2022; Archkir *et al.* 2023). Ancak EC değerlerinde artış olmasına rağmen toprakta tuzluluk değerinin mısırın tuzluluk eşik değerinin (1,8 dS/m) oldukça altında olduğu görülmüştür (Ayers and Westcot, 1985). Toprağın elektriksel iletkenliğinin (EC), toprağın çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleriyle güçlü bir korelasyon sergileyen ve ürün verimliliğini doğrudan etkileyen dolaylı bir ölçüm olduğu bilinmektedir. Bitki büyümesi için gerekli olan tüm majör ve minör besin maddeleri, bitki tarafından katyonlar veya anyonlar formunda emilmektedir. Toprak suyunda çözünen bu iyonlar bir elektrik yükü taşır ve toprağın EC seviyesini temsil etmektedir. Bu nedenle toprak EC'sinin aynı zamanda üst toprak derinliği, pH, tuz konsantrasyonları ve su tutma kapasitesi gibi ürün verimini etkileyen spesifik toprak özellikleriyle de ilgili olduğu

bildirilmiştir (Rashidi and Seilsepour., 2011). Topraklardaki aşırı tuz içeriği, toprakların biyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Feng *et al.* 2017; Sinegani *et al.* 2017; Zhao *et al.* 2020; Ashrafuzzaman *et al.* 2022).

Farklı sulama uygulamaları ve arıtma çamuru dozlarının CaCO₃ içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) bulunmuştur (Tablo 18 ve Ek 9). Yüzey tabakada arıtma çamuru dozunun artışıyla kireç içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca toprakların kireç içeriği özellikle arıtma çamuru konularında başlangıç toprak içeriğinin altında belirlenmiştir (Tablo 10). pH değeri ile CaCO₃ içeriği arasında önemli ($p < 0,01$) pozitif doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 74). Bu durum arıtma çamuru uygulamalarında toprakların kireç içeriği azalışının pH azalmasıyla (Tablo 16) açıklanabilirliğini göstermiştir.



Şekil 73. pH değeriyle CaCO₃ içeriği arasındaki ilişki (n=36; ** $p < 0,01$)

Toprakların pH ile kireç içeriği arasında pozitif bir ilişkisi olduğu birçok çalışmada da belirtilmiştir (Demir, 2010; Turan *et al.*, 2010; Dizikısa, 2014; Çakmakçı, 2018, Yerli, 2022). Başka bir çalışmada da arıtma çamuru uygulamalarında toprakta azalan pH'ın kireç azalmasını desteklediği belirlenmiştir (Badaou and Sahin, 2022). Demir ve Cimrin (2011)'de arıtma çamuru karıştırılmış toprakta doz arttıkça toprağın kireç içeriğinde azalmalar olduğunu bildirmişlerdir.

Organik madde içeriği doz artışıyla artmış, başlangıç değerlerine (Tablo 10) göre yüksek bulunmuştur. Organik madde içeriği en yüksek D3 dozu ve S3 sulama uygulamalarında belirlenmiştir (Tablo 19). D3 konusunda D0 konusuna göre % 12,8, S3 konusunda S1 konusunda göre % 3,2 daha fazla organik madde belirlenmiştir (Tablo 19). Arıtma çamuru dozunun arttığı konularda organik madde içeriğinin fazla olması arıtma çamurunda bulunan yüksek organik madde içeriğinden kaynaklanmaktadır (Tablo 4). Demir ve Cimrin (2011),

arıtma çamuru uygulanan toprakta arıtma çamuru dozunun artmasıyla organik madde içeriğinin arttığını belirlemişlerdir. Yine daha önce yapılan bir çok çalışmada da toprakta arıtma çamuru dozu artıkça organik madde içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir (Çakmakçı, 2018; Cakır and Cimrin., 2018; Yerli, 2022; Badaou and Sahin, 2022; Corrêa *et al.* 2023; Archkir *et al.* 2023). S3 konusunda yüzey toprağın kuru kalma sürecinin artmasına bağlı olarak toprakta organik madde içeriğinin fazla olması mineralizasyonun azalmasında kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

TN içeriği arıtma çamuru dozlarıyla artmış, deneme öncesi (Tablo 10) değerlere göre de yüksek bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarında toplam azot içeriğindeki artışın arıtma çamurunda bulunan azot içeriği yüksekliğinden (Tablo 4) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda arıtma çamurunun azot içeriğinden dolayı doz artışıyla toprağın azot içeriğinde önemli derecede artışlar olduğu birçok çalışmada da tespit edilmiştir (Lakhdar *et al.* 2010; Abdallh and Sahin., 2020; Archkir *et al.* 2023). Seyrek aralıklarla sulama TN içeriğini sık sulamaya göre önemli derecede artmıştır. % 9,5 artışın organik madde mineralizasyon süreciyle ilgili olduğu değerlendirilmiştir (Tablo 20). Wang *et al.* (2023)' da Seyrek sulamanın bitkilerin azot alımını sınırlandırarak toprakta azot birikimine neden olduğu belirlemişlerdir. Toprakta nem içeriğinin azalması mikrobiyal aktiviteyi ve dolayısıyla azot mineralizasyonunu yavaşlamaktadır (Premalatha *et al.* 2023).

Arıtma çamuru doz artışıyla NO₃ içeriği artmış, sık sulama koşullarında da bir azalış olduğu belirlenmiştir (Tablo 21). D3 dozu D0 dozuna göre çok daha yüksek değer sağlarken, S1 uygulamasında S3 uygulamasına göre % 5,8 daha düşük değer belirlenmiştir (Tablo 21).

Sık sulama koşullarında artan mineralizasyonla NO₃' ün daha fazla bir kısmını bitkiler tarafından kullanıldığı, bu nedenle de topraktaki içeriğin düşük olduğu belirlenmiştir. Sulama seviyesi azaltıldığında nitrojen mineralizasyonu ve nitrifikasyon süreçleri etkilenir, bu da bitkiler tarafından TN alımını sınırlandırarak nitrat formundaki toprak nitrojen içeriğinin artmasına neden olmaktadır. Tian *et al.* (2023) ve Wang *et al.* (2023) düşük sulama seviyelerinde topraktaki nitrat birikiminin önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir.

NO₃, toprakta bulunan azotun en mobil formudur. Bitkilerin klorofil üretimini ve fotosentezi artırarak büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan bir besin maddesidir. Organik maddenin, nitrat azotunun kaynağı olduğu, arıtma çamur dozunun artmasıyla NO₃ değerlerinde artış olduğu bilinmektedir.

Sonuçlarımıza paralel olarak, farklı arıtma çamuru dozu karıştırılmış toprakta arıtma çamuru dozu artmasıyla NO₃ içeriğinde artışı Antoniadis *et al.* (2015) tarafından da ifade edilmiştir. Şenlikoğlu, (2015) tarafından da farklı organik materyallerinin karıştırıldığı

topraklarda dozlara bağılı olarak toprağın besin içeriklerinde (toplam azot, nitrat azotu ve potasyum) önemli artışlar belirtmişlerdir. Demir ve Topaç (2019)' da üç farklı arıtma çamuru dozu karıştırılmış toprakta doz artışıyla toprağın NO₃ içeriğinde artışlar olduğunu bildirmişlerdir.

P₂O₅ içeriği doz artışıyla artmış, D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre sırasıyla % 10,8, % 21,8 ve % 29,8 daha fazla değer sağlamış ve deneme sonrası değerler aynı zamanda deneme öncesi değerlerden yüksek bulunmuştur (Tablo 22). P₂O₅ değerinin artmasının arıtma çamurunun fosfor (P) içeriğinden (Tablo 4) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Çamakcı, (2018) ve Yerli, (2022) de silajlık mısırdaki atık suyla yaptıkları çalışmada sezon sonu P₂O₅ değerleri başlangıç değerlere kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

D0 uygulamasına göre alınabilir potasyum (K₂O) içeriği D1' de % 3,6, D2' de % 8,6 ve D3' te % 12,2 artış göstermiştir (Tablo 23). Deneme sonunda, K₂O içerikleri deneme öncesine göre arıtma çamuru uygulamalarında artış göstermiştir (Tablo 10). Bu artışların arıtma çamurunda yüksek K içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo 4). Gezer *et al.* (2023)' e göre K₂O içeriği, arıtma çamuru uygulamasıyla artış göstermiştir. Sumiahadi, (2021)' de organik madde içeriğinin artmasıyla toprakta K₂O içeriğinde artış olduğunu belirtmişlerdir.

Değişebilir Ca içerikleri doz artışıyla artmış, deneme başlangıç (Tablo 10) değerlere göre de yüksek bulunmuştur (Tablo 24) Arıtma çamurunun artan dozlarında değişebilir katyon içeriklerinin daha fazla olmasının arıtma çamurunda bulunan Ca içeriğinin yüksek oranda bulunmasında kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 7). pH' nın düşük olduğu koşulların da kirecin çözünürlüğünün artırmasının da Ca içeriğini ayrıca artırmış olabileceği değerlendirilmiştir. Hartemink and Barrow, (2023)' da toprakta pH değeri ile değişebilir kalsiyum arasında negatif bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır.

Deneme sonrası değişebilir Mg içerikleri doz artışıyla artmış, D3 dozu D0' dan % 7,5 daha fazla belirlenmiştir (Tablo 25). Deneme öncesi başlangıç değerlere göre (Tablo 10) arıtma çamuru uygulanan tüm dozlarda (D1, D2 ve D3) değerlerin yüksek olduğu bulunmuştur. Mg'nin arıtma çamuru dozu uygulamalarında daha fazla belirlenmiş olması Ca birikimi ile ilişkilendirilebilir. Mg' nin artması, Ca' nın çökmesine ve toprakta birikmesine neden olmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada Ca ile Mg arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Taşkın *et al.* 2015).

Arıtma çamurunun artan dozu değişebilir Na içeriğini artırmış, D3 dozu D0' a göre % 13,8 daha fazla değer sağlamıştır (Tablo 26). Yine deneme sonucu değerlerine göre deneme öncesi değerlerden yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 10). Arıtma çamuru dozlarında

değişebilir Na içeriklerinin artmasının arıtma çamurunda yüksek oranda Na bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo arıtma çamuru değerleri).

Tablo 27 incelendiğinde değişebilir K değerleri denemenin toprak başlangıç değerlerine göre (Tablo 10) arıtma çamuru uygulanan tüm konularda artış göstermiştir. D0 dozuna göre D3 dozu % 13,2 daha fazla değer elde edilmiştir. Bu artışın ana sebebi arıtma çamurunda bulunan yüksek K içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Yapılan çok sayıda çalışmada, arıtma çamuru karıştırılmış toprakların değişebilir Ca, Mg, Na ve K içeriklerinin önemli miktarlarda arttığı belirlenmiştir (Fan *et al.* 2016; Cherfouh *et al.* 2018; Norouzian *et al.* 2018; Achkir *et al.* 2023). Adekiya *et al.* (2020), farklı organik materyaller uygulanan toprakta organik madde içeriğinin artmasıyla birlikte N, P, K, Ca ve Mg içeriklerinin de arttığını belirlemişlerdir. Wulanningtyas *et al.* (2021)' de çalışmasında, toprağın organik madde miktarını artırmanın, toprağın K, Ca, Mg ve Na gibi besin elementleri üzerindeki etkileri incelenmişlerdir. Topraktaki organik madde miktarının artmasıyla birlikte içeriklerini de arttığını vurgulanmışlardır. Toprakta organik madde miktarı arttıkça N ve P değerlerinde artış Gürel, (2024) tarafından da belirlenmiştir.

KDK doz artışıyla artmış, D3 dozunda D0 dozuna göre % 9,0 daha yüksek bulunmuştur (Tablo 28). Belirlenen değerler aynı zamanda başlangıç değerinden de olduğu görülmüştür. Bu artışın özellikle Ca içeriğinin yüksekliğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Dolayısıyla Ca' da olduğu gibi toprakta artan organik maddenin KDK artışının da ana sebebi olduğu söylenebilir. Roy and Gupta (2016) ve Agegnehu *et al.* (2016) organik maddenin artmasının KDK'yı da arttırdığını belirtmişlerdir. Yine birçok araştırmacı, çalışmalarında organik maddenin KDK'yı artırdığını bildirmişlerdir (Silva *et al.* 2016; Çakmakçı, 2018; Demir Doğan and Sahin 2020; Wulanningtyas *et al.* 2021; Yerli, 2022; Singh *et al.* 2022).

D3 uygulamasında ESP, D0' a göre % 4,8 artmıştır (Tablo 29). ESP' nin hesaplama formülünde değişebilir sodyum (Na) ve Katyon Değişim Kapasitesi'nin (KDK) değişim trendleri ile (eşitlik 7) doğrudan bağlantısı dikkate alındığında ESP' nin Na' daki daha fazla artışıyla ilişkilendirilebileceği söylenebilir (Tablo 26). Önceki çalışmalarda da Na içeriğinin daha fazla artmasına bağlı olarak ESP 'nin de daha fazla arttığı bildirilmiştir (Sou *et al.* 2013; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Yapılan değerlendirmelerden sonra ESP değerlerinin toprakta sodyumluluk limit değerlerinin (<15) oldukça altında bulunmuş olması da toprak geçirgenliği açısından bir sorun olmadığını ortaya koymuştur (Kanber ve Ünlü, 2010).

Tablo 16. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında pH Değerine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	7,59±0,02	7,58±0,02	7,54±0,01	7,53±0,01	7,56±0,01
		S2	7,60±0,02	7,56±0,01	7,53±0,00	7,52±0,01	7,55±0,01
		S3	7,62±0,01	7,56±0,03	7,56±0,01	7,52±0,02	7,56±0,01
		Ort.	7,60±0,01 A*	7,57±0,01 B	7,54±0,01 BC	7,52±0,01 C	
	2022	S1	7,60±0,01	7,57±0,02	7,56±0,01	7,54±0,01	7,57±0,01
		S2	7,60±0,02	7,56±0,01	7,55±0,02	7,55±0,02	7,56±0,01
		S3	7,59±0,02	7,57±0,02	7,55±0,01	7,53±0,02	7,56±0,01
		Ort.	7,59±0,01 A*	7,57±0,01 B	7,55±0,01 BC	7,54±0,01 C	
	2021-2022	S1	7,60±0,01	7,58±0,01	7,55±0,00	7,53±0,01	7,56±0,01
		S2	7,60±0,00	7,56±0,00	7,54±0,01	7,53±0,01	7,56±0,01
		S3	7,60±0,01	7,57±0,02	7,56±0,01	7,52±0,01	7,56±0,01
		Ort.	7,60±0,00 A*	7,57±0,01 B	7,55±0,00 C	7,53±0,01 C	
30-60	2021	S1	7,82±0,03	7,79±0,02	7,83±0,03	7,88±0,03	7,83±0,01
		S2	7,81±0,04	7,87±0,05	7,87±0,01	7,94±0,00	7,87±0,02
		S3	7,87±0,04	7,87±0,07	7,89±0,07	7,83±0,03	7,86±0,02
		Ort.	7,83±0,02	7,84±0,03	7,86±0,02	7,88±0,02	
	2022	S1	7,80±0,04	7,81±0,02	7,83±0,04	7,91±0,02	7,84±0,02
		S2	7,82±0,04	7,84±0,05	7,79±0,03	7,89±0,01	7,83±0,02
		S3	7,85±0,04	7,87±0,02	7,90±0,04	7,86±0,03	7,87±0,02
		Ort.	7,82±0,02	7,84±0,02	7,84±0,02	7,88±0,01	
	2021-2022	S1	7,81±0,02	7,80±0,02	7,83±0,03	7,89±0,02	7,83±0,02
		S2	7,82±0,04	7,85±0,01	7,83±0,02	7,91±0,01	7,85±0,01
		S3	7,86±0,04	7,87±0,03	7,90±0,05	7,85±0,03	7,87±0,02
		Ort.	7,83±0,02	7,84±0,02	7,85±0,02	7,88±0,01	
60-90	2021	S1	7,99±0,01	8,01±0,08	7,99±0,01	8,01±0,05	8,00±0,02
		S2	8,01±0,03	8,07±0,06	8,02±0,06	8,02±0,06	8,03±0,02
		S3	8,00±0,02	8,04±0,01	8,05±0,06	8,06±0,04	8,04±0,02
		Ort.	8,00±0,01	8,04±0,03	8,02±0,02	8,03±0,03	
	2022	S1	7,92±0,02	7,89±0,03	7,96±0,04	8,03±0,02	7,95±0,02
		S2	7,98±0,04	7,94±0,04	7,96±0,04	8,03±0,02	7,98±0,02
		S3	7,88±0,03	8,01±0,01	8,05±0,03	8,02±0,03	7,99±0,02
		Ort.	7,93±0,02	7,94±0,02	7,99±0,02	8,03±0,01	
	2021-2022	S1	7,95±0,01	7,95±0,04	7,98±0,02	8,02±0,01	7,97±0,01
		S2	7,99±0,00	8,01±0,03	7,99±0,02	8,03±0,02	8,00±0,01
		S3	7,94±0,01	8,02±0,00	8,05±0,03	8,04±0,01	8,01±0,01
		Ort.	7,96±0,01	7,99±0,02	8,01±0,02	8,03±0,01	

*: p<0.05

Tablo 17. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında EC Değerine (dS/m) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,163±0,00	0,181±0,00	0,214±0,01	0,227±0,01	0,196±0,01
		S2	0,165±0,00	0,188±0,01	0,204±0,00	0,214±0,00	0,193±0,01
		S3	0,165±0,00	0,184±0,00	0,213±0,01	0,223±0,01	0,196±0,01
		Ort.	0,165±0,00 C	0,184±0,00 B	0,210±0,00 A	0,221±0,01 A*	
	2022	S1	0,161±0,01	0,179±0,00	0,199±0,01	0,211±0,01	0,188±0,01
		S2	0,163±0,01	0,191±0,01	0,208±0,00	0,217±0,01	0,195±0,01
		S3	0,166±0,00	0,181±0,01	0,196±0,00	0,218±0,00	0,190±0,01
		Ort.	0,164±0,00 D	0,184±0,00 C	0,201±0,00 B	0,215±0,00 A*	
	2021-2022	S1	0,162±0,00	0,180±0,00	0,207±0,01	0,219±0,01	0,192±0,01
		S2	0,164±0,00	0,190±0,00	0,206±0,00	0,216±0,00	0,194±0,01
		S3	0,166±0,00	0,183±0,00	0,205±0,00	0,220±0,01	0,193±0,01
		Ort.	0,164±0,00 D	0,184±0,00 C	0,206±0,00 B	0,218±0,00 A*	
30-60	2021	S1	0,197±0,01	0,190±0,00	0,205±0,00	0,205±0,00	0,199±0,00
		S2	0,188±0,01	0,201±0,00	0,199±0,00	0,203±0,00	0,198±0,00
		S3	0,197±0,00	0,201±0,00	0,197±0,00	0,206±0,00	0,200±0,00
		Ort.	0,194±0,00 C	0,197±0,00 AB	0,200±0,00 AB	0,205±0,00 A*	
	2022	S1	0,193±0,00	0,201±0,01	0,196±0,00	0,194±0,01	0,196±0,00
		S2	0,202±0,01	0,190±0,00	0,204±0,00	0,213±0,00	0,202±0,00
		S3	0,193±0,01	0,202±0,01	0,204±0,01	0,204±0,01	0,201±0,00
		Ort.	0,196±0,00	0,198±0,00	0,201±0,00	0,204±0,00	
	2021-2022	S1	0,195±0,01	0,195±0,00	0,200±0,00	0,200±0,00	0,198±0,00
		S2	0,195±0,00	0,195±0,00	0,201±0,00	0,208±0,00	0,200±0,00
		S3	0,195±0,00	0,201±0,00	0,201±0,00	0,205±0,01	0,201±0,00
		Ort.	0,195±0,00	0,197±0,00	0,201±0,00	0,204±0,00	
60-90	2021	S1	0,240±0,01	0,239±0,01	0,242±0,01	0,242±0,00	0,241±0,00
		S2	0,243±0,00	0,241±0,01	0,254±0,00	0,248±0,00	0,247±0,00
		S3	0,247±0,00	0,251±0,01	0,251±0,00	0,252±0,00	0,250±0,00
		Ort.	0,244±0,00	0,244±0,00	0,249±0,00	0,247±0,00	
	2022	S1	0,220±0,01	0,241±0,01	0,240±0,01	0,244±0,01	0,236±0,00
		S2	0,237±0,00	0,241±0,01	0,249±0,00	0,238±0,01	0,241±0,00
		S3	0,233±0,01	0,244±0,00	0,249±0,01	0,250±0,01	0,244±0,00
		Ort.	0,230±0,00	0,242±0,00	0,246±0,00	0,244±0,00	
	2021-2022	S1	0,230±0,00	0,240±0,00	0,241±0,00	0,243±0,00	0,239±0,00
		S2	0,240±0,00	0,241±0,01	0,251±0,00	0,243±0,00	0,244±0,00
		S3	0,240±0,01	0,248±0,00	0,250±0,00	0,251±0,00	0,247±0,00
		Ort.	0,237±0,00	0,243±0,00	0,248±0,00	0,246±0,00	

*: p<0.05

Tablo 18. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında CaCO₃ (%) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,45±0,10	0,41±0,03	0,38±0,02	0,33±0,03	0,39±0,03
		S2	0,43±0,05	0,45±0,02	0,40±0,00	0,35±0,02	0,41±0,02
		S3	0,46±0,05	0,45±0,08	0,42±0,01	0,35±0,04	0,42±0,03
		Ort.	0,45±0,03A*	0,44±0,03A	0,40±0,02AB	0,34±0,02B	
	2022	S1	0,49±0,05	0,49±0,02	0,39±0,01	0,38±0,02	0,44±0,02
		S2	0,47±0,04	0,43±0,03	0,40±0,00	0,33±0,02	0,41±0,02
		S3	0,47±0,05	0,40±0,01	0,44±0,02	0,31±0,01	0,40±0,02
		Ort.	0,48±0,02A*	0,44±0,02AB	0,41±0,01B	0,34±0,01C	
	2021-2022	S1	0,47±0,06	0,45±0,02	0,39±0,01	0,35±0,01	0,42±0,02
		S2	0,45±0,01	0,44±0,00	0,40±0,00	0,34±0,02	0,41±0,01
		S3	0,47±0,02	0,42±0,04	0,43±0,01	0,33±0,02	0,41±0,02
		Ort.	0,46±0,02A*	0,44±0,01AB	0,41±0,01B	0,34±0,01C	
30-60	2021	S1	1,45±0,03	1,46±0,01	1,45±0,03	1,45±0,04	1,45±0,01
		S2	1,48±0,00	1,51±0,01	1,45±0,01	1,44±0,01	1,47±0,01
		S3	1,48±0,02	1,41±0,03	1,48±0,00	1,44±0,02	1,45±0,01
		Ort.	1,47±0,02	1,46±0,02	1,46±0,01	1,44±0,01	
	2022	S1	1,48±0,04	1,46±0,02	1,44±0,03	1,45±0,01	1,46±0,01
		S2	1,42±0,02	1,49±0,02	1,49±0,01	1,45±0,03	1,46±0,01
		S3	1,49±0,01	1,44±0,03	1,47±0,02	1,45±0,00	1,46±0,01
		Ort.	1,46±0,02	1,46±0,01	1,47±0,01	1,45±0,01	
	2021-2022	S1	1,47±0,03	1,46±0,01	1,44±0,03	1,45±0,02	1,46±0,01
		S2	1,45±0,01	1,50±0,00	1,47±0,01	1,44±0,02	1,47±0,01
		S3	1,48±0,02	1,42±0,01	1,48±0,01	1,44±0,01	1,46±0,01
		Ort.	1,47±0,01	1,46±0,01	1,46±0,01	1,45±0,01	
60-90	2021	S1	1,78±0,02	1,76±0,03	1,75±0,07	1,76±0,02	1,76±0,02
		S2	1,74±0,02	1,76±0,02	1,74±0,02	1,74±0,02	1,74±0,01
		S3	1,74±0,01	1,71±0,04	1,73±0,05	1,73±0,05	1,73±0,02
		Ort.	1,75±0,01	1,74±0,02	1,74±0,03	1,74±0,02	
	2022	S1	1,75±0,03	1,75±0,00	1,75±0,03	1,71±0,03	1,74±0,01
		S2	1,76±0,01	1,74±0,03	1,76±0,02	1,76±0,01	1,75±0,01
		S3	1,77±0,01	1,73±0,003	1,71±0,06	1,78±0,01	1,75±0,02
		Ort.	1,76±0,01	1,74±0,01	1,74±0,02	1,75±0,01	
	2021-2022	S1	1,76±0,02	1,76±0,02	1,75±0,05	1,73±0,02	1,75±0,01
		S2	1,75±0,01	1,75±0,02	1,75±0,01	1,75±0,01	1,75±0,01
		S3	1,76±0,01	1,72±0,04	1,72±0,05	1,76±0,02	1,74±0,02
		Ort.	1,76±0,01	1,74±0,01	1,74±0,02	1,75±0,01	

*: p<0.05

Tablo 19. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında OM İçeriğine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	1,16±0,00ı	1,19±0,00g	1,28±0,01e	1,33±0,01c	1,24±0,02C
		S2	1,17±0,00h	1,20±0,00g	1,31±0,01d	1,38±0,01b	1,27±0,03B
		S3	1,19±0,00g	1,22±0,00f	1,33±0,00c	1,40±0,00a*	1,29±0,02A*
		Ort.	1,17±0,01D	1,20±0,00C	1,31±0,01 B	1,37±0,01A*	
	2022	S1	1,15±0,02	1,18±0,01	1,27±0,02	1,43±0,01	1,26±0,03C
		S2	1,16±0,01	1,19±0,01	1,29±0,01	1,44±0,01	1,27±0,03AB
		S3	1,16±0,01	1,20±0,01	1,32±0,01	1,46±0,01	1,29±0,03A*
		Ort.	1,16±0,01D	1,19±0,01C	1,29±0,01B	1,44±0,01A*	
	2021-2022	S1	1,15±0,01	1,19±0,01	1,28±0,01	1,38±0,00	1,25±0,03C
		S2	1,17±0,01	1,20±0,01	1,30±0,01	1,41±0,01	1,27±0,03B
		S3	1,18±0,01	1,21±0,00	1,33±0,01	1,43±0,01	1,29±0,03A*
		Ort.	1,17±0,01D	1,20±0,00C	1,30±0,01B	1,41±0,01 A*	
30-60	2021	S1	1,00±0,01	1,01±0,01	1,00±0,02	1,01±0,01	1,01±0,01
		S2	1,01±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01	1,01±0,00	1,01±0,00
		S3	1,00±0,02	1,01±0,02	0,99±0,00	1,00±0,01	1,00±0,01
		Ort.	1,01±0,01	1,01±0,01	1,01±0,01	1,01±0,00	
	2022	S1	1,01±0,02	1,00±0,02	0,99±0,02	0,99±0,02	1,00±0,01
		S2	1,00±0,01	0,98±0,01	1,00±0,02	1,00±0,02	1,00±0,01
		S3	0,99±0,01	1,00±0,02	1,00±0,02	1,01±0,02	1,00±0,01
		Ort.	1,00±0,01	1,00±0,01	1,00±0,01	1,00±0,01	
	2021-2022	S1	1,01±0,01	1,00±0,00	1,00±0,02	1,00±0,01	1,00±0,00
		S2	1,00±0,00	1,00±0,01	1,01±0,01	1,01±0,01	1,00±0,00
		S3	1,00±0,01	1,01±0,02	1,00±0,01	1,01±0,01	1,00±0,01
		Ort.	1,00±0,00	1,00±0,01	1,00±0,01	1,00±0,00	
60-90	2021	S1	0,97±0,01	0,97±0,01	0,95±0,01	0,96±0,01	0,96±0,00
		S2	0,96±0,02	0,95±0,01	0,96±0,02	0,94±0,02	0,95±0,01
		S3	0,94±0,01	0,96±0,01	0,96±0,00	0,97±0,01	0,95±0,01
		Ort.	0,96±0,01	0,96±0,01	0,96±0,01	0,96±0,01	
	2022	S1	0,98±0,02	0,98±0,02	0,96±0,01	0,95±0,01	0,97±0,01
		S2	0,95±0,02	0,96±0,01	0,98±0,02	0,95±0,01	0,96±0,01
		S3	0,96±0,01	0,97±0,02	0,95±0,02	0,96±0,02	0,96±0,01
		Ort.	0,96±0,01	0,97±0,01	0,96±0,01	0,96±0,01	
	2021-2022	S1	0,97±0,01	0,98±0,01	0,95±0,01	0,96±0,00	0,96±0,00
		S2	0,96±0,02	0,96±0,01	0,97±0,02	0,95±0,01	0,96±0,01
		S3	0,95±0,00	0,96±0,00	0,95±0,01	0,97±0,01	0,96±0,00
		Ort.	0,96±0,01	0,97±0,00	0,96±0,01	0,96±0,00	

*: p<0.05

Tablo 20. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Toplam Kjeldahl Azotu İçeriğine (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,096±0,00	0,116±0,00	0,135±0,01	0,166±0,01	0,128±0,01 B
		S2	0,097±0,00	0,117±0,00	0,142±0,01	0,184±0,01	0,135±0,01 AB
		S3	0,098±0,01	0,120±0,00	0,152±0,00	0,191±0,01	0,140±0,01 A*
		Ort.	0,097±0,00D	0,117±0,00C	0,143±0,00B	0,180±0,01A*	
	2022	S1	0,089±0,00	0,123±0,00	0,134±0,00	0,150±0,00	0,124±0,01B
		S2	0,095±0,00	0,120±0,00	0,141±0,01	0,174±0,00	0,133±0,01A
		S3	0,097±0,00	0,123±0,01	0,144±0,00	0,176±0,01	0,135±0,01A**
		Ort.	0,094±0,00 D	0,122±0,00 C	0,140±0,00 B	0,166±0,00A*	
	2021-2022	S1	0,093±0,00	0,120±0,00	0,136±0,01	0,157±0,00	0,126±0,01B
		S2	0,096±0,00	0,120±0,00	0,141±0,00	0,180±0,01	0,134±0,01A
		S3	0,099±0,00	0,122±0,00	0,149±0,00	0,185±0,01	0,138±0,01A**
		Ort.	0,096±0,00D	0,121±0,00C	0,142±0,00B	0,174±0,01A**	
30-60	2021	S1	0,076±0,00	0,079±0,00	0,075±0,00	0,086±0,00	0,079±0,00
		S2	0,073±0,00	0,082±0,00	0,081±0,00	0,082±0,01	0,079±0,00
		S3	0,077±0,00	0,079±0,01	0,084±0,01	0,086±0,01	0,082±0,00
		Ort.	0,075±0,00	0,080±0,00	0,080±0,00	0,085±0,01	
	2022	S1	0,086±0,00	0,081±0,00	0,072±0,00	0,081±0,00	0,080±0,00
		S2	0,076±0,00	0,074±0,00	0,073±0,00	0,080±0,00	0,076±0,00
		S3	0,079±0,01	0,074±0,00	0,070±0,00	0,079±0,01	0,075±0,00
		Ort.	0,080±0,00	0,076±0,00	0,071±0,00	0,080±0,00	
	2021-2022	S1	0,081±0,00	0,081±0,00	0,073±0,00	0,084±0,00	0,080±0,00
		S2	0,075±0,00	0,077±0,00	0,076±0,00	0,082±0,01	0,077±0,00
		S3	0,078±0,00	0,077±0,00	0,077±0,00	0,083±0,00	0,079±0,00
		Ort.	0,078±0,00	0,078±0,00	0,075±0,00	0,083±0,00	
60-90	2021	S1	0,068±0,00	0,068±0,00	0,072±0,00	0,069±0,00	0,069±0,00
		S2	0,066±0,00	0,070±0,00	0,071±0,00	0,070±0,00	0,069±0,00
		S3	0,072±0,00	0,068±0,00	0,069±0,00	0,069±0,00	0,070±0,00
		Ort.	0,069±0,00	0,069±0,00	0,071±0,00	0,069±0,00	
	2022	S1	0,064±0,00	0,066±0,00	0,064±0,00	0,068±0,00	0,066±0,00
		S2	0,067±0,00	0,067±0,00	0,065±0,00	0,065±0,00	0,066±0,00
		S3	0,067±0,00	0,065±0,00	0,064±0,00	0,068±0,00	0,066±0,00
		Ort.	0,066±0,00	0,066±0,00	0,064±0,00	0,067±0,00	
	2021-2022	S1	0,065±0,00	0,067±0,00	0,067±0,00	0,069±0,00	0,067±0,00
		S2	0,067±0,00	0,069±0,00	0,069±0,00	0,068±0,00	0,068±0,00
		S3	0,070±0,00	0,066±0,00	0,067±0,00	0,068±0,00	0,068±0,00
		Ort.	0,067±0,00	0,067±0,00	0,068±0,00	0,068±0,00	

*: p<0.05

Tablo 21. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında NO₃ İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0.19±0,05g	2.85±0,01f	4.57±0,09e	5.05±0,04c	3.16±0,057C
		S2	0.21±0,07g	2.87±0,00f	4.81±0,01d	5.27±0,03b	3.29±0,60B
		S3	0.25±0,08g	2.93±0,01f	4.95±0,02cd	5.48±0,07a*	3.40±0,62A*
		Ort.	0.22±0,04D	2.88±0,01C	4.78±0,06 B	5.27±0,07A*	
	2022	S1	0,18±0,07f	2,79±0,02e	4,38±0,04d	4,87±0,04b	3,05±0,55B
		S2	0,20±0,02f	2,84±0,04e	4,49±0,08cd	5,08±0,04a	3,15±0,57A
		S3	0,20±0,06f	2,79±0,02e	4,63±0,10c	5,22±0,04a*	3,21±0,59A*
		Ort.	0,19±0,03D	2,80±0,02C	4,50±0,05B	5,05±0,05A*	
	2021-2022	S1	0,18±0,03h	2,82±0,02g	4,47±0,06f	4,96±0,03c	3,11±0,56C
		S2	0,20±0,03h	2,85±0,02g	4,65±0,04e	5,17±0,02b	3,22±0,59B
		S3	0,23±0,03h	2,86±0,01g	4,79±0,05d	5,35±0,05a*	3,30±0,60A*
		Ort.	0,20±0,02D	2,84±0,01C	4,64±0,05B	5,16±0,06A*	
30-60	2021	S1	0,19±0,06	0,12±0,02	0,26±0,06	0,37±0,02	0,23±0,03
		S2	0,24±0,09	0,30±0,10	0,16±0,05	0,16±0,06	0,22±0,04
		S3	0,23±0,02	0,23±0,06	0,29±0,05	0,21±0,07	0,24±0,02
		Ort.	0,22±0,03	0,22±0,04	0,24±0,03	0,25±0,04	
	2022	S1	0,12±0,03	0,18±0,04	0,25±0,04	0,18±0,04	0,18±0,02
		S2	0,27±0,06	0,22±0,09	0,20±0,08	0,19±0,05	0,22±0,03
		S3	0,22±0,06	0,18±0,04	0,18±0,04	0,25±0,04	0,20±0,02
		Ort.	0,20±0,03	0,19±0,03	0,21±0,03	0,20±0,02	
	2021-2022	S1	0,15±0,02	0,15±0,01	0,25±0,03	0,27±0,03	0,21±0,02
		S2	0,25±0,05	0,26±0,09	0,18±0,03	0,18±0,05	0,22±0,03
		S3	0,23±0,04	0,20±0,03	0,23±0,04	0,23±0,02	0,22±0,01
		Ort.	0,21±0,02	0,20±0,03	0,22±0,02	0,23±0,02	
60-90	2021	S1	0,23±0,13	0,40±0,05	0,26±0,05	0,23±0,06	0,28±0,04
		S2	0,26±0,08	0,28±0,04	0,28±0,12	0,37±0,08	0,30±0,04
		S3	0,33±0,02	0,21±0,07	0,19±0,05	0,26±0,02	0,25±0,03
		Ort.	0,27±0,05	0,30±0,04	0,24±0,04	0,29±0,04	
	2022	S1	0,22±0,09	0,22±0,02	0,20±0,06	0,22±0,02	0,21±0,02
		S2	0,22±0,09	0,20±0,02	0,25±0,04	0,22±0,06	0,22±0,03
		S3	0,22±0,02	0,22±0,05	0,25±0,07	0,20±0,06	0,22±0,02
		Ort.	0,22±0,04	0,21±0,02	0,23±0,03	0,21±0,03	
	2021-2022	S1	0,23±0,11	0,31±0,03	0,23±0,04	0,23±0,04	0,25±0,03
		S2	0,24±0,08	0,24±0,02	0,26±0,07	0,30±0,07	0,26±0,03
		S3	0,27±0,01	0,22±0,05	0,22±0,01	0,23±0,04	0,23±0,02
		Ort.	0,25±0,04	0,25±0,02	0,24±0,02	0,25±0,03	

*: p<0.05

Tablo 22. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında P₂O₅ İçeriğine (kg/da) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	10,72±0,08	11,65±0,32	12,96±0,13	13,98±0,38	12,33±0,39
		S2	10,47±0,19	11,77±0,48	12,86±0,37	14,04±0,42	12,29±0,43
		S3	10,60±0,04	11,87±0,73	12,73±0,37	13,28±0,12	12,12±0,35
		Ort.	10,59±0,07D	11,76±0,27C	12,85±0,16B	13,77±0,21A*	
	2022	S1	10,64±0,07	11,84±0,14	13,03±0,22	13,74±0,14	12,31±0,36
		S2	10,59±0,10	11,75±0,15	13,02±0,28	13,76±0,19	12,28±0,37
		S3	10,65±0,08	11,67±0,36	12,91±0,22	13,79±0,11	12,26±0,37
		Ort.	10,63±0,04D	11,75±0,12C	12,99±0,12B	13,77±0,07A*	
	2021-2022	S1	10,68±0,01	11,75±0,10	13,00±0,05	13,86±0,26	12,32±0,37
		S2	10,53±0,04	11,76±0,24	12,94±0,32	13,90±0,27	12,28±0,40
		S3	10,63±0,06	11,77±0,40	12,82±0,09	13,54±0,09	12,19±0,34
		Ort.	10,61±0,03D	11,76±0,14C	12,92±0,10B	13,77±0,13A*	
30-60	2021	S1	9,37±0,27	10,02±0,72	9,64±0,15	9,36±0,22	9,59±0,19
		S2	10,34±0,16	9,21±0,40	9,39±0,22	9,14±0,17	9,52±0,18
		S3	9,51±0,17	9,41±0,24	9,54±0,23	9,46±0,28	9,47±0,10
		Ort.	9,74±0,18	9,55±0,28	9,52±0,11	9,32±0,12	
	2022	S1	9,55±0,10	9,51±0,30	9,50±0,30	9,52±0,30	9,52±0,11
		S2	9,68±0,18	9,50±0,45	9,55±0,06	9,53±0,13	9,57±0,11
		S3	9,63±0,21	9,52±0,31	9,34±0,19	9,41±0,35	9,48±0,12
		Ort.	9,62±0,09	9,51±0,18	9,46±0,11	9,49±0,14	
	2021-2022	S1	9,46±0,09	9,77±0,24	9,57±0,14	9,44±0,25	9,56±0,09
		S2	10,01±0,04	9,35±0,35	9,47±0,10	9,34±0,14	9,54±0,12
		S3	9,57±0,16	9,46±0,25	9,44±0,09	9,43±0,32	9,48±0,10
		Ort.	9,68±0,10	9,53±0,15	9,49±0,06	9,40±0,12	
60-90	2021	S1	7,15±0,20	7,10±0,09	7,60±0,41	7,56±0,23	7,35±0,13
		S2	7,45±0,27	7,45±0,32	7,10±0,79	7,50±0,15	7,37±0,20
		S3	7,28±0,14	6,90±0,36	7,73±0,60	7,94±0,07	7,46±0,20
		Ort.	7,29±0,11	7,15±0,16	7,47±0,33	7,66±0,11	
	2022	S1	7,34±0,19	7,15±0,08	7,15±0,19	7,47±0,11	7,28±0,08
		S2	7,66±0,08	7,18±0,16	7,14±0,16	7,64±0,20	7,40±0,10
		S3	7,31±0,18	7,26±0,04	7,25±0,07	7,49±0,25	7,33±0,07
		Ort.	7,44±0,10	7,20±0,06	7,18±0,08	7,53±0,10	
	2021-2022	S1	7,24±0,03	7,12±0,07	7,37±0,14	7,51±0,16	7,31±0,07
		S2	7,55±0,16	7,32±0,08	7,12±0,40	7,57±0,13	7,39±0,11
		S3	7,30±0,15	7,08±0,20	7,49±0,29	7,72±0,16	7,40±0,11
		Ort.	7,36±0,08	7,17±0,07	7,33±0,16	7,60±0,08	

*: p<0.05

Tablo 23. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında K₂O (kg/da) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.	
0-30	2021	S1	99,5±1,16	102,5±1,31	109,4±0,70	112,5±0,51	106,0±1,62
		S2	98,8±1,96	102,9±2,91	109,2±2,26	112,0±1,59	105,7±1,83
		S3	96,7±1,22	102,9±1,91	110,1±1,29	109,4±2,17	104,8±1,80
		Ort.	98,3±0,85C	102,8±1,08B	109,6±0,79A	111,3±0,92A*	
	2022	S1	97,6±1,51	100,4±0,73	104,8±2,46	108,2±1,67	102,8±1,42
		S2	98,4±1,62	99,7±0,48	103,4±1,77	108,7±1,29	102,6±1,33
		S3	97,4±1,36	101,2±2,08	102,0±5,93	109,6±1,27	102,5±1,93
		Ort.	97,8±0,77C	100,5±0,68BC	103,4±1,96B	108,8±0,74A*	
	2021-2022	S1	98,5±1,17	101,5±1,02	107,1±1,26	110,4±1,04	104,4±1,48
		S2	98,6±1,73	101,3±1,62	106,3±0,97	110,3±1,44	104,1±1,50
		S3	97,0±1,26	102,1±0,79	106,1±2,85	109,5±1,07	103,7±1,58
		Ort.	98,1±0,75D	101,6±0,61C	106,5±0,95B	110,1±0,61A*	
30-60	2021	S1	68,5±1,05	68,9±1,06	72,2±1,02	74,8±2,09	71,1±0,97
		S2	69,4±3,03	71,3±1,93	71,2±0,84	72,9±1,10	71,2±0,90
		S3	71,4±1,75	70,7±2,40	70,9±1,75	70,4±1,56	70,8±0,81
		Ort.	69,8±1,14	70,3±1,00	71,4±0,66	72,7±1,04	
	2022	S1	70,3±2,16	66,1±1,53	67,2±1,40	70,0±2,03	68,4±0,94
		S2	68,2±0,52	65,3±1,61	67,3±124	69,9±0,99	67,7±0,70
		S3	66,7±1,04	67,4±0,73	69,9±2,30	69,4±1,69	68,4±0,78
		Ort.	68,4±0,87	66,3±0,74	68,1±0,97	69,8±0,82	
	2021-2022	S1	69,4±1,41	67,5±1,17	69,7±0,57	72,4±0,61	69,7±0,68
		S2	68,8±1,32	68,3±1,77	69,2±0,52	71,4±0,95	69,4±0,63
		S3	69,1±1,39	69,0±1,09	70,4±1,39	69,9±0,34	69,6±0,52
		Ort.	69,1±0,69B	68,3±0,72B	69,8±0,49AB	71,2±0,50A*	
60-90	2021	S1	58,9±0,84	59,2±0,72	59,0±0,48	58,5±0,83	59,0±0,33
		S2	57,3±,054	58,4±0,58	58,6±1,24	58,7±1,20	58,2±0,44
		S3	57,4±,048	57,0±0,85	58,3±0,65	58,5±0,62	57,8±0,34
		Ort.	58,0±0,46	58,2±0,49	58,6±0,44	58,5±0,46	
	2022	S1	56,5±1,89	57,0±1,25	56,2±0,62	57,4±1,27	56,8±1,27
		S2	56,7±1,29	56,8±0,55	57,2±1,17	58,2±0,38	57,2±0,38
		S3	56,0±1,19	56,8±0,68	56,4±0,72	57,3±0,72	56,6±0,72
		Ort.	56,4±0,75	56,9±0,44	56,6±0,46	57,6±0,46	
	2021-2022	S1	57,9±0,53	58,1±0,98	57,6±0,37	57,9±0,99	57,9±0,33
		S2	57,0±0,91	57,6±0,30	57,9±0,93	58,5±0,57	57,7±0,35
		S3	56,7±0,54	56,9±0,62	57,4±0,31	57,9±0,66	57,2±0,24
		Ort.	57,2±0,39	57,5±0,39	57,6±0,31	58,1±0,39	

*: p<0.05

Tablo 24. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Ca İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	15,20±0,50	15,85±0,13	15,95±0,13	16,89±0,16	15,98±0,22
		S2	14,90±0,32	15,83±0,18	16,21±0,16	16,68±0,11	15,91±0,24
		S3	14,89±0,20	15,93±0,05	16,06±0,25	17,10±3,87	16,00±0,90
		Ort.	14,99±0,20C	15,87±0,08B	16,08±0,11B	16,89±1,26A*	
	2022	S1	15,40±0,12	15,66±0,08	16,31±0,49	16,41±0,12	15,95±0,17
		S2	15,38±0,19	15,45±0,12	16,01±0,28	16,39±0,19	15,81±0,15
		S3	15,48±0,16	15,87±0,25	16,00±0,24	16,49±0,16	15,96±0,14
		Ort.	15,42±0,08B	15,66±0,10B	16,11±0,18A	16,43±0,08A*	
	2021-2022	S1	15,30±0,23	15,76±0,08	16,13±0,31	16,65±0,08	15,96±0,17
		S2	15,14±0,10	15,64±0,11	16,11±0,16	16,53±0,11	15,86±0,17
		S3	15,18±0,05	15,90±0,15	16,03±0,16	16,80±0,15	15,98±0,18
		Ort.	15,21±0,08D	15,77±0,07C	16,09±0,11B	16,66±0,07A*	
30-60	2021	S1	15,07±0,11	14,52±0,19	14,80±0,31	14,97±0,05	14,84±0,10
		S2	14,91±0,11	14,70±0,27	14,89±0,37	14,77±0,33	14,82±0,12
		S3	15,13±0,07	15,12±0,41	15,03±0,37	14,82±0,08	15,02±0,13
		Ort.	15,03±0,06	14,78±0,18	14,90±0,18	14,85±0,10	
	2022	S1	15,09±0,33	14,93±0,24	14,99±0,09	14,97±0,19	15,00±0,10
		S2	15,05±0,09	14,93±0,24	15,03±0,12	14,96±0,12	14,99±0,07
		S3	15,05±0,16	14,84±0,16	14,72±0,28	14,91±0,35	14,88±0,11
		Ort.	15,06±0,11	14,90±0,11	14,91±0,10	14,95±0,12	
	2021-2022	S1	15,08±0,11	14,73±0,03	14,89±0,20	14,97±0,11	14,92±0,07
		S2	14,98±0,09	14,81±0,23	14,96±0,14	14,87±0,16	14,90±0,07
		S3	15,09±0,10	14,98±0,27	14,88±0,05	14,87±0,16	14,95±0,08
		Ort.	15,05±0,05	14,84±0,11	14,91±0,07	14,90±0,08	
60-90	2021	S1	14,80±0,34	14,74±0,13	14,46±0,15	14,85±0,12	14,71±0,10
		S2	15,13±0,03	14,80±0,08	14,91±0,33	14,56±0,20	14,85±0,10
		S3	14,98±0,45	14,59±0,27	14,81±0,33	14,56±0,22	14,73±0,15
		Ort.	14,97±0,17	14,71±0,09	14,73±0,16	14,66±0,10	
	2022	S1	14,97±0,12	15,01±0,08	14,84±0,09	14,90±0,12	14,93±0,05
		S2	14,75±0,03	14,94±0,21	15,11±0,07	14,92±0,16	14,93±0,07
		S3	14,98±0,13	14,86±0,13	14,98±0,11	15,18±0,12	15,00±0,06
		Ort.	14,90±0,06	14,94±0,08	14,98±0,06	15,00±0,08	
	2021-2022	S1	14,88±0,16	14,88±0,09	14,65±0,05	14,88±0,11	14,82±0,06
		S2	14,94±0,02	14,87±0,14	15,01±0,19	14,74±0,18	14,89±0,07
		S3	14,98±0,21	14,72±0,14	14,90±0,20	14,87±0,12	14,87±0,08
		Ort.	14,94±0,08	14,82±0,07	14,85±0,10	14,83±0,07	

*: p<0.05

Tablo 25. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Mg İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	5,73±0,04	5,74±0,03	5,77±0,02	6,19±0,03	5,86±0,06
		S2	5,72±0,01	5,74±0,01	5,83±0,04	6,21±0,02	5,87±0,06
		S3	5,73±0,01	5,73±0,01	5,76±0,03	6,18±0,02	5,85±0,06
		Ort.	5,73±0,01C	5,73±0,01C	5,78±0,02B	6,19±0,01A*	
	2022	S1	5,70±0,03	5,73±0,01	5,74±0,02	6,07±0,05	5,81±0,05
		S2	5,72±0,01	5,73±0,01	5,78±0,02	6,15±0,05	5,84±0,05
		S3	5,72±0,01	5,73±0,01	5,74±0,02	6,12±0,06	5,83±0,05
		Ort.	5,71±0,01B	5,73±0,01B	5,75±0,01B	6,11±0,03 A*	
	2021-2022	S1	5,72±0,04	5,73±0,02	5,76±0,02	6,13±0,04	5,83±0,05
		S2	5,72±0,00	5,74±0,01	5,80±0,01	6,18±0,02	5,86±0,06
		S3	5,73±0,00	5,73±0,01	5,75±0,02	6,15±0,04	5,84±0,05
		Ort.	5,72±0,01C	5,73±0,01BC	5,77±0,01B	6,15±0,02A*	
30-60	2021	S1	5,66±0,03	5,66±0,03	5,65±0,01	5,65±0,01	5,66±0,01
		S2	5,65±0,06	5,64±0,05	5,65±0,04	5,68±0,02	5,66±0,02
		S3	5,65±0,05	5,61±0,03	5,65±0,03	5,65±0,03	5,64±0,02
		Ort.	5,65±0,02	5,64±0,02	5,65±0,01	5,66±0,01	
	2022	S1	5,64±0,02	5,70±0,01	5,62±0,04	5,69±0,02	5,66±0,01
		S2	5,63±0,06	5,67±0,04	5,63±0,02	5,64±0,02	5,64±0,02
		S3	5,64±0,05	5,64±0,02	5,65±0,03	5,66±0,01	5,65±0,01
		Ort.	5,64±0,02	5,67±0,02	5,63±0,02	5,66±0,01	
	2021-2022	S1	5,65±0,02	5,68±0,02	5,63±0,02	5,67±0,01	5,66±0,01
		S2	5,64±0,06	5,66±0,00	5,63±0,03	5,66±0,01	5,65±0,01
		S3	5,64±0,05	5,62±0,02	5,65±0,01	5,65±0,02	5,64±0,01
		Ort.	5,64±0,02	5,65±0,01	5,64±0,01	5,66±0,01	
60-90	2021	S1	5,53±0,02	5,55±0,03	5,59±0,02	5,59±0,03	5,57±0,01
		S2	5,60±0,01	5,54±0,03	5,62±0,03	5,57±0,03	5,58±0,01
		S3	5,56±0,09	5,57±0,07	5,57±0,04	5,58±0,01	5,57±0,03
		Ort.	5,56±0,03	5,55±0,02	5,59±0,02	5,58±0,01	
	2022	S1	5,53±0,05	5,54±0,04	5,58±0,05	5,56±0,03	5,55±0,02
		S2	5,60±0,07	5,51±0,02	5,54±0,01	5,54±0,03	5,55±0,02
		S3	5,52±0,04	5,56±0,05	5,52±0,02	5,55±0,02	5,54±0,02
		Ort.	5,55±0,03	5,54±0,02	5,55±0,02	5,55±0,01	
	2021-2022	S1	5,53±0,03	5,54±0,03	5,59±0,03	5,58±0,01	5,56±0,01
		S2	5,60±0,03	5,52±0,02	5,58±0,01	5,56±0,03	5,56±0,01
		S3	5,54±0,02	5,57±0,03	5,55±0,03	5,57±0,02	5,56±0,01
		Ort.	5,56±0,02	5,54±0,01	5,57±0,01	5,57±0,01	

*: p<0.05

Tablo 26. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir Na İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,346±0,01	0,370±0,01	0,357±0,00	0,376±0,01	0,362±0,00
		S2	0,322±0,01	0,364±0,01	0,364±0,00	0,386±0,01	0,359±0,01
		S3	0,329±0,02	0,352±0,01	0,368±0,00	0,366±0,01	0,354±0,01
		Ort.	0,332±0,01C	0,362±0,00B	0,363±0,00B	0,376±0,00A*	
	2022	S1	0,320±0,01	0,353±0,01	0,357±0,00	0,367±0,00	0,349±0,01
		S2	0,317±0,01	0,343±0,00	0,353±0,00	0,363±0,01	0,344±0,01
		S3	0,320±0,01	0,350±0,01	0,353±0,01	0,370±0,01	0,348±0,01
		Ort.	0,319±0,00C	0,349±0,00B	0,354±0,00AB	0,367±0,00A*	
	2021-2022	S1	0,333±0,01	0,362±0,00	0,357±0,00	0,372±0,00	0,356±0,00
		S2	0,318±0,01	0,355±0,01	0,358±0,00	0,373±0,01	0,351±0,01
		S3	0,325±0,01	0,350±0,01	0,362±0,00	0,368±0,00	0,351±0,01
		Ort.	0,326±0,00C	0,356±0,00B	0,359±0,00B	0,371±0,00A*	
30-60	2021	S1	0,349±0,01	0,353±0,00	0,375±0,05	0,332±0,02	0,352±0,01
		S2	0,349±0,01	0,342±0,01	0,365±0,03	0,351±0,01	0,352±0,01
		S3	0,343±0,01	0,352±0,01	0,320±0,01	0,343±0,01	0,340±0,01
		Ort.	0,347±0,00	0,349±0,00	0,353±0,02	0,342±0,01	
	2022	S1	0,343±0,01	0,343±0,00	0,330±0,02	0,330±0,02	0,337±0,01
		S2	0,337±0,01	0,323±0,01	0,347±0,01	0,333±0,00	0,335±0,00
		S3	0,337±0,01	0,327±0,00	0,330±0,01	0,337±0,01	0,333±0,00
		Ort.	0,339±0,00	0,331±0,00	0,336±0,01	0,333±0,01	
	2021-2022	S1	0,347±0,00	0,348±0,00	0,353±0,03	0,330±0,00	0,345±0,01
		S2	0,342±0,01	0,332±0,01	0,355±0,02	0,343±0,01	0,343±0,01
		S3	0,338±0,01	0,338±0,00	0,325±0,01	0,340±0,01	0,335±0,00
		Ort.	0,342±0,00	0,339±0,00	0,344±0,01	0,338±0,00	
60-90	2021	S1	0,336±0,01	0,347±0,01	0,367±0,01	0,332±0,02	0,345±0,01
		S2	0,334±0,00	0,344±0,01	0,339±0,01	0,351±0,01	0,342±0,00
		S3	0,328±0,01	0,334±0,00	0,381±0,01	0,343±0,01	0,346±0,00
		Ort.	0,332±0,00	0,342±0,00	0,362±0,00	0,342±0,01	
	2022	S1	0,323±0,01	0,323±0,01	0,327±0,00	0,327±0,00	0,325±0,00
		S2	0,333±0,00	0,327±0,01	0,340±0,01	0,330±0,01	0,333±0,00
		S3	0,323±0,00	0,327±0,01	0,320±0,01	0,323±0,01	0,323±0,00
		Ort.	0,327±0,00	0,326±0,00	0,329±0,00	0,327±0,00	
	2021-2022	S1	0,330±0,00	0,337±0,00	0,327±0,01	0,328±0,01	0,330±0,00
		S2	0,333±0,00	0,335±0,01	0,338±0,00	0,342±0,01	0,337±0,00
		S3	0,325±0,01	0,332±0,01	0,328±0,00	0,333±0,00	0,330±0,00
		Ort.	0,329±0,00	0,334±0,00	0,331±0,00	0,334±0,00	

*: p<0.05

Tablo 27. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Değişebilir K İçeriğine (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,837±0,01	0,862±0,01	0,935±0,01	0,971±0,01	0,901±0,02
		S2	0,830±0,02	0,865±0,02	0,927±0,02	0,963±0,01	0,896±0,02
		S3	0,818±0,01	0,866±0,02	0,931±0,01	0,947±0,02	0,890±0,02
		Ort.	0,829±0,01D	0,864±0,01C	0,931±0,01B	0,960±0,01A*	
	2022	S1	0,820±0,02	0,850±0,01	0,897±0,02	0,933±0,01	0,875±0,01
		S2	0,827±0,01	0,840±0,01	0,880±0,02	0,940±0,02	0,872±0,01
		S3	0,820±0,01	0,850±0,02	0,870±0,05	0,940±0,01	0,870±0,02
		Ort.	0,822±0,01C	0,847±0,01C	0,882±0,02B	0,938±0,01A*	
	2021-2022	S1	0,827±0,01	0,857±0,01	0,915±0,01	0,953±0,01	0,888±0,02
		S2	0,828±0,01	0,853±0,01	0,903±0,01	0,952±0,01	0,884±0,02
		S3	0,818±0,01	0,858±0,01	0,900±0,02	0,943±0,01	0,880±0,01
		Ort.	0,824±0,01D	0,856±0,01C	0,906±0,01B	0,949±0,01A*	
30-60	2021	S1	0,565±0,01	0,566±0,01	0,600±0,01	0,619±0,02	0,587±0,01
		S2	0,568±0,02	0,583±0,01	0,590±0,01	0,602±0,01	0,586±0,01
		S3	0,589±0,01	0,578±0,02	0,582±0,01	0,584±0,01	0,583±0,01
		Ort.	0,574±0,01	0,576±0,01	0,591±0,01	0,602±0,01	
	2022	S1	0,577±0,02	0,543±0,01	0,560±0,01	0,580±0,02	0,565±0,01
		S2	0,557±0,00	0,540±0,01	0,553±0,01	0,573±0,01	0,556±0,00
		S3	0,553±0,01	0,550±0,01	0,577±0,02	0,577±0,01	0,564±0,01
		Ort.	0,562±0,01AB	0,544±0,00B	0,563±0,01AB	0,577±0,01A*	
	2021-2022	S1	0,570±0,01	0,557±0,01	0,580±0,00	0,600±0,01	0,577±0,01
		S2	0,562±0,01	0,562±0,01	0,572±0,01	0,587±0,01	0,570±0,01
		S3	0,572±0,01	0,565±0,01	0,580±0,01	0,580±0,00	0,574±0,01
		Ort.	0,568±0,01BC	0,561±0,01C	0,577±0,00AB	0,589±0,00A*	
60-90	2021	S1	0,475±0,01	0,483±0,01	0,484±0,00	0,482±0,01	0,481±0,00
		S2	0,482±0,01	0,472±0,00	0,492±0,01	0,489±0,01	0,484±0,00
		S3	0,469±0,00	0,470±0,01	0,476±0,01	0,485±0,00	0,475±0,00
		Ort.	0,475±0,00	0,475±0,00	0,484±0,00	0,485±0,00	
	2022	S1	0,463±0,01	0,467±0,01	0,460±0,01	0,473±0,01	0,466±0,00
		S2	0,470±0,01	0,463±0,00	0,473±0,01	0,480±0,01	0,472±0,00
		S3	0,457±0,01	0,470±0,01	0,467±0,01	0,47±0,01	0,466±0,00
		Ort.	0,463±0,01	0,467±0,00	0,467±0,01	0,474±0,00	
	2021-2022	S1	0,473±0,01	0,475±0,01	0,473±0,00	0,478±0,01	0,475±0,00
		S2	0,470±0,01	0,470±0,00	0,478±0,01	0,483±0,00	0,475±0,00
		S3	0,465±0,01	0,470±0,00	0,475±0,00	0,477±0,00	0,472±0,00
		Ort.	0,469±0,00	0,472±0,00	0,476±0,00	0,479±0,00	

*: p<0.05

Tablo 28. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında KDK'ya (cmol/kg) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	22,1±0,51	22,8±0,12	23,0±0,10	24,4±0,07	23,1±0,28
		S2	21,8±0,28	22,8±0,21	23,3±0,22	24,2±0,13	23,0±0,28
		S3	21,8±0,21	22,9±0,13	23,1±0,11	24,6±0,30	23,1±0,32
		Ort.	21,9±0,19C	22,8±0,08B	23,2±0,09B	24,4±0,11A*	
	2022	S1	22,2±0,09	22,6±0,07	23,3±0,50	23,8±0,16	23,0±0,21
		S2	22,2±0,18	22,4±0,12	23,0±0,29	23,8±0,23	22,9±0,21
		S3	22,3±0,16	22,8±0,24	23,0±0,20	23,9±0,21	23,0±0,19
		Ort.	22,3±0,07C	22,6±0,10C	23,1±0,19B	23,8±0,10A*	
	2021-2022	S1	22,2±0,26	22,7±0,07	23,2±0,30	24,1±0,10	23,0±0,23
		S2	22,0±0,11	22,6±0,13	23,2±0,16	24,0±0,12	23,0±0,23
		S3	22,1±0,03	22,8±0,14	23,0±0,15	24,3±0,19	23,0±0,25
		Ort.	22,1±0,08D	22,7±0,07C	23,1±0,11B	24,1±0,08A*	
30-60	2021	S1	21,6±0,12	21,1±0,16	21,4±0,31	21,6±0,06	21,4±0,10
		S2	21,5±0,16	21,3±0,24	21,5±0,37	21,4±0,34	21,4±0,13
		S3	21,7±0,01	21,7±0,38	21,6±0,39	21,4±0,10	21,6±0,12
		Ort.	21,6±0,07	21,3±0,16	21,5±0,18	21,5±0,11	
	2022	S1	21,7±0,32	21,5±0,25	21,5±0,09	21,6±0,17	21,6±0,10
		S2	21,6±0,14	21,5±0,28	21,6±0,11	21,5±0,12	21,6±0,08
		S3	21,6±0,12	21,4±0,17	21,3±0,29	21,5±0,33	21,4±0,11
		Ort.	21,6±0,11	21,4±0,12	21,5±0,12	21,5±0,11	
	2021-2022	S1	21,6±0,10	21,3±0,05	21,5±0,20	21,6±0,10	21,5±0,07
		S2	21,5±0,15	21,4±0,22	21,5±0,14	21,5±0,16	21,5±0,07
		S3	21,6±0,06	21,5±0,27	21,4±0,05	21,4±0,16	21,5±0,07
		Ort.	21,6±0,06	21,4±0,11	21,5±0,07	21,5±0,07	
60-90	2021	S1	21,2±0,37	21,1±0,13	20,9±0,16	21,3±0,13	21,1±0,10
		S2	21,5±0,03	21,2±0,06	21,3±0,34	21,0±0,21	21,2±0,11
		S3	21,3±0,46	21,0±0,33	21,2±0,31	21,0±0,21	21,1±0,15
		Ort.	21,3±0,18	21,1±0,11	21,1±0,16	21,1±0,11	
	2022	S1	21,3±0,12	21,3±0,12	21,2±0,14	21,3±0,09	21,3±0,05
		S2	21,2±0,05	21,2±0,20	21,5±0,08	21,3±0,17	21,3±0,07
		S3	21,3±0,18	21,2±0,15	21,3±0,10	21,5±0,15	21,3±0,07
		Ort.	21,2±0,07	21,3±0,08	21,3±0,07	21,4±0,08	
	2021-2022	S1	21,2±0,14	21,2±0,12	21,0±0,07	21,3±0,11	21,2±0,05
		S2	21,3±0,04	21,2±0,12	21,4±0,20	21,1±0,19	21,3±0,07
		S3	21,3±0,20	21,1±0,15	21,2±0,18	21,2±0,13	21,2±0,08
		Ort.	21,3±0,07	21,2±0,07	21,2±0,10	21,2±0,08	

*: p<0.05

Tablo 29. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında ESP' ye (%) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	1,57±0,00	1,62±0,03	1,55±0,02	1,54±0,02	1,57±0,01
		S2	1,47±0,05	1,61±0,04	1,56±0,01	1,58±0,04	1,55±0,02
		S3	1,52±0,08	1,53±0,03	1,60±0,01	1,49±0,01	1,53±0,02
		Ort.	1,52±0,03	1,59±0,02	1,57±0,01	1,54±0,02	
	2022	S1	1,44±0,03	1,56±0,03	1,53±0,04	1,54±0,00	1,52±0,02
		S2	1,42±0,06	1,53±0,02	1,53±0,01	1,52±0,05	1,50±0,02
		S3	1,43±0,02	1,53±0,04	1,54±0,06	1,55±0,04	1,51±0,02
		Ort.	1,43±0,02B	1,54±0,02A	1,53±0,02A	1,54±0,02A*	
	2021-2022	S1	1,50±0,02	1,59±0,01	1,54±0,03	1,54±0,01	1,54±0,01
		S2	1,45±0,04	1,57±0,03	1,54±0,01	1,55±0,03	1,53±0,02
		S3	1,47±0,04	1,53±0,03	1,57±0,03	1,52±0,02	1,52±0,02
		Ort.	1,47±0,02B	1,56±0,02A	1,55±0,01A	1,54±0,01A*	
30-60	2021	S1	1,61±0,02	1,68±0,03	1,75±0,25	1,54±0,07	1,64±0,06
		S2	1,63±0,04	1,61±0,02	1,70±0,10	1,64±0,09	1,64±0,03
		S3	1,58±0,05	1,63±0,05	1,48±0,03	1,60±0,03	1,57±0,02
		Ort.	1,61±0,02	1,64±0,02	1,64±0,09	1,59±0,04	
	2022	S1	1,59±0,04	1,59±0,03	1,53±0,07	1,53±0,06	1,56±0,02
		S2	1,56±0,05	1,50±0,03	1,61±0,06	1,55±0,02	1,55±0,02
		S3	1,56±0,04	1,53±0,01	1,55±0,04	1,57±0,07	1,55±0,02
		Ort.	1,57±0,02	1,54±0,02	1,56±0,03	1,55±0,03	
	2021-2022	S1	1,60±0,02	1,63±0,01	1,65±0,14	1,53±0,02	1,60±0,03
		S2	1,59±0,04	1,55±0,02	1,65±0,08	1,60±0,04	1,60±0,02
		S3	1,56±0,05	1,57±0,03	1,52±0,03	1,59±0,05	1,56±0,02
		Ort.	1,58±0,02	1,59±0,02	1,60±0,05	1,57±0,02	
60-90	2021	S1	1,59±0,04	1,64±0,03	1,57±0,05	1,56±0,06	1,59±0,02
		S2	1,55±0,02	1,62±0,04	1,59±0,06	1,67±0,06	1,61±0,02
		S3	1,54±0,06	1,60±0,03	1,58±0,02	1,63±0,03	1,59±0,02
		Ort.	1,56±0,02	1,62±0,02	1,58±0,02	1,62±0,03	
	2022	S1	1,52±0,04	1,51±0,04	1,54±0,02	1,54±0,01	1,53±0,01
		S2	1,58±0,01	1,54±0,05	1,58±0,02	1,55±0,02	1,56±0,01
		S3	1,52±0,02	1,54±0,05	1,50±0,02	1,50±0,03	1,52±0,01
		Ort.	1,54±0,02	1,53±0,02	1,54±0,02	1,53±0,01	
	2021-2022	S1	1,56±0,02	1,59±0,03	1,55±0,03	1,54±0,04	1,56±0,01
		S2	1,56±0,00	1,58±0,04	1,58±0,02	1,62±0,04	1,59±0,01
		S3	1,53±0,04	1,57±0,4	1,55±0,01	1,57±0,00	1,55±0,01
		Ort.	1,55±0,01	1,58±0,02	1,56±0,01	1,58±0,02	

*: p<0.05

Toprak mikro element ve ağır metal içerikleri

Toprak mikro element ve ağır metal (Ni hariç) içeriklerinde 0-30 cm' lik tabakada değişimler önemli bulunmuş, arıtma çamuru doz artışıyla önemli ($p<0,01$) artışlar belirlenmiştir (Tablo 30-39 ve Ek 21-30). İki yıllık ortalamalar dikkate alındığında D0 dozuna göre D1, D2 ve D3 dozlarındaki artışlar sırasıyla B % 8,6, % 11,6, % 22,3, Fe için % 1,6, % 3,5, % 5,4, Cu için % 1,6, % 4,1, % 7,0, Mn için %13,1, %13,8, % 16, Zn için % 2,9, % 7,6, % 11,4, Pb için % 20,8, % 34,2, % 36,9, Cd için %10,0, % 20,0, % 70, ve Cr için % 3,8, % 5,1, % 10,2 olarak bulunmuştur.

Arıtma çamuru dozlarında belirlenen değerler başlangıç değerlerin üzerinde bulunurken D0 dozunda başlangıç değerlerine yakın ve daha düşük olduğu görülmüştür (Tablo 30-39). Mikro element ve ağır metal birikim oranları sıralaması $Zn>Mn>Pb>Fe>Cu>B>Ni>Cr>Cd>Hg$ şeklinde gerçekleşmiştir. Ulusal ölçekte Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmenlikte B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni ve Hg için verilmiş olan Cu: 50-140 mg/kg fırın kuru, Zn: 150-300 mg/kg fırın kuru, Pb: 50-300 mg/kg fırın kuru, Cd: 1-3 mg/kg fırın kuru, Cr: 100 mg/kg fırın kuru, Ni: 30-75 mg/kg fırın kuru, Hg: 1-1,5 mg/kg fırın kuru değerleri dikkate alındığında sınır değerlerini aşılmadığı görülmektedir (Anonim, 2010b). Uluslararası ölçekte Dünya Sağlık Örgütü (WHO) belirttiği sınır değerlerinin altında olduğu ayrıca tespit edilmiştir (Khan *et al.* 2013). Huqail *et al.* (2023)' de arıtma çamuru karıştırılmış bir toprakta mikro element ve ağır metal içeriklerinde artışlar olduğu, ancak artışların birikimi bitkinin gelişimi ve kalitesi üzerinde herhangi bir potansiyel etkisi olmadığı, ayrıca toprakta mikro element ve ağır metal birikimi sırasıyla $Fe>Mn>Cu>Zn>Cr>Cd$ olduğunu bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru uygulamalarında mikro element ve ağır metal içeriklerinin daha yüksek belirlenmiş olması arıtma çamurun içerisinde bu elementlerin fazlaca varlığından kaynaklanmaktadır (Tablo 7). Ayrıca arıtma çamuru dozu uygulamalarında topraktaki mikro element ve ağır metallerin artışının toprak pH'sının daha düşük olmasıyla da ilişkisi olabilir (Tablo 16). Toprak pH'sı, ağır metallerin hareketliliğini ve bitki büyüme, beslenme ve gelişmesini etkileyen önemli bir faktördür. Toprak pH'sı azaldıkça, topraktaki ağır metallerin çözünürlüğü ve dolayısıyla hareketliliği artmaktadır. Bunun nedeni, toprak pH'sının azalması ile birlikte topraktaki hidrojen iyonu (H^+) konsantrasyonunu artırarak, topraktaki ağır metallerle kompleksler oluşturarak onları çözünebilir hale getirmesidir. Toprak pH'sının 6,5-7,0'den daha düşük olduğu koşullarda, ağır metallerin kullanılabilirliğini ve hareketliliğini desteklemektedir (Khaskhoussy *et al.* 2015). D3 uygulamasında D0' a göre pH değeri % 0,93 daha düşük belirlenmiştir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda deneme

sonunda tüm uygulamalarda özellikle 0-30 cm tabakada pH değerleri 7,5-7,60 arasında belirlenmiş olmasının (Tablo 16), ağır metallerin kullanılabilirliğini azalttığı değerlendirilmiştir.

Ignatowicz. (2017), Antonkiewicz *et al.* (2019) ve Achkir *et al.* (2023) arıtma çamuru uygulanan toprakta dozun artışıyla beraber toprağın makro-mikro ve ağır metal içeriklerinde artışlar olduğunu, ayrıca tarımsal kullanım için belirlenen kritik değerlerin de aşılmadığını bildirmişlerdir. Wydro *et al.* (2021) tarafından yapılan iki yıllık çalışma sonucunda arıtma çamuru uygulandığı toprakta Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, ve Hg gibi ağır metal içeriklerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Ağır metaller, sınır değerlerini aşmadığı sürece topraklara mikro-minor element olarak gübre takviyesi sağlamaktadır (Fine and Hadas 2012; Cicek *et al.* 2013; Tripathi *et al.* 2016; Ines *et al.* 2017; Biswas *et al.* 2018; Çakmakçı, 2018, Yerli, 2022). Deneme sonucunda sulama uygulaması ve arıtma çamuru dozu uygulamalarının tüm konularında sınır değerlerin aşılmadığının tespit edilmiş olması bu kapsamda topraktaki mikro element ve ağır metal birikimlerinin silajlık mısır verimine fayda sağladığı şeklinden değerlendirilmiştir. Jalali *et al.* (2023) ve Dar *et al.* (2023) arıtma çamurunun toprağa eklenmesinin, hem toprağın hem de bitkilerin ağır metal içeriğini artırdığı bilinmesine rağmen bu artışların sınır değerlerinin altında olmasının kullanılmasında sakınca oluşturmayacağını belirtmişlerdir. Achkir *et al.* (2023) arıtma çamuru uygulanan toprağın kontrol konusuna göre kıyaslandığında toprakta mikro element ve ağır metal içeriklerinin doza bağlı bir şekilde önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir.

Tablo 30. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının ve 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında B (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,731±0,01	0,826±0,04	0,879±0,03	1,040±0,09	0,869±0,04
		S2	0,759±0,01	0,834±0,03	0,828±0,00	1,002±0,03	0,856±0,03
		S3	0,812±0,02	0,825±0,01	0,884±0,03	1,081±0,09	0,900±0,04
		Ort.	0,768±0,01C	0,828±0,01BC	0,864±0,02B	1,041±0,06A*	
	2022	S1	0,733±0,02	0,813±0,01	0,837±0,01	0,910±0,02	0,823±0,02
		S2	0,747±0,02	0,810±0,02	0,817±0,01	0,917±0,02	0,823±0,02
		S3	0,760±0,01	0,823±0,01	0,823±0,01	0,903±0,02	0,828±0,02
		Ort.	0,747±0,01C	0,816±0,01B	0,826±0,01B	0,910±0,01A*	
	2021-2022	S1	0,732±0,01	0,820±0,02	0,858±0,02	0,975±0,04	0,846±0,03
		S2	0,753±0,01	0,822±0,02	0,822±0,01	0,960±0,02	0,839±0,02
		S3	0,785±0,02	0,825±0,00	0,855±0,02	0,993±0,04	0,865±0,03
		Ort.	0,757±0,01C	0,822±0,01B	0,845±0,01B	0,976±0,02A*	
30-60	2021	S1	0,749±0,04	0,804±0,00	0,782±0,03	0,751±0,06	0,772±0,02
		S2	0,775±0,02	0,795±0,00	0,772±0,03	0,772±0,03	0,778±0,01
		S3	0,751±0,02	0,781±0,02	0,743±0,02	0,739±0,01	0,754±0,01
		Ort.	0,758±0,01	0,794±0,01	0,766±0,01	0,754±0,02	
	2022	S1	0,740±0,01	0,757±0,02	0,790±0,02	0,744±0,01	0,758±0,01
		S2	0,747±0,01	0,767±0,02	0,783±0,01	0,747±0,01	0,761±0,01
		S3	0,737±0,01	0,727±0,01	0,797±0,01	0,743±0,01	0,751±0,01
		Ort.	0,741±0,00B	0,750±0,01B	0,790±0,01A*	0,745±0,00B	
	2021-2022	S1	0,745±0,02	0,782±0,01	0,785±0,01	0,747±0,03	0,765±0,01
		S2	0,762±0,01	0,780±0,01	0,778±0,02	0,760±0,02	0,770±0,01
		S3	0,743±0,01	0,755±0,01	0,770±0,01	0,740±0,01	0,752±0,01
		Ort.	0,750±0,01B	0,772±0,01AB	0,778±0,01A*	0,749±0,01B	
60-90	2021	S1	0,800±0,03	0,844±0,00	0,832±0,03	0,751±0,06	0,807±0,02
		S2	0,821±0,08	0,784±0,03	0,834±0,02	0,772±0,03	0,803±0,02
		S3	0,825±0,06	0,798±0,02	0,799±0,04	0,739±0,01	0,790±0,02
		Ort.	0,815±0,03	0,809±0,01	0,822±0,02	0,754±0,02	
	2022	S1	0,740±0,01	0,777±0,02	0,777±0,02	0,740±0,04	0,758±0,01
		S2	0,747±0,01	0,747±0,02	0,760±0,02	0,733±0,03	0,747±0,01
		S3	0,753±0,02	0,757±0,01	0,753±0,00	0,750±0,01	0,753±0,01
		Ort.	0,747±0,01	0,760±0,01	0,763±0,01	0,741±0,01	
	2021-2022	S1	0,770±0,01	0,810±0,01	0,805±0,02	0,745±0,02	0,783±0,01
		S2	0,785±0,04	0,765±0,03	0,797±0,01	0,753±0,03	0,775±0,01
		S3	0,790±0,02	0,777±0,00	0,777±0,02	0,743±0,01	0,772±0,01
		Ort.	0,782±0,01	0,784±0,01	0,793±0,01	0,747±0,01	

*: p<0.05

Tablo 31. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Fe İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	3,78±0,02	3,86±0,08	3,91±0,02	4,03±0,02	3,89±0,03 A*
		S2	3,71±0,02	3,81±0,02	3,89±0,01	3,93±0,02	3,83±0,03 B
		S3	3,71±0,04	3,79±0,01	3,84±0,03	3,88±0,02	3,81±0,02 B
		Ort.	3,74±0,02D	3,82±0,03C	3,88±0,01B	3,94±0,02A*	
	2022	S1	3,72±0,02	3,77±0,02	3,83±0,02	3,92±0,02	3,81±0,02
		S2	3,73±0,03	3,76±0,01	3,85±0,03	3,91±0,02	3,81±0,02
		S3	3,73±0,02	3,76±0,02	3,83±0,04	3,91±0,01	3,81±0,02
		Ort.	3,73±0,01C	3,76±0,01C	3,84±0,02B	3,91±0,01A*	
	2021-2022	S1	3,75±0,01	3,81±0,05	3,87±0,02	3,98±0,01	3,85±0,03
		S2	3,73±0,01	3,78±0,01	3,87±0,02	3,92±0,02	3,82±0,02
		S3	3,72±0,03	3,77±0,00	3,84±0,02	3,90±0,01	3,81±0,02
		Ort.	3,73±0,01D	3,79±0,02C	3,86±0,01B	3,93±0,01A*	
30-60	2021	S1	3,77±0,02	3,78±0,01	3,78±0,01	3,81±0,16	3,78±0,04
		S2	3,76±0,02	3,74±0,03	3,76±0,03	3,76±0,02	3,75±0,01
		S3	3,74±0,12	3,73±0,02	3,76±0,02	3,76±0,01	3,75±0,03
		Ort.	3,76±0,04	3,75±0,01	3,77±0,01	3,78±0,05	
	2022	S1	3,76±0,01	3,76±0,01	3,75±0,02	3,76±0,03	3,76±0,01
		S2	3,75±0,02	3,76±0,02	3,75±0,02	3,75±0,02	3,75±0,01
		S3	3,76±0,01	3,74±0,04	3,75±0,00	3,75±0,02	3,75±0,01
		Ort.	3,76±0,01	3,75±0,01	3,75±0,01	3,75±0,01	
	2021-2022	S1	3,77±0,01	3,77±0,00	3,77±0,01	3,78±0,09	3,77±0,02
		S2	3,75±0,01	3,75±0,02	3,76±0,03	3,75±0,02	3,75±0,01
		S3	3,75±0,06	3,74±0,03	3,75±0,01	3,76±0,01	3,75±0,01
		Ort.	3,76±0,02	3,75±0,01	3,76±0,01	3,76±0,03	
60-90	2021	S1	3,70±0,02	3,67±0,03	3,68±0,02	3,68±0,02	3,68±0,01
		S2	3,70±0,15	3,65±0,02	3,64±0,03	3,68±0,01	3,67±0,03
		S3	3,65±0,11	3,63±0,05	3,60±0,03	3,65±0,03	3,63±0,03
		Ort.	3,68±0,05	3,65±0,02	3,64±0,02	3,67±0,01	
	2022	S1	3,68±0,01	3,69±0,01	3,67±0,01	3,66±0,02	3,68±0,01
		S2	3,68±0,01	3,67±0,01	3,67±0,02	3,66±0,01	3,67±0,01
		S3	3,69±0,01	3,68±0,02	3,67±0,02	3,67±0,01	3,68±0,01
		Ort.	3,68±0,00	3,68±0,01	3,67±0,01	3,67±0,01	
	2021-2022	S1	3,69±0,01	3,68±0,01	3,68±0,01	3,67±0,02	3,68±0,01
		S2	3,69±0,08	3,66±0,01	3,66±0,01	3,67±0,00	3,67±0,02
		S3	3,67±0,05	3,65±0,03	3,64±0,02	3,66±0,01	3,66±0,01
		Ort.	3,68±0,03	3,67±0,01	3,66±0,01	3,67±0,01	

*: p<0.05

Tablo 32. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cu (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	3,17±0,02	3,25±0,03	3,32±0,03	3,41±0,02	3,28±0,03
		S2	3,16±0,03	3,24±0,04	3,29±0,01	3,39±0,05	3,27±0,03
		S3	3,15±0,01	3,22±0,03	3,28±0,02	3,40±0,02	3,26±0,03
		Ort.	3,16±0,01D	3,23±0,02C	3,30±0,01B	3,40±0,02A*	
	2022	S1	3,16±0,01	3,20±0,01	3,29±0,01	3,36±0,00	3,25±0,02
		S2	3,15±0,01	3,19±0,01	3,28±0,01	3,36±0,01	3,25±0,03
		S3	3,15±0,01	3,19±0,02	3,29±0,02	3,37±0,00	3,25±0,03
		Ort.	3,15±0,00D	3,19±0,01C	3,29±0,01B	3,36±0,00A*	
	2021-2022	S1	3,16±0,01	3,22±0,02	3,30±0,02	3,39±0,01	3,27±0,03
		S2	3,16±0,02	3,22±0,02	3,29±0,00	3,37±0,03	3,26±0,03
		S3	3,15±0,00	3,21±0,02	3,28±0,02	3,38±0,01	3,25±0,03
		Ort.	3,16±0,01D	3,21±0,01C	3,29±0,01B	3,38±0,01A*	
30-60	2021	S1	3,04±0,04	3,08±0,04	3,04±0,02	3,06±0,03	3,06±0,01
		S2	3,05±0,02	3,04±0,03	3,03±0,02	3,06±0,03	3,05±0,01
		S3	3,02±0,02	3,04±0,03	3,01±0,01	3,04±0,03	3,03±0,01
		Ort.	3,04±0,01	3,06±0,02	3,03±0,01	3,05±0,02	
	2022	S1	3,02±0,02	2,97±0,04	3,00±0,01	2,99±0,02	2,99±0,01
		S2	2,98±0,01	2,99±0,02	2,98±0,03	2,99±0,03	2,98±0,01
		S3	2,99±0,06	2,97±0,01	2,98±0,02	3,00±0,04	2,98±0,02
		Ort.	3,00±0,02	2,97±0,01	2,99±0,01	2,99±0,02	
	2021-2022	S1	3,03±0,02	3,03±0,02	3,02±0,01	3,02±0,03	3,02±0,01
		S2	3,01±0,01	3,02±0,02	3,01±0,01	3,03±0,02	3,02±0,01
		S3	3,00±0,04	3,00±0,01	3,00±0,02	3,02±0,03	3,00±0,01
		Ort.	3,02±0,01	3,01±0,01	3,01±0,01	3,02±0,01	
60-90	2021	S1	2,94±0,05	2,88±0,04	2,94±0,05	2,96±0,05	2,93±0,02
		S2	2,95±0,03	2,84±0,06	2,90±0,01	2,92±0,05	2,90±0,02
		S3	2,91±0,03	2,84±0,09	2,88±0,02	2,92±0,04	2,89±0,02
		Ort.	2,93±0,02	2,85±0,03	2,91±0,02	2,93±0,02	
	2022	S1	2,90±0,01	2,95±0,01	2,89±0,01	2,90±0,02	2,91±0,01
		S2	2,93±0,05	2,94±0,01	2,89±0,01	2,89±0,02	2,91±0,01
		S3	2,92±0,02	2,94±0,01	2,90±0,01	2,89±0,02	2,92±0,01
		Ort.	2,92±0,02	2,94±0,00	2,90±0,01	2,89±0,01	
	2021-2022	S1	2,92±0,03	2,92±0,02	2,92±0,03	2,93±0,02	2,92±0,01
		S2	2,94±0,01	2,89±0,03	2,90±0,01	2,91±0,02	2,91±0,01
		S3	2,92±0,02	2,89±0,05	2,89±0,01	2,91±0,03	2,90±0,01
		Ort.	2,93±0,01	2,90±0,02	2,90±0,01	2,91±0,01	

*: p<0.05

Tablo 33. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Mn (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	7,11±0,04	8,06±0,03	8,08±0,06	8,51±0,09	7,94±0,16
		S2	7,09±0,01	8,04±0,09	8,12±0,10	8,22±0,16	7,87±0,14
		S3	7,12±0,04	7,98±0,04	8,15±0,10	8,14±0,12	7,85±0,13
		Ort.	7,11±0,02C	8,03±0,03B	8,12±0,01B	8,29±0,09A*	
	2022	S1	7,06±0,05	8,00±0,06	8,03±0,02	8,12±0,03	7,80±0,13
		S2	7,08±0,02	7,99±0,03	7,99±0,06	8,12±0,07	7,80±0,13
		S3	7,04±0,04	8,01±0,08	8,01±0,02	8,13±0,04	7,80±0,13
		Ort.	7,06±0,02C	8,00±0,03B	8,01±0,02B	8,13±0,02A*	
	2021-2022	S1	7,09±0,04	8,03±0,05	8,05±0,02	8,32±0,06	7,87±0,14
		S2	7,08±0,01	8,01±0,03	8,06±0,04	8,17±0,05	7,83±0,13
		S3	7,08±0,03	7,99±0,06	8,08±0,06	8,14±0,06	7,82±0,13
		Ort.	7,08±0,02D	8,01±0,02C	8,06±0,02B	8,21±0,04A*	
30-60	2021	S1	7,07±0,01	7,04±0,02	7,12±0,01	7,12±0,01	7,09±0,01
		S2	7,06±0,03	7,07±0,01	7,11±0,01	7,13±0,01	7,09±0,01
		S3	7,03±0,02	7,06±0,02	7,12±0,01	7,12±0,01	7,08±0,01
		Ort.	7,05±0,01B	7,06±0,01B	7,12±0,01A	7,12±0,00A*	
	2022	S1	7,06±0,02	7,04±0,03	7,07±0,02	7,05±0,04	7,05±0,01
		S2	7,06±0,05	7,03±0,04	7,05±0,02	7,05±0,01	7,05±0,01
		S3	7,02±0,02	7,05±0,02	7,08±0,01	7,04±0,04	7,05±0,01
		Ort.	7,04±0,02	7,04±0,01	7,07±0,01	7,05±0,02	
	2021-2022	S1	7,07±0,01	7,04±0,00	7,09±0,01	7,08±0,02	7,07±0,01
		S2	7,06±0,04	7,05±0,02	7,08±0,01	7,09±0,00	7,07±0,01
		S3	7,02±0,01	7,05±0,01	7,10±0,00	7,09±0,02	7,07±0,01
		Ort.	7,05±0,01B	7,05±0,01B	7,09±0,00A	7,09±0,01A*	
60-90	2021	S1	6,42±0,05	6,43±0,03	6,39±0,05	6,45±0,04	6,42±0,02
		S2	6,51±0,09	6,43±0,06	6,45±0,03	6,44±0,06	6,46±0,03
		S3	6,39±0,02	6,35±0,04	6,44±0,09	6,43±0,03	6,40±0,02
		Ort.	6,44±0,04	6,40±0,03	6,43±0,03	6,44±0,02	
	2022	S1	6,45±0,03	6,39±0,01	6,40±0,02	6,40±0,01	6,41±0,01
		S2	6,46±0,03	6,42±0,04	6,40±0,01	6,40±0,01	6,42±0,01
		S3	6,39±0,11	6,41±0,05	6,42±0,01	6,42±0,03	6,41±0,03
		Ort.	6,43±0,04	6,41±0,02	6,41±0,01	6,40±0,01	
	2021-2022	S1	6,43±0,02	6,41±0,01	6,40±0,02	6,42±0,02	6,41±0,01
		S2	6,49±0,06	6,43±0,05	6,43±0,02	6,42±0,03	6,44±0,02
		S3	6,39±0,05	6,38±0,04	6,43±0,04	6,42±0,03	6,41±0,02
		Ort.	6,44±0,03	6,41±0,02	6,42±0,01	6,42±0,01	

*: p<0.05

Tablo 34. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Zn (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	57,5±0,55	60,3±1,21	62,3±0,35	65,6±0,83	61,4±0,96
		S2	57,9±0,76	61,1±1,01	63,3±1,31	64,9±1,01	61,8±0,91
		S3	57,7±0,53	59,3±1,50	64,4±0,71	66,6±0,51	62,0±1,15
		Ort.	57,7±0,32D	60,2±0,68C	63,4±0,54B	65,7±47A*	
	2022	S1	57,5±0,28	58,2±0,07	60,4±0,43	62,9±0,32	59,8±0,65B
		S2	57,7±0,21	58,7±0,29	60,5±0,06	63,0±0,06	60,0±0,61AB
		S3	57,6±0,26	58,7±0,37	61,9±0,08	63,0±0,08	60,3±0,68A*
		Ort.	57,6±0,10D	58,5±0,16C	60,9±0,27B	63,0±0,10A*	
	2021-2022	S1	57,5±0,31	59,3±0,64	61,4±0,37	64,3±0,27	60,6±0,78
		S2	57,8±0,49	59,9±0,37	61,9±0,63	63,9±0,50	60,9±0,72
		S3	57,7±0,26	59,0±0,79	63,1±0,37	64,8±0,24	61,2±0,90
		Ort.	57,7±0,19D	59,4±0,34C	62,1±0,36B	64,3±0,22A*	
30-60	2021	S1	52,0±0,34	53,0±0,73	52,0±0,32	52,4±0,39	52,3±0,23
		S2	52,2±0,41	52,7±0,73	52,9±0,36	52,1±0,75	52,5±0,27
		S3	52,5±0,65	52,2±0,40	52,3±0,43	52,2±0,35	52,3±0,21
		Ort.	52,3±0,26	52,6±0,34	52,4±0,23	52,2±0,27	
	2022	S1	52,1±0,08	51,9±0,15	51,7±0,16	52,1±0,14	51,9±0,07
		S2	52,0±0,04	51,7±0,16	51,9±0,16	51,9±0,17	51,9±0,07
		S3	52,0±0,02	52,0±0,51	51,8±0,22	52,2±0,18	52,0±0,13
		Ort.	52,0±0,03	51,9±0,17	51,8±0,09	52,1±0,09	
	2021-2022	S1	52,1±0,15	52,4±0,38	51,9±0,10	52,2±0,13	52,1±0,11
		S2	52,1±0,21	52,2±0,44	52,4±0,25	52,0±0,35	52,2±0,15
		S3	52,3±0,33	52,1±0,25	52,1±0,10	52,2±0,14	52,2±0,10
		Ort.	52,2±0,13	52,3±0,19	52,1±0,12	52,1±0,12	
60-90	2021	S1	49,5±0,42	49,3±0,97	49,6±0,80	48,8±0,60	49,3±0,32
		S2	48,1±0,95	49,3±0,48	49,8±0,77	49,4±0,70	49,2±0,37
		S3	50,2±0,45	49,9±0,81	49,3±1,03	49,7±0,70	49,8±0,34
		Ort.	49,3±0,44	49,5±0,41	49,6±0,44	49,3±0,36	
	2022	S1	49,3±0,62	49,5±0,30	49,6±0,34	48,5±0,36	49,2±0,22
		S2	49,2±0,73	48,7±0,21	49,0±0,26	49,1±0,50	49,0±0,21
		S3	49,3±1,03	48,8±0,24	49,5±0,65	49,3±0,75	49,2±0,32
		Ort.	49,3±0,41	49,0±0,18	49,4±0,24	49,0±0,30	
	2021-2022	S1	49,4±0,52	49,4±0,63	49,6±0,36	48,7±0,12	49,3±0,22
		S2	48,7±0,56	49,0±0,34	49,4±0,33	49,3±0,50	49,1±0,21
		S3	49,7±0,72	49,4±0,45	49,4±0,69	49,5±0,72	49,5±0,28
		Ort.	49,3±0,34	49,3±0,25	49,5±0,25	49,1±0,28	

*: p<0.05

Tablo 35. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Pb (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	3,28±0,01	4,15±0,28	4,62±0,19	4,47±0,23	4,13±0,18
		S2	3,39±0,07	3,95±0,15	4,64±0,20	5,04±0,30	4,26±0,21
		S3	3,40±0,04	4,20±0,33	4,55±0,44	4,55±0,24	4,17±0,19
		Ort.	3,35±0,03C	4,10±0,14B	4,60±0,15A	4,69±0,16A*	
	2022	S1	3,38±0,05	4,00±0,07	4,41±0,08	4,59±0,25	4,09±0,15
		S2	3,35±0,03	4,02±0,03	4,47±0,19	4,41±0,10	4,07±0,14
		S3	3,38±0,04	4,01±0,08	4,34±0,08	4,53±0,18	4,07±0,14
		Ort.	3,37±0,02C	4,01±0,03B	4,41±0,07A	4,51±0,10A*	
	2021-2022	S1	3,33±0,03	4,07±0,07	4,52±0,12	4,53±0,24	4,11±0,16
		S2	3,37±0,04	3,99±0,08	4,56±0,19	4,73±0,20	4,16±0,17
		S3	3,39±0,01	4,11±0,20	4,44±0,26	4,54±0,10	4,12±0,15
		Ort.	3,36±0,02C	4,06±0,08B	4,51±0,10A	4,60±0,10A*	
30-60	2021	S1	2,77±0,13	2,78±0,03	2,69±0,29	3,04±0,31	2,84±0,10
		S2	2,84±0,05	2,80±0,02	3,24±0,03	3,14±0,10	2,96±0,06
		S3	2,71±0,43	2,84±0,09	3,20±0,01	3,02±0,29	2,99±0,13
		Ort.	2,77±0,13	2,81±0,03	3,04±0,12	3,07±0,13	
	2022	S1	2,85±0,11	2,77±0,02	2,84±0,11	2,96±0,11	2,86±0,05
		S2	2,86±0,05	2,76±0,00	2,82±0,04	2,96±0,23	2,85±0,05
		S3	2,56±0,20	2,78±0,02	2,86±0,09	2,95±0,16	2,79±0,07
		Ort.	2,76±0,08	2,77±0,01	2,84±0,04	2,96±0,09	
	2021-2022	S1	2,81±0,01	2,77±0,02	2,77±0,16	3,00±0,21	2,84±0,06
		S2	2,85±0,01	2,78±0,01	3,03±0,01	3,05±0,15	2,93±0,05
		S3	2,63±0,30	2,81±0,05	3,03±0,05	2,99±0,13	2,87±0,09
		Ort.	2,77±0,09	2,79±0,02	2,94±0,06	3,01±0,08	
60-90	2021	S1	2,64±0,02	2,66±0,07	2,81±0,14	2,75±0,12	2,71±0,05
		S2	2,64±0,06	2,86±0,17	2,74±0,08	2,73±0,09	2,74±0,05
		S3	2,62±0,23	2,58±0,16	2,64±0,14	2,85±0,22	2,67±0,09
		Ort.	2,63±0,07	2,70±0,08	2,73±0,07	2,78±0,08	
	2022	S1	2,61±0,07	2,65±0,11	2,63±0,07	2,63±0,04	2,63±0,03
		S2	2,63±0,10	2,66±0,09	2,63±0,13	2,71±0,03	2,66±0,04
		S3	2,61±0,09	2,65±0,05	2,62±0,14	2,63±0,04	2,63±0,04
		Ort.	2,61±0,04	2,65±0,04	2,63±0,06	2,66±0,02	
	2021-2022	S1	2,62±0,04	2,65±0,08	2,72±0,04	2,69±0,07	2,67±0,03
		S2	2,63±0,07	2,76±0,07	2,69±0,09	2,72±0,06	2,70±0,03
		S3	2,61±0,07	2,62±0,06	2,63±0,01	2,74±0,12	2,65±0,04
		Ort.	2,62±0,03	2,68±0,04	2,68±0,03	2,72±0,04	

*: p<0.05

Tablo 36. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cd (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,010±0,000de	0,013±0,001c	0,012±0,000cd	0,017±0,001b	0,013±0,001
		S2	0,009±0,001e	0,012±0,001cd	0,013±0,001c	0,021±0,001a*	0,014±0,001
		S3	0,009±0,001e	0,012±0,002cd	0,014±0,000c	0,020±0,001a	0,014±0,001
		Ort.	0,010±0,000C	0,012±0,001 B	0,013±0,000 B	0,020±0,001A*	
	2022	S1	0,010±0,00	0,011±0,00	0,012±0,00	0,014±0,00	0,011±0,00
		S2	0,009±0,00	0,010±0,00	0,011±0,00	0,014±0,00	0,011±0,00
		S3	0,009±0,00	0,010±0,00	0,012±0,00	0,015±0,00	0,011±0,00
		Ort.	0,009±0,00C	0,010±0,00BC	0,011±0,00B	0,014±0,00A*	
	2021-2022	S1	0,010±0,00fg	0,012±0,00cd	0,012±0,00cd	0,016±0,00b	0,012±0,00
		S2	0,009±0,00g	0,011±0,00de	0,012±0,00cd	0,018±0,00a	0,013±0,00
		S3	0,009±0,00g	0,011±0,00de	0,013±0,00c	0,018±0,00a*	0,013±0,00
		Ort.	0,010±0,00D	0,011±0,00C	0,012±0,00B	0,017±0,00A*	
30-60	2021	S1	0,011±0,001	0,011±0,000	0,012±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000
		S2	0,011±0,001	0,011±0,001	0,012±0,001	0,011±0,001	0,011±0,000
		S3	0,011±0,001	0,010±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000
		Ort.	0,011±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	
	2022	S1	0,009±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00
		S2	0,009±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		S3	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00
		Ort.	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	
	2021-2022	S1	0,010±0,00	0,010±0,00	0,011±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		S2	0,011±0,00	0,010±0,00	0,011±0,00	0,011±0,00	0,011±0,00
		S3	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		Ort.	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	
60-90	2021	S1	0,011±0,001	0,011±0,001	0,011±0,001	0,011±0,001	0,011±0,000
		S2	0,012±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	0,010±0,000	0,011±0,000
		S3	0,010±0,001	0,010±0,001	0,011±0,000	0,010±0,001	0,010±0,000
		Ort.	0,011±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	0,011±0,000	
	2022	S1	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,010±0,00	0,009±0,00
		S2	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,010±0,00	0,009±0,00
		S3	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		Ort.	0,009±0,00	0,009±0,00	0,009±0,00	0,010±0,00	
	2021-2022	S1	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		S2	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		S3	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00
		Ort.	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	

*: p<0.05

Tablo 37. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Cr (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,480±0,01	0,494±0,02	0,513±0,01	0,527±0,01	0,504±0,01
		S2	0,459±0,01	0,503±0,03,	0,503±0,01	0,522±0,00	0,497±0,01
		S3	0,470±0,02	0,487±0,01	0,504±0,01	0,523±0,00	0,496±0,01
		Ort.	0,470±0,01C	0,495±0,01B	0,507±0,00AB	0,524±0,00A*	
	2022	S1	0,471±0,01	0,481±0,01	0,484±0,01	0,507±0,01	0,486±0,01
		S2	0,473±0,01	0,488±0,00	0,480±0,01	0,509±0,01	0,487±0,01
		S3	0,463±0,01	0,472±0,01	0,480±0,01	0,507±0,02	0,481±0,01
		Ort.	0,469±0,00 B	0,480±0,00 B	0,481±0,00 B	0,508±0,01 A**	
	2021-2022	S1	0,474±0,01	0,487±0,01	0,500±0,01	0,519±0,01	0,495±0,01
		S2	0,467±0,00	0,497±0,01	0,490±0,01	0,516±0,01	0,492±0,01
		S3	0,465±0,01	0,478±0,01	0,490±0,00	0,515±0,01	0,487±0,01
		Ort.	0,469±0,00C	0,487±0,01B	0,493±0,00B	0,517±0,00A*	
30-60	2021	S1	0,455±0,00	0,479±0,02	0,489±0,01	0,479±0,02	0,476±0,01
		S2	0,454±0,01	0,488±0,02	0,461±0,02	0,446±0,01	0,462±0,01
		S3	0,464±0,00	0,471±0,01	0,489±0,02	0,504±0,01	0,482±0,01
		Ort.	0,458±0,00	0,480±0,01	0,480±0,01	0,476±0,01	
	2022	S1	0,471±0,00	0,463±0,01	0,469±0,01	0,464±0,01	0,467±0,00
		S2	0,471±0,00	0,463±0,00	0,463±0,01	0,467±0,02	0,466±0,00
		S3	0,468±0,00	0,464±0,01	0,465±0,01	0,466±0,01	0,466±0,00
		Ort.	0,470±0,00	0,463±0,00	0,466±0,00	0,466±0,01	
	2021-2022	S1	0,464±0,00	0,472±0,01	0,479±0,01	0,472±0,01	0,472±0,00
		S2	0,461±0,00	0,477±0,01	0,462±0,00	0,457±0,01	0,464±0,00
		S3	0,466±0,00	0,469±0,01	0,477±0,01	0,483±0,01	0,474±0,00
		Ort.	0,463±0,00	0,472±0,00	0,473±0,01	0,471±0,01	
60-90	2021	S1	0,467±0,00	0,465±0,03	0,472±0,02	0,457±0,04	0,465±0,01
		S2	0,449±0,01	0,465±0,04	0,453±0,03	0,482±0,03	0,462±0,01
		S3	0,450±0,01	0,462±0,03	0,486±0,03	0,465±0,03,	0,466±0,01
		Ort.	0,455±0,01	0,464±0,02	0,470±0,01	0,468±0,02	
	2022	S1	0,462±0,00	0,464±0,00	0,457±0,01	0,458±0,00	0,460±0,00
		S2	0,458±0,01	0,464±0,00	0,457±0,00	0,456±0,01	0,459±0,00
		S3	0,456±0,01	0,462±0,00	0,454±0,01	0,462±0,00	0,459±0,00
		Ort.	0,458±0,00	0,463±0,00	0,456±0,00	0,459±0,00	
	2021-2022	S1	0,466±0,00	0,465±0,02	0,465±0,01	0,456±0,02	0,463±0,01
		S2	0,454±0,01	0,465±0,02	0,453±0,01	0,468±0,02	0,460±0,01
		S3	0,453±0,01	0,461±0,01	0,470±0,01	0,463±0,01	0,462±0,01
		Ort.	0,458±0,00	0,464±0,01	0,463±0,01	0,462±0,01	

*: p<0.05

Tablo 38. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Ni (mg/kg) İçeriğine Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	0,683±0,01	0,672±0,02	0,695±0,00	0,701±0,02	0,688±0,01
		S2	0,659±0,01	0,685±0,02	0,691±0,00	0,729±0,01	0,691±0,01
		S3	0,661±0,01	0,698±0,02	0,716±0,01	0,745±0,02	0,705±0,01
		Ort.	0,668±0,01C	0,685±0,02BC	0,701±0,00B	0,725±0,01A*	
	2022	S1	0,668±0,00	0,664±0,00	0,665±0,00	0,664±0,01	0,665±0,00
		S2	0,667±0,01	0,679±0,01	0,665±0,00	0,667±0,01	0,669±0,00
		S3	0,659±0,01	0,661±0,01	0,662±0,01	0,666±0,00	0,662±0,00
		Ort.	0,665±0,00	0,668±0,00	0,664±0,00	0,665±0,00	
	2021-2022	S1	0,676±0,00	0,669±0,01	0,679±0,00	0,682±0,01	0,676±0,00
		S2	0,664±0,00	0,681±0,01	0,678±0,00	0,698±0,00	0,680±0,00
		S3	0,658±0,01	0,679±0,01	0,689±0,00	0,706±0,01	0,683±0,01
		Ort.	0,666±0,00	0,676±0,01	0,682±0,00	0,696±0,01	
30-60	2021	S1	0,647±0,02	0,666±0,01	0,661±0,01	0,654±0,03	0,657±0,01
		S2	0,638±0,03	0,647±0,02	0,665±0,03	0,650±0,01	0,650±0,01
		S3	0,651±0,02	0,655±0,01	0,659±0,02	0,670±0,02	0,659±0,01
		Ort.	0,646±0,01	0,656±0,01	0,662±0,01	0,658±0,01	
	2022	S1	0,657±0,01	0,663±0,01	0,663±0,01	0,659±0,01	0,661±0,00
		S2	0,626±0,04	0,664±0,00	0,660±0,01	0,658±0,01	0,652±0,01
		S3	0,657±0,01	0,658±0,01	0,665±0,00	0,662±0,00	0,661±0,00
		Ort.	0,647±0,01	0,662±0,00	0,663±0,00	0,660±0,00	
	2021-2022	S1	0,652±0,01	0,665±0,01	0,662±0,01	0,656±0,01	0,659±0,00
		S2	0,633±0,01	0,656±0,01	0,662±0,01	0,654±0,01	0,651±0,01
		S3	0,655±0,00	0,658±0,01	0,664±0,01	0,666±0,01	0,661±0,01
		Ort.	0,647±0,01	0,659±0,01	0,662±0,01	0,659±0,01	
60-90	2021	S1	0,650±0,02	0,655±0,01	0,662±0,01	0,636±0,03	0,651±0,01
		S2	0,664±0,01	0,613±0,03	0,651±0,00	0,656±0,03,	0,646±0,01
		S3	0,616±0,02	0,690±0,03	0,632±0,02	0,645±0,02	0,646±0,01
		Ort.	0,643±0,01	0,653±0,02	0,648±0,01	0,646±0,02	
	2022	S1	0,637±0,04	0,658±0,00	0,645±0,00	0,650±0,00	0,647±0,01
		S2	0,645±0,00	0,661±0,01	0,641±0,02	0,647±0,02	0,649±0,01
		S3	0,654±0,00	0,659±0,03	0,647±0,03	0,646±0,03	0,652±0,01
		Ort.	0,645±0,01	0,659±0,01	0,644±0,01	0,648±0,01	
	2021-2022	S1	0,645±0,03	0,656±0,00	0,654±0,01	0,643±0,02	0,650±0,01
		S2	0,654±0,00	0,637±0,02	0,645±0,01	0,652±0,02	0,647±0,01
		S3	0,635±0,01	0,675±0,02	0,640±0,01	0,646±0,02	0,649±0,01
		Ort.	0,645±0,01	0,656±0,01	0,647±0,01	0,647±0,01	

*: p<0.05

Tablo 39. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Hg (mg/kg) İçeriğine Etkisi

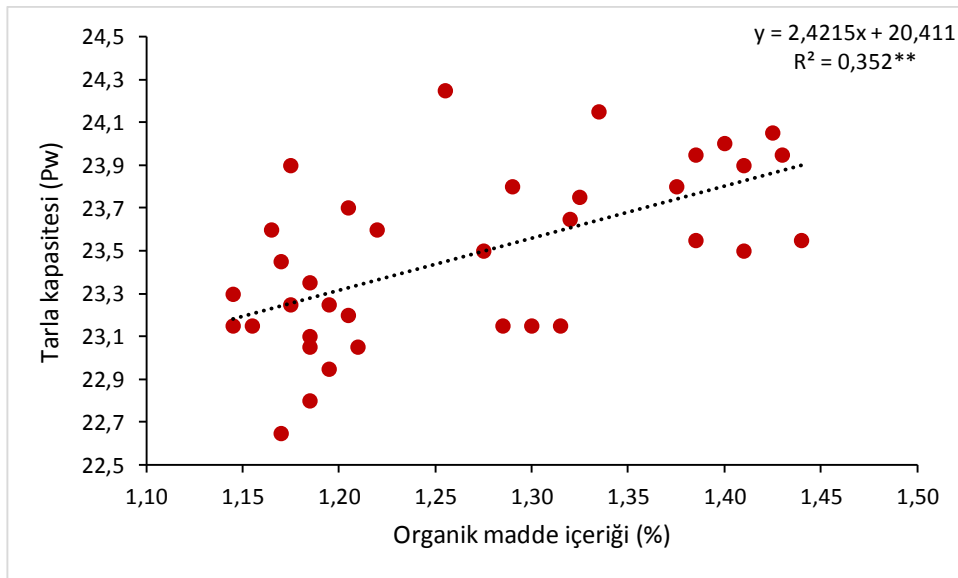
Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	-	-	0,000±0,00	0,010±0,00a	0,003±0,00B
		S2	-	-	0,000±0,00	0,010±0,00a	0,003±0,00B
		S3	-	-	0,007±0,00b	0,010±0,00a*	0,004±0,00A*
		Ort.	-	-	0,002±0,00B	0,010±0,00 A*	
	2022	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
	2021-2022	S1	-	-	0,000±0,00	0,005±0,00a	0,001±0,00 B
		S2	-	-	0,000±0,00	0,005±0,00a	0,001±0,00 B
		S3	-	-	0,003±0,00b	0,005±0,00a*	0,002±0,00 A*
		Ort.	-	-	0,001±0,00B	0,005±0,00A*	
30-60	2021	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
	2022	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
	2021-2022	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
60-90	2021	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
	2022	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-
	2021-2022	S1	-	-	-	-	-
		S2	-	-	-	-	-
		S3	-	-	-	-	-
		Ort.	-	-	-	-	-

*: p<0.05

Toprak hidrolik özellikleri

Topraklarının tarla kapasitesi (TK), devamlı solma noktasında (SN) ve yarayışlı su değerleri Tablo 40, 41 v2 42' de ve varyans analiz sonuçları da Ek 31-33' te verilmiştir.

Deneme yıllarının hasat sonrası TK, SN ve yarayışlı su değerleri dikkate alındığında arıtma çamuru uygulamalarının 0-30 cm tabakada TK'ya etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Tablo 40). TK için D0 ile kıyaslandığında D1, D2 ve D3 uygulamalarında artış sırasıyla % 0,43 % 1,72 ve % 2,58 olarak belirlenmiştir (Tablo 40). Deneme sonrası TK değerleri başlangıç değerlerine (Tablo 9) göre de kısmen artış göstermiştir. Arıtma çamuru, yüksek organik madde içeriğine sahip olduğundan dolayı uygulanan toprağı organik madde yönünden zenginleştirerek toprağın yapısını iyileştirebilmesi sonucunda toprakta su tutma kapasitesini artırmakta toprağın su ve hava geçirgenliğini iyileştirmektedir. Araştırmalar organik madde içeriğı yüksek olan toprakların genellikle daha yüksek tarla kapasitelerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada tarla kapasitesi ile organik madde içeriğı arasında önemli ($p<0,01$) pozitif ilişki tespit edilmiştir (Şekil 75). Lal. (2020) tarafında yapılan bir çalışmada toprakta organik madde içeriğinin artmasıyla tarla kapasitesinin arttığını ve organik madde ile tarla kapasite arasında doğrusal pozitif bir ilişki olduğunu belirtilmiştir. Farklı toprak gruplarında yapılan diğerk bir çalışmada da, tarla kapasitesindeki hacimsel su içeriğinin toprağın organik karbon içeriğine bağılı olarak önemli ölçüde değıştiğı, daha yüksek organik madde bulunduğu durumda tarla kapasitesi değerlerinin daha yüksek olduğı, ayrıca toprağın organik maddesi ile tarla kapasitesi arasında pozitif ilişki olduğı ifade edilmiştir (Ramirez *et al.* 2023).



Şekil 74. Organik madde içeriğıyle tarla kapasitesi arasındaki ilişki (n=36; $**p<0,01$)

Yine birçok çalışmada da toprağın organik madde artışına bağlı olarak TK değerlerinde artış olduğu bildirilmiştirlerdir (Tunc and Sahin 2015; Çakmakcı, 2018; Kadioğlu ve Canbolat 2019; Alaboz ve Çakmakcı 2020; Yerli, 2022).

Yarayışlı su miktarında istatistiksel anlamda değişim olmuşsa da doz artışıyla artan, en yüksek dozda da % 2,58' lik bir artışa karşılık gelen TK değerlerine etkisi dikkatte alındığında kısmi bir iyileşme olduğu görülmektedir. Yerli (2022), yaptığı çalışmada özellikle 0-30 cm toprak tabakasındaki organik madde miktarı arttıkça toprağın tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su değerlerinin arttığını, tarla kapasitesi değerlerinin artmasıyla yarayışlı su miktarının arttığını belirtmiştir. Daha önceki çalışmalarda agregat stabilitesi ve porozite değerlerindeki artışın, yarayışlı su miktarının artmasına pozitif yönde katkı sağladığını belirtmişlerdir (Tunç, 2013; Demir Doğan, 2016).Yine birçok çalışmada toprakta organik madde miktarı arttıkça toprak fiziksel özelliklerindeki iyileşmelere bağlı olarak yarayışlı su miktarında da buna paralel olarak olumlu değişimler sağlandığı bildirilmiştir (Tunc and Sahin 2015; Musazura *et al.* 2019; Ding *et al.* 2020; Badaou and Sahin 2021). Mujdeci *et al.* (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, organik madde katkısının toprak agregatları arasındaki boşlukları artırarak gözenekliliği geliştirdiği belirtilmiştir. Ors *et al.* (2015b) çalışmalarında, su tutma kapasitesinin doğrudan gözenek büyüklük dağılımına bağlı olduğunu ve organik maddenin topraktaki gözenekliliği iyileştirerek daha fazla su tutulmasına katkı sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Abdelfattah (2013) tarafından yapılan bir çalışmada da, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağa yüksek miktarlarda organik madde katkısının yarayışlı su miktarını önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir. Tunç (2013) ve Demir Doğan (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, yarayışlı su miktarındaki artışların, çeşitli faktörlerle ilişkilendirilen önemli toprak özelliklerinden agregat stabilitesi ve porozite ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda, arıtma çamuru uygulamasının toprak kalitesi üzerinde olumlu etkileri olduğu ve özellikle agregat stabilitesi üzerindeki artışın toprak sağlığına olumlu katkılarda bulunduğu, ve de gözenek büyüklük dağılımına etkisinin pozitif yönde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca mısır bitkisinde artan verimin kısmen, artan tarla kapasitesinden dolayı daha fazla su tutma kapasitesine bağlı olduğu da belirtilmiştir (Oldfield *et al.* 2019; Lal, 2020)

Tablo 40. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında TK Değerine (Pw) Etkisi

Derinlik (cm)	Sulama Yıl uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.	
0-30	2021	S1	23,1±0,47	23,5±0,35	23,6±0,32	23,8±0,15	23,5±0,17
		S2	23,4±0,17	23,4±0,26	23,6±0,20	23,8±0,23	23,6±0,11
		S3	23,2±0,35	23,3±0,26	23,7±0,34	23,9±0,09	23,5±0,14
		Ort.	23,2±0,18C	23,4±0,15AB	23,7±0,15AB	23,8±0,08A*	
	2022	S1	23,0±0,09	23,3±0,19	23,6±0,34	23,7±0,21	23,4±0,13
		S2	23,2±0,06	23,3±0,17	23,4±0,22	23,8±0,12	23,4±0,13
		S3	23,1±0,15	23,2±0,09	23,6±0,32	23,7±0,18	23,4±0,12
		Ort.	23,1±0,06C	23,3±0,08BC	23,6±0,15AB	23,8±0,09A*	
	2021-2022	S1	23,0±0,20	23,4±0,26	23,6±0,32	23,8±0,12	23,5±0,13
		S2	23,3±0,09	23,3±0,22	23,5±0,20	23,9±0,18	23,5±0,10
		S3	23,2±0,23	23,3±0,16	23,7±0,29	23,8±0,13	23,5±0,12
		Ort.	23,2±0,10C	23,3±0,11BC	23,6±0,14AB	23,8±0,07A*	
30-60	2021	S1	24,5±0,27	24,5±0,37	24,6±0,43	24,7±0,39	24,6±0,16
		S2	24,4±0,24	24,5±0,28	24,5±0,53	24,6±0,28	24,5±0,15
		S3	24,5±0,79	24,4±0,21	24,5±0,28	24,6±0,36	24,5±0,22
		Ort.	24,5±0,25	24,5±0,21	24,6±0,21	24,6±0,17	
	2022	S1	24,4±0,12	24,5±0,32	24,3±0,24	24,7±0,34	24,5±0,12
		S2	24,4±0,27	24,4±0,15	24,5±0,26	24,4±0,22	24,4±0,10
		S3	24,3±0,17	24,2±0,28	24,5±0,12	24,5±0,20	24,4±0,09
		Ort.	24,3±0,10	24,4±0,14	24,4±0,11	24,5±0,14	
	2021-2022	S1	24,4±0,19	24,5±0,34	24,5±0,33	24,7±0,36	24,5±0,14
		S2	24,4±0,25	24,4±0,19	24,5±0,39	24,5±0,22	24,5±0,12
		S3	24,4±0,48	24,3±0,37	24,5±0,19	24,5±0,28	24,4±0,15
		Ort.	24,4±0,17	24,4±0,16	24,5±0,16	24,6±0,15	
60-90	2021	S1	24,5±0,33	24,5±0,27	24,6±0,24	24,8±0,28	24,6±0,13
		S2	24,5±0,36	24,6±0,12	24,6±0,53	24,7±0,60	24,6±0,19
		S3	24,4±0,32	24,5±0,28	24,5±0,49	24,6±0,37	24,5±0,16
		Ort.	24,5±0,17	24,5±0,12	24,6±0,22	24,7±0,22	
	2022	S1	24,5±0,26	24,6±0,22	24,5±0,33	24,8±0,12	24,6±0,11
		S2	24,6±0,29	24,6±0,27	24,7±0,18	24,5±0,27	24,6±0,11
		S3	24,6±0,37	24,6±0,26	24,8±0,40	24,9±0,23	24,7±0,14
		Ort.	24,6±0,16	24,6±0,12	24,7±0,17	24,8±0,12	
	2021-2022	S1	24,5±0,29	24,5±0,20	24,6±0,20	24,8±0,20	24,6±0,10
		S2	24,5±0,17	24,6±0,13	24,7±0,35	24,6±0,43	24,6±0,13
		S3	24,5±0,05	24,6±0,25	24,7±0,45	24,7±0,26	24,6±0,13
		Ort.	24,5±0,10	24,6±0,10	24,6±0,17	24,7±0,16	

*: p<0.05

Tablo 41. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında SN Değerine (Pw) Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	13,2±0,03	13,4±0,20	13,4±0,14	13,5±0,02	13,4±0,06
		S2	13,3±0,20	13,3±0,18	13,4±0,05	13,5±0,26	13,4±0,08
		S3	13,3±0,20	13,3±0,17	13,4±0,28	13,5±0,47	13,4±0,13
		Ort.	13,3±0,08	13,3±0,09	13,4±0,09	13,5±0,16	
	2022	S1	13,3±0,03	13,4±0,06	13,2±0,19	13,6±0,09	13,4±0,06
		S2	13,4±0,09	13,4±0,12	13,5±0,07	13,4±0,12	13,4±0,04
		S3	13,4±0,12	13,3±0,09	13,5±0,19	13,5±0,09	13,4±0,06
		Ort.	13,4±0,04	13,4±0,05	13,4±0,09	13,5±0,05	
	2021-2022	S1	13,3±0,00	13,4±0,09	13,3±0,16	13,5±0,05	13,4±0,05
		S2	13,3±0,11	13,4±0,13	13,4±0,04	13,5±0,17	13,4±0,06
		S3	13,3±0,16	13,3±0,11	13,5±0,23	13,5±0,24	13,4±0,09
		Ort.	13,3±0,06	13,4±0,06	13,4±0,08	13,5±0,09	
30-60	2021	S1	13,3±0,51	13,3±0,02	13,3±0,42	13,3±0,19	13,3±0,15
		S2	13,3±0,18	13,2±0,23	13,3±0,20	13,3±0,06	13,3±0,08
		S3	13,2±0,30	13,2±0,12	13,3±0,17	13,3±0,11	13,3±0,08
		Ort.	13,3±0,18	13,2±0,18	13,3±0,14	13,3±0,07	
	2022	S1	13,8±0,12	13,2±0,12	13,3±0,20	13,2±0,09	13,4±0,10
		S2	13,1±0,15	13,2±0,18	13,4±0,15	13,4±0,15	13,3±0,08
		S3	13,1±0,18	13,1±0,06	13,2±0,09	13,2±0,012	13,2±0,05
		Ort.	13,3±0,14	13,1±0,06	13,3±0,08	13,2±0,07	
	2021-2022	S1	13,6±0,20	13,2±0,05	13,3±0,26	13,2±0,12	13,3±0,08
		S2	13,2±0,12	13,2±0,09	13,3±0,14	13,3±0,09	13,3±0,05
		S3	13,2±0,24	13,2±0,05	13,3±0,06	13,3±0,10	13,2±0,06
		Ort.	13,3±0,11	13,2±0,03	13,3±0,09	13,3±0,05	
60-90	2021	S1	12,8±0,38	12,8±0,30	13,0±0,09	12,9±0,13	12,8±0,11
		S2	12,9±0,19	12,8±0,16	12,8±0,23	12,8±0,14	12,8±0,08
		S3	12,9±0,14	12,8±0,27	13,0±0,11	12,9±0,09	12,9±0,07
		Ort.	12,8±0,13	12,8±0,12	12,9±0,08	12,9±0,06	
	2022	S1	12,8±0,12	13,0±0,06	13,0±0,15	13,1±0,15	13,0±0,06
		S2	13,0±0,09	12,8±0,15	12,9±0,17	12,9±0,12	12,9±0,06
		S3	12,9±0,12	12,9±0,15	13,0±0,12	12,9±0,09	12,9±0,06
		Ort.	12,9±0,06	12,9±0,07	13,0±0,08	13,0±0,07	
	2021-2022	S1	12,8±0,18	12,9±0,15	13,0±0,06	13,0±0,01	12,9±0,06
		S2	12,9±0,07	12,8±0,09	12,9±0,14	12,9±0,09	12,9±0,04
		S3	12,9±0,07	12,8±0,10	13,0±0,08	12,9±0,03	12,9±0,04
		Ort.	12,9±0,06	12,9±0,06	12,9±0,06	12,9±0,03	

Tablo 42. Farklı Arıtma Çamuru Dozun ve Sulama Uygulamalarının 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Tabakalarında Yarayışlı Su (mm) Miktarına Etkisi

Derinlik (cm)	Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
0-30	2021	S1	37,2±1,99	38,3±2,04	38,1±1,16	38,0±0,50	37,9±0,68
		S2	38,2±1,57	38,1±1,47	38,4±0,95	38,5±2,06	38,3±0,67
		S3	37,6±1,99	38,0±0,62	38,9±2,17	38,3±1,84	38,2±0,77
		Ort.	37,7±0,94	38,2±0,75	38,5±0,77	38,3±0,81	
	2022	S1	36,6±0,54	37,5±0,77	38,8±0,65	37,5±0,85	37,6±0,38
		S2	37,4±0,46	37,5±0,65	37,4±0,74	38,4±0,67	37,7±0,30
		S3	36,8±0,85	37,6±0,14	38,0±1,57	37,9±0,40	37,6±0,42
		Ort.	36,9±0,34	37,5±0,29	38,1±0,57	37,9±0,36	
	2021-2022	S1	36,9±0,73	37,9±1,40	38,5±0,91	37,8±0,55	37,8±0,44
		S2	37,8±0,82	37,8±1,04	37,9±0,85	38,4±1,32	38,0±0,45
		S3	37,2±1,34	37,8±0,36	38,4±1,75	38,1±1,12	37,9±0,55
		Ort.	37,3±0,52	37,9±0,52	38,3±0,63	38,1±0,53	
30-60	2021	S1	43,4±1,11	43,3±1,62	43,6±3,13	43,8±0,93	43,5±0,81
		S2	43,5±0,51	43,8±1,38	43,2±2,97	43,8±1,58	43,5±0,79
		S3	43,7±2,23	43,6±1,93	43,6±1,80	43,3±1,68	43,6±0,82
		Ort.	43,5±0,74	43,6±0,83	43,5±1,35	43,6±0,72	
	2022	S1	41,1±0,52	44,0±1,84	42,1±0,56	44,3±1,35	42,9±0,65
		S2	44,1±0,59	43,2±0,52	43,2±1,48	43,0±0,34	43,4±0,38
		S3	43,0±0,21	43,5±1,25	43,6±0,31	43,3±0,91	43,3±0,35
		Ort.	42,7±0,49	43,6±0,67	43,0±0,51	43,5±0,52	
	2021-2022	S1	42,2±0,48	43,7±1,73	42,9±1,81	44,1±1,13	43,2±0,63
		S2	43,8±0,48	43,5±0,80	43,2±2,04	43,4±0,95	43,5±0,52
		S3	43,3±1,16	43,6±1,59	43,6±1,02	43,3±1,29	43,5±0,55
		Ort.	43,1±0,45	43,6±0,72	43,2±0,85	43,6±0,58	
60-90	2021	S1	43,9±0,52	44,2±1,39	44,5±0,81	45,0±0,97	44,4±0,43
		S2	44,6±1,59	44,7±0,78	44,4±1,86	44,3±1,81	44,5±0,67
		S3	43,4±1,15	44,2±1,21	43,8±1,99	44,0±1,21	43,8±0,62
		Ort.	44,0±0,61	44,4±0,58	44,2±0,83	44,4±0,71	
	2022	S1	45,3±0,61	45,1±1,12	44,7±2,03	45,4±0,85	45,1±0,55
		S2	44,8±1,55	45,9±0,68	45,7±0,79	45,0±0,37	45,3±0,43
		S3	45,8±1,65	45,0±0,90	45,5±1,72	46,8±1,34	45,8±0,64
		Ort.	45,3±0,69	45,3±0,48	45,3±0,81	45,7±0,54	
	2021-2022	S1	44,6±0,47	44,7±0,81	44,6±1,06	45,2±0,91	44,8±0,37
		S2	44,7±0,06	45,3±0,61	45,0±1,04	44,7±1,04	44,9±0,35
		S3	44,6±0,33	44,6±1,03	44,7±1,85	45,4±1,12	44,8±0,53
		Ort.	44,6±0,17	44,8±0,43	44,8±0,69	45,1±0,52	

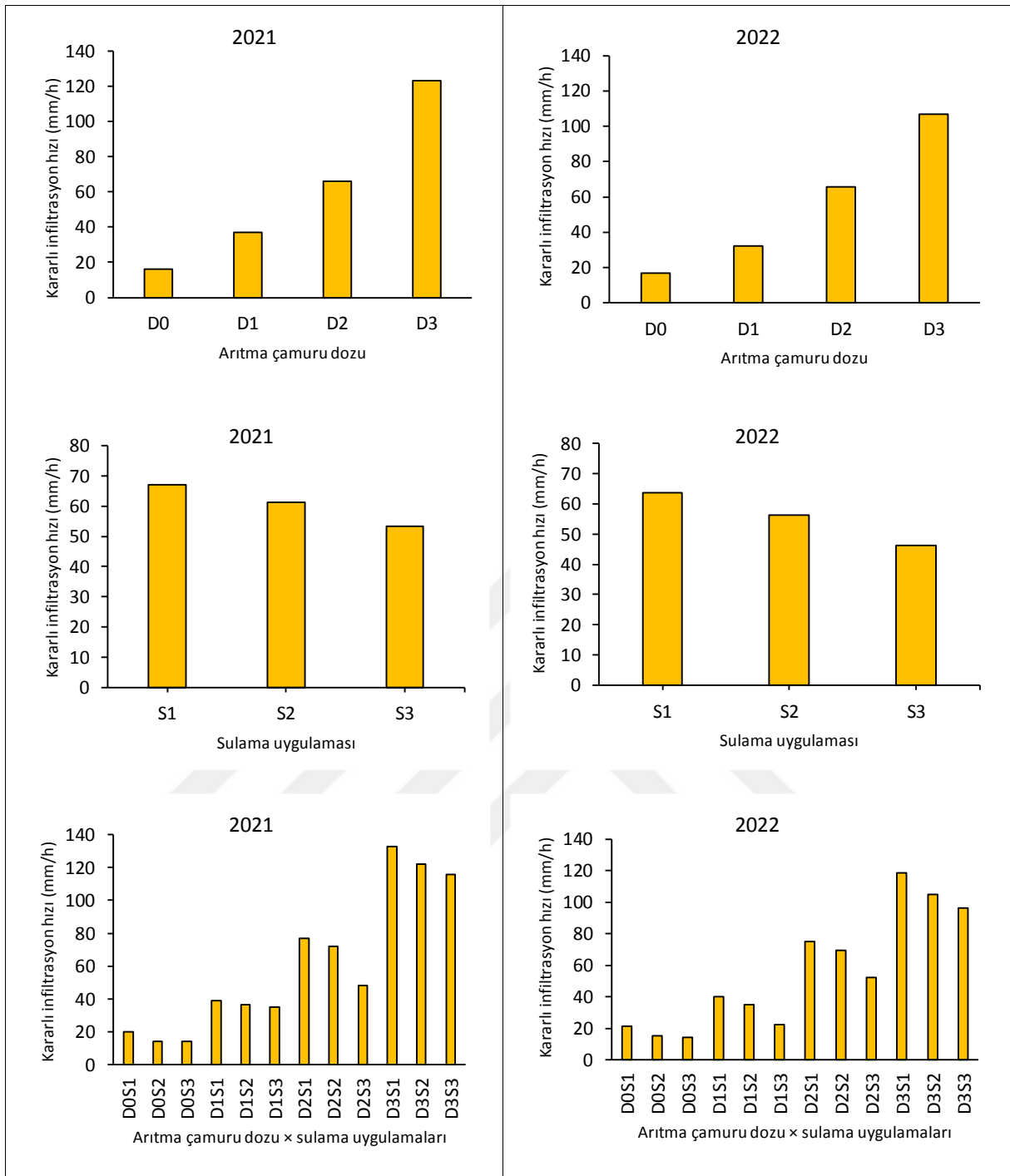
Toplam infiltrasyon ve infiltrasyon hızı

Deneme sonunda, 2021 ve 2022 yıllarında infiltrasyon testleriyle belirlenmiş değerlerden elde edilen toplam infiltrasyon ve infiltrasyon hızı grafikleri Ek 84-107' de eşitlikleri Tablo 43' te, kararlı infiltrasyon hızları da Şekil 76' de verilmiştir. Artan arıtma çamuru dozunun daha fazla toplam infiltrasyon, infiltrasyon ve kararlı infiltrasyon hızları sağladığı tespit edilmiştir. Parlak vd. (2014), ıslanma kuruma döngüleri kapsamında toprak su miktarındaki değişimlerin toprak strüktür oluşumunu veya tahribini dinamik bir şekilde etkilediğini, makro agregat stabilitesinin bazı araştırmalara göre toprak su içeriğinin artmasıyla azaldığını, diğer bazı araştırmalara göre de su içeriğinin artmasıyla arttığını, hatta bazı araştırmalar göre de değişimin karmaşık olduğunu bildirmişlerdir. Badaou and Sahin (2022) toprağın sürekli ıslak veya uzun süreli çok kuru olmadığı koşullarda, toprak içi su iletimini sağlayan gözenekler arasında daha iyi bir bağlantı oluşmasının infiltrasyon hızını dolayısıyla da toplam infiltrasyonu artırabileceğini ifade etmişlerdir.

D0 dozuna göre D1, D2 ve D3 dozlarında kararlı infiltrasyon hızları 2021 yılında sırasıyla 2,3 kat, 4,1 kat ve 7,7 kat, 2022 yılında da 1,9 kat, 3,9 kat ve 6,4 kat daha fazla bulunmuştur. Benzer şekilde S3 uygulamasına göre S1 ve S2 konularında 2021 yılında sırasıyla 1,3 kat ve 1,1 kat, 2022 yılında da 1,4 kat ve 1,2 kat daha yüksek değerler belirlenmiştir. Bu durumun artan arıtma çamuru dozu ile toprakta organik maddenin artmasının yanında sulamayla organik maddenin mineralizasyonuna bağlı olarak artan agregasyonun gelişmesiyle ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Yazdanpanah *et al.* (2016) toprakta organik madde artışından kaynaklı iyileşen agregat stabilitesinin yaklaşık doygun koşullardaki akış hızını temsil eden kararlı infiltrasyon hızını artırdığını ifade etmişlerdir. Yine Fan *et al.* (2019)' da arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak agregat yapısındaki gelişiminin doygun su geçirgenliğindeki artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Yine Sarı (2017)' da doygun su geçirgenliği ve agregat stabilitesi arasında pozitif korelasyonların olduğunu ifade etmiştir.

Tablo 43. Toplam İnfiltrasyon (mm) ve İnfiltrasyon Hızı (mm/h) Eşitlikleri

Yıl	Uygulama	Toplam İnfiltrasyon	İnfiltrasyon Hızı
2021	D0-S1	$D = 4.0891 X^{0.5801} R^2 = 0.9950$	$Y = 181.06 X^{-0.458} R^2 = 0.7731$
	D0-S2	$D = 8.6784 X^{0.3941} R^2 = 0.9735$	$Y = 250.25 X^{-0.602} R^2 = 0.7869$
	D0-S3	$D = 6.5561 X^{0.4380} R^2 = 0.9713$	$Y = 200.66 X^{-0.553} R^2 = 0.7544$
	D1-S1	$D = 4.0831 X^{0.6801} R^2 = 0.9960$	$Y = 175.94 X^{-0.316} R^2 = 0.7650$
	D1-S2	$D = 3.6356 X^{0.6854} R^2 = 0.9751$	$Y = 157.27 X^{-0.304} R^2 = 0.5588$
	D1-S3	$D = 3.8757 X^{0.6742} R^2 = 0.9722$	$Y = 173.26 X^{-0.334} R^2 = 0.5840$
	D2-S1	$D = 9.8125 X^{0.6320} R^2 = 0.9895$	$Y = 379.41 X^{-0.333} R^2 = 0.7320$
	D2-S2	$D = 10.080 X^{0.6108} R^2 = 0.9851$	$Y = 330.58 X^{-0.318} R^2 = 0.5807$
	D2-S3	$D = 12.720 X^{0.5236} R^2 = 0.9877$	$Y = 445.96 X^{-0.464} R^2 = 0.8113$
	D3-S1	$D = 10.667 X^{0.7136} R^2 = 0.9778$	$Y = 582.10 X^{-0.309} R^2 = 0.3848$
	D3-S2	$D = 11.348 X^{0.701} R^2 = 0.9674$	$Y = 393.77 X^{-0.4281} R^2 = 0.4281$
	D3-S3	$D = 11.215 X^{0.6582} R^2 = 0.9663$	$Y = 358.47 X^{-0.236} R^2 = 0.4173$
2022	D0-S1	$D = 5.3039 X^{0.5462} R^2 = 0.9945$	$Y = 231.18 X^{-0.499} R^2 = 0.8865$
	D0-S2	$D = 7.9063 X^{0.4414} R^2 = 0.9859$	$Y = 293.99 X^{-0.622} R^2 = 0.8670$
	D0-S3	$D = 5.8453 X^{0.4609} R^2 = 0.9852$	$Y = 200.94 X^{-0.552} R^2 = 0.8261$
	D1-S1	$D = 4.6592 X^{0.6579} R^2 = 0.9946$	$Y = 204.93 X^{-0.341} R^2 = 0.7912$
	D1-S2	$D = 4.9691 X^{0.6363} R^2 = 0.9781$	$Y = 226.39 X^{-0.390} R^2 = 0.6756$
	D1-S3	$D = 7,3197 X^{0.4932} R^2 = 0.9721$	$Y = 271.26 X^{-0.524} R^2 = 0.7508$
	D2-S1	$D = 11.584 X^{0.5993} R^2 = 0.9887$	$Y = 434.58 X^{-0.367} R^2 = 0.7954$
	D2-S2	$D = 9.1919 X^{0.6257} R^2 = 0.9881$	$Y = 333.13 X^{-0.327} R^2 = 0.6779$
	D2-S3	$D = 9.9321 X^{0.5756} R^2 = 0.9902$	$Y = 392.61 X^{-0.421} R^2 = 0.7597$
	D3-S1	$D = 11.394 X^{0.6454} R^2 = 0.9591$	$Y = 370.63 X^{-0.238} R^2 = 0.3855$
	D3-S2	$D = 11.573 X^{0.6397} R^2 = 0.9379$	$Y = 342.82 X^{-0.247} R^2 = 0.2636$
	D3-S3	$D = 13.230 X^{0.6043} R^2 = 0.9687$	$Y = 408.86 X^{-0.302} R^2 = 0.5352$



Şekil 75. Farklı dozlarda ve sulama uygulamalarında kararlı infiltrasyon hızının değişimi

Bitki Özellikleri

Silajlık mısırdaki morfolojik (bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot verimi, kuru madde verimi), kalite (asit deterjan lif (ADF), nötr deterjan lif (NDF), ham protein, fosfor, makro-mikro elementler ve ağır metal analizleri) ve fizyolojik (klorofil içeriği (SPAD), yaprak stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği, yaprak alan indeksi ve membran zararlanma) özellikler değerlendirilmiştir.

Morfolojik özellikler

Farklı sulama uygulamaları ve farklı arıtma çamuru dozlarında 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 arıtma çamuru dozları ve sulama uygulamaları önemli ($p<0,01$) etkisi olduğu belirlenmiştir (Ek 34-37).

Bitki boyu

Arıtma çamuru dozunda artış bitki boyunu önemli ölçüde artırmıştır. İki yıllık ortalamalara göre D0 ile kıyaslandığında D1, D2 ve D3 uygulamalarında artış sırasıyla % 4,1, % 4,6 ve % 16,8 olarak belirlenmiştir. Toprağın kuru kalma süreci uzadıkça bitki boyunda azalmalar gözlenmiştir. Sulama uygulamalarından S1 de artış oranı S2' ye göre % 2,1, S3' e göre % 4,6 olarak bulunmuştur. İnteraksiyona bakıldığında da en yüksek bitki boyu D3S1 uygulamasında gözlenmiştir (Tablo 44).

Arıtma çamuru artışıyla bitki boyundaki artışın temel nedeni, arıtma çamurunda bulunan besin elementlerinin özellikle azot içeriğinin yüksek olmasıdır (Tablo 7 ve Tablo 20). Arıtma çamuru uygulamasıyla toprakta özellikle organik madde yanında, azot ,fosfor gibi bitki besin elementlerindeki artış silajlık mısırın bitki boyunun artmasını sağlamıştır (Özgür *et al.* 2023; Koutroubas *et al.* 2023). Arıtma çamuru, organik madde ile azot, fosfor, potasyum gibi bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddelerini fazlaca içerir. Gezer (2012) tarafından yapılan bir araştırmada da, silajlık mısırdaki arıtma çamuru dozu arttıkça bitki boyunun arttığı tespit edilmiştir.

Toprakta kuru kalma süreci uzadıkça su stres seviyesinin artmasının, S3 konusunda bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyerek bitki boyunda azalmalara sebep olduğu değerlendirilmiştir. Su stresinin artmasıyla silajlık mısır bitkisinde bitki boyunda azalma diğer çalışmalarda da tespit edilmiştir (Çakmakçı, 2018; Akşit, 2020; Keten, 2020; Bhattarai *et al.* 2020; Karakuş, 2021; Demir vd., 2021; Yerli 2022; Balbaa *et al.* 2022; Ata, 2023; Schmitt *et al.* 2024).

Tablo 44. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Bitki Boyları (cm)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	210,1±0,49d	220,9±1,91c	222,8±1,79c	241,5±1,27a*	223,8±3,46A*
	S2	209,3±0,62d	216,5±2,68c	221,6±0,72c	229,7±3,76b	219,3±2,46B
	S3	204,9±2,62d	209,8±0,74d	219,6±2,47c	223,2±2,86c	214,4±2,43C
	Ort.	208,1±1,13D	215,7±1,88C	221,3±1,02B	231,5±3,02A*	
2022	S1	220,4±0,50fg	229,8±0,79d	240,5±0,50c	269,6±0,84a*	240,1±5,58A*
	S2	217,4±0,92g	225,1±0,85e	231,6±1,59d	266,7±0,78a	235,2±5,71B
	S3	210,4±0,35h	222,3±96ef	228,6±0,95d	255,7±2,43b	229,2±5,04C
	Ort.	216,1±1,52D	225,7±1,18C	233,5±1,87B	264,0±2,26A*	
2021-2022	S1	215,3±0,50h	225,3±1,27e	231,7±1,14d	255,6±0,97a*	232,0±4,49A*
	S2	213,3±0,38h	220,8±1,07f	226,6±0,81e	248,2±2,20b	227,2±3,96B
	S3	207,7±1,28ı	216,1±0,18h	224,1±0,79e	239,5±1,05c	221,8±,56C
	Ort.	212,1±1,21D	220,7±1,43C	227,4±1,20B	247,7±2,45A*	

*, p<0.05

Gövde çapı

Gövde çapı arıtma çamuru dozunun artması ve sulama aralığının azalmasıyla artmıştır (Tablo 37). İki yıllık ortalamalara göre bitki gövde çapında, D3 uygulamasında D0' a göre % 11,2 artış sağlanmış, S3 sulama uygulamasında ise S1' göre % 8,1 azalma gözlemlenmiştir (Tablo 45).

Artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte artan bitki gövde çapının, arıtma çamurunda bulunan besin elementlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Koutroubas *et al.* (2023) ve Özgür *et al.* (2023) tarafından yapılan çalışmalarda toprakta arıtma çamuru uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla bitki gövde çapını arttırdığı, bu artışların arıtma çamurunda bulunan yüksek besin maddesi içeriğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bitki boyunda olduğu gibi S3 uygulamasında sulamalar toprakta stresin daha fazla olmasının gövde çapında zayıflamalarına neden olduğu değerlendirilmiştir. Su stresinin artmasıyla bitki gövde çapında azalmalar önce yapılan birçok çalışmada da belirlenmiştir (Çakmakçı, 2018; Akşit, 2020; Ketten, 2020; Karakuş, 2021; Yerli, 2022; Ata, 2023).

Tablo 45. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Gövde Çapları (mm)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	21,7±0,24	22,2±0,79	24,0±0,18	24,7±0,23	23,2±0,41A*
	S2	20,4±0,43	22,1±0,20	22,7±0,68	23,5±0,23	22,2±0,39B
	S3	20,4±0,19	21,1±0,34	21,2±0,30	22,0±0,23	21,2±0,21C
	Ort.	20,8±0,27D	21,8±0,31C	22,6±0,44B	23,4±0,44A*	
2022	S1	22,5±0,45bcd	22,8±0,18bc	24,6±0,36a	25,1±0,18a*	23,8±0,36 A*
	S2	21,6±0,27de	22,5±0,42bcd	23,4±0,20b	24,6±0,26a	23,0±0,35 B
	S3	21,3±0,22e	21,9±0,15cde	22,0±0,19cde	22,7±0,43bc	22,0±0,18 C
	Ort.	21,8±0,24D	22,4±0,15C	23,3±0,39B	24,1±0,40A*	
2021-2022	S1	22,2±0,19def	22,6±0,37cd	24,3±0,12ab	24,9±0,10a*	23,5±0,36A*
	S2	21,1±0,29fh	22,3±0,31de	23,0±0,19c	24,1±0,24b	22,6±0,35B
	S3	20,9±0,07h	21,5±0,23efh	21,7±0,18efd	22,4±0,15cd	21,6±0,18C
	Ort.	21,4±0,23D	22,1±0,22C	23,0±0,39B	23,8±0,38A*	

*: p<0.05

Silajlık ot verimi

Arıtma çamuru doz artışının silajlık ot verimini önemli seviyede artırdığı belirlenmiştir. İki yıllık ortalamalara göre D3 uygulamasında silajlık ot verimi D2' den % 17,9, D1' den % 26,5 ve D0' ten % 42,1 daha fazla bulunmuştur. S1 uygulamasında da S2' e göre % 13,0 ve S3' e göre % 28,3 daha fazla silajlık ot verimi elde edilmiştir (Tablo 46). Da Silva *et al.* (2022)' da arıtma çamuru uygulanan toprakta mısır bitkisinin veriminde önemli artışlar olduğunu belirlemişlerdir. Černý *et al.* (2012) arıtma çamuru uygulamasının mısır silajı verimini kontrole kıyasla % 19 arasında % 25 artırdığını bulmuştur. Yerli, (2022) silajlık mısır bitkisinde yaptıkları bir çalışmada toprakta makro-mikro besin içeriklerinin artmasıyla silajlık ot veriminin de buna bağlı olarak arttığını belirtmiştir. Yine daha önce yapılan birçok çalışmada da toprakta özellikle N,P,K, ve diğer besin içeriklerinin artmasıyla bitki veriminde önemli artışların olduğu belirlenmiştir (Mousavi and Shahsavari 2014; Becerra-Castro *et al.* 2015; Tunc and Sahin 2016; Demir Doğan and Sahin 2017; Çakmakçı 2018; Cakmakci and Sahin 2021b).

Arıtma çamuru dozları ve sulama uygulamalarındaki değişimlerin bitki boyları ve gövde çapları üzerindeki etkisine paralel olarak verimde de benzer değişim gözlemlenmiştir. Bitki boyu ile silajlık ot verimi ve biki gövde çapı ile silajlık ot verimi arasında önemli doğrusal ilişki belirlenmiştir (Ek 108). Toprakta N artışına bağlı olarak verimde önemli artış sağlanmıştır (Saraçoğlu, 2023; Norouzi *et al.* 2024). Gezer (2012) ikinci ürün silajlık mısır üretiminde arıtma çamuru dozunun artmasıyla silajlık ot veriminde artış olduğunu belirlemiştir. Çakmakçı (2018)'

da su kısıtının artmasıyla silajlık ot veriminde düşüş olduğunu tespit etmiştir. Yine su stresinin verim azalışına etkisini ortaya koyan birçok çalışma yürütülmüştür (Tabatabaei *et al.* 2017; Zare *et al.* 2018; Akşit, 2020; Ketten, 2020; Gönülal ve Soylu, 2020; Yerli, 2022; Kamali *et al.* 2022; Balbaa *et al.* 2022; Araujo *et al.* 2023).

Bitki fizyolojik özellikleri (SPAD, stoma iletkenliği, yaprak alan indeksi ve yaprak oransal su içeriği) silajlık ot verimi ile pozitif, membran zararlanmayla negatif önemli bir korelasyon göstermesi de artan doz ve sık sulama koşullarında fizyolojik göstergelerinde iyileşmesiyle verimin desteklediğini ortaya koymuştur (Ek 108). Mısırdaki, arıtma çamuru uygulamasının, fotosentetik aktivite ve stoma iletkenliği gibi belirli fizyolojik ürün özelliklerini iyileştirdiği (Moreira *et al.* 2020), bunun da mısır verimi ve N alımının artmasına neden olduğu Motta and Maggiore 2013, tarafından da belirtilmiştir.

Tablo 46. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Mısırdaki Silajlık Ot Verimleri (kg/da)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	9460,6±471,3	10751,3±229,3	11393,2±375,5	12414,3±167,5	11004,9±352,7A*
	S2	7680,4±309,0	9821,2±142,0	10009,5±344,7	11455,6±138,5	9741,7±420,3B
	S3	6760,8±243,3	7935,0±146,3	8562,4±337,2	9897,7±365,9	8289,2±362,4C
	Ort.	7967,3±434,0D	9502,8±423,4C	9988,4±445,1B	11255,8±386,7A*	
2022	S1	9521,5±183,52 d	11033,3±113,82 c	11577,3±85,11b	13686,8±222,06a*	11454,7±455,23A*
	S2	8139,2±105,75 ef	9992,3±173,93 d	10801,3±132,80c	11647,1±182,80b	10144,9±396,54B
	S3	7657,1±147,96 f	8488,9±333,00 e	9900,0±96,34d	10846,0±88,58c	9223,0±380,88C
	Ort.	8439,3±289,14D	9838,2±386,27C	10759,5±248,12B	12060,0±431,65A*	
2021-2022	S1	9491,1±259,21	10892,3±170,72	11485,2±197,92	13050,5±147,04	11229,8±394,04A*
	S2	7909,8±191,80	9906,7±145,89	10405,4±160,33	11551,3±67,72	9943,3±402,05B
	S3	7209,0±193,14	8212,4±146,57	9231,2±156,30	10371,9±226,33	8756,1±362,89C
	Ort.	8203,3±354,48D	9670,5±398,87C	10374,0±336,68B	11657,9±395,79A*	

*: p<0.05

Kuru madde verimi

İki yıllık deneme sonucunda, kuru madde verimindeki değişimler incelendiğinde, en yüksek kuru madde veriminin D3 ve S1 uygulamalarında olduğu belirlenmiştir (Tablo 47). Kuru madde verimindeki değerinin silajlık ot verimi değişimine paralel olduğu görülmüş, aralarındaki yüksek korelasyonlarla da teyit edilmiştir (Ek 108). Koutroubas *et al.* (2023) ve Özgür *et al.* (2023) tarafında yapılan çalışmada toprağa uygulanan arıtma çamuru dozunun artmasıyla kuru madde veriminde artış olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan birçok çalışmada toprakta su stres seviyesinin artmasıyla da kuru madde veriminin azaldığı ve ayrıca

kuru madde verimindeki değişimin silajlık ot verimiyle doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir (Ucak *et al.* 2016; Kale *et al.* 2018; Çakmakçı, 2018; Yerlikaya ve Torun 2018; Demir vd., 2021; Yerli, 2022).

Toprakta su stres seviyesinin artması mısır bitkisinde metabolik aktivitenin azalması ve yapraklardaki klorofil içeriğinin azalması nedeniyle fotosentetik seviyenin düşmesine neden olduğu, bunun da kuru madde verimini azaltabileceği belirtilmiştir (Gomaa *et al.* 2021). Ayrıca, su stresinin etkisiyle yaprak alan indeksinin azalmasına bağlı olarak kuru madde veriminin azaldığı bildirilmiştir (Bouazzama *et al.* 2012). Bu çalışmada da SPAD, yaprak alan indeksi ve stoma iletkenliği parametrelerinin, kuru madde verimiyle istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,01$ düzeyinde) pozitif korelasyonlar sağladığı görülmüştür (Ek 108).

Tablo 47. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Kuru Madde Verimleri (kg/da)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	2660,5±82,65	2902,2±44,02	3179,0±65,08	3581,1±112,89	3080,7±108,70A*
	S2	2225,4±20,25	2709,7±34,02	2830,0±156,52	3037,9±81,23	2700,8±97,90B
	S3	1965,9±60,29	2245,1±66,79	2422,7±131,29	2843,4±23,39	2369,3±101,97C
	Ort.	2284±105,70D	2619,0±100,69C	2810,6±128,58B	3154,1±117,64A*	
2022	S1	2710,0±10,02e	3079,6±17,35c	3234,2±7,64b	3935,6±36,65a*	3239,8±134,35A*
	S2	2388,0±22,49f	2854,9±33,30d	3045,0±29,99c	3309,1±23,90b	2899,3±102,10B
	S3	2210,3±42,14g	2402,8±48,70f	2840,3±7,51d	3001,7±15,28c	2613,8±97,46C
	Ort.	2436,1±74,46D	2779,1±101,08C	3039,8±57,61B	3415,5±138,05A*	
2021-2022	S1	2685,3±36,32ef	2990,9±21,58c	3206,6±29,29b	3758,3±70,80a*	3160,3±119,61A*
	S2	2306,7±2,40g	2782,3±33,65de	2937,6±91,23c	3173,5±52,02b	2800,0±98,44B
	S3	2088,1±48,24h	2323,9±27,49g	2631,5±67,21f	2922,5±18,77cd	2491,5±96,78C
	Ort.	2360,0±88,95D	2699,1±99,48C	2925,2± 89,67B	3284,8±126,49A*	

*: $p<0.05$

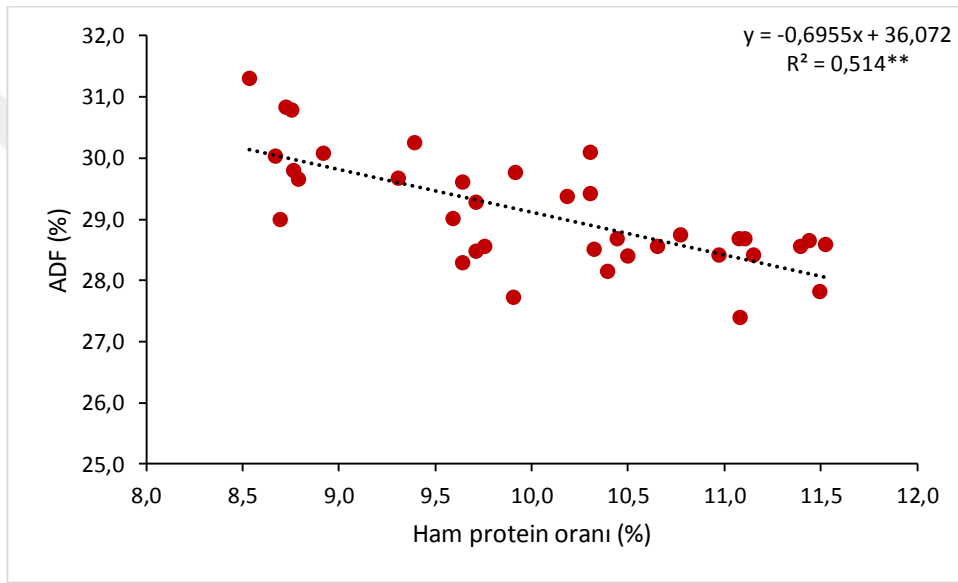
ADF (asit detarjan lif), NDF (nötr detarjan lif) ve ham protein oranı

En yüksek ADF ve NDF değerleri D0 arıtma çamuru dozu ve S3 sulama uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 48-49). Arıtma çamuru doz artışıyla ADF ve NDF içeriğinde düşüşler gözlemlenmiştir. D3 dozunun ADF değeri D0, D1 ve D2 uygulamalarında sırasıyla % 5,6, % 2,1 ve % 1,7, NDF değeri ise % 4,4, % 3,7 ve % 2,1 daha düşük bulunmuştur. S1 uygulamasında ADF değeri S2' den ve S3' ten yine sırasıyla % 0,69 ve % 2,4, NDF değeri S3' göre % 0,86 daha düşük bulunmuştur.

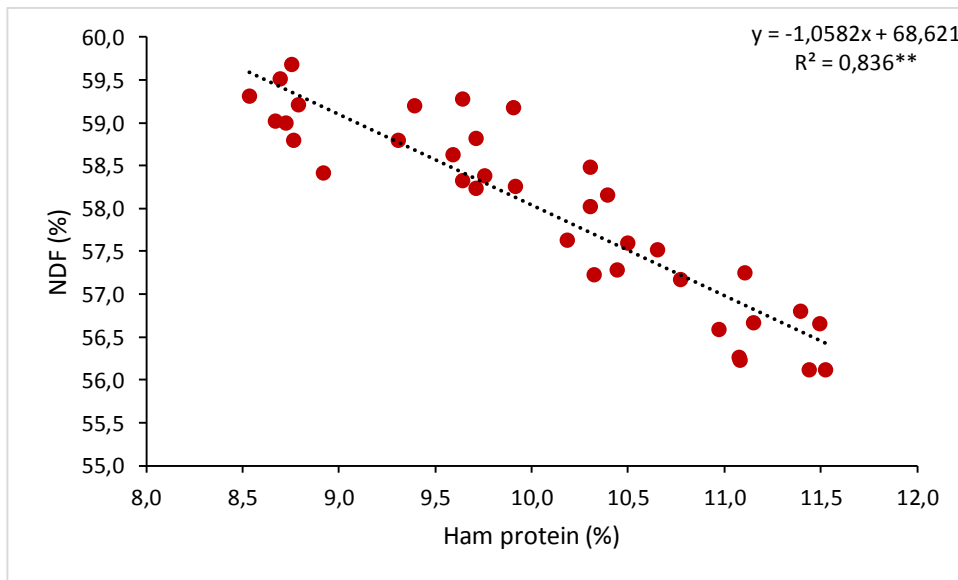
İki yıllık ortalamalara göre arıtma çamuru dozunun ve sulama uygulamaları ADF, NDF ve ham protein oranı üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 48-50 ve Ek 38-40). ADF, bitki materyalinin sindirilebilir olmayan lif içeriğini ölçmektedir. Hayvanların sindirim sistemleri

tarafından kullanılmayan ve enerjiye dönüştürülemeyen lifleri kapsamaktadır. ADF değeri ne kadar yüksekse, yemdeki sindirilebilir enerji miktarının düşük olduğu anlamına gelmektedir. NDF, bitki materyalinin toplam lif içeriğini ölçer. Bu, hayvanların yemleri sindirirken karşılaştıkları direnci belirleyen bir parametredir. Yüksek NDF değerleri, hayvanların yemi sindirirken daha fazla çaba sarf etmelerine ve dolayısıyla enerji verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır.

D3 dozunda ADF ve NDF 'nin düşük olmasının sebebi arıtma çamuru dozunun artmasına bağlı olarak protein oranının daha yüksek olmasıyla açıklanabilir (Tablo 42). Ham proteinin ADF ve NDF ile ikili ilişkileri de ham protein artışına bağlı olarak ADF ve NDF' nin önemli seviyede azaldığını göstermiştir (Şekil 76 ve 77).



Şekil 76. Ham protein oranı ile ADF arasındaki ilişki (n=36; p<0,01)



Şekil 77. Ham protein oranı ile NDF arasındaki ilişki (n=36; p<0,01)

Önceki birçok çalışmada da silajlık mısırdaki protein oranının artmasıyla ADF oranının azaldığı belirtilmiştir (Kaplan *et al.* 2016, Kale *et al.* 2018; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Azot, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için temel bir besindir. Yüksek azot içeriğine sahip bitkiler, daha uzun süre aktif kalabilir ve bu durum bitkinin olgunlaşmasını geciktirmektedir. Dolayısıyla, Safdarian *et al.* (2014)' de azotun etkisiyle bitkinin olgunlaşma sürecinin gecikmesinin ve ADF'nin azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 48. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide ADF (%) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	29,1±0,32	28,2±0,59	28,0±0,08	27,7±0,41	28,3±0,23B
	S2	29,6±0,37	28,3±0,41	28,3±0,35	27,8±0,26	28,5±0,25B
	S3	30,2±0,37	29,0±0,38	28,8±0,46	28,0±0,08	29,0±0,28A*
	Ort.	29,6±0,24A*	28,5±0,27B	28,4±0,21B	27,9±0,15B	
2022	S1	30,1±0,32	29,2±0,59	29,0±0,08	28,7±0,41	29,3±0,23B
	S2	30,6±0,37	29,3±0,41	29,3±0,35	28,8±0,26	29,5±0,25B
	S3	31,2±0,37	30,0±0,38	29,8±0,46	29,0±0,08	30,0±0,28A*
	Ort.	30,6±0,24A*	29,5±0,27B	29,4±0,21B	28,9±0,15B	
2021-2022	S1	29,6±0,32	28,7±0,59	28,5±0,08	28,2±0,41	28,8±0,23B
	S2	30,1±0,37	28,8±0,41	28,8±0,35	28,3±0,26	29,0±0,25B
	S3	30,7±0,37	29,5±0,38	29,3±0,46	28,5±0,08	29,5±0,28A*
	Ort.	30,1±0,24A*	29,0±0,27B	28,9±0,21B	28,4±0,15B	

*: p<0.05

Tablo 49. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide NDF (%) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	57,6±0,42	57,5±0,52	56,7±0,16	55,1±0,56	56,7±0,36
	S2	57,7±0,18	57,5±0,32	56,8±0,35	55,4±0,34	56,8±0,30
	S3	58,1±0,20	57,9±0,13	57,1±0,43	56,0±0,21	57,3±0,27
	Ort.	57,8±0,16A*	57,7±0,19A	56,9±0,18B	55,5±0,24C	
2022	S1	60,2±0,26	59,7±0,22	58,2±0,23	57,2±0,57	58,8±0,39
	S2	60,3±0,24	59,7±0,36	58,5±0,34	57,7±0,30	59,1±0,34
	S3	60,6±0,28	59,8±0,21	58,7±0,55	57,7±0,21	59,2±0,36
	Ort.	60,4±0,15A*	59,8±0,14B	58,5±0,21C	57,5±0,21D	
2021-2022	S1	58,9±0,32	58,6±0,29	57,5±0,09	56,2±0,04	57,8±0,34B
	S2	59,0±0,12	58,6±0,33	57,7±0,28	56,5±0,13	57,9±0,31AB
	S3	59,3±0,19	58,9±0,17	57,9±0,37	56,9±0,19	58,3±0,30A*
	Ort.	59,1±0,13A*	58,7±0,14A	57,7±0,15B	56,5±0,13C	

*: p<0.05

İki yıllık ortalamalara göre D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre sırasıyla ham protein oranını % 27,2, % 15,5 ve % 7,7 artırmıştır. S1 uygulamasında da S3 uygulamasına göre artış % 3,0 olmuştur. Arıtma çamuru dozu uygulamalarında ham protein oranının artmasının ana sebebi arıtma çamurun yüksek miktarda azot içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Tablo7). Kale *et al.* 2018 ve Yerli, (2022) toprakta azot miktarının artmasıyla silajlık mısırdaki ham protein oranında da bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla toprakta S3 uygulamasında sulamalar arasında artan stresin daha az N alınımıyla daha düşük ham protein oranına neden olduğu değerlendirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda su stresi arttıkça bitkinin yeterli besin alamadığından dolayı protein oranının azaldığını bildirilmiştir (Baran, 2015; Çakmakçı, 2018, Yerli, 2022).

Tablo 50. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ham Protein (%) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	8,9±0,18	9,9±0,08	10,9±0,04	11,8±0,01	10,4±0,33A*
	S2	8,8±0,03	9,8±0,09	10,8±0,06	11,7±0,04	10,3±0,33AB
	S3	8,7±0,05	9,7±0,04	10,8±0,16	11,6±0,03	10,2±0,33B
	Ort.	8,8±0,06D	9,8±0,05C	10,8±0,05B	11,7±0,03A*	
2022	S1	9,1±0,18	9,8±0,10	10,2±0,11	10,9±0,26	10,0±0,22A*
	S2	8,7±0,03	9,5±0,13	10,1±0,30	10,8±0,22	9,8±0,25AB
	S3	8,6±0,12	9,4±0,18	9,9±0,17	10,7±0,27	9,7±0,24 B
	Ort.	8,8±0,09D	9,6±0,09C	10,0±0,11B	10,8±0,13A*	
2021-2022	S1	9,0±0,18	9,9±0,05	10,5±0,06	11,3±0,14	10,2±0,27A*
	S2	8,8±0,02	9,7±0,02	10,5±0,17	11,2±0,13	10,0±0,28AB
	S3	8,7±0,06	9,6±0,09	10,3±0,01	11,2±0,12	9,9±0,28B
	Ort.	8,8±0,07D	9,7±0,05C	10,4±0,06B	11,2±0,07A*	

*: p<0.05

Bitkide makro-mikro element ve ağır metal içerikleri

Farklı arıtma çamuru dozu ve sulama uygulamalarında bitkilerdeki N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni içeriğindeki değişimler Tablo 51-65' te verilmiştir. Hg ise bitkide tespit edilemediğinde verilmemiştir. İki yıllık ortalamalara göre arıtma çamuru dozlarının makro-mikro element içeriklerine etkisi istatistiksel olarak önemli (Ni için p<0,05, diğerleri için p<0,01) olurken, sulama uygulamalarının N, P içeriklerine etkisi önemli (p<0,01) seviyede, Na ve K içeriklerine etkisi ise p<0,05 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Ek 41-55).

Aritma çamuru dozunun artmasıyla makro-mikro element ve ağır metal içerikleri artmıştır. Bitkide en yüksek dozda daha yüksek değerlerin belirlenmiş olmasının toprakta 0-30 cm' lik tabakada bu elementlerin daha fazla olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada bitki mikro element ve ağır metal içerik birikimi sırasıyla $Fe > Mn > B > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > Ni$ olarak belirlenmiştir. Yerli (2022)' de silajlık mısırdaki atık suyla sulama çalışmasında bitkide mikro element ve ağır metal birikimine $Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd$ sırasıyla tespit etmiştir.

Daha önce yapılan birçok çalışmada da toprakta mikro element ve ağır metal miktarının artmasına bağlı olarak bitkide mikro element ve ağır metal içeriklerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir (Simsek *et al.* 2011; Sahin *et al.* 2015; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Ayrıca, başta pH olmak üzere bazı toprak özelliklerinin de bitkinin mikro element ve ağır metal içeriklerini değiştirebileceğini bilinmektedir. Sungur *et al.* (2014) tarafından besin elementi alımının toprak pH' ı, $CaCO_3$, organik madde ve KDK gibi çeşitli toprak özellikleri ile sıkı bir ilişkisi olduğu belirtilmiştir. S1 konusunda sık sulamaların N, K, Na ve Fe değerlerinin daha fazla alınmasını teşvik ettiği, tersine P'nin alımını ise azalttığı belirlenmiştir. P toprakta genellikle düşük hareketliliğe sahip bir besin maddesidir. Topraktaki yüksek su içeriği, fosfor kil mineralleri ve kalsiyum ile daha güçlü bağlar oluşturmasını sağlayarak fosforun bitki kökleri tarafından erişilebilirliği azaltmaktadır.

K/Na oranı bitkiler için kritik öneme sahiptir. Bu oran yüksek olduğu durumlarda protein sentezi, N, C metabolizması ve fotosentez gibi birçok önemli enzim aktivatörünü olumlu yönde etkileyerek verim ve kalite artışının oluşumunda, stomaların açılıp kapanması ve diğer önemli fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Oosterhuis *et al.* 2014; Hu *et al.* 2016a; Xu *et al.* 2020). K eksikliği Ca^{+2} ve Na^{+1} emiliminin artırmaktadır (Du *et al.* 2017). Bu da bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek Ca/Na oranı, bitkilerin kalsiyumun işlevlerini etkili bir şekilde yerine getirmesini sağlayarak sodyumun toksik etkilerini minimize ederek bitkilerin daha iyi gelişmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada da K/Na ve Ca/Na oraları konulara göre önemli değişim olmadığını ortaya konulmuştur.

Tablo 51. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide N (%) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1.42±0,03d	1.58±0,01c	1.74±0,01b	1.88±0,00a	1.66±0,05A*
	S2	1.41±0,00d	1.57±0,01c	1.73±0,01b	1.86±0,01a	1.64±0,05AB
	S3	1.39±0,01d	1.55±0,01c	1.72±0,03b	1.85±0,00a*	1.63±0,05B
	Ort.	1.40±0,01D	1.57±0,01C	1.73±0,01B	1.87±0,00A*	
2022	S1	1,45±0,03	1,57±0,02	1,63±0,02	1,75±0,04	1,60±0,03
	S2	1,40±0,01	1,52±0,02	1,61±0,05	1,73±0,03	1,57±0,04
	S3	1,38±0,02	1,51±0,03	1,58±0,03	1,72±0,04	1,55±0,04
	Ort.	1,41±0,01D	1,53±0,01C	1,61±0,02B	1,73±0,02A*	
2021-2022	S1	1,44±0,03	1,58±0,01	1,68±0,01	1,82±0,02	1,63±0,04A*
	S2	1,40±0,00	1,55±0,00	1,67±0,03	1,80±0,02	1,60±0,04B
	S3	1,38±0,01	1,53±0,01	1,65±0,00	1,79±0,02	1,59±0,04B
	Ort.	1,41±0,01D	1,55±0,01C	1,67±0,01B	1,80±0,01A*	

*: p<0.05

Tablo 52. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide P (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,190±0,01	0,217±0,01	0,250±0,00	0,280±0,00	0,234±0,01C
	S2	0,200±0,00	0,237±0,00	0,260±0,00	0,283±0,00	0,245±0,01B
	S3	0,203±0,00	0,243±0,00	0,273±0,00	0,293±0,00	0,253±0,01A*
	Ort.	0,198±0,00D	0,232±0,00C	0,261±0,00B	0,286±0,00A*	
2022	S1	0,183±0,00	0,203±0,00	0,245±0,00	0,277±0,01	0,227±0,01B
	S2	0,189±0,01	0,216±0,01	0,272±0,01	0,281±0,01	0,240±0,01A
	S3	0,193±0,00	0,239±0,01	0,274±0,00	0,285±0,01	0,248±0,01A*
	Ort.	0,188±0,00D	0,219±0,01C	0,264±0,01B	0,281±0,00A*	
2021-2022	S1	0,187±0,00	0,210±0,01	0,247±0,00	0,278±0,00	0,231±0,01C
	S2	0,195±0,00	0,227±0,00	0,266±0,00	0,282±0,01	0,242±0,01B
	S3	0,198±0,00	0,241±0,01	0,274±0,00	0,289±0,01	0,250±0,01A*
	Ort.	0,193±0,00D	0,226±0,01C	0,262±0,00B	0,283±0,00A*	

*: p<0.05

Tablo 53. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide K (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,27±0,01	1,27±0,01	1,28±0,01	1,34±0,01	1,29±0,01A*
	S2	1,26±0,01	1,26±0,02	1,27±0,02	1,32±0,01	1,28±0,01AB
	S3	1,24±0,03	1,25±0,01	1,26±0,00	1,29±0,02	1,26±0,01B
	Ort.	1,26±0,01B	1,26±0,01B	1,27±0,01B	1,32±0,01A*	
2022	S1	1,25±0,03	1,26±0,02	1,27±0,02	1,32±0,01	1,27±0,01
	S2	1,24±0,02	1,26±0,03	1,27±0,01	1,31±0,03	1,27±0,01
	S3	1,22±0,01	1,26±0,02	1,26±0,02	1,29±0,01	1,25±0,01
	Ort.	1,24±0,01B	1,26±0,01B	1,27±0,01B	1,30±0,01A*	
2021-2022	S1	1,26±0,02	1,27±0,01	1,28±0,01	1,33±0,00	1,28±0,01A*
	S2	1,25±0,01	1,26±0,02	1,27±0,00	1,31±0,02	1,27±0,01AB
	S3	1,23±0,02	1,25±0,01	1,26±0,01	1,29±0,01	1,26±0,01B
	Ort.	1,25±0,01B	1,26±0,01B	1,27±0,01B	1,31±0,01A*	

*: p<0.05

Tablo 54. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ca (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,513±0,01	0,540±0,01	0,603±0,02	0,660±0,03	0,579±0,02
	S2	0,507±0,04	0,540±0,04	0,590±0,02	0,633±0,01	0,568±0,02
	S3	0,507±0,04	0,563±0,03	0,633±0,01	0,647±0,00	0,588±0,02
	Ort.	0,509±0,02C	0,548±0,01B	0,609±0,01A	0,647±0,01A*	
2022	S1	0,503±0,01	0,520±0,01	0,558±0,03	0,603±0,01	0,546±0,01
	S2	0,510±0,01	0,512±0,01	0,553±0,02	0,579±0,02	0,538±0,01
	S3	0,504±0,01	0,543±0,03	0,563±0,02	0,605±0,01	0,554±0,01
	Ort.	0,506±0,00D	0,525±0,01C	0,558±0,01B	0,595±0,01A*	
2021-2022	S1	0,508±0,00	0,530±0,01	0,581±0,02	0,631±0,01	0,563±0,02
	S2	0,508±0,02	0,526±0,02	0,572±0,00	0,606±0,01	0,553±0,01
	S3	0,506±0,02	0,553±0,02	0,598±0,02	0,626±0,00	0,571±0,02
	Ort.	0,507±0,01D	0,536±0,01C	0,583±0,01B	0,621±0,01A*	

*: p<0.05

Tablo 55. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Mg (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,45±0,01	1,49±0,05	1,51±0,02	1,58±0,03	1,51±0,02
	S2	1,44±0,03	1,48±0,03	1,51±0,02	1,55±0,03	1,50±0,02
	S3	1,42±0,01	1,47±0,01	1,49±0,01	1,54±0,01	1,49±0,01
	Ort.	1,44±0,01C	1,48±0,02BC	1,50±0,01B	1,56±0,01A*	
2022	S1	1,44±0,02	1,48±0,02	1,50±0,01	1,51±0,01	1,48±0,01
	S2	1,45±0,00	1,47±0,02	1,49±0,01	1,53±0,03	1,48±0,01
	S3	1,44±0,01	1,46±0,02	1,49±0,03	1,50±0,00	1,47±0,01
	Ort.	1,44±0,01C	1,47±0,01B	1,49±0,01AB	1,51±0,01A*	
2021-2022	S1	1,44±0,01	1,48±0,02	1,51±0,00	1,55±0,01	1,50±0,0
	S2	1,44±0,02	1,47±0,02	1,50±0,01	1,54±0,03	1,49±0,0
	S3	1,43±0,00	1,47±0,01	1,50±0,01	1,52±0,01	1,48±0,0
	Ort.	1,44±0,01D	1,47±0,01C	1,50±0,01B	1,54±0,01A*	

*: p<0.05

Tablo 56. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Na (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,20±0,05	1,24±0,01	1,34±0,03	1,42±0,03	1,30±0,03 A*
	S2	1,17±0,01	1,23±0,02	1,27±0,01	1,37±0,03	1,26±0,02 B
	S3	1,16±0,02	1,22±0,01	1,26±0,01	1,31±0,01	1,24±0,02 B
	Ort.	1,17±0,02D	1,23±0,01C	1,29±0,01B	1,37±0,02A*	
2022	S1	1,20±0,03	1,22±0,01	1,29±0,01	1,35±0,03	1,26±0,02
	S2	1,19±0,02	1,21±0,01	1,28±0,02	1,33±0,05	1,25±0,02
	S3	1,19±0,02	1,20±0,00	1,26±0,02	1,30±0,00	1,24±0,01
	Ort.	1,19±0,01C	1,21±0,01C	1,28±0,01B	1,32±0,02A*	
2021-2022	S1	1,20±0,04	1,23±0,01	1,32±0,02	1,39±0,03	1,28±0,02A*
	S2	1,18±0,02	1,22±0,01	1,28±0,01	1,35±0,04	1,26±0,02AB
	S3	1,17±0,02	1,21±0,00	1,26±0,01	1,31±0,00	1,24±0,02B
	Ort.	1,18±0,01D	1,22±0,00C	1,29±0,01B	1,35±0,02A*	

*: p<0.05

Tablo 57. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide B (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	11,1±0,14	12,5±0,58	13,7±0,46	15,1±0,73	13,1±0,49
	S2	10,9±0,26	12,4±0,88	13,5±0,80	14,9±0,58	12,9±0,52
	S3	10,7±0,84	12,3±0,86	13,1±0,83	14,5±0,36	12,7±0,52
	Ort.	10,9±0,26C	12,4±0,39B	13,4±0,37B	14,8±0,30A*	
2022	S1	10,7±0,41	11,7±0,38	12,5±0,31	13,3±0,33	12,1±0,33
	S2	10,6±0,56	11,2±0,26	12,3±0,80	13,1±0,85	11,8±0,41
	S3	10,1±0,27	11,1±0,53	12,2±0,78	13,1±0,49	11,6±0,41
	Ort.	10,5±0,23B	11,4±0,22B	12,3±0,34A	13,2±0,30A*	
2021-2022	S1	10,9±0,14	12,1±0,34	13,1±0,20	14,2±0,47	12,6±0,39
	S2	10,7±0,16	11,8±0,56	12,9±0,79	14,0±0,25	12,4±0,42
	S3	10,4±0,55	11,7±0,17	12,6±0,79	13,8±0,42	12,1±0,43
	Ort.	10,7±0,18D	11,9±0,20C	12,9±0,33B	14,0±0,20A*	

*: p<0.05

Tablo 58. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Fe (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	135,0±1,34d	151,7±1,19bc	154,5±1,37ab	158,4±1,91a	149,9±2,77A*
	S2	133,0±2,10d	149,7±1,89bc	152,5±1,61bc	154,4±1,55ab	147,4±2,68B
	S3	132,3±0,63d	148,0±2,94c	149,5±1,08bc	152,2±0,65bc	145,5±2,45 B
	Ort.	133,4±0,84C	149,8±1,19B	152,2±1,01B	155,0±1,17A*	
2022	S1	134,3±0,59	151,0±1,73	153,8±2,50	155,8±0,89	148,7±2,65A*
	S2	132,0±1,34	149,0±1,58	152,6±0,39	152,0±0,82	146,4±2,59B
	S3	131,0±1,39	147,8±2,94	148,9±0,74	150,9±0,29	144,6±2,50B
	Ort.	132,4±0,76C	149,3±1,19B	151,7±1,06AB	152,9±0,82A*	
2021-2022	S1	134,6±0,96	151,4±1,42	154,2±1,76	157,1±1,20	149,3±2,69A*
	S2	132,5±1,25	149,4±0,33	152,6±0,98	153,2±0,51	146,9±2,58B
	S3	131,6±0,40	147,9±2,52	149,2±0,33	151,6±0,19	145,1±2,43C
	Ort.	132,9±0,65D	149,5±0,98C	152,0±0,94B	154,0±0,90A*	

*: p<0.05

Tablo 59. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cu (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	2,62±0,03	3,30±0,16	4,13±0,29	4,70±0,40	3,69±0,26
	S2	2,58±0,17	3,28±0,23	4,11±0,28	4,51±0,16	3,62±0,24
	S3	2,56±0,04	3,51±0,60	4,10±0,50	4,41±0,13	3,65±0,27
	Ort.	2,59±0,05C	3,37±0,0B	4,12±0,19A	4,54±0,14A*	
2022	S1	2,56±0,05	3,23±0,14	3,73±0,28	4,00±0,07	3,38±0,18
	S2	2,52±0,05	3,20±0,16	3,70±0,10	3,96±0,23	3,34±0,18
	S3	2,51±0,05	3,18±0,07	3,68±0,05	3,95±0,29	3,33±0,18
	Ort.	2,53±0,03C	3,20±0,07B	3,71±0,09A	3,97±0,11A*	
2021-2022	S1	2,59±0,04	3,27±0,09	3,94±0,27	4,35±0,22	3,54±0,22
	S2	2,55±0,11	3,24±0,14	3,91±0,18	4,24±0,19	3,48±0,21
	S3	2,54±0,04	3,35±0,33	3,89±0,28	4,18±0,21	3,49±0,21
	Ort.	2,56±0,04D	3,29±0,11C	3,91±0,12B	4,25±0,1A*	

*: p<0.05

Tablo 60. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Mn (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	36,8±1,32	43,0±0,71	46,9±0,87	53,7±0,52	45,1±1,89A*
	S2	35,5±1,75	43,5±0,68	45,3±0,54	52,7±1,30	44,2±1,91AB
	S3	32,4±0,73	42,5±1,62	46,3±0,66	49,9±0,48	42,8±2,01B
	Ort.	34,9±0,93D	43,0±0,57C	46,2±0,42B	52,1±0,71A*	
2022	S1	35,62±0,62	38,78±0,47	41,95±1,47	47,50±0,68	40,96±1,38
	S2	34,90±0,57	37,76±0,94	41,65±0,57	47,41±0,89	40,43±1,45
	S3	34,51±0,53	37,01±0,37	40,84±0,20	47,27±0,66	39,91±1,46
	Ort.	35,01±0,33D	37,85±0,41C	41,48±0,49B	47,39±0,38A*	
2021-2022	S1	36,22±0,43	40,90±0,30	44,45±1,17	50,61±0,59	43,04±1,61A*
	S2	35,20±1,07	40,63±0,49	43,49±0,22	50,04±0,86	42,34±1,64AB
	S3	33,48±0,32	39,77±1,00	43,56±0,28	48,61±0,47	41,35±1,68B
	Ort.	34,96±0,53D	40,43±0,37C	43,83±0,39B	49,75±0,45A*	

*: p<0.05

Tablo 61. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Zn (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	10,16±0,24	10,46±0,25	11,11±0,35	12,08±0,18	10,95±0,25
	S2	10,05±0,26	10,33±0,13	11,22±0,08	12,52±0,10	11,03±0,30
	S3	10,19±0,18	10,56±0,17	10,97±0,19	12,39±0,23	11,03±0,26
	Ort.	10,13±0,12C	10,45±0,10C	11,10±0,12B	12,33±0,11A*	
2022	S1	10,05±0,31	10,25±0,29	10,95±0,14	11,64±0,34	10,72±0,22
	S2	10,08±0,20	10,20±0,06	10,82±0,22	11,66±0,25	10,69±0,21
	S3	9,99±0,19	10,22±0,19	10,80±0,19	11,65±0,46	10,67±0,23
	Ort.	10,04±0,12C	10,23±0,10C	10,86±0,10B	11,65±0,18A*	
2021-2022	S1	10,10±0,14	10,36±0,18	11,03±0,12	11,86±0,09	10,84±0,21
	S2	10,06±0,21	10,27±0,09	11,02±0,14	12,09±0,16	10,86±0,25
	S3	10,09±0,10	10,39±0,18	10,88±0,15	12,02±0,21	10,85±0,23
	Ort.	10,09±0,08C	10,34±0,08C	10,98±0,07B	11,99±0,09A*	

*: p<0.05

Tablo 62. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Pb (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,145±0,01	0,156±0,01	0,170±0,01	0,175±0,01	0,161±0,01
	S2	0,143±0,01	0,154±0,01	0,169±0,01	0,173±0,01	0,160±0,01
	S3	0,143±0,01	0,154±0,01	0,171±0,01	0,174±0,01	0,160±0,01
	Ort.	0,144±0,01D	0,155±0,01C	0,170±0,01B	0,174±0,01A*	
2022	S1	0,141±0,00	0,154±0,00	0,165±0,00	0,172±0,00	0,158±0,00
	S2	0,142±0,00	0,155±0,00	0,165±0,00	0,172±0,00	0,158±0,00
	S3	0,141±0,00	0,154±0,00	0,166±0,00	0,171±0,00	0,158±0,00
	Ort.	0,141±0,00D	0,154±0,00C	0,165±0,00B	0,172±0,00A*	
2021-2022	S1	0,142±0,00	0,155±0,00	0,168±0,00	0,175±0,00	0,160±0,00
	S2	0,143±0,00	0,156±0,00	0,168±0,00	0,173±0,00	0,160±0,00
	S3	0,141±0,00	0,154±0,00	0,170±0,00	0,174±0,00	0,159±0,00
	Ort.	0,142±0,00D	0,155±0,00C	0,168±0,00B	0,174±0,00A*	

*: p<0.05

Tablo 63. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cd (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,066±0,01	0,068±0,01	0,071±0,01	0,076±0,01	0,071±0,01
	S2	0,067±0,01	0,066±0,01	0,068±0,01	0,075±0,01	0,071±0,01
	S3	0,066±0,01	0,064±0,01	0,065±0,01	0,073±0,01	0,068±0,01
	Ort.	0,067±0,01B	0,069±0,01B	0,069±0,01B	0,074±0,01A*	
2022	S1	0,066±0,00	0,067±0,00	0,068±0,00	0,071±0,00	0,068±0,00
	S2	0,065±0,00	0,066±0,00	0,068±0,00	0,070±0,00	0,067±0,00
	S3	0,065±0,00	0,067±0,00	0,067±0,00	0,070±0,00	0,067±0,00
	Ort.	0,065±0,00B	0,067±0,00B	0,068±0,00AB	0,070±0,00A*	
2021-2022	S1	0,066±0,00	0,069±0,00	0,069±0,00	0,074±0,00	0,069±0,00
	S2	0,068±0,00	0,066±0,00	0,069±0,00	0,073±0,00	0,069±0,00
	S3	0,068±0,00	0,065±0,00	0,067±0,00	0,070±0,00	0,067±0,00
	Ort.	0,067±0,00B	0,067±0,00B	0,068±0,00B	0,072±0,00A**	

*: p<0.05

Tablo 64. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Cr (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,173±0,01	0,180±0,00	0,193±0,01	0,217±0,01	0,191±0,01
	S2	0,187±0,01	0,180±0,00	0,203±0,00	0,210±0,01	0,195±0,00
	S3	0,173±0,00	0,187±0,01	0,193±0,00	0,200±0,00	0,188±0,00
	Ort.	0,178±0,00C	0,182±0,00C	0,197±0,00B	0,209±0,00A*	
2022	S1	0,171±0,01	0,177±0,00	0,175±0,00	0,180±0,00	0,176±0,00
	S2	0,173±0,00	0,176±0,00	0,177±0,00	0,183±0,00	0,177±0,00
	S3	0,173±0,00	0,177±0,00	0,176±0,00	0,183±0,00	0,177±0,00
	Ort.	0,172±0,00B	0,177±0,00B	0,176±0,00AB	0,182±0,00A*	
2021-2022	S1	0,172±0,00	0,178±0,00	0,184±0,01	0,199±0,01	0,183±0,00
	S2	0,180±0,00	0,178±0,00	0,190±0,00	0,197±0,00	0,186±0,00
	S3	0,173±0,00	0,182±0,00	0,185±0,00	0,191±0,00	0,183±0,00
	Ort.	0,175±0,00C	0,179±0,00C	0,186±0,00B	0,196±0,00A*	

*: p<0.05

Tablo 65. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Bitkide Ni (mg/kg) İçerikleri

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,035±0,01	0,038±0,01	0,038±0,01	0,041±0,01	0,038±0,01
	S2	0,034±0,01	0,036±0,01	0,037±0,01	0,040±0,01	0,037±0,01
	S3	0,034±0,01	0,035±0,01	0,037±0,01	0,039±0,01	0,036±0,01
	Ort.	0,034±0,01C	0,036±0,01B	0,038±0,01B	0,040±0,01A*	
2022	S1	0,038±0,00	0,038±0,00	0,039±0,00	0,041±0,00	0,039±0,00
	S2	0,037±0,00	0,038±0,00	0,039±0,00	0,042±0,00	0,039±0,00
	S3	0,037±0,00	0,037±0,00	0,040±0,00	0,040±0,00	0,038±0,00
	Ort.	0,037±0,00	0,038±0,00	0,039±0,00	0,041±0,00	
2021-2022	S1	0,037±0,00	0,039±0,00	0,038±0,00	0,041±0,00	0,039±0,00
	S2	0,037±0,00	0,039±0,00	0,040±0,00	0,041±0,00	0,039±0,00
	S3	0,035±0,00	0,039±0,00	0,040±0,00	0,040±0,00	0,038±0,00
	Ort.	0,036±0,00B	0,039±0,00AB	0,039±0,00A	0,041±0,00A*	

*: p<0.05

Bitki fizyolojik ölçümleri

İki yıllık ortalamalar dikkate alındığında farklı arıtma çamuru dozları ve sulama uygulamalarının klorofil içeriği (SPAD), stoma iletkenliği, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma üzerine önemli etkisi olduğu belirlenmiştir (Ek 108). En yüksek değerler en yüksek dozda belirlenmiş, sulamalarının daha sık yapılmasının da pozitif etkiler sağladığı görülmüştür.

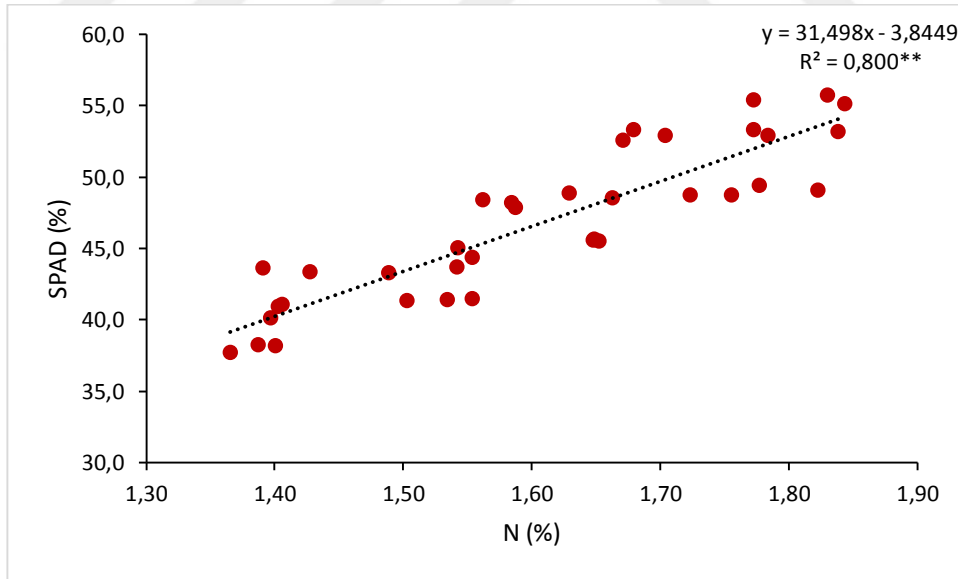
Klorofil içeriği (SPAD)

D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre klorofil içeriğini (SPAD) sırasıyla % 29,2, % 16,8 ve % 7,1 artırmıştır. S1 uygulamasında S2 ve S3 uygulamalarına göre sırasıyla % 6,8 ve % 14,7 artış sağlanmıştır (Tablo 66). Klorofil, fotosentez için başlıca kloroplast bileşenlerinden biridir ve göreceli klorofil içeriği, fotosentez oranı ile pozitif bir ilişkiye sahiptir. Yapraklardaki klorofil miktarını belirlemede yaygın olarak kullanılan klorofil metre (SPAD) ölçüm değerlerinin doğruluğunun yüksek olduğu bilinmektedir.

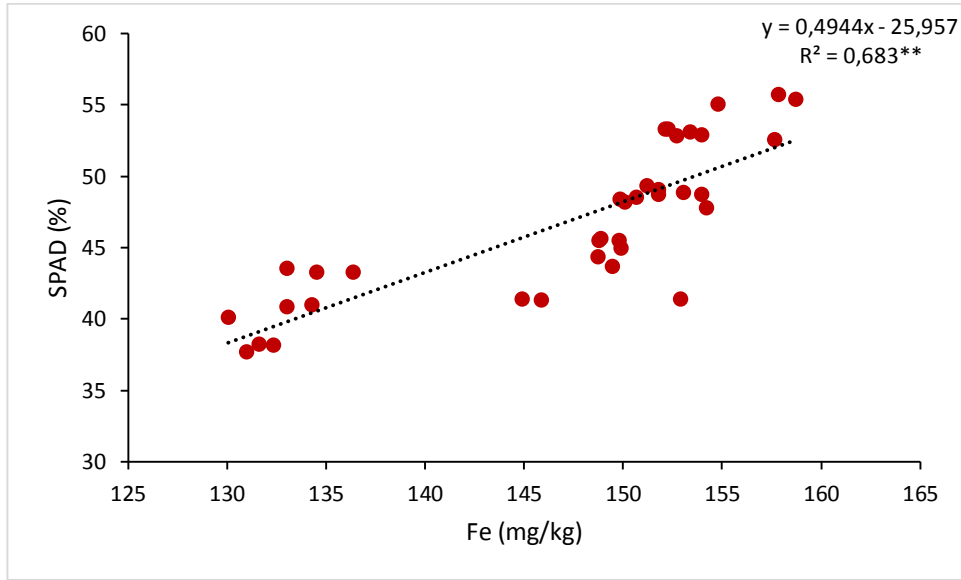
Azot (N), bitkiler için hayati bir besin elementidir ve özellikle klorofilin temel bir bileşeni olan amino asitlerin yapısında bulunmaktadır. Topraktaki yetersiz N içeriği, yaprak klorofil içeriğinde ve fotosentez ve biyokütle üretiminde azalmaya yol açarken (Yang *et al.* 2014), N zenginleştirici materyalin eklenmesi bitkilere yeterli bir N kaynağı sağlayabilir. Arıtma çamuru, yüksek N içeriği nedeniyle topraktaki azotu zenginleştirerek bitkilere geçişi artırmaktadır (Gezer, 2012). Bu nedenle silajlık mısır yapraklarındaki yüksek SPAD

değerlerinin arıtma çamurunun yüksek toplam N içeriğinden kaynaklandığı söylenebilir. Benzer şekilde Lakhdar *et al.* (2010) ve Abdallh and Sahin (2020), arıtma çamurunun özellikle yüksek dozlu uygulamalarda yüksek N içeriğinden dolayı toprakta N içeriğini önemli miktarda arttırabildiğini belirtmişlerdir. Arıtma çamurunun toprağa uygulanması, yapraklarda N birikmesine neden olur ve bu nedenle mısır yaprağının yeşilliğini yani fotosentetik aktivitesini arttırmaktadır (Szymańska *et al.* 2016). Bu nedenle azot kazanımının kuraklık stresi altındaki bitkilerin gelişimi ve verimliliği için önemi fazladır. Azotun bitkide karbon ayrışmasına etkisi yanında çözünebilir şekerlerin ve yaprak gelişimini hızlandıran nişastanın birikimini artırdığı belirtilmektedir (Küçük Kaya, S, 2021). Bu çalışmada da bitkideki N içeriğinin artışının klorofil içeriğini (SPAD) artırdığını belirlenmiştir (Şekil 79).

Kloroplast oluşumu ve protein geliştirme aşamasında önemli bir besin elementi olan demir (Fe) de, bitkiler için hayati önem taşımaktadır (Yerli vd., 2020). Klorofil yapısında yer almasa da Fe ile bitkinin klorofil arasında yakın bir ilişki bulunmuştur (Erdal *et al.* 2013). Bu çalışmada da SPAD değerleri ile Fe arasında önemli ($p<0,01$) pozitif ilişki bulunmuştur (Şekil 80). Benzer şekilde, Çakmakcı (2018) silajlık mısırdaki Fe artışıyla SPAD değerlerinin doğrusal olarak arttığını belirlemiştir. Yine Janos (2010) ve Yerli (2022)' de mısırdaki N ve SPAD değerleri arasında yüksek pozitif doğrusal korelasyon olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 78. N içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki (n=36; $^{**}p<0,01$)



Şekil 79. Fe içeriğiyle SPAD değeri arasındaki ilişki (n=36; $^{**}p<0,01$)

Bitkiler su stresi yaşadığında dokularındaki su dengesi bozulmaktadır. Stres durumunda turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesi olumsuz etkilendiğinden hücreler küçük kalarak hücre büyümesindeki azalma aynı zamanda duvar sentezini de etkileyerek, protein ve klorofili olumsuz yönde etkilemektedir. Sulama uygulamaların klorofil içeriğine (SPAD) etkisi dikkate alındığında; SPAD değeri en düşük S3 uygulamasında belirlenmiştir. Çakmakcı (2018) silajlık mısır üzerinde yaptığı çalışmada su stresinin artmasıyla birlikte klorofil içeriğinde azalma olduğunu tespit etmiştir. Çamoğlu *et al.* (2011), Anjum *et al.* (2011) ve Al-Shaheen and Soh (2016) mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada su stresinin artmasıyla birlikte klorofil içeriğinde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Yine daha önce yapılan diğer bazı çalışmalarda da toprakta su stres seviyesi arttıkça bitkide SPAD değerlerinde azalmalar olduğu belirlenmiştir (Carroll *et al.* 2017; Soureshjani *et al.* 2019; Ketten 2020; Cakmakci and Sahin 2021b; Yerli, 2022; Balbaa *et al.* 2022).

Tablo 66. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Klorofil İçerikleri (SPAD) (%)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	43,6±0,12g	48,2±0,20d	53,0±0,28b	55,5±0,13a*	50,1±1,38A*
	S2	40,5±0,28h	44,3±0,39f	48,7±0,13cd	53,1±0,05b	46,6±1,43B
	S3	38,0±0,19ı	41,5±0,09gh	45,5±0,18e	49,1±0,18c	43,5±1,26C
	Ort.	40,7±0,82D	44,7±0,99C	49,1±0,94B	52,6±0,94A*	
2022	S1	43,2±0,15g	48,1±0,15d	52,9±0,15b	55,4±0,23a*	49,9±141A*
	S2	41,0±0,28h	44,4±0,38f	48,8±0,06c	53,2±0,21b	46,9±1,39B
	S3	38,1±0,26ı	41,4±0,03h	45,6±0,03e	49,1±0,21c	43,6±1,26C
	Ort.	40,8±0,75D	44,6±0,99C	49,1±1,05B	52,5±0,93A*	
2021-2022	S1	43,4±0,29h	48,2±0,18d	53,0±0,23b	55,4±0,20a**	50,0±1,39A*
	S2	40,7±0,27ı	44,4±0,38f	48,8±0,09cd	53,2±0,09b	46,8±1,41B
	S3	38,1±0,15ı	41,4±0,07g	45,6±0,06e	49,1±0,20c	43,6±1,25C
	Ort.	40,7±0,78D	44,7±0,99C	49,1±1,07B	52,6±0,94A*	

**: p<0.01

Stoma iletkenliği

Sulama uygulaması ve arıtma çamuru dozunun stoma iletkenliği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli (p<0,01) bulunmuştur (Ek 57).

D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre stoma iletkenliğini sırasıyla % 19,4 % 12,9 ve % 8,6 artmıştır. S1 uygulamasında da S2 ve S3 uygulamalarına göre sırasıyla % 108,5 ve % 188,5 artış belirlenmiştir. En yüksek stoma iletkenlik değeri D3S1 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 67).

Stoma iletkenliği, yaprakların yüzeyindeki küçük açıklıklar olan stomaların gaz değişimini, özellikle su buharı, karbondioksit (CO₂) ve oksijen (O₂) gibi gazların hareketini düzenleme sağlamaktadır. Su stresi sırasında stomaların kapanmasıyla, CO₂ de dahil olmak üzere gazların fotosentez için yaprağa hareketini kısıtlayarak fotosentez oranı düşürür, buna bağlı olarak bitki büyümesini etkilemektedir. Su stresi stomaların kapanmasının ve ardından stoma iletkenliğinin azalmasının ana nedeni olarak değerlendirilmektedir. Stomaların, hem terleme yoluyla su kayıplarını kontrol etmeye hem de fotosentez etkinliğini artırmaya yönelik CO₂ alımını kontrol etmeye yönelik önemli rollerinin olduğu bilinmektedir (Damour *et al.* 2010). Genel olarak topraktaki nem içeriğinin fotosentez üzerine etkileri nedeniyle CO₂ asimilasyonunun stoma iletkenliği ile orantılı olarak azalmadığı ifade edilebilir. Stomaların bitki fizyolojisindeki önemi, yaprağın hücreler arası alanı ile atmosfer arasındaki gaz alışverişi ve su buharının kaçmasına izin vermesinden kaynaklanmaktadır (Ödemis vd 2022). Sabagh *et*

al. (2017) tam sulanan mısır bitkilerinin, stres altında olan bitkilere kıyasla daha yüksek stoma iletkenliği sergilediğini tespit etmişlerdir. Han *et al.* (2016) yaptığı çalışmada su stresi arttıkça stoma iletkenliğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kuşvuran (2010) mısır bitkisinde su stresinin artmasıyla yapraklarda su oranının azalarak stomaların kapanmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Stabilize edilmiş arıtma çamuru, azot, fosfor ve potasyum gibi temel bitki besin elementlerini içermektedir. Yeterli besin mevcudiyeti, bitki büyümesini teşvik ederek stoma iletkenliğini dolaylı olarak etkilemektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada arıtma çamuru dozun artışına bağlı olarak stoma iletkenliği artmasının arıtma çamurunda bulunan besin maddelerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Elloumi *et al.* 2016).

Tablo 67. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Stoma İletkenlikleri (mmol/m²s)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	147,1±0,68d	159,8±3,48c	166,9±3,75b	181,4±1,03a*	163,8±3,90A*
	S2	70,67±0,29g	75,3±0,52fg	78,0±1,37f	85,9±1,12e	77,5±1,71B
	S3	50,5±1,37k	53,9±0,73ij	57,2±0,79i	63,3±2,80h	56,2±1,58C
	Ort.	89,4±14,71D	96,3±16,20C	100,7±16,86B	110,2±18,12A*	
2022	S1	149,2±0,15d	161,0±0,26c	165,5±0,15b	180,4±0,06a*	164,0±3,37A*
	S2	78,1±0,12f	76,2±0,25g	79,0±0,22f	85,3±0,44e	79,6±1,04B
	S3	54,9±0,24i	55,7±0,29i	58,3±0,06i	60,9±1,14h	57,5±0,75C
	Ort.	94,1±14,18D	97,6±16,13C	100,9±16,42B	108,9±18,23A*	
2021-2022	S1	148,1±0,31d	160,4±1,87c	166,2±1,80b	180,9±0,52a*	163,9±3,60A*
	S2	74,4±0,21fg	75,7±0,41fg	78,5±0,78f	85,6±0,75e	78,6±1,33B
	S3	52,7±0,72i	54,8±0,46ii	57,8±0,36o	62,0±1,88h	56,8±1,15C
	Ort.	91,7±14,44D	97,0±16,15C	100,8±16,62B	109,5±18,18A*	

*: p<0.05

Yaprak alan indeksi

D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre yaprak alan indeksini sırasıyla % 33,9 % 20,3 ve % 11,9 artmıştır. S1 uygulamalarında S2 ve S3 uygulamalarına göre sırasıyla % 15,3 ve % 23,6 artış belirlenmiştir (Tablo 68).

Artan dozlarda artan N içeriğinden dolayı yaprak alan indeksinin arttığı değerlendirilmiştir. Szymanska *et al.* (2016) arıtma çamuru uygulanmış koşullarda kontrole göre yaprak alan indeksi önemli artışlar tespit etmişler, bunun da arıtma çamurunun besin içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Yaprak alanı verimin en önemli parametrelerinden birisidir (Hamzei and Soltani 2012; Kaplan ve Kara 2014). Bitkide terleme ve fotosentezin yoğun olduğu kısım bitki yapraklarıdır.

Yaprak alan indeksi, çeşitli faktörlerin etkisi altında değişebilse de, su ve besin eksikliği, toksik etkiler gibi faktörlerin etkisi göz önüne alındığında, normal koşullarda yaprak alan indeksinin artışının genellikle fotosentez ve verim artışı için olumlu bir etkisi olduğu söylenebilmektedir (Cakmakci and Sahin 2021b). Yerli (2022)' de silajlık mısır bitkisinde fotosentez miktarının artmasına paralel olarak yaprak alan indeksinin de arttığını ve buna bağlı olarak verime pozitif yönde önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Daha önce yapılan birçok çalışmada da mısır bitkisinde su stresi ve besin element eksiliğinde yaprak alan indeksinde azalmalar olduğu bildirilmiştir (Tabatabaei *et al.* 2017; Çakmakçı, 2018; Cakmakci and Sahin 2021b; Yerli, 2022; Balbaa *et al.* 2022; Norouzi *et al.* 2024). Bu çalışmada da yaprak alan indeksinin silajlık ot verimi ve SPAD değerleriyle önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonları belirlenmiştir (Ek 108).

Tablo 68. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Yaprak Alan İndeksleri (%)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	5,82 ± 0,08d	6,77 ± 0,20b	7,07 ± 0,24b	7,88 ± 0,07a*	6,89 ± 0,23A*
	S2	5,12 ± 0,05ef	5,18 ± 0,16ef	5,76 ± 0,06d	6,86 ± 0,10b	5,73 ± 0,21B
	S3	5,00 ± 0,01f	5,09 ± 0,03f	5,50 ± 0,22de	6,20 ± 0,04c	5,45 ± 0,15C
	Ort.	5,31 ± 0,13D	5,68 ± 0,28C	6,11 ± 0,26B	6,98 ± 0,25A*	
2022	S1	5,99±0,01	6,89±0,21	7,41±0,08	8,29±0,26	7,15±0,26A*
	S2	5,25±0,14	6,29±0,72	6,85±0,11	7,43±0,33	6,45±0,30B
	S3	5,12±0,19	5,76±0,02	6,14±0,12	6,66±0,34	5,92±0,19C
	Ort.	5,46±0,15D	6,31±0,27C	6,80±0,19B	7,46±0,28A*	
2021-2022	S1	5,91±0,04	6,83±0,15	7,24±0,15	8,09±0,10	7,02±0,24A*
	S2	5,19±0,05	5,74±0,32	6,30±0,08	7,14±0,17	6,09±0,23B
	S3	5,06±0,10	5,42±0,01	5,82±0,05	6,43±0,19	5,68±0,16C
	Ort.	5,39±0,14D	6,00±0,24C	6,45±0,21B	7,22±0,25A*	

*: $p<0.05$

Yaprak oransal su içeriği

D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre klorofil içeriğini sırasıyla % 3,6, % 2,1 ve % 1,1 artırmıştır.

S1 uygulamasında S2 ve S3 uygulamalarına göre sırasıyla % 3,9 ve % 7,3 artış sağlanmıştır (Tablo 69).

Bitki yapraklarında bulunan su miktarı ile bitkinin strese duyarlılığı arasında bir ilişki bulunmaktadır ve yaprak oransal su içeriğindeki azalış strese artışı ifade etmektedir (Dhanda and Sethi 2002). Çakmakçı, (2018) ve Yerli, (2022) Silajlık mısır bitkisinde su stresinin artışıyla yaprak oransal su içeriğinin azaldığı belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar farklı

bitkilerde yapılan çalışmalarda da sulama suyu seviyesinin artışıyla yaprak oransal su içeriğinin arttığını bildirmişlerdir (Ekinci *et al.* 2015; Sahin *et al.* 2015; Ors *et al.* 2016).

Daha uzun su stresi süreci yaprak oransal su içeriğini azaltırken, arıtma çamuru dozu artışıyla yaprak oransal su içeriği artmıştır. Bu durumun arıtma çamurunda bulunan azot içeriğinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bitkilerde azot alımının yaprak oransal su içeriğini artırıcı bir etkisi vardır. Azot eksikliği, hücresel fonksiyonların bozulmasına, fotosentezin azalmasına, osmotik dengenin bozulmasına ve stomaların düzgün çalışmamasına neden olmaktadır. Tüm bu durumlar yaprak oransal su içeriğini azaltmaktadır. Tersine, bitkilerde azot içeriği optimum olduğu durumlarda stomaların düzgün çalışmasını sağlayarak su kaybını engelleyerek yaprakların su içeriğinin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Sikder *et al.* (2020) bitkide azot içeriğinin artmasıyla yaprak oransal su içeriğinin de arttığını belirlemiştir. Yine daha önce yapılan birçok çalışmada su stresi arttıkça yaprak oransal su içeriğinde düşüşler tespit edilmiştir (Sahin *et al.* 2015; Ors *et al.* 2016; Çakmakçı, 2018; Yerli 2022; Balbaa *et al.* 2022; Norouzi *et al.* 2024). Sampathkumar *et al.* (2014) tarafından mısır bitkisinin de yapılan çalışmada, su stresine maruz kalan bitkilerin yaprak oransal su içeriğinin, yeterli su uygulanan bitkilere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir.

Tablo 69. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Yaprak Oransal Su İçerikleri (%)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	86,23±0,86	87,34±0,94	88,45±0,33	89,45±0,63	87,87±0,48A*
	S2	83,31±0,91	84,75±0,63	85,13±0,63	85,38±0,63	84,64±0,42B
	S3	79,64±0,65	81,21±0,83	82,51±0,86	84,20±0,86	81,89±0,59C
	Ort.	83,06±1,04C	84,43±0,98B	85,36±0,87AB	86,34±0,87A*	
2022	S1	87,3±0,33	87,9±0,64	88,8±0,66	89,6±0,47	88,4±0,35A*
	S2	83,7±0,89	84,9±0,50	85,6±0,64	85,6±0,46	85,0±0,36B
	S3	80,4±0,43	81,3±0,33	82,7±0,30	84,4±0,43	82,2±0,48C
	Ort.	83,8±1,04C	84,7±1,00B	85,7±0,92A	86,5±0,82A*	
2021-2022	S1	86,7±0,47	87,6±0,34	88,6±0,49	89,5±0,41	88,1±0,37A*
	S2	83,5±0,67	84,8±0,55	85,4±0,82	85,5±0,47	84,8±0,36B
	S3	80,0±0,18	81,3±0,54	82,6±0,15	84,3±0,29	82,1±0,50C
	Ort.	83,4±1,00D	84,6±0,95C	85,5±0,91B	86,4±0,81A*	

*: p<0.05

Membran zararlanma

D3 dozu D0, D1 ve D2 dozlarına göre membran zararlanmayı sırasıyla % 13,7 % 5,1 ve % 2,0 artmıştır. S3 uygulamasında S1 ve S2 uygulamalarına göre sırasıyla % 64,5 ve % 31,6 artış belirlenmiştir (Tablo 70).

Su stresi altında bitkinin yaprak su oranının azalması ile stomalar kapanmakta, yaprak sıcaklığı artış göstermektedir. Bu artışla birlikte hücre membran sistemleri zarar görmekte ve hücre ölümleri gerçekleşmektedir (Dolferus 2014; Öztürk 2015). Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmada membran zararlanmanın su kaybı ve su stresi ile arttığını bildirmişlerdir (Pıtır 2015; Cakmakci *et al.* 2017; Yarış 2018). Topraktaki nem, mikrobiyal aktiviteyi etkilediği için karbon ve azot mineralizasyonundaki ana faktörlerden birisidir (Cenkseven *et al.* 2017; Yun *et al.* 2019). Bu nedenle toprak organik karbon mineralizasyonunun ve dolayısıyla N mineralizasyonunun toprak ıslaklığı ile arttığı söylenebilir.

Bitkilerde su stresi hücre zarını olumsuz yönde etkilediğinden su stresiyle membran zararlanmada artışlar belirlenmiştir (Yıldırım *et al.* 2021). Mısır bitkisinde daha önceki diğer çalışmalarda da su stresinin artmasıyla membran zararlanma indeksinde önemli azalışlar gözlemlenmiştir (Cakmakci *et al.* 2017; Yarış, 2018; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022). Membran zararlanmanın artması yaprak oransal su içeriğinin azalmasına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Membran zararlanma ve yaprak oransal su içeriği arasında önemli ($p<0,01$) negatif korelasyon bunu göstermektedir (Ek 108). Öztürk, (2015) su stresine maruz kalan bitkilerde yaprak oransal su içeriğinin azalmasına bağlı olarak yaprak stomalarının kapanmasının yaprakta sıcaklığın artmasına neden olduğunu ve böylece hücre membranlarının zarar gördüğünü belirtmiştir. Arıtma çamuru dozu artışıyla membran zararlanmanın artmasının da bitki element içeriğinin özellikle tuz içeriğinin artmasına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir (Yakıt ve Tuna, 2006).

Tablo 70. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Silajlık Mısırdaki Membran Zararlanma Değerleri (%)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	14,07±0,85	15,62±1,34	15,69±0,61	17,44±0,56	15,70±0,52C
	S2	17,62±0,85	19,39±0,90	20,41±1,47	20,14±0,55	19,39±0,54B
	S3	23,25±0,28	25,83±0,17	26,35±0,33	26,22±0,15	25,41±0,39A*
	Ort.	18,32±1,38B	20,28±1,61A	20,82±1,61A	21,27±1,32A*	
2022	S1	14,0±,31	14,5±0,26	14,7±0,12	15,6±0,27	14,7±0,20C
	S2	17,4±0,35	18,8±0,69	18,9±0,67	19,2±0,35	18,6±0,31B
	S3	22,9±0,69	24,0±0,21	25,7±0,30	25,8±0,20	24,6±0,41A*
	Ort.	18,1±1,31C	19,1±1,39 B	19,8±1,62AB	20,2±1,50A*	
2021-2022	S1	14,0±0,41	15,1±0,64	15,2±0,35	16,5±0,32	15,2±0,33C
	S2	17,5±0,47	19,1±0,77	19,6±1,05	19,7±0,15	19,0±0,39B
	S3	23,1±0,23	24,9±0,12	26,0±0,18	26,0±0,03	25,0±0,37A*
	Ort.	18,2±,33C	19,7±1,46B	20,3±1,61AB	20,7±1,40A*	

*: $p<0,05$

Toprak Organik Karbon Stok Değişimleri, Hesaplanan ve Ölçülen CO₂ Salınımları

Toprak organik karbon stoku (SOC_{stock}) ve CO₂ salınımları tahminlenmesi

Denemenin her iki yılında 0-30 cm toprak tabakasında karbon stok (t/ha) değerlerinin ve CO₂ salınımı (g/m²/h) tahminlerinin aylık ve sezonluk değişimleri Tablo 70-82’de ve varyans analiz sonuçları da Ek 61-73’ te verilmiştir.

Arıtma çamuru dozunun karbon stok üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuş, en yüksek değer D3 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 70-76 ve Ek 61-67). Sulama uygulamalarının karbon stok üzerine etkisi ise Ağustos ayında, hasatta ve sezonluk dönemde istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Ek 65-67).

Karbon stok değişimlerine bağlı olarak tahmin edilen karbon salınımları her iki yılda ve yılların ortalamalarında sezonluk dönemde en fazla D3 uygulamasında belirlenmiş, iki yıllık ortalamalara göre D3 uygulama değeri D0, D1 ve D2 uygulamalarından sırasıyla % 79,8 % 29,1 ve % 19,8 daha yüksek bulunmuştur (Tablo 76). Sulama uygulamalarında da S1 konusu en fazla salınımı sağlamış, S2 ve S3’ ten sırasıyla % 5,1 ve % 6,9 daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 76). Sulamaların daha sık yapıldığı S1 konusu toprağın toprağın nemli kalma sürecini artırdığından CO₂ salınımının artmasını sağlamıştır (Yeli *et al.* 2023). Arıtma çamuruyla doz artışına bağlı olarak toprağa daha fazla OM katkısının da D3 dozunda en fazla salınımlarının belirlenmesinin nedeni olduğu değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Yerli *et al.* (2023), Chen *et al.* (2024) ve Cerri *et al.* (2024)’ de organik katkı ile toprakta organik karbonun arttığını ve bu artışa bağlı olarak topraktan daha fazla CO₂ salınımı olduğunu bildirmişlerdir. Sezon içerisindeki aylık değişimlerde, toprak ve hava sıcaklığı yanında toprak nem içeriğinin de katkısıyla önemli değişimlerin olabileceği bu konuda yapılmış daha önceki çalışmalarla da desteklenmiştir ((Sun *et al.* 2011, Rowlings *et al.* 2012, Evans and Burke, 2013, Mancinelli *et al.* 2015; Yerli *et al.* 2022).

Tablo 71. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Ekim Döneminde Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	39,1±0,46	45,6±0,34	47,8±0,28	51,7±0,35	46,0±1,39
	S2	38,7±0,44	45,4±0,19	47,4±0,50	51,9±0,28	45,9±1,45
	S3	38,6±0,24	45,8±0,38	47,5±0,04	52,3±0,15	46,0±1,49
	Ort.	38,8±0,21D	45,6±0,17C	47,6±0,17B	52,0±0,17A*	
2022	S1	29,5±0,27	30,1±0,43	34,4±0,24	38,6±0,20	33,2±1,11
	S2	29,5±0,15	30,2±0,21	33,9±0,14	38,7±0,26	33,1±1,10
	S3	29,1±0,20	30,6±0,20	34,1±0,26	38,5±0,18	33,1±1,10
	Ort.	29,4±0,12D	30,3±0,17C	34,1±0,13B	38,6±0,11A*	
2021-2022	S1	34,3±0,35	37,9±0,37	41,1±0,19	45,1±0,20	39,6±1,22
	S2	34,1±0,15	37,8±0,18	40,7±0,27	45,3±0,18	39,5±1,24
	S3	33,9±0,19	38,2±0,24	40,8±0,12	45,4±0,05	39,6±1,26
	Ort.	34,1±0,14D	38,0±0,15C	40,8±0,12B	45,3±0,09A*	

*: p<0.05

Tablo 72. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Mayıs Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	36,8±0,20	43,7±0,18	43,9±0,41	49,0±0,25	43,4±1,31
	S2	36,7±0,31	42,8±0,27	44,5±0,69	49,6±0,19	43,4±1,39
	S3	36,6±0,23	43,4±0,07	44,8±0,13	49,3±0,57	43,5±1,38
	Ort.	36,7±0,13D	43,3±0,16C	44,4±0,27B	49,3±0,20A*	
2022	S1	28,6±0,42	29,7±0,14	33,6±0,13	38,3±0,36	32,5±1,15
	S2	28,6±0,07	29,5±0,27	33,4±0,16	38,2±0,17	32,4±1,15
	S3	28,5±0,37	30,0±0,20	33,8±0,21	37,8±0,24	32,5±1,09
	Ort.	28,6±0,16D	29,7±0,13C	33,6±0,10B	38,1±0,16A*	
2021-2022	S1	32,7±0,23	36,7±0,06	38,7±0,17	43,6±0,23	37,9±1,19
	S2	32,7±0,13	36,2±0,26	39,0±0,42	43,9±0,18	37,9±1,24
	S3	32,6±0,28	36,7±0,09	39,3±0,17	43,6±0,34	38,0±1,21
	Ort.	32,7±0,11D	36,5±0,12C	39,0±0,16B	43,7±0,14A*	

*: p<0.05

Tablo 73. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Haziran Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	35,2±0,41	36,4±0,77	38,8±0,26	39,7±0,35	37,5±0,58
	S2	35,1±0,60	36,3±0,66	39,2±0,24	39,6±0,61	37,5±0,62
	S3	35,7±0,51	36,7±0,87	38,9±0,15	40,1±1,22	37,8±0,62
	Ort.	35,3±0,28C	36,4±0,39B	39,0±0,13A	39,8±0,41A*	
2022	S1	28,0±0,16	28,9±0,07	32,9±0,18	37,2±0,19	31,7±1,10
	S2	27,4±0,12	28,7±0,13	32,8±0,27	37,1±0,17	31,5±1,14
	S3	27,6±0,33	29,3±0,20	33,0±0,06	36,2±0,34	31,5±1,02
	Ort.	27,7±0,14 D	29,0±0,11C	32,9±0,10B	36,8±0,19A*	
2021-2022	S1	31,6±0,28	32,7±0,36	35,9±0,19	38,4±0,25	34,6±0,82
	S2	31,2±0,24	32,5±0,33	36,0±0,21	38,3±0,24	34,5±0,86
	S3	31,7±0,36	33,0±0,47	35,9±0,09	38,2±0,67	34,7±0,79
	Ort.	31,5±0,16D	32,7±0,21C	35,9±0,09B	38,3±0,22A*	

*: p<0.05

Tablo 74. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Temmuz Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	30,2±0,69	30,9±0,37	33,1±0,35	34,4±0,25	32,1±0,54
	S2	30,3±0,62	31,5±0,19	32,7±0,17	35,0±0,35	32,4±0,55
	S3	30,9±0,32	31,1±0,13	33,0±0,20	34,7±0,23	32,4±0,48
	Ort.	30,5±0,30D	31,2±0,15C	32,9±0,13B	34,7±0,17A*	
2022	S1	27,1±0,25	28,0±0,26	32,1±0,12	35,3±0,28	30,7±1,00
	S2	26,8±0,08	27,9±0,13	31,7±0,37	35,2±0,02	30,4±1,00
	S3	26,9±0,14	27,9±0,25	31,7±0,16	34,9±0,11	30,3±0,97
	Ort.	26,9±0,09 D	27,9±0,11C	31,8±0,14B	35,1±0,11A*	
2021-2022	S1	28,6±0,37	29,5±0,21	32,6±0,11	34,8±0,26	31,4±0,76
	S2	28,6±0,34	29,7±0,15	32,2±0,10	35,1±0,18	31,4±0,76
	S3	28,9±0,20	29,5±0,09	32,3±0,17	34,8±0,11	31,4±0,72
	Ort.	28,7±0,16D	29,5±0,09C	32,4±0,09B	34,9±0,11A*	

*: p<0.05

Tablo 75. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Ağustos Sonu Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	26,5±0,04	27,1±0,24	29,1±0,12	30,1±0,24	28,2±0,45C
	S2	26,4±0,22	27,4±0,15	29,7±0,02	31,2±0,05	28,7±0,56B
	S3	27,1±0,29	28,2±0,31	30,5±0,51	31,3±0,21	29,3±0,53A*
	Ort.	26,7±0,15D	27,6±0,21C	29,7±0,25B	30,8±0,22A*	
2022	S1	26,1±0,39	27,1±0,37	30,5±0,14	32,3±0,31	29,0±0,76
	S2	26,1±0,15	27,2±0,37	30,2±0,13	32,2±0,19	28,9±0,74
	S3	26,3±0,09	27,5±0,08	30,3±0,21	32,9±0,33	29,2±0,78
	Ort.	26,2±0,13D	27,3±0,16C	30,3±0,09B	32,5±0,18A*	
2021-2022	S1	26,3±0,19	27,1±0,10	29,8±0,11	31,2±0,24	28,6±0,60C
	S2	26,3±0,04	27,3±0,13	30,0±0,07	31,7±0,12	28,8±0,65B
	S3	26,7±0,19	27,8±0,11	30,4±0,033	32,1±0,25	29,3±0,65A*
	Ort.	26,4±0,10D	27,4±0,13C	30,0±0,14B	31,7±0,17A*	

*: p<0.05

Tablo 76. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Hasatta Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	25,6±0,08	26,2±0,06	27,8±0,08	28,5±0,26	27,0±0,36 C
	S2	25,8±0,14	26,5±0,12	28,6±0,28	29,7±0,25	27,6±0,48 B
	S3	26,1±0,08	26,8±0,09	29,3±0,22	29,9±0,21	28,0±0,49A*
	Ort.	25,8±0,09D	26,5±0,10C	28,5±0,24B	29,4±0,24A*	
2022	S1	25,3±0,47	25,7±0,19	27,5±0,44	30,7±0,19	27,3±0,65B
	S2	25,6±0,22	26,1±0,13	28,0±0,19	30,9±0,14	27,6±0,63AB
	S3	25,6±0,09	26,5±0,22	28,6±0,26	31,4±0,40	28,0±0,69A*
	Ort.	25,5±0,16D	26,1±0,15C	28,0±0,21B	31,0±0,17A*	
2021-2022	S1	25,5±0,20	25,9±0,10	27,7±0,20	29,6±0,05	27,2±0,49C
	S2	25,7±0,10	26,3±0,12	28,3±0,22	30,3±0,16	27,6±0,55B
	S3	25,8±0,07	26,7±0,06	28,9±0,15	30,7±0,29	28,0±0,58A*
	Ort.	25,7±0,09D	26,3±0,11C	28,3±0,21B	30,2±0,18A*	

*: p<0.05

Tablo 77. Farklı Arıtma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarının Sezonluk Karbon Stokuna (t/ha) Etkisi

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	13,5±0,40	19,4±0,37	20,0±0,26	23,1±0,57	19,0±1,07A*
	S2	12,9±0,42	18,9±0,29	18,9±0,67	22,2±0,44	18,2±1,04B
	S3	12,5±0,28	19,0±0,42	18,2±0,19	22,4±0,26	18,0±1,08B
	Ort.	12,9±0,23C	19,1±0,20B	19,0±0,34B	22,6±0,26A*	
2022	S1	4,1±0,74	4,4±0,52	6,8±0,48	7,9±0,23	5,8±0,53A*
	S2	3,8±0,32	4,1±0,16	5,9±0,31	7,8±0,24	5,4±0,49AB
	S3	3,5±0,12	4,1±0,40	5,6±0,09	7,1±0,41	5,1±0,43B
	Ort.	3,8±0,25C	4,2±0,20C	6,1±0,25B	7,6±0,20A*	
2021-2022	S1	8,8±0,55	11,9±0,45	13,4±0,37	15,5±0,23	12,4±0,76A*
	S2	8,3±0,05	11,5±0,22	12,4±0,41	15,0±0,11	11,8±0,73B
	S3	8,0±0,15	11,5±0,25	11,9±0,05	14,7±0,24	11,6±0,72C
	Ort.	8,4±0,20D	11,7±0,17C	12,6±0,27 B	15,1±0,15A*	

*: p<0.05

Tablo 78. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Mayıs Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,37±0,17	1,14±0,31	2,37±0,13	1,61±0,37	1,62±0,18
	S2	1,18±0,41	1,57±0,19	1,78±0,12	1,45±0,22	1,50±0,13
	S3	1,20±0,13	1,43±0,26	1,66±0,10	1,82±0,44	1,53±0,13
	Ort.	1,25±0,14B	1,38±0,14B	1,94±0,12A*	1,63±0,18AB	
2022	S1	0,69±0,21	0,39±0,24	0,64±0,25	0,30±0,14	0,51±0,10
	S2	0,69±0,18	0,57±0,06	0,38±0,18	0,36±0,07	0,50±0,07
	S3	0,50±0,21	0,45±0,06	0,28±0,06	0,60±0,07	0,46±0,06
	Ort.	0,62±0,10	0,47±0,08	0,44±0,11	0,42±0,07	
2021-2022	S1	1,03±0,14	0,77±0,25	1,51±0,18	0,96±0,23	1,06±0,12
	S2	0,93±0,11	1,07±0,12	1,08±0,14	0,90±0,10	1,00±0,06
	S3	0,85±0,17	0,94±0,16	0,97±0,03	1,21±0,21	0,99±0,08
	Ort.	0,94±0,08	0,93±0,10	1,19±0,10	1,02±0,11	

*: p<0.05

Tablo 79. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Haziran Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	0,84±0,24	3,71±0,36	2,58±0,31	4,76±0,18	2,97±0,45
	S2	0,84±0,44	3,34±0,28	2,70±0,26	5,07±0,38	2,99±0,48
	S3	0,46±0,14	3,46±0,48	3,01±0,14	4,70±0,33	2,91±0,48
	Ort.	0,71±0,16D	3,50±0,20B	2,76±0,14C	4,85±0,17A*	
2022	S1	0,33±0,13	0,39±0,04	0,33±0,16	0,54±0,22	0,40±0,07
	S2	0,63±0,07	0,40±0,08	0,32±0,06	0,59±0,00	0,48±0,05
	S3	0,44±0,04	0,40±0,19	0,39±0,11	0,77±0,05	0,50±0,07
	Ort.	0,47±0,06AB	0,40±0,06B	0,35±0,06B	0,63±0,07A*	
2021-2022	S1	0,59±0,07	2,05±0,20	1,46±0,16	2,65±0,19	1,69±0,24
	S2	0,73±0,18	1,87±0,15	1,51±0,11	2,83±0,19	1,74±0,24
	S3	0,45±0,05	1,93±0,24	1,70±0,12	2,74±0,17	1,70±0,26
	Ort.	0,59±0,07D	1,95±0,10B	1,56±0,07C	2,74±0,10A*	

*: p<0.05

Tablo 80. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Temmuz Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	2,46±0,42	2,73±0,33	2,83±0,04	2,62±0,30	2,66±0,14
	S2	2,34±0,08	2,36±0,31	3,18±0,20	2,26±0,40	2,54±0,16
	S3	2,40±0,37	2,72±0,47	2,91±0,17	2,66±0,49	2,67±0,18
	Ort.	2,40±0,16	2,61±0,20	2,97±0,09	2,52±0,21	
2022	S1	0,43±0,05	0,42±0,13	0,37±0,12	0,91±0,23	0,53±0,09
	S2	0,28±0,08	0,42±0,06	0,55±0,23	0,94±0,09	0,55±0,09
	S3	0,35±0,20	0,68±0,13	0,68±0,10	0,64±0,13	0,59±0,07
	Ort.	0,35±0,07D	0,50±0,07C	0,53±0,09B	0,83±0,09A*	
2021-2022	S1	1,44±0,21	1,57±0,23	1,60±0,05	1,76±0,25	1,60±0,09
	S2	1,31±0,06	1,39±0,12	1,87±0,09	1,60±0,18	1,54±0,08
	S3	1,37±0,28	1,70±0,19	1,79±0,13	1,65±0,28	1,63±0,11
	Ort.	1,38±0,10	1,55±0,10	1,75±0,06	1,67±0,12	

*: p<0.05

Tablo 81. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Ağustos Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,82±0,33	1,90±0,28	1,98±0,14	2,11±0,23	1,95±0,11A*
	S2	1,92±0,23	1,99±0,17	1,51±0,08	1,89±0,15	1,83±0,09AB
	S3	1,87±0,13	1,44±0,09	1,23±0,22	1,68±0,14	1,56±0,10B
	Ort.	1,87±0,12	1,78±0,13	1,57±0,14	1,90±0,11	
2022	S1	0,48±0,24	0,45±0,20	0,82±0,13	1,52±0,24	0,82±0,16
	S2	0,35±0,07	0,34±0,12	0,71±0,24	1,44±0,09	0,71±0,15
	S3	0,31±0,04	0,20±0,09	0,66±0,03	1,01±0,12	0,54±0,10
	Ort.	0,38±0,08C	0,33±0,08C	0,73±0,08B	1,32±0,11A*	
2021-2022	S1	1,15±0,27	1,17±0,09	1,40±0,01	1,82±0,22	1,39±0,11A*
	S2	1,14±0,15	1,17±0,04	1,11±0,08	1,67±0,03	1,27±0,08A
	S3	1,09±0,04	0,82±0,09	0,94±0,12	1,35±0,13	1,05±0,07B
	Ort.	1,13±0,09B	1,05±0,07B	1,15±0,08B	1,61±0,10A*	

*: p<0.05

Tablo 82. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Eylül Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

ıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,50±0,07	1,50±0,35	2,20±0,30	2,59±0,04	1,95±0,17
	S2	1,04±0,25	1,60±0,37	1,90±0,49	2,52±0,39	1,76±0,23
	S3	1,67±0,58	2,42±0,46	2,02±0,61	2,36±0,11	2,12±0,23
	Ort.	1,40±0,20B	1,84±0,25AB	2,04±0,25AB	2,49±0,12A*	
2022	S1	1,17±0,53	2,13±0,28	4,48±0,57	2,40±0,72	2,55±0,43
	S2	0,73±0,11	1,69±0,37	3,45±0,30	2,07±0,51	1,98±0,33
	S3	1,07±0,26	1,48±0,29	2,7±0,52	2,24±0,10	1,87±0,24
	Ort.	0,99±0,19C	1,77±0,19B	3,54±0,35A*	2,23±0,26B	
2021-2022	S1	1,34±0,26	1,82±0,04	3,34±0,36	2,50±0,34	2,25±0,26
	S2	0,89±0,18	1,65±0,02	2,67±0,31	2,29±0,38	1,87±0,23
	S3	1,37±0,42	1,95±0,25	2,36±0,56	2,30±0,08	1,99±0,20
	Ort.	1,20±0,17C	1,80±0,09B	2,79±0,26A	2,36±0,15A*	

*: p<0.05

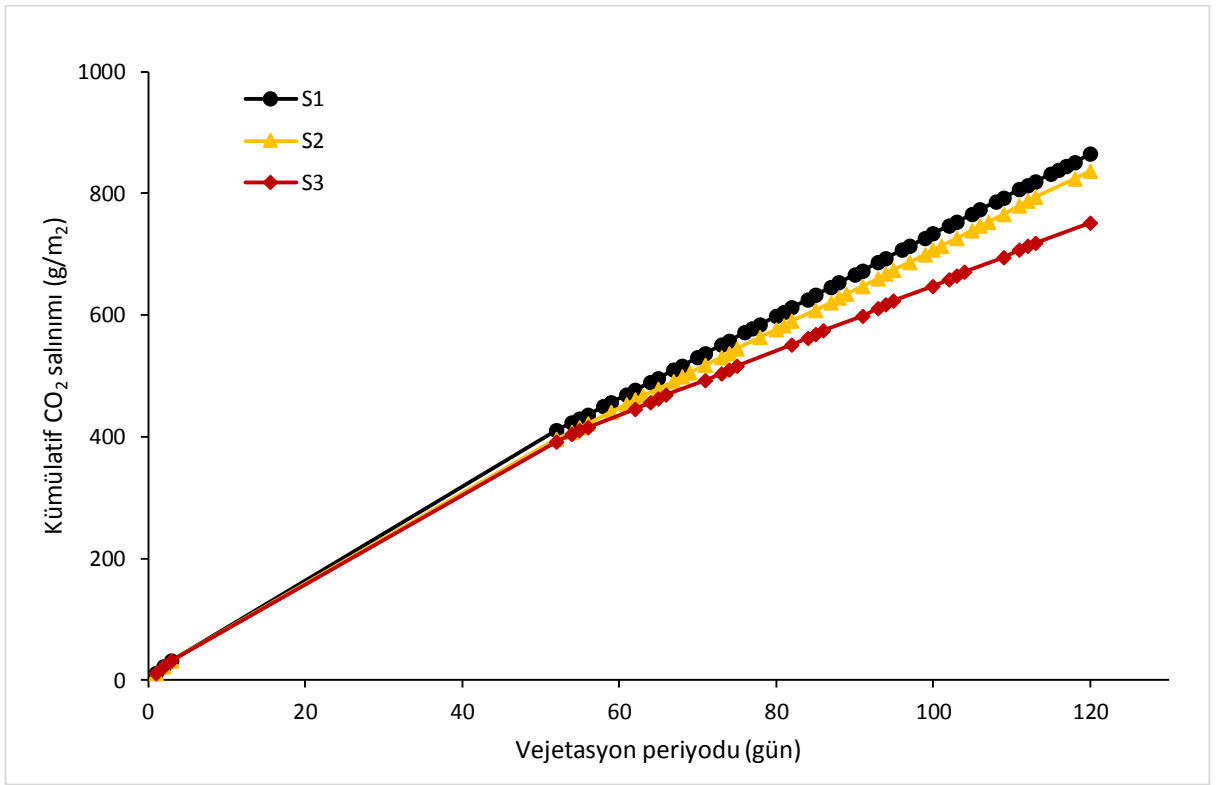
Tablo 83. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında Sezonluk Dönemi CO₂ Salınımları (g/m²/h)

Yıl	Sulama uygulaması	D0	D1	D2	D3	Ort.
2021	S1	1,63±0,05	2,36±0,05	2,43±0,03	2,80±0,07	2,30±0,13A*
	S2	1,56±0,05	2,29±0,04	2,29±0,08	2,70±0,05	2,21±0,13B
	S3	1,52±0,03	2,30±0,05	2,21±0,02	2,72±0,03	2,19±0,13B
	Ort.	1,57±0,03C	2,32±0,02B	2,31±0,04B	2,74±0,03A*	
2022	S1	0,52±0,09	0,56±0,07	0,86±0,06	1,00±0,03	0,74±0,07A*
	S2	0,48±0,04	0,52±0,02	0,75±0,04	0,98±0,03	0,68±0,06AB
	S3	0,45±0,01	0,52±0,05	0,71±0,01	0,89±0,05	0,64±0,05B
	Ort.	0,48±0,03C	0,53±0,03C	0,77±0,03B	0,96±0,03A*	
2021-2022	S1	1,08±0,07	1,46±0,06	1,64±0,05	1,90±0,03	1,52±0,09A*
	S2	1,02±0,01	1,41±0,03	1,52±0,05	1,84±0,01	1,45±0,09B
	S3	0,98±0,02	1,41±0,03	1,46±0,01	1,81±0,03	1,41±0,09B
	Ort.	1,03±0,02D	1,43±0,02C	1,54±0,03B	1,85±0,02A*	

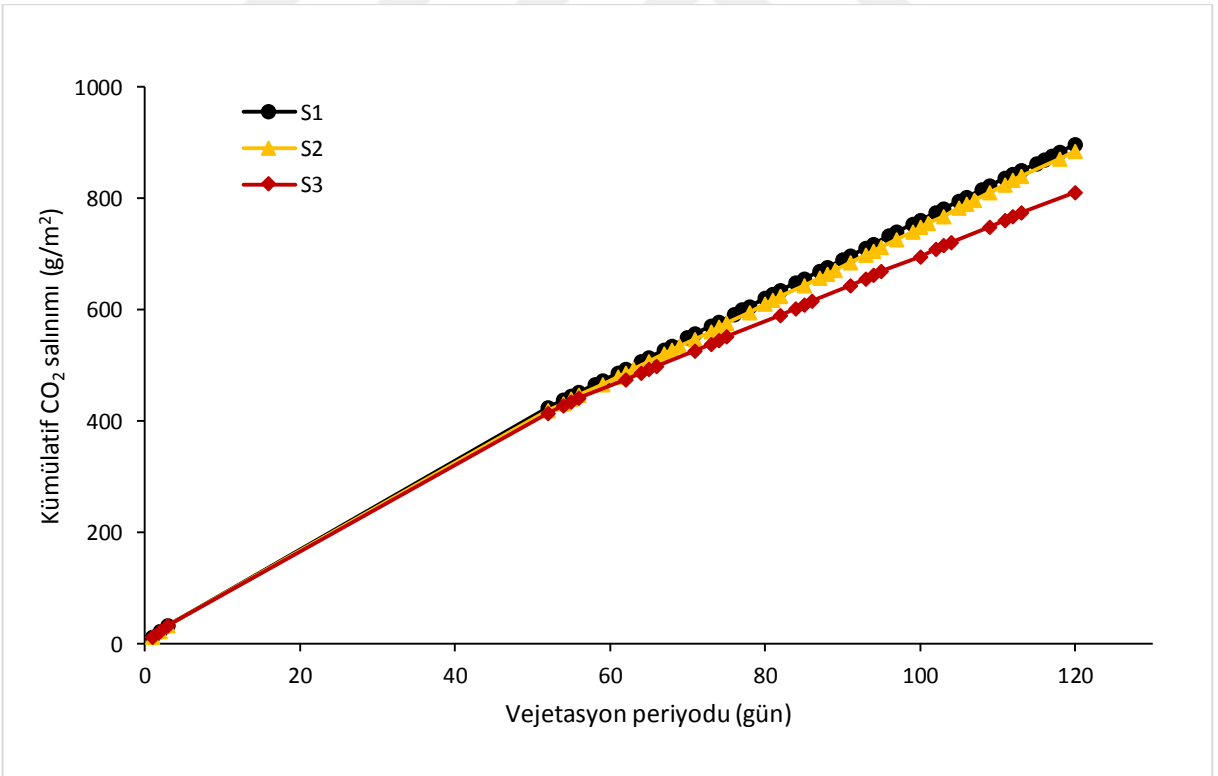
*: p<0.05

Ölçülen CO₂ salınımları, toprak nemi, H₂O salınımı, toprak ve hava sıcaklığıyla ilişkileri

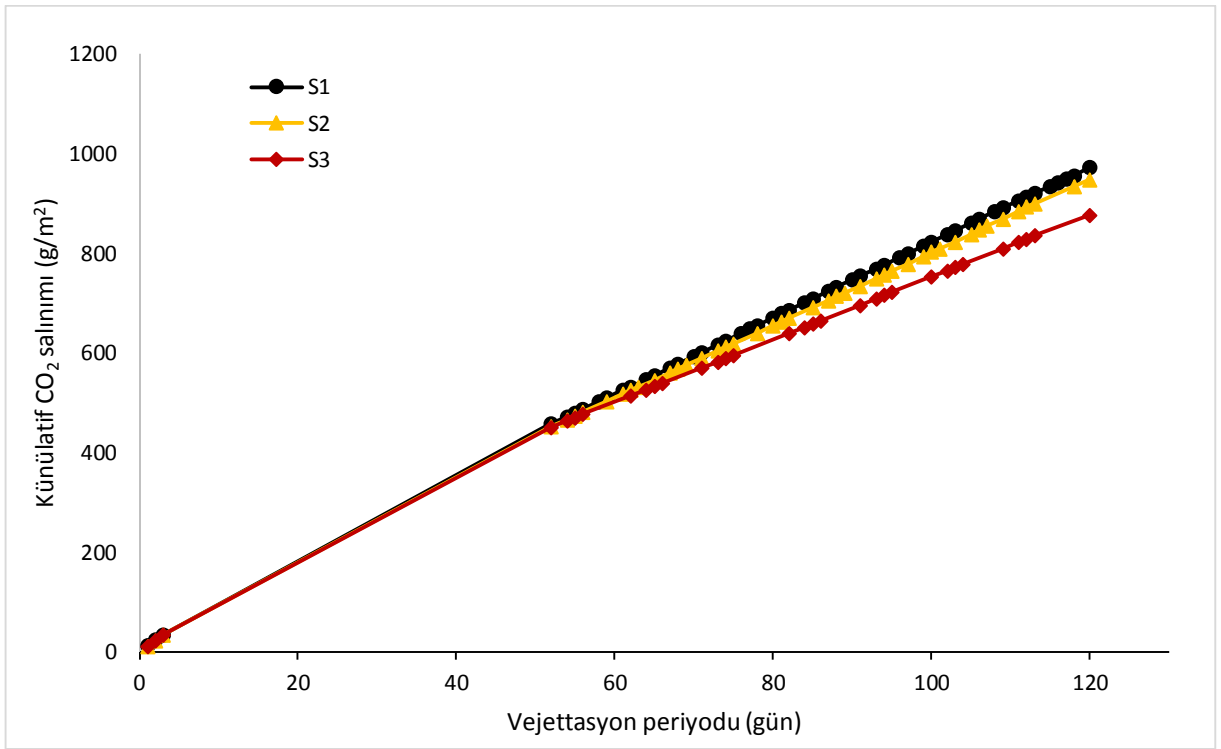
2022 yılında doğrudan ölçülen CO₂ salınımları sezon başından sezon sonuna kadar lineer artış göstermiştir (Şekil 81-84). Bu lineer değişimler aylık karbon stok değişimleriyle paralellik göstermiştir (Tablo 70-76). Karbon stoku en fazla olan D3 konusunda en fazla kümülatif CO₂ salınımları belirlenirken toprağın daha fazla nemli kalmasını sağlayan S1 konusunda da yine yüksek kümülatif CO₂ salınımları belirlenmiştir.



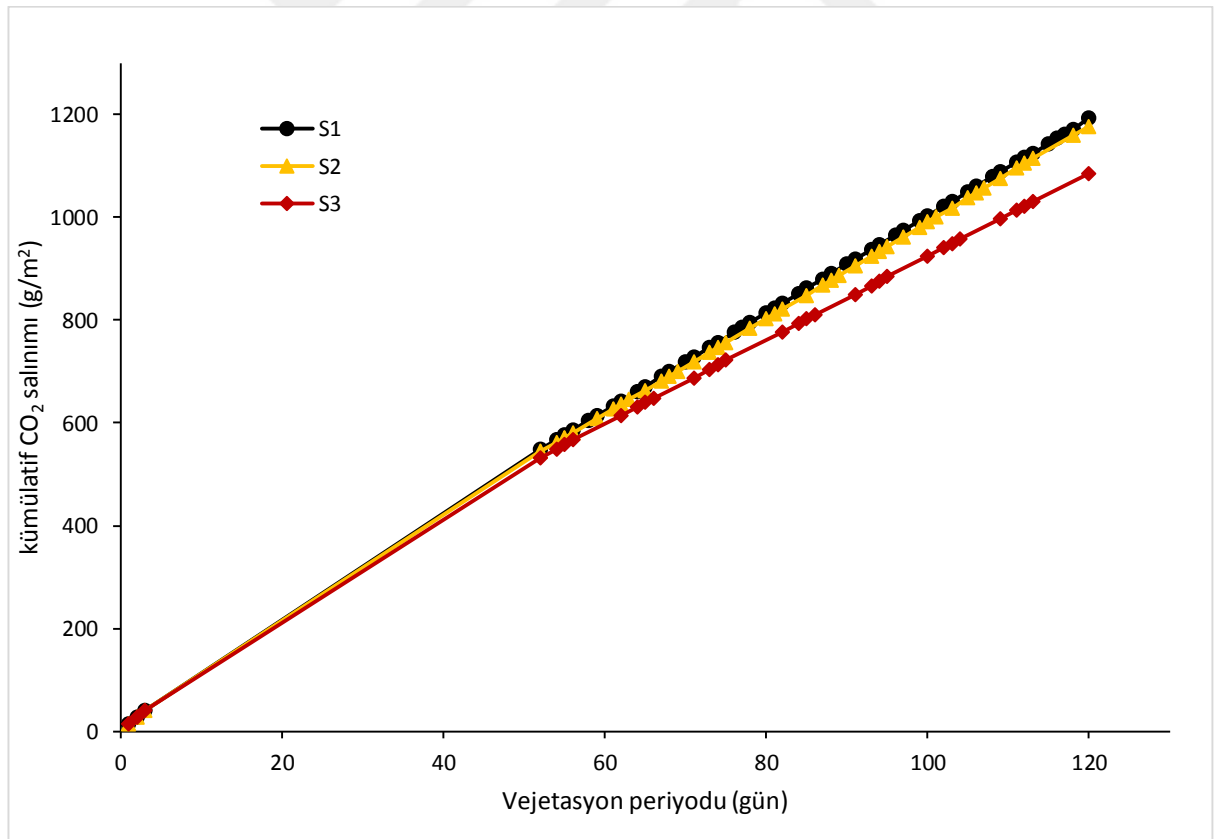
Şekil 80. D0 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO₂ salınımlarına etkisi



Şekil 81. D1 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO₂ salınımlarına etkisi



Şekil 82. D2 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO₂ salınımlarına etkisi



Şekil 83. D3 arıtma çamuru dozunda sulama uygulamalarının vejetasyon dönemi kümülatif CO₂ salınımlarına etkisi

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve sezonluk dönemde farklı arıtma çamuru dozları ve sulama uygulamalarında CO₂ ve H₂O salınım

değerleri ile 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinde ölçülen nem ve sıcaklık değerleri ve hava sıcaklık değerleri (Tablo 83)' de, varyans analiz sonuçları da Ek 74-81' de verilmiştir.

Arıtma çamuru dozları ve sulama uygulamalarının, atmosfere salınan CO₂ ve H₂O miktarı üzerinde etkisi toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve sezonluk dönemde istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Ek 74 ve Ek 75). D3 uygulamasında D0' a göre CO₂ salınımı toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve toplam sezonluk dönem sırasıyla % 23,9 % 41,4 ve % 40,8 daha yüksek bulunmuştur. Sulama uygulamalarında ise özellikle sulama döneminde S1 uygulaması S3' e göre % 11,7 artış sağlanmıştır. S1' in toprak işleme-ekim ve tüm sezonda S3' e göre artış oranları da sırasıyla % 1,7 ve % 11,6 olmuştur.



Tablo 84. Farklı Arıtma Çamuru Dozlarında ve Sulama Uygulamalarında CO₂, H₂O Salınımlarıyla Toprak Nemi, Toprak ve Hava Sıcaklıkları

Parametre	Sulama uygulamaları	Toprak işleme-ekim dönemi					Sulama Dönemi					Sezonluk Toplam				
		D0	D1	D2	D3	Ort.	D0	D1	D2	D3	Ort.	D0	D1	D2	D3	Ort.
CO ₂ (g/m ² /h)	S1	0,453±0,001	0,466±0,001	0,484±0,002	0,560±0,001	0,491±0,013A*	0,294±0,001	0,305±0,002	0,331±0,002	0,407±0,001	0,334±0,013	0,298±0,001	0,309±0,002	0,335±0,002	0,411±0,001	0,338±0,013A*
	S2	0,443±0,001	0,456±0,001	0,474±0,002	0,550±0,001	0,481±0,013C	0,284±0,001	0,301±0,002	0,323±0,004	0,402±0,002	0,328±0,014	0,288±0,001	0,305±0,002	0,327±0,004	0,405±0,002	0,331±0,014B
	S3	0,445±0,001	0,458±0,001	0,476±0,002	0,552±0,001	0,483±0,013B	0,254±0,001	0,275±0,001	0,298±0,002	0,369±0,004	0,299±0,013	0,259±0,001	0,279±0,001	0,302±0,003	0,373±0,004	0,303±0,013C
	Ort.	0,447±0,002D	0,460±0,002C	0,478±0,002B	0,554±0,002A*		0,277±0,006	0,294±0,005	0,317±0,005	0,392±0,006		0,282±0,006D	0,298±0,005C	0,321±0,005B	0,397±0,006A*	
H ₂ O (g/m ² /h)	S1	17,9±0,07	18,4±0,09	18,5±0,09	19,1±0,12	18,5±0,13C	18,1±0,03	18,4±0,18	18,6±0,07	19,3±0,03	18,6±0,13A*	18,1±0,03	18,4±0,18	18,6±0,10	19,3±0,03	18,6±0,13A*
	S2	18,7±0,020	19,2±0,12	19,3±0,13	20,0±0,18	19,3±0,15A*	17,6±0,07	18,2±0,12	18,3±0,07	19,0±0,15	18,3±0,15B	17,7±0,06	18,3±0,15	18,3±0,07	19,0±0,13	18,3±0,15B
	S3	18,3±0,09	18,5±0,00	18,6±0,10	19,3±0,03	18,7±0,12B	16,8±0,07	17,2±0,12	17,3±0,07	18,1±0,12	17,4±0,14C	16,9±0,10	17,3±0,12	17,4±0,06	18,1±0,12	17,4±0,13C
	Ort.	18,3±0,13C	18,7±0,14B	18,8±0,14B	19,4±0,15A*		17,5±0,19C	18±0,20B	18,1±0,20B	18,8±0,19A*		17,6±0,18C	18,0±0,19B	18,1±0,19B	18,8±0,19A*	
Toprak nemi (Pv) 5 cm	S1	22,6±0,22bc	22,4±0,03cde	22,6±0,03bc	22,8±0,03ab	22,6±0,06	21,6±0,00	21,8±0,00	22,0±0,03	22,1±0,00	21,9±0,06A*	21,6±0,00	21,8±0,03	22,0±0,00	22,1±0,00	21,9±0,06A*
	S2	22,3±0,03de	22,5±0,06cd	22,7±0,03bc	22,7±0,03bc	22,5±0,05	20,8±0,00	21,0±0,00	21,2±0,00	21,3±0,03	21,1±0,06B	20,8±0,00	21,1±0,03	21,2±0,03	21,3±0,00	21,1±0,06B
	S3	22,2±0,00e	22,6±0,12bc	22,9±0,03a	22,9±0,03a*	22,7±0,09	19,7±0,00	20,0±0,06	20,2±0,03	20,2±0,00	20,0±0,06C	19,8±0,00	20,0±0,03	20,2±0,00	20,3±0,03	20,1±0,06C
	Ort.	22,3±0,09C	22,5±0,05B	22,7±0,04A	22,8±0,04A*		20,7±0,28D	20,9±0,26C	21,1±0,26B	21,2±0,28A*		20,7±0,26D	21,0±0,26C	21,1±0,26B	21,2±0,27A*	
Toprak nemi (Pv) 10 cm	S1	22,7±0,03de	22,7±0,03de	22,8±0,00d	23,0±0,03c	22,8±0,03B	21,9±0,03	22,1±0,03	22,2±0,06	22,3±0,00	22,1±0,04A*	22,0±0,00b	22,1±0,00b	22,2±0,03a	22,3±0,00a*	22,2±0,04
	S2	22,4±0,03f	22,7±0,03de	23,0±0,03c	23,1±0,00b	22,8±0,08B	21,0±0,03	21,2±0,03	21,5±0,03	21,5±0,03	21,3±0,06B	20,8±0,00e	21,1±0,03d	21,2±0,03c	21,3±0,00c	21,1±0,06
	S3	22,5±0,00f	22,9±0,03c	23,2±0,10ab	23,3±0,06a*	23,0±0,10A**	20,0±0,00	20,3±0,10	20,5±0,06	20,5±0,00	20,3±0,07C	20,0±0,00h	20,3±0,09g	20,6±0,06f	20,6±0,00f	20,4±0,08
	Ort.	22,6±0,05D	22,8±0,04C	23,0±0,07B	23,1±0,05A*		21,0±0,28C	21,2±0,26B	21,4±0,25A	21,4±0,26A*		20,9±0,29C	21,2±0,26B	21,4±0,24A	21,4±0,25A*	
Toprak nemi (Pv) 20 cm	S1	22,8±0,03de	22,9±0,03cd	22,9±0,00cd	23,0±0,03c	22,9±0,03B	22,0±0,03c	22,2±0,00b	22,3±0,03a	22,3±0,03a**	22,2±0,04A*	21,9±0,17	22,2±0,03	22,3±0,03	22,4±0,03	22,2±0,06
	S2	22,6±0,00f	22,9±0,00cd	23,0±0,07c	23,2±0,03b	22,9±0,07B	21,2±0,00g	21,4±0,00f	21,5±0,00e	21,6±0,03d	21,4±0,05B	21,2±0,03	21,4±0,00	21,5±0,00	21,7±0,03	21,5±0,05
	S3	22,6±0,00f	23,0±0,03c	23,3±0,07a	23,3±0,07a*	23,0±0,09A*	20,1±0,00j	20,4±0,07i	20,6±0,03h	20,6±0,03h	20,4±0,06C	20,1±0,03	20,4±0,09	20,6±0,03	20,7±0,03	20,5±0,07
	Ort.	22,7±0,04D	22,9±0,02C	23,1±0,06B	23,2±0,05A*		21,1±0,28D	21,3±0,27C	21,4±0,25B	21,5±0,25A*		21,1±0,27C	21,4±0,26B	21,5±0,24A	21,6±0,25A*	
Toprak sıcaklığı (°C) 5 cm	S1	7,63±0,12def	7,87±0,07bcde	8,03±0,27abc	7,90±0,12abcde	7,86±0,08C	18,3±0,10d	18,4±0,03d	18,5±0,12d	18,4±0,07d	18,4±0,05C	18,1±0,10d	18,1±0,03d	18,3±0,15d	18,2±0,07d	18,2±0,04C
	S2	7,60±0,06ef	8,13±0,09ab	8,27±0,03a*	8,17±0,07ab	8,04±0,08A*	19,1±0,03c	19,4±0,09b	19,6±0,00b	19,5±0,10b	19,4±0,07B	18,8±0,03c	19,2±0,07b	19,3±0,03b	19,2±0,10b	19,1±0,07B
	S3	8,00±0,10abcd	7,67±0,15cdef	7,60±0,12ef	7,47±0,07f	7,68±0,08B	20,7±0,06a**	20,5±0,12a	20,6±0,03a	20,5±0,03a	20,6±0,04A*	20,4±0,06a	20,2±0,12a	20,3±0,03a	20,2±0,06a*	20,3±0,04A*
	Ort.	7,74±0,08B	7,89±0,09AB	7,97±0,13A*	7,84±0,11AB		19,4±0,36AB	19,4±0,32AB	19,6±0,30A*	19,5±0,31AB		19,1±0,34B	19,2±0,31AB	19,3±0,29AB	19,2±0,30A*	
Toprak sıcaklığı (°C) 10 cm	S1	7,13±0,12	7,43±0,13	7,57±0,23	7,50±0,10	7,41±0,08	17,9±0,09	18,0±0,07	18,1±0,12	18,0±0,03	18,0±0,05C	17,7±0,09	17,7±0,03	17,8±0,12	17,7±0,03	17,7±0,04C
	S2	7,27±0,07	7,63±0,07	7,67±0,03	7,63±0,09	7,55±0,06	18,7±0,06	19,0±0,06	19,1±0,03	19,0±0,09	19,0±0,05B	18,4±0,06	18,7±0,07	18,8±0,03	18,8±0,09	18,7±0,05B
	S3	7,73±0,03	7,40±0,17	7,20±0,21	7,17±0,07	7,38±0,09	20,4±0,07	20,4±0,06	20,5±0,13	20,4±0,07	20,4±0,04A*	20,1±0,07	20,1±0,03	20,1±0,10	20,1±0,09	20,1±0,03A*
	Ort.	7,38±0,10	7,49±0,08	7,48±0,12	7,43±0,08		19,0±0,38B	19,1±0,35AB	19,2±0,34A*	19,1±0,36A		18,7±0,37	18,8±0,34	18,9±0,33	18,9±0,34	
Toprak sıcaklığı (°C) 20 cm	S1	6,57±0,19e	6,80±0,21de	7,10±0,10d	6,97±0,18d	6,86±0,09C	17,3±0,12	17,4±0,12	17,6±0,09	17,5±0,09	17,5±0,06C	17,1±0,10	17,1±0,12	17,4±0,07	17,2±0,10	17,2±0,05C
	S2	7,60±0,06c	8,13±0,09ab	8,27±0,03a*	8,17±0,07a*	8,04±0,08A*	18,4±0,06	18,6±0,06	18,7±0,03	18,5±0,06	18,5±0,04B	18,1±0,06	18,3±0,06	18,4±0,03	18,2±0,06	18,2±0,04B
	S3	8,00±0,10abcd	7,67±0,15bc	7,60±0,12c	7,47±0,07c	7,68±0,08B	20,1±0,09	20,2±0,12	20,1±0,12	20,1±0,06	20,1±0,04A*	19,7±0,07	19,9±0,12	19,8±0,10	19,8±0,06	19,8±0,04A*
	Ort.	7,39±0,22	7,53±0,21	7,66±0,17	7,53±0,18		18,6±0,40	18,7±0,40	18,8±0,37	18,7±0,38		18,3±0,39	18,4±0,40	18,5±0,35	18,4±0,38	
Tair (°C)	S1	12,4±0,13	12,4±0,12	12,6±0,19	12,6±0,09	12,5±0,07	22,1±0,17	22,1±0,06	22,3±0,17	22,3±0,09	22,2±0,07	21,5±0,15	21,6±0,09	21,7±0,17	21,7±0,09	21,6±0,06
	S2	15,5±0,15	15,5±0,15	15,7±0,21	15,7±0,06	15,6±0,07	21,8±0,26	21,8±0,03	22,0±0,15	22,1±0,13	21,9±0,08	21,7±0,23	21,7±0,06	21,8±0,17	21,9±0,12	21,8±0,07
	S3	12,8±0,30	12,8±0,09	13,0±0,09	13,1±0,15	12,9±0,08	21,7±0,32	21,7±0,03	21,9±0,17	22,0±0,15	21,8±0,09	21,5±0,32	21,5±0,06	21,7±0,19	21,7±0,12	21,6±0,09
	Ort.	13,6±0,49	13,6±0,49	13,8±0,49	13,8±0,48		21,9±0,14	21,9±0,06	22,1±0,10	22,1±0,08		21,6±0,12	21,6±0,05	21,7±0,09	21,8±0,06	

CO₂ salınımı toprak verimliliğin bir göstergesi olan organik madde içeren topraklarda farklı müdahaleler sonucunda karbonun O₂ ile karşılaşması sonucunda ortaya çıkmaktadır (Yerli *et al.* 2019, Tufenkci *et al.* 2021, Yerli and Sahin, 2021). Organik madde katkısından dolayı arıtma çamurlarının toprağa uygulanması, toprakta mikrobiyal aktiviteyi artırmaktadır. Dolayısıyla toprakta organik madde ayrışması ve diğer biyokimyasal süreçlerle ilişkili olarak CO₂ salınımlarını artırmaktadır. Yerli *et al.* (2023)' da yaptıkları çalışmada arıtma çamuru uygulanan toprakta CO₂ salınımının arttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Shakeel *et al.* (2021)'da, toprakta organik madde içeriğinin artmasıyla CO₂ salınımının arttığını belirtmişlerdir. Fer *et al.* (2024) tarafından yapılan çalışmada, da arıtma çamuruna maruz kalan toprakta CO₂ salınımının önemli derece arttığı rapor edilmiştir. Shaaban *et al.* (2023)' da farklı organik materyalleri uyguladıkları toprakta organik madde içeriğinin artmasıyla CO₂ salınımlarında artış olduğunu belirlemişlerdir.

Toprağın daha uzun süre kuru kalması durumunda (S3) CO₂ salınımının en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bu durum, toprağın kuru kalma süresinin, toprakta gerçekleşen mikrobiyal aktiviteler ve organik madde parçalanma süreçleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Toprakta yetersiz nem, toprak mikroorganizmalarının aktivitesini olumsuz yönde etkileyerek mikroorganizmaların besin kaynaklarına ulaşımını ve metabolik faaliyetlerini zorlaştırarak topraktan CO₂ salınımının azalmasını sağlamaktadır. Birçok araştırmacı toprak nem içeriğinin artmasının toprakta mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek CO₂ salınımının artırdığını bildirmişlerdir (Mancinelli *et al.* 2015; Zornoza *et al.* 2016; Sinaie *et al.* 2019; Zhong *et al.* 2021; Yerli *et al.* 2022; Yerli *et al.* 2023). Sinaie *et al.* (2019), toprakta nem miktarı azaldıkça mikroorganizma faaliyetlerinin de yavaşladığını ve buna bağlı olarak CO₂ salınımlarının azaldığını belirlemişlerdir. Genel olarak topraktan CO₂ salınımının da toprak ve hava sıcaklığı, toprak nem içeriği ve toprak havalanma durumunun önemli etkenler olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Evans and Burke, 2013, Mancinelli *et al.* 2015; Yerli *et al.* 2022; Yerli *et al.* 2023; Fer *et al.* 2024).

2022 yılında ölçülen sezonluk CO₂ salınım değerleri tahminlenen değerlerle de kıyaslandığında, ölçülen değerlerinin D0, D1, D2 ve D3 dozlarında tahminlenen değerler sırasıyla % 58,8, % 56,2, % 41,7 ve % 41,4' üne karşılık geldiği görülmüştür. Bu oranlar S1, S2 ve S3'de de sırasıyla % 45,7, % 48,7 ve % 47,3 olmuştur (Tablo 84).

Tablo 85. 2022 Yılı Sezonluk CO₂ Salınım Değerlerinin Tahmin Değerlerine Oranları (%)

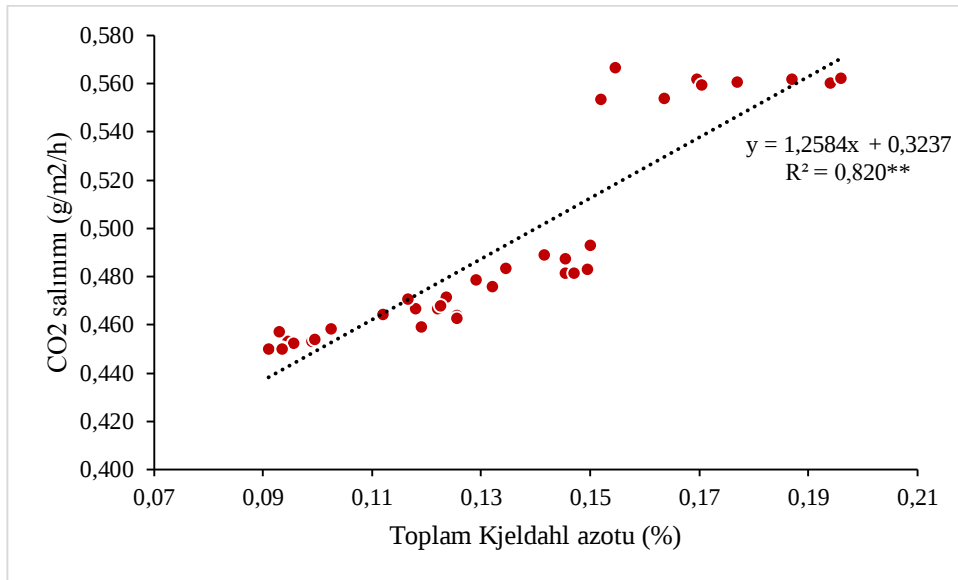
Parametre	Sulama uygulamaları	D0	D1	D2	D3	Ort.
Ölçülen CO ₂ salınımının hesaplanan CO ₂ salınımına karşılık gelen yüzdelik değer	S1	57,3	55,2	39,0	41,1	45,7
	S2	60,0	58,7	43,6	41,3	48,7
	S3	57,6	53,7	42,5	41,9	47,3
	Ort.	58,8	56,2	41,7	41,4	

Sulama sonrası toprağın nem içeriğindeki artışın, artan H₂O salınımının nedeni de olduğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, farklı sulama uygulamalarında H₂O salınımları incelendiğinde S1’den S3’ doğru H₂O salınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 83). Sezonluk dönemde S1 sulama uygulamasında H₂O, S3’ göre % 6,9 daha fazla artış belirlenmiştir. Toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve toplam sezonluk döneminde sırasıyla D0 uygulamasında H₂O, D3’ e göre % 5,7, %7,4 ve % 6,4 daha düşük belirlenmiştir.

Yerli (2022)’de kısıntılı sulama uygulamalarına kıyasla, tam sulama uygulamalarında daha yüksek H₂O salınımı gözlemlenmiş, bu durumun tam sulama koşullarında topraktaki porların daha fazla su içermesiyle ilişkilendirildiğini belirtmiştir.

Toprak nem ve sıcaklık değerlerinin üç farklı derinlikte (5 cm, 10 cm ve 20 cm) ölçüldüğü çalışmada, derinlik arttıkça nem değerlerinin arttığı ve sıcaklık değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir (Tablo 83). Sulama uygulamaları ve arıtma çamuru dozlarının 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinde nem ve sıcaklık değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Ek 76-81). Sulama döneminde 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinde D3 uygulamasında nem değerleri D0’ a göre % 2,41, % 1,90 ve % 1,89 daha yüksek bulunmuştur. Sulama uygulamalarında ise 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinin ortalamaları dikkate alındığında S1 uygulaması S3’ göre % 9,4 daha yüksek nem değeri sağlanmıştır. Sulama döneminde dozların toprak sıcaklığına etkisi fazla görülmüş, 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinin ortalamasında toprak sıcaklığı S3 sulama uygulamasında S1 ve S2 uygulamalarına göre sırasıyla % 13,3 ve % 7,4 daha yüksek bulunmuştur.

Toprakta nem koşulları uygun olduğunda, topraktaki azotun oksidasyona uğraması da, topraktan CO₂ salınımını artırmaktadır (Yu *et al.* 2014). Xue *et al.* (2012) tarafından farklı azotlu gübre uygulamalarında toprakta azot içeriğinin artmasıyla CO₂ salınımının arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışma da toprakta artan azot miktarının, CO₂ salınımında artışa neden olduğu, toprakta CO₂ salınımı ile azot içeriği arasında önemli ($p<0,01$) doğrusal pozitif bir ilişki ile desteklenebilmiştir (Şekil 85).



Şekil 84. Toplam Kjeldahl azotu ile CO₂ salınımı arasındaki ilişki (n=36; **p<0,01)

Bir çok araştırmacı topraktan CO₂ salınımının toprak ve hava sıcaklığı, toprağın nemi, toprağın havalanma durumu, bitki artıkları gibi birçok faktör tarafından kontrol edildiği belirtmiştir (Sun *et al.* 2011, Rowlings *et al.* 2012, Evans and Burke, 2013, Mancinelli *et al.* 2015; Yerli *et al.* 2022). Haddaway *et al.* (2017)' de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin CO₂ salınımını etkilediğini bildirmişlerdir. Ancak toprak nem ve sıcaklığının, mikrobiyal aktiviteyi etkileyen en önemli faktörler arasında olduğu belirtilmektedir (Kim *et al.* 2012). Toprak nemi arttıkça, CO₂ salınımı toprak havalanmasının kısıtlandığı seviyeye kadar artmaktadır. Ancak, nemin daha fazla bulunması, oksijen miktarının azalmasıyla mikrobiyal aktiviteyi azaltır, bu da CO₂ salınımının azalmasına neden olmaktadır (Elik ve Sakin 2021). Uygun sulama şartlarında CO₂ salınımı, topraktaki nem ve sıcaklık artışının mikrobiyal aktivitenin artırmasıyla birlikte organik maddenin mineralizasyonunun artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Yerli, 2022).

Bu çalışmada CO₂ salınımı ve toprak nemi arasında pozitif, toprak sıcaklığı arasında da negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Ek 109). Toprak nemi ile sıcaklık arasındaki negatif ilişki (Ek 109) nemin serinletici etkisiyle toprak sıcaklığının azaldığını göstermiş, dolayısıyla CO₂ salınımında baskın faktörün toprak sıcaklığından ziyade toprak neminin olduğu değerlendirilmiştir. Gultekin *et al.* (2023)' te mısır çalışmasında topraktan CO₂ salınımının toprak nemi ile pozitif toprak sıcaklığıyla negatif değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Mancinelli *et al.* (2015)' nin farklı sulama uygulamalarıyla CO₂ salınımını inceledikleri çalışmada da toprakta nem miktarının azalmasıyla CO₂ salınımının da azaldığını tespit etmişlerdir. Yine birçok çalışmada da toprakta nem miktarının azalmasıyla mikroorganizma

faaliyetlerinin yavaşladığı ve buna bağlı olarak CO₂ salınımının azaldığı bildirilmiştir (Zornoza *et al.* 2016; Sinaie *et al.* 2019; Zhong *et al.* 2021).

Birim üretim alanı ve birim verim başına CO₂ salınımları

Farklı sulama uygulamaları ve farklı arıtma çamuru dozlarının mısır bitkisinin vejetasyon periyodu boyunca birim üretim alanı (1 ha) ve birim verim başına (1 kg silajlık ot verimi) gerçekleşen sezonluk CO₂ salınımlarının etkisi önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Tablo 85 ve Ek 82).

Tablo 86. Farklı Arıtma Çamuru Dozu ve Sulama Uygulamalarında Birim Üretim Alanı ve Birim Verim Başına CO₂ Salınımları

Parametre	Sulama uygulamaları	SOZUNLUK TOPLAM				
		D0	D1	D2	D3	Ort.
Birim üretim alanı başına CO ₂ salınımı (kg CO ₂ /ha)	S1	8650,8±29,14	8979,5±44,24	9728,0±67,19	11927,4±25,56	9821,4±385,51A*
	S2	8363,5±38,64	8855,0±60,52	9491,4±105,08	11774,8±45,35	9621,2±394,85B
	S3	7518,9±16,24	8112,0±41,21	8769,9±74,03	10842,6±115,24	8810,8±379,26C
	Ort.	8177,7±170,49D	8648,9±137,25C	9329,7±150,03B	11514,9±173,41A*	
Birim verim başına CO ₂ salınımı (g CO ₂ /kg verim)	S1	90,9±1,91c	81,4±1,08e	84,0±0,15de	87,2±1,30cd	85,9±1,20B
	S2	102,8±0,92a*	88,7±2,05cd	87,9±0,33cd	101,1±1,40a	95,1±2,15A
	S3	98,3±1,68ab	95,8±3,31b	88,6±0,73cd	100,0±1,67ab	95,7±1,58A*
	Ort.	97,3±1,89A	88,6±2,38B	86,8±0,75B	96,1±2,35A*	

Dozlara göre sezonluk CO₂ salınım değerleri incelendiğinde en fazla salınımının D3 uygulamasında gerçekleştiği belirlenmiştir. D3 dozunun (11514,9 kg CO₂/ha) birim üretim alanı başına CO₂ salınımı D0 (8177,7 kg CO₂/ha), D1 (8648,9 kg CO₂/ha) ve D2 (9329,7 kg CO₂/ha) dozlarından sırasıyla % 40,8, % 33,1 ve % 23,4 daha yüksek olduğu görülmüştür. S1 sulama uygulamasında (9821,4 kg CO₂/ha) birim üretim alanı başına CO₂ salınımı S2 sulama uygulaması (9621,2 kg CO₂/ha) ile S3 sulama uygulamasına (8810,8 kg CO₂/ha) göre sırasıyla % 2,1 ve % 11,5 daha yüksek bulunmuştur. Birim verim başına CO₂ salınım değerleri incelendiğinde ise bu durumun tersi olarak S1 sulama uygulamasında (85,9 g CO₂/kg verim) CO₂ salınımı S3' e (95,7 g CO₂/kg verim) göre % 11,4 daha düşük belirlenmiştir. Birim verim başına CO₂ emisyonlarında D0 ve D3 dozları istatistiksel olarak benzer değerler sağlanmış, D1 ve D2 dozlarına göre değerler daha yüksek bulunmuştur.

Maris *et al.* (2016) mısırdaki yaptığı çalışmada, sık ve aralıklı sulama uygulamalarının CO₂ salınımlarına etkisini incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre, sık sulama uygulamalarında sezonluk CO₂ salınımının (8416 kg CO₂/ha), aralıklı sulamaya (6045 kg CO₂/ha) kıyasla önemli ölçüde arttığını tespit edilmiştir. Pareja-Sánchez *et al.* (2019), Akdeniz iklim koşullarında sulamalı tarımda azotlu gübre kullanımının mısır yetiştiriciliğinde topraktan CO₂ salınımına

etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, kümülatif CO₂ salınımının 2256 kg CO₂/ha ile 3255 kg CO₂/ha arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Macharia *et al.* (2020) da, gübre uygulanmayan, organik gübre, inorganik gübre ve hem organik hem de inorganik gübre uygulanan mısır tarlalarındaki kümülatif CO₂ salınımlarını sırasıyla 1391 kg CO₂/ha, 1909 kg CO₂/ha, 3574 kg CO₂/ha ve 2703 kg CO₂/ha olarak tespit etmişlerdir. Hou *et al.* (2019) farklı sulama seviyelerinde topraktan salınan kümülatif CO₂ miktarlarının 3581 kg CO₂/ha ile 4805 kg CO₂/ha arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

(Zornoza *et al.* (2016)' da sulama suyu kısıntının artmasıyla CO₂ salınımının düştüğü gözlemlenmiş, tam sulama koşullarında kümülatif CO₂ salınımının 4100 kg CO₂/ha, % 50 kısıntılı sulama durumunda ise 2510 kg CO₂/ha olarak belirlemişlerdir. Ashiq at al. (2020) mısır çalışmasında farklı gübreleme ve biyokömür uygulamalarının sezonluk CO₂ salınımlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, CO₂ salınımlarının 5576 kg CO₂/ha ile 7834 kg CO₂/ha arasında değiştiği ve azotlu gübre kullanımının daha yüksek CO₂ salınımına yol açtığı tespit edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Erzurum İli ekolojisinde gerçekleştirilmiş olan iki yıllık tarla çalışmasında, silajlık mısır bitkisinde, dört farklı arıtma çamuru dozu (0, 30, 60 ve 90 t/ha) uygulamasında gerçek zamanlı su tüketimi yaklaşımıyla farklı su tüketim düzeylerinde damla sulamayla yapılmış sulamalarla toprakta üç farklı sulama uygulamasının (su gereksinimi 25, 50 ve 75 mm olduğunda sulama) mısırdaki verim, kalite ve fizyolojik özellikler ile toprak kimyasal, fiziksel ve hidrolik özellikleri üzerine olan etkileri, toprakta karbon stokunun aylık ve mevsimlik değişimi ve CO₂ salınımı tahmin ve ölçümleri araştırılmıştır.

Türkiye’de, 2010 yılında çıkarılan 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik" ile 27661 sayılı "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik", dikkate alındığında denemede kullanılan arıtma çamuru ağır metal kirliliği ile ilgili yönetmenlik sınır değerlerini aşmamış, organik madde içeriği yeterli bulunmuştur.

Arıtma çamuru dozlarına göre doz arttıkça gerçek bitki su tüketimi değerlerinde kısmen azalış belirlenmiş, iki yıllık ortalamalarda D3 dozuna göre D0 dozunda % 0,17’ lik artış belirlenmiştir. Sulama uygulamalarına göre de göre bitki su tüketimi en yüksek S3’de belirlenmiş, S1 ve S2 ‘ye göre sırasıyla % 32,7 ve % 14,4’lük bir artışa karşılık gelmiştir.

Arıtma çamuru dozları arasında en yüksek WP ve IWP değerleri iki yıllık ortalamalara göre D3 dozunda belirlenmiştir. Sulama uygulamaları arasında ise en yüksek WP ve IWP değerleri iki yıllık ortalamalar dikkate alındığında sık sulama yapılan S1 uygulamasında belirlenmiştir. D3 dozunda WP değerinin D0, D1 ve D2 dozlarından sırasıyla % 42,0, % 20,3 ve % 12,2 IWP değerinin ise % 41,5, % 18,6 ve % 12,7 daha fazla olduğu belirlenmiştir. S1’ in WP değeri S2’ den % 15, S3’ ten % 32,5 IWP değeri de % 7,4 ve % 14,1 daha fazla belirlenmiştir. WP ve IWP değerleri verimden doğrudan etkilenmiş, S1 ve D3 uygulamalarında daha fazla silajlık ot verimi daha yüksek su verimliliği değerlerini ortaya çıkarmıştır.

Deneme başlangıç değerlerine göre toprağın deneme sonrası fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerinde arıtma çamuru dozlarının etkisiyle özellikle yüzey (0-30 cm) tabakada önemli değişimler belirlenmiştir. Arıtma çamuru dozunun artmasıyla ıslak agregat stabilitesi ve porozitenin arttığı, kütle yoğunluğunun ve tane yoğunluğunun ise azaldığı tespit edilmiştir.

Aritma çamuru dozu uygulamalarıyla toprakta pH azalmış, EC değerinde ise artış belirlenmiştir. EC değerinde artış olmasına rağmen toprak ve bitkide sorun oluşturacak düzeye ulaşmamıştır. Aritma çamuru dozlarının artışıyla toprakta pH değerlerinin azalmasıyla CaCO_3 içeriğinin de buna bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu durum pH değeri ile CaCO_3 içeriği arasında önemli pozitif doğrusal ilişkiyle de desteklenmiştir.

Aritma çamuru uygulamalarında organik madde içeriğinde yüzey toprak tabakasında önemli artışlar belirlenmiştir. Organik madde artışının toplam Kjeldahl N ve $\text{NO}_3\text{-N}$ artışlarına önemli etkisi olmuştur. Yine arıtma çamuru dozu toprakların diğer makro element içeriklerini de deneme başlangıç değerlere göre artırmıştır. Aritma çamuru doz artışıyla daha yüksek Na içerikleri ESP değerlerinde artış sağlanmış, ancak özellikle Ca'ya bağlı KDK artışının da etkisiyle toprakta sodyumluluk sorunu sınır değerleri aşmamıştır.

Çalışma sonunda, tüm uygulamalarda toprakta mikro element ve ağır metal içerikleri daha yüksek bulunmuş, ancak mikro element ve ağır metal içerikleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımına Dair Ulusal Yönetmelik”te belirlenen sınır değerlerinin oldukça altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, arıtma çamurunun, sınır değerlerinin aşılmadığı sürece, tarımda besin madde kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Aritma çamuru uygulamalarında yüzey toprak tabakasında tarla kapasitesi değeri daha yüksek bulunmuş ve deneme başlangıç değerlerine göre bir artış belirlenmiştir. Toprakta diğer hidrolik özelliklerini tanımlayan solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerlerinde önemli değişiklik belirlenmemiştir. Ancak doz artışıyla yarayışlı suda bir artış eğilimi olduğu gözlenmiştir.

Aritma çamuru dozu ve sulama uygulamaları silajlık mısırın morfolojik, kimyasal ve fizyolojik özelliklerini önemli düzeyde etkilemiştir. Aritma çamurunda bulunan besin elementlerinin etkisiyle toprak verimliliğinin artmasıyla bitki boyu ve gövde çapı değerlerinde artış belirlenmiş, bu değerlerin artmasının etkisiyle silajlık ot verimi ve kuru madde veriminde artış sağlanmıştır. İki yıllık ortalamalar dikkate alındığında D0 uygulamasına göre silajlık ot verimi D1, D2 ve D3 uygulamaları sırasıyla % 17,9, % 26,5 ve % 42,1 daha fazla belirlenmiştir. Sulama uygulamalarının etkisiyle de S1'e göre S2'de % 3,8 ve S3'de % 8,1 daha düşük bulunmuştur.

Kuru madde verimleri ise arıtma çamuru uygulamalarına göre sırasıyla % 14,4, % 23,9 ve % 39,2 daha yüksek bulunmuş, sulama uygulamalarına göre yine sırasıyla %11,4 ve % 26,8 azalmıştır.

İki yıllık ortalamalara göre ADF, NDF ve ham protein oranı değerleri tüm uygulamalardan önemli seviyede etkilenmiştir. Arıtma çamuru dozunun düşmesi ve toprakta kuru kalma sürecinin artması ADF ve NDF değerlerini artırmıştır. Ancak ham protein oranında tersine bir durum belirlenmiştir. Ham protein oranının yüksek olmasının bitkinin yüksek azot içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Arıtma çamuru dozu uygulamaları silajlık mısırdaki N, P, K, Ca, Mg, ve Na içeriklerinde artış sağlamıştır. Yine arıtma çamuru dozu uygulamalarıyla bitkide mikro element ve ağır metal içeriklerinde de artış belirlenmiştir. Bitki mikro element ve ağır metal içerik birikimi sırasıyla $Fe > Mn > B > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > Ni$ şeklinde gerçekleşmiştir. Bitkide Hg' ye ise rastlanmamıştır.

Arıtma çamuru doz artışı silajlık mısırdaki SPAD, stoma iletkenliği, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanmayı artırmıştır. Sulama uygulamalarında ise S1'den S3' e doğru toprakta su stres seviyesinin artmasıyla SPAD, stoma iletkenliği, yaprak alan indeksi yaprak oransal su içeriği azalmış, membran zararlanma ise artmıştır. Bu durumun D3 ve S1' de silajlık ot verimine olumlu yönde katkı sağladığı değerlendirilmiştir.

2021 yılında, D0 dozuna kıyasla D1, D2 ve D3 dozlarındaki kararlı infiltrasyon hızları sırasıyla 2,3 kat, 4,1 kat ve 7,7 kat daha yüksek bulunmuştur. 2022 yılında ise bu oranlar sırasıyla 1,9 kat, 3,9 kat ve 6,4 kat olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, S3 uygulaması baz alındığında, S1 ve S2 uygulamalarındaki kararlı infiltrasyon hızları 2021 yılında sırasıyla 1,3 kat ve 1,1 kat; 2022 yılında ise 1,4 kat ve 1,2 kat daha yüksek değerler göstermiştir.

Karbon stok değişimlerine bağlı olarak tahmin edilen karbon salınımları, iki yıllık ortalamalara göre sezonluk dönemde en yüksek karbon salınımı D3 uygulamasında belirlenmiştir. D3 uygulaması, D0, D1 ve D2 uygulamalarına kıyasla daha yüksek karbon salınımı göstermiştir. Sulama uygulamalarında ise S1 uygulaması en fazla karbon salınımını sağlamış, S2 ve S3 uygulamalarına göre daha yüksek bulunmuştur.

Bu çalışmada, D3 uygulamasında D0' a göre CO₂ salınımı toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve toplam sezonluk dönemde sırasıyla % 23,9 % 41,4 ve % 40,8 daha yüksek bulunmuştur. Sulama uygulamalarında ise özellikle sulama döneminde S1 uygulaması S3' e göre % 11,7 artış sağlamıştır.

Arıtma çamuru dozu uygulamalarında doz artışıyla H₂O salınımları da artmıştır. Toprak işleme-ekim dönemi, sulama dönemi ve toplam sezonluk döneminde sırasıyla D0 uygulamasında H₂O salınımı, D3' e göre % 5,7, %7,4 ve % 6,4 daha düşük belirlenmiştir. Sulama uygulamalarında H₂O salınımları S1'den S3' doğru H₂O salınım değerlerinin azaldığı

tespit edilmiştir. Sezonluk döneminde S1 sulama uygulamasında H₂O salınımı, S3' göre % 6,9 daha fazla belirlenmiştir.

Aritma çamuru dozu uygulamalarında sulama döneminde 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinde D3 uygulamasında nem değerleri D0' a göre % 2,41, % 1,90 ve % 1,89 daha yüksek bulunmuştur. Sulama uygulamalarında ise 5 cm, 10 cm ve 20 cm toprak derinliklerinin ortalamaları dikkate alındığında S1 uygulaması S3' göre % 9,4 daha yüksek nem değeri sağlamıştır. Toprakta stres seviyesi arttıkça CO₂ salınımında düşüş tespit edilmiştir. Toprağın daha uzun süre kuru kalması durumunda CO₂ salınımının en düşük seviyede olduğu görülmüştür.

Toprakta artan azot miktarının da, CO₂ salınımındaki artışa neden olduğu değerlendirilmiştir. Bu durum, toprakta CO₂ salınımı ile azot içeriği arasında önemli doğrusal pozitif ilişkiyle de desteklenmiştir.

Aritma çamuru dozu uygulamalarında sezonluk CO₂ salınım değerleri, tüm dozlarda en fazla salınımının D3 uygulamasında gerçekleştiğini göstermiştir. D3 dozu birim üretim alanı başına CO₂ salınımını D0, D1 ve D2' ye göre sırasıyla % 40,8, % 33,1 ve % 23,4 artmıştır. S1 sulama uygulamasında birim alan başına CO₂ salınımı S2 ve S3' e göre sırasıyla % 2,1 ve % 11,5 daha yüksek belirlenmiştir. Birim verim başına CO₂ salınım değerleri incelendiğinde ise bu durumun tersi olarak S1 sulama uygulamasında CO₂ salınımı S3' e göre % 11,4 daha düşük bir değer göstermiştir. Dozlar arasında da birim verim başına CO₂ salınımlarının D0 ve D3 dozlarının istatistiksel olarak benzer değerler gösterdiği tespit edilmiş, D0 ve D3 dozlarının CO₂ salınım değerlerinin, D1 ve D2 dozlarına kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Toprakta CO₂ salınımları ile hava sıcaklığı, H₂O salınımı ve farklı toprak derinliklerindeki sıcaklık ve nem arasında güçlü pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Bu ilişkiler doğrultusunda, CO₂ salınımını etkili bir şekilde değerlendirebilmek için toprakta 5 cm derinlikteki sıcaklık ve nem ölçümlerinin yeterli olabileceği değerlendirilerek, böylece CO₂ salınımının izlenmesi ve yönetilmesi için daha pratik bir yaklaşım sonucuna ulaşılmıştır.

Aritma çamurunun karıştırıldığı yüzey toprakta, ıslanma ve kuruma süreci kısaldıkça CO₂ salınımının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, toprakta organik madde içeriğinin artması da CO₂ salınımını artırmıştır. Sezonluk CO₂ salınımı açısından, birim verim başına CO₂ salınımı yüzey toprakta nem azaldıkça artarken, birim alan başına CO₂ salınımı ise azalmıştır. Bu durum, daha küçük bir alanda aynı verimin elde edilebileceği koşulda CO₂ salınımının etkili bir şekilde kontrol edilebilmesi için sık sulama yapılmasının daha verimli olacağını göstermektedir. Yani, nemin kontrolü ve organik madde içeriğinin yönetimiyle, CO₂ salınımını optimize etmek ve verimliliği artırmak mümkün olacaktır.

Sonuç olarak, arıtma çamurunun toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özellikleri üzerinde önemli olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Silajlık mısır üzerinde yapılan gözlemler, arıtma çamurunun mısır bitkisinin verim ve kalite özelliklerine de pozitif katkılar sağladığını ortaya koymuştur. Arıtma çamurunun kullanımı, mısır bitkisinin gelişimini destekleyerek daha yüksek verim elde edilmesine yardımcı olmuştur. Aynı zamanda, bitkilerin besin maddelerine daha iyi erişim sağlaması ve suyun daha verimli kullanılabilmesi, silajlık mısırın kalite özelliklerinde de iyileşmelere yol açmıştır. Genel olarak, arıtma çamuru kullanımı, toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerini geliştirerek, silajlık mısırın verim ve kalitesinde belirgin bir artış sağlamıştır.

Arıtma çamurun bertarafıyla çevresel bir katkıyla stabilize arıtma çamurunun riskleri minimize ederek silajlık mısır yetiştiriciliğinde güvenle kullanılabileceği ve bitki fizyolojik göstergeleriyle verim ilişkilendirmelerinin de yüksek doğrulukla gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Ayrıca sık sulamayla silajlık mısırın verime pozitif yönde katkı sağlayabileceği de söylenebilir.

Arıtma çamuru ilavesiyle toprağa organik madde kazandırılması, toprak üretkenliğinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. İyileştirilmiş tarımsal uygulamalarla toprak önemli bir karbon deposu haline dönüştürülerek, kentsel arıtma çamurlarının toprak üretkenliğine katkılarıyla tarımsal üretimde artışlar ve CO₂ emisyonlarını azaltma kapsamında da küresel ölçekte mevcut önleyici uygulamalara katkılar sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdallh, A. H. M. & Sahin, U., 2020. Saline-Sodic Soil Reclamation with Stabilized Sewage Sludge and Recycled Wastewater. *Environmental Engineering & Management Journal (Eemj)*, 19(12).
- Abdelfattah, M.A., 2013. Pedogenesis, land management and soil classification in hyper- arid environments: results and implications from a case study in the United Arab Emirates. *Soil Use and Management*, 29 (2), 279-294.
- Achkir, A., Aouragh, A., El Mahi, M., Labjar, N., Bouch, M. E., Ouahidi, M. L., and Moussaoui, T. E., 2023. Implication of sewage sludge increased application rates on soil fertility and heavy metals contamination risk. *Emerging Contaminants*, 9(1), 100200.
- Açıkgöz, N., 1993. Tarımda Araştırma ve Deneme Metodları. E.Ü.Z.F. Yayınları, No: 478, III. Basım, İzmir.
- Adekiya, A. O., Ejue, W. S., Olayanju, A., Dunsin, O., Aboyeji, C. M., Aremu, C. O., and Akinpelu, O., 2020. Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra. *Sci Rep* 10: 16083.
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., and 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.
- Akşit, C., 2020. Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemi ile Uygulanan Farklı Sulama Suyu Miktarlarının Silajlık Mısır Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akter, S., Kamruzzaman, M., Sarder, M. P., Amin, M. S., Joardar, J. C., Islam, M. S., and Halder, M., 2024. Mycorrhizal fungi increase plant nutrient uptake, aggregate stability and microbial biomass in the clay soil. *Symbiosis*, 1-14.
- Alaboz, P. ve Çakmakçı T., 2020. Kumlu tın ve killi tın toprakta kokopit uygulamasının tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası üzerine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33 (2), 285-290.
- AL-Huqail, A. A., Kumar, P., Abou Fayssal, S., Adelodun, B., Širić, I., Goala, M., and Eid, E. M., 2023. Sustainable Use of Sewage Sludge for Marigold (*Tagetes Erecta* L.) Cultivation: Experimental and Predictive Modeling Studies on Heavy Metal Accumulation. *Horticulturae*, 9(4), 447.
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Battaglia, M. L., Shami, A., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., and 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.
- Allison, L., Bollen, W.B. and Moodie, C.D., 1965. Total carbon. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 1346-1366.
- Al-Shaheen, M. R., and Soh, A., 2016. Effect of proline and Gibberellic Acid on the qualities and qualitative of Corn (*Zea maize* L.) under the influence of different levels of the water stress. *Int. J. Sci. Res. Publ*, 6, 752-756.
- Altun M. and Sahin U., 2021. The Effects of Irrigation Regime on Silage Maize Chlorophyll Content (SPAD) in Sewage Sludge Applied Soil. 3 rd International Conference on Food,

- Agriculture and Animal Sciences (ICOFAAS 2021), Erzurum, Türkiye, 13 - 17 Ekim 2021, 315-325.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Anonim, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete, (27661).
- Anonymous, 2007. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (05.05.2018).
- Anonymous, 2013. Effects of Manure and fertilizer on soil fertility and soil quality. Manitoba, p. 68. (<http://www.gov.mb.ca/agriculture/environment/nutrient-management/pubs/>).
- Antoniadis, V., Koutroubas, S. D., and Fotiadis, S., 2015. Nitrogen, phosphorus, and potassium availability in manure-and sewage sludge–applied soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(3), 393-404.
- Antonkiewicz, J., Kuc, A., Witkiewicz, R., and Tabak, M., 2019. Effect of municipal sewage sludge on soil chemical properties and chemical composition of spring wheat. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(3), 583-595.
- Araujo, J. L., de Mesquita Alves, J., Rocha, R. H. C., Santos, J. Z. L., dos Santos Barbosa, R., da Costa, F. M. N., and da Silva Sá, F. V., 2023. Beneficial microorganisms affect soil microbiological activity and corn yield under deficit irrigation. *Agriculture*, 13(6), 1169.
- Ashiq, W., Nadeem, M., Ali, W., Zaeem, M., Wu, J., Galagedara, L., Thomas, R., Cheema
- Ashrafuzzaman, M., Artemi, C., Santos, F. D., and Schmidt, L., 2022. Current and future salinity intrusion in the south-western coastal region of Bangladesh. *Spanish Journal of Soil Science*, 12, 10017.
- Asik, B. B., Aydinalp, C., Katkat, A. V., and Sagban, F. O. T., 2015. Effect of the application of various wastewater sludges on the properties of sandy soil. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-11.
- 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.
- Australian Water Association, 2020. What are biosolids? What is in biosolids? Australian Water Association. Retrieved from, <https://www.biosolids.com.au/info/what-are-biosolids/>
- Aydemir, M., and Kara, Z., 2023. Yumuşak Çekirdekli Meyve Yapraklarının Toprakların Bazı Özelliklerine Etkisi. *Ispac Journal Of Agricultural Sciences*, 7(1), 45-52.
- Aydinsakir, K., Erdal, S., Buyuktas, D., Bastug, R., and Toker, R., 2013. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. *Agricultural Water Manag.*, 128, 65-71.
- Ayers, R. S., and Westcot, D. W., 1985. Water quality for agriculture (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- Ayers, R.S., and Westcot, D.W., 1989. Salinity problems. In: FAO, editor Water quality for Agriculture, Italy.
- Ayyıldız, M., 1983. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 879/24.

- Babaoğlu, 2015. Mısır Tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89> (15.02.2021).
- Badaou, A. N. A. D., and Sahin, Ü., 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*, vol.19, no.7, 6453-6466.
- Badaou, A. N., and Sahin, U., 2021. 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*, 1-14.
- Bahreman, M. R., Afyuni, M., Hajabbassi, M. A., and Rezaeinejad, Y., 2003. Effect of sewage sludge on soil physical properties. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 6(4), 1-9.
- Balbaa, M. G., Osman, H. T., Kandil, E. E., Javed, T., Lamlo, S. F., Ali, H. M., and 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.
- Baloch, M. Y. J., Zhang, W., Sultana, T., Akram, M., Al Shoumik, B. A., Khan, M. Z., and Farooq, M. A., 2023. Utilization of sewage sludge to manage saline-alkali soil and increase crop production: Is it safe or not?. *Environmental Technology and Innovation*, 103266.
- Baran, Ö., 2015. Farklı sulama seviyeleri ve azot dozlarının silajlık mısırdaki (zea mays L.) verim, verim öğeleri ile silaj kalitesine etkileri. Y. Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Barut, B. Z., Turgut, M. M., Akbolat, D., and Celik, I., 2012. Effects of tillage systems on CO₂ emissions from soil. In *International Conference of agricultural Engineering CIGR-Ageng* (pp. 8-12).
- Basso, B., and 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., and 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.
- Bayraktar, B., and Tekce, E., 2018. Deneysel Olarak Sıcaklık Stresi Oluşturulan Broilerde Farklı Oranlarda Kullanılan Bazı Bitkisel Ekstrelerin Serum Demir Seviyesine Etkisinin İncelenmesi. *Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Dergisi*, 1(2), 50-55.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manai, C.M., and Nunes O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Env. International*, 75, 117-135.
- Bedel, L., Legout, A., Poszwa, A., van Der Heijden, G., Court, M., Goutal-Pousse, N., and Ranger, J., 2018. Soil aggregation may be a relevant indicator of nutrient cation availability. *Annals of forest science*, 75, 1-12.
- Bellitürk, K., Danişman, F., and Sözübek, B., 2009. Tekirdağ yöresindeki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mineralizasyon kapasiteleri arasındaki ilişkiler. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 22(2), 141-147.
- Benešová, M., Hla, D., Fischer, L., Jedelský, P. L., Hnilčka, F., Wilhelmová, N., and 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.

- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., and 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.
- Bianchini, A., Bonfiglioli, L., Pellegrini, M., and Saccani, C., 2016. Sewage sludge management in Europe: a critical analysis of data quality. *International Journal of Environment and Waste Management*, 18(3), 226-238.
- Biswas, S.K., and Mojid, M.A., 2018. Changes in soil properties in response to irrigation of potato by urban wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 4(7), 828-839.
- Biswas, S.K., Mojid, M.A., and 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.
- Blake, G.R. and Hartge K.H., 1986 a. Particle density. In 'Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods (2nd edn.)' (Ed. A Klute) *Agronomy Monograph No. 9*, (American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Medison.
- Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P., and 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., and 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.
- Budak, M., ve 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. and Naujokienė, V., 2019. Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment*, 662, 786-795.
- Cakır, H. N., and Cimrin, K. M., 2018. Effects of Urban Wastewater Sludge Applications; II.Effects on Maize Plant, Soil Micro Nutrient Elements, and Heavy Metal Contents. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Agriculture and Nature*, 21(6), 891-901.
- Cakır, H. N., and 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, O., Cakmakci, T., Durak, E.D., Demir, S., and Sensoy, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi in melon (cucumis melo l.) seedling under deficit irrigation. *Feb-Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7513-7520.
- Cakmakci, T., and Sahin U., 2021b. Improving silage maize productivity using recycled wastewater under different irrigation methods. *Agr. Water Management*, 255, 107051.
- Carroll, D.A., Hansen, N.C., Hopkins, B.G., and DeJonde K.C., 2017. Leaf temperature of maize and crop water stress index with variable irrigation and nitrogen supply. *Irrigation Science*, 35, 549-560.

- Cassel, D.K., and 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.
- Castellanos-Rozo, J., Galvis-López, J. A., and Castellanos, N. A. M., Manjarres-Hernández, E. H., and Rojas, A. L., 2020. Assessment of two sludge stabilization methods in a wastewater treatment plant in Sotaquirá, Colombia. *Universitas Scientiarum*, 25(1), 17-36.
- Cenkseven, S., Kizildag, N., Kocak, B., Sagliker, H. A., and Darici, C., 2017. Soil organic matter mineralization under different temperatures and moisture conditions in Kızıldag Plateau, Turkey. *Sains Malaysiana*, 46(5), 763-771.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Peklová, L., and Sedlář, O., 2012. The effect of mineral N fertiliser and sewage sludge on yield and nitrogen efficiency of silage maize. *Plant, Soil and Environment*, 58(2), 76-83.
- Cerri, C. E. P., Damian, J. M., Alves, P. A., Cerri, D. G. P., and Cherubin, M. R., 2024. On-farm greenhouse gas emissions and soil carbon stocks of a soybean–maize system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1-16.
- 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., Bárcenas-Ferruzca, E., and Trejo-Alonso, J., 2020. Water-use efficiency and productivity improvements in surface irrigation systems. *Agronomy*, 10(11), 1759.
- Chen SC., Liang ZZ., Webster R., Zhang GL., Zhou Y., Teng HF., Hu BF., Arrouays D., and 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. *Sci Total Environ* 655:273–283.
- Chen, Y., Van Zwieten, L., Xiao, K., Liang, C., Ren, J., Zhang, A., and Sun, K., 2024. Biochar as a green solution to drive the soil carbon pump. *Carbon Research*, 3(1), 44.
- Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, F., and 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.
- Cherfouh, R., Lucas, Y., Derridj, A., and Merdy, P., 2018. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35571-35581.
- Cicek, A., Karaman, M.R., Turan, M., Gunes, A., and Cigdem, A., 2013. Yield and nutrient status of wheat plant (*T. aestivum*) influenced by municipal wastewater irrigation. *Journal Food Agricultural Environment*, 11, 733-737.
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Frattarola, A., Carnevale Miino, M., Padovani, S., Katsoyiannis, I., and Torretta, V., 2019. Legislation for the Reuse of Biosolids on Agricultural Land in Europe: Overview. *Sustainability*, 11(21), 6015.
- Corrêa, R. S., Barbosa, J. Z., Poggere, G. C., Magri, E., and Oliveira, S. A., 2023. Grain and foliar nutritional responses of corn (*Zea mays* L.) to sewage sludge soil application. *Waste and Biomass Valorization*, 14(8), 2629-2641.
- Cwieląg-Piasecka, I., 2023. Soil organic matter composition and pH as factors affecting retention of carbaryl, carbofuran and metolachlor in soil. *Molecules*, 28(14), 5552.

- Çakır, H. N., and Çimrin, K. M., 2018. Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Etkisi; II. Mısır Bitkisi ve Toprağın Mikro Besin Element ve Ağır Metal İçerikleri Üzerine Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 21(6), 891-901.
- Çakmakçı, 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., ve 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., and Türk, M., 2021. Yüzey Altı Damla Sulama Yöntemi İle Sulanan Silajlık Mısırdaki (Zea mays L.) Kısıtlı Su Uygulamalarının Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. *Journal of the Faculty of Agriculture/Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2).
- Çelebi, R., Çelen, A. E., Çelebi, Ş. Z. ve Şahar, A. K., 2010. Farklı azot ve fosfor dozlarının mısırın (Zea mays L.) silaj verimi ve kalitesine etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 24(4), 16-24.
- Çevik, 2012., Mısır Raporu. Ulusal Hububat Konseyi (UHK), Konya.
- Çiğdem, İ., ve Ferat, U., 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.
- Da Silva, W. R., Fracetto, G. G. M., Fracetto, F. J. C., Da Silva, Y. J. A. V., De Souza, A. A. B., and Do Nascimento, C. W. A., 2022. The Stabilization Method of Sewage Sludge Affects Soil Microbial Attributes and Boosts Soil P Content and Maize Yield in a Sludge-Amended Soil in the Field. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1267-1276.
- Dağdelen, N., Akçay, H., Sezgin, F., Ünay, A., ve Gürbüz T., 2009. Farklı sulama rejimleri altında silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, 53-64.
- Dal Ferro, N., Camarotto, C., Piccoli, I., Berti, A., Mills, J., and Morari, F., 2020. Stakeholder perspectives to prevent soil organic matter decline in Northeastern Italy. *Sustainability*, 12(1), 378.
- Damour, G., Simonneau, T., Cochard, H., and Urban, L., 2010. An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, cell and environment*, 33(9), 1419-1438.
- Danielson, R.E., and Sutherland, P.L. 1986. Porosity. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and mineralogical Methods*, 2nd Ed. Soil Sci. Soc. Of America, Madison, USA, 443-460.
- Dar, Z. A., Bhat, J. I. A., Qazi, G., Ganie, S. A., Amin, A., Farooq, S., and Rasool, A., 2023. Municipal sewage sludge, aquatic weed compost on soil enzymatic activity and heavy metal accumulation in Kale (Brassica oleracea L.). *Applied Water Science*, 13(2), 60.
- Demir Dogan, A., and 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., 2010. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın verim, besin elementi ve ağır metal içeriğine etkisi. Y. Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

- Demir, E., and Topaç, F. O., 2019. Arıtma amurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanımı: Topraktaki Azot Proseslerinde Meydana Gelen Değişimler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 337-354.
- Demir, E., ve imrin, K. M., 2011. Arıtma amuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri.
- Demir, M., Sarıyev, A., Acar, M., Sesveren, S., and Wahab, T. S., 2021. Kısıntılı Sulama Altında Hibrit Mısır eşitlerinin Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Bir Sera alışması. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(2), 391-404.
- Deniz, M., 2020. Manisa ovasında bazı silajlık mısır (*Zea mays* L.) eşitlerinin adaptasyon, verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi (Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Deniz, M., 2020. Manisa ovasında bazı silajlık mısır (*Zea mays* L.) eşitlerinin adaptasyon, verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi (Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ding, Z., Kheir, A.M.S., Ali, M G.M., Ali, O.A.M., Abdelaal, A.I.N., Lin, X., Zhou, Z., Wang,B., Liu, B., and He Z., 2020. The integrated effect of salinity, organic amendments,phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific Reports*, 10, 2736.
- Dizikisa, T., 2014. Erzurum yöresinde (Merkez, Pasinler Ve Oltu) yaygın olarak yetiştirilen patates (*solanum tuberosum* l.) bitkisinin beslenme durumunun toprak ve bitki analizleri ile değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, D. S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., and Angadi, S. V., 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417.
- Dolferus, R., 2014. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Science*, 2229, 247-261.
- Domingues, R. R., Sánchez-Monedero, M. A., Spokas, K. A., Melo, L. C., Trugilho, P. F., Valenciano, M. N., and Silva, C. A., 2020. Enhancing cation exchange capacity of weathered soils using biochar: feedstock, pyrolysis conditions and addition rate. *Agronomy*, 10(6), 824.
- Dong, M., Wang, G., Gul Wazir, Z., Liu, J., Hou, G., Gao, X., and Liu, H., 2023. The aggregation effect of organic matter on bauxite residue particles and its improvement mechanism. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1154191.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- Ekinci, M., Ors, S., Sahin, U., Yildirim, E., and 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.
- Elik, N., ve Sakin E., 2021. Toprağa uygulanan farklı nem ve biyoarın CO₂-C emisyonuna ve NO₃-NH₄ içeriğine etkisi. *Adyutayam*, 9 (1), 1-12.
- Elloumi, N., Belhaj, D., Jerbi, B., Zouari, M., Kallel, M., 2016. Effects of sewage sludge on bioaccumulation of heavy metals in tomato seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), e0807.
- Elsalam, H. E. A., El-Sharnouby, M. E., Mohamed, A. E., Raafat, B. M., and El-Gamal, E. H., 2021. Effect of sewage sludge compost usage on corn and faba bean growth, carbon and nitrogen forms in plants and soil. *Agronomy*, 11(4), 628.

- Environmental Protection Agency, 2022a. Basic information about biosolids: biosolids uses. Environmental Protection Agency, US. <https://www.epa.gov/biosolids/basic-information-about-biosolids>
- EPA, 2003. US Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including Domestic Septage) under 40 CFR part 503.
- Erdal, İ., Kaplankıran, B., Evren, E., Küçükyumuk, Z., and Türkan, Ş. A., 2014. Farklı demir içeriklerine sahip besin çözültüsüyle beslenen domates bitkisinin gelişimi, toplam demir, aktif demir, klorofil ve SPAD değerleri arasındaki ilişkiler. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 36-41.
- ESKİ, 2016. Erzurum Büyük Şehir Belediyesi, Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Erzurum.
- Eurostat, 2022. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). Data Browser. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00030/default/table?lang=en&category=env.env_wat.env_nwat
- Evans, S.E., and Burke, I.C., 2013. Carbon and nitrogen decoupling under an 11-year drought in the shortgrass steppe. *Ecosystems* 16, 20–33.
- Fan X, Zhu W, Qian Y, Wu S, Shu S., and Lin N., 2019. Increasing the hydraulic conductivity of solidified sewage sludge for use as temporary landfill cover. *Advan Civil Eng* 2019:8163563.
- Fan Y, Ge T, Zheng Y, Li H., and Cheng F., 2016. Use of mixed solid waste as a soil amendment for saline-sodic soil remediation and oat seedling.
- Fan, Y. J., Zhu, W., Gong, M., Su, Y., Zhang, H. W., and Zeng, J. N., 2016. Catalytic gasification of dewatered sewage sludge in supercritical water: Influences of formic acid on hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(7), 4366-4373.
- FAO, 2015. Status of the world's soil resources (SWSR)—main report. Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils, Rome, Italy, 650.
- FAO, 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- FAO, 2020. Maize. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en/> (20.07.2023).
- Fares, A., Bensley, A., Bayabil, H., Awal, R., Fares, S., Valenzuela, H., and 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.
- Farre I., and Faci JM., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manage.* 96: 383-394.
- Feng, G., Zhang, Z., Wan, C., Lu, P., and Bakour, A., 2017. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system. *Agricultural water management*, 193, 205-213.
- Feng, J., Burke, I. T., Chen, X., and Stewart, D. I., 2023. Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: Implications for soil application and environmental risk. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(4), 1037-1058.

- Fer, M., Kodešová, R., Nikodem, A., Klement, A., and Pavlů, L., 2024. Carbon dioxide and water effluxes from soils affected by reclaimed wastewater and sludge from the wastewater treatment plant during the three-year period. *Biologia*, 1-13.
- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., and Kacprzak, M. J., 2017. The presence of contaminations in sewage sludge–The current situation. *Journal of environmental management*, 203, 1126-1136.
- Fine, P., and Hadas, E., 2012. Options to reduce greenhouse gas emissions during wastewater treatment for agricultural use. *Science of the Total Environment*, 416, 289-299.
- Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z-M., Condon, A.G., and Saavedra, A.L., 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies, *Crop Science*, 38 (6), 1467-1475.
- Gao, X., Rodrigues, S. M., Spielman-Sun, E., Lopes, S., Rodrigues, S., Zhang, Y., and Lowry, G. V., 2019. Effect of soil organic matter, soil pH, and moisture content on solubility and dissolution rate of CuO NPs in soil. *Environmental science and technology*, 53(9), 4959-4967.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part A*. Klute (ed.). 2 Ed., Vol. 9 nd., Am. Soc. Agron., Madison, WI, 383-411.
- Gezer, E., 2012. İkinci ürün silajlık mısır üretiminde İSKİ atık su arıtma çamuru kullanımının toprak özellikleri, bitki gelişimi ve su kullanımına etkisi.
- Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., and 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.
- Gomaa, M.A., Kandil, E.E., El-Dein, A.A.M.Z., Abou-Donia, M.E.M., Ali, H.M., and Abdelsalam N.R., 2021. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress, *Science Reports*, 11, 224.
- Gönülal, E., and Soylu, S., 2020. Mısır Bitkisinde (*Zea Mays* L.) Farklı fenolojik dönemlerdeki su stresi uygulamalarının tane verimi, sulama suyu kullanım etkinliği ve maliyet üzerine etkileri. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(1), 11-20.
- Gönülal, E., ve Soylu S., 2019. Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde farklı fenolojik dönemlerdeki su kısıntılarının bazı tarımsal özellikler üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6 (4), 753-758.
- Gözübüyük, Z., Öztaş, T., Çelik, A., Yıldız, T., ve Adıgüzel, M. C., 2017. Farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 48-54.
- Gultekin, R., Kadri, A. V. A. Ğ., Görgişen, C., Öztürk, Ö., Yeter, T., and Alsan, P. B., 2023. Effect of deficit irrigation practices on greenhouse gas emissions in drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111757.
- Gümüş, İ., Şeker, C., Negiş, H., Özaytekin, H. H., Karaarslan, E., and 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. ve Gül İ., 2010. Erzurum şartlarında bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve silaj kalitelerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (2), 105-111.

- Güney, E., ve Tan M., 2019. Yüksek rakımda farklı olgunlaşma süresine sahip silajlık mısır çeşitlerinin ekim zamanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 314-321.
- Gürel, S., 2024. Gıda Atığı Kompostu ile Kimyasal Gübre Uygulamasının Marul ve Ispanak Yetiştirilen Vertisol Grubu Toprakların Verimliliğine Etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(2), 396-408.
- Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Katterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jorgensen, H.B., and Isberg, P.E., 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environ. Evid.* 5 (1), 1–8..
- Halder, M., Islam, M. U., Liu, S., Guo, Z., Zhang, Z., and Peng, X., 2024. Organic materials quality to control soil aggregation: A meta-analysis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-14.
- Hamdi, H., Hechmi, S., Khelil, M. N., Zoghalmi, I. R., Benzarti, S., Mokni-Tlili, S., and Jedidi, N., 2019. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. *Catena*, 172, 11-20.
- Hamzei, J., and Soltani, J., 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 155, 153-160.
- Han, M., Zhang, H., DeJonge K.C., Comas L.H., and Trout T.J., 2016. Estimating maize water stress by standard deviation of canopy temperature in thermal imagery. *Agricultural Water Management*, 177, 400–409.
- Hartemink, A. E., and Barrow, N. J., 2023. Soil pH-nutrient relationships: the diagram. *Plant and Soil*, 486(1), 209-215.
- Hniličková, H., Hnilička, F., Orsák, M., and Hejtnák, 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.
- Hou, H., Han, Z., Yang, Y., Abudu, S., Cai, H. and Li Z., 2020. Soil CO₂ emissions from summer maize fields under deficit irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4442-4449.
- Hou, H., Yang, Y., Han, Z., Cai, H., and Li Z., 2019. Deficit irrigation effectively reduces soil carbon dioxide emissions from wheat fields in Northwest China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (12), 5401-5408.
- Howell, T.A., 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal*, 93, 281–289.
- Hu, W., Jiang, N., Yang, J., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., and 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.
- Hudcová, H., Vymazal, J., ve Rozkošný, M., 2019. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research*, 14(2), 104-120.
- Hussein, A. H. A., 2009. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient contents of cucumber crop. *Journal of Applied Sciences*, 9(8), 1401-1411.
- IGC, 2023. International Grains Council. (n.d.). Retrieved July 9, 2023, from <https://www.igc.int/en/default.aspx>

- Ignatowicz, K., 2017. The impact of sewage sludge treatment on the content of selected heavy metals and their fractions. *Environmental Research*, 156, 19-22.
- Ines, B.S., Imed, M., Frikha, D., Mohamed, C., and Adele, M., 2017. Reclaimed municipal wastewater for forage production. *Water Science and Techn.*, 75(8), 1784-1793.
- Inglezakis, V. J., Zorpas, A. A., Karagiannidis, A., Samaras, P., Voukkali, I. ve Sklari, S. 2014. European Union legislation on sewage sludge management. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(2A), 635-639.
- Jabro, J.D., Sainju, U., Stevens, W.B., and Evans, R.G., 2008. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *J. Environ. Manag.* 88 (4), 1478–1484.
- Jalali, M., Imanifard, A., and Jalali, M., 2023. Heavy metals accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) roots and shoots grown in calcareous soils treated with non-spiked and spiked sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 20862-20873.
- Janos, N., 2010. Impact of fertilization and irrigation on the correlation between the soil plant analysis development value and yield of maize. *Communications in soil science and plant analysis*, 41 (11), 1293-1305.
- 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.
- Kadioğlu, B. ve Canbolat M.Y., 2019 Organik ve inorganik materyallerin ince bünyeli toprağailavesi ile hazırlanan yetiştirme ortamlarının hidrofiziksel özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50 (2), 107-114.
- Kale, H., Kaplan, M., Ulger, I., Unlukara, A. and 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., and 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. ve Ünlü, M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap No: A-87, Adana.
- Kaplan, M., Baran, O., Unlukara, A., Kale, H., Arslan, M., Kara, K., Beyzi, S.B., Konca, Y., and Ulas A., 2016. The effects of different nitrogen doses and irrigation levels on yield, nutritive value, fermentation and gas production of corn silage. *Turkish Journal of Field Crops*, 21 (1), 101-109.
- 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. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni. Fen Bil. Ens., Konya.
- Karakuş, İ., 2021. Şeker mısırında (*zea mays saccharata* sturt) farklı sulama ve azot seviyelerinin taze koçan verimi ile verim öğeleri üzerine etkisi (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Karasu, A., Kuscü, H., Mehmet, O.Z. and 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 Cluj-Napoca*, 43 (1), 138-145.

- Keeney, D. R. and Nelson, D. W., 1982. Nitrogen—inorganic forms. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 643-698.
- Keleşoğlu, S., 2016. Düzenleyici olarak kullanılan değişik organik madde kaynaklarının farklı toprakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkileri (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kemper, D.W. and Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, In: A. Klute, Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1*, American Society of Agronomy, Madison, 425-442.
- Keskin, B., Akdeniz, H., Temel, S. ve 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 Üni. Fen Bil. Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Khan, A., Javid, S., Muhmood, A., Mjeed, T., Niaz, A. and Majeed A., 2013. Heavy metal status of soil and vegetables grown on peri-urban area of Lahore district. *Soil and Environment*, 32, 49-54.
- Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B., Nefzi, B.M., Jozdan, O., Dakheel, A. and Hachicha M., 2015. Effect of treated wastewater irrigation on heavy metals distribution in a Tunisian soil. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 5, 805-810.
- Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C. and Higgs D., 2002. Effects of deficit irrigation on growth, yield and fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53 (12), 1367-1373.
- Kiziloglu, F.M., Şahin, U., Kuşlu, Y. and Tunc T., 2009. Determining water-yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semi arid 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.
- Kobak, Ö. ve Taş İ., 2021. İkinci ürün silajlık mısırdaki dinamik sulama programının verim ve morfolojik özellikler üzerine etkisi. *Adnan Menderes Üni. Ziraat Fak. D.*, 18 (1), 49-57.
- Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., and 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. ve Akçura, M. 2017. Farklı Çevrelerde Yetiştirilen Silajlık Mısır Çeşitlerinin Kuru Ot Verimi İle Bazı Kalite Özellikleri Arasındaki İlişkilerinin Çeşitli Özellik Biplot Analizi İle Değerlendirilmesi. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 20, 46.
- Kumar, V., Chopra, A. K., and Kumar, A. (2017). A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(4), 340-347.
- 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. ve 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.
- Kuşvuran, Ş., 2010. Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Küçük Kaya, S. 2021. Azotlu Gübrelemenin Farklı Kuraklık Koşullarında Yetiştirilen Zeytin Bitkisinde Fizyolojik ve Biyokimyasal Özelliklere Olan Etkilerinin İncelenmesi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Aydın.
- Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., Jedidi, N., Gianfreda, L., and 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.
- Lal, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265-3277.
- Lamastra, L., Suci, N. A., and Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), 1-6.
- Laurent, C., Bravin, M. N., Crouzet, O., Pelosi, C., Tillard, E., Lecomte, P., and 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.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L., 2017. Soil organic carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Leichman AK (2017) Brazil looks to Israeli tech to solve a stinky problem: one technology, three uses. ISRAEL21c. <https://www.israel21c.org/brazil-looks-to-israeli-tech-to-solve-a-stinky-problem/>
- Li, G., Lu, N., Wei, Y., and Zhu, D. (2018). Relationship between heavy metal content in polluted soil and soil organic matter and pH in mining areas. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 394, p. 052081). IOP Publishing..
- Liu, J. Y. ve Sun, S. Y. 2013. Total concentrations and different fractions of heavy metals in sewage sludge from Guangzhou, China. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(8), 2397-2407.
- Liu, J., He, T., Yang, Z., Peng, S., Zhu, Y., Li, H., ... and 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, J., He, T., Yang, Z., Peng, S., Zhu, Y., Li, H., ... and 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, J., Lin, L., Wang, K., Ding, R., Xie, Z., and Zhang, P. (2022). Concentrations and species of mercury in municipal sludge of selected Chinese cities and potential mercury emissions from sludge treatment and disposal. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 895075.
- Liu, X., Liu, W., Wang, Q., Wu, L., Luo, Y., ve Christie, P. 2017. Soil properties and microbial ecology of a paddy field after repeated applications of domestic and industrial sewage sludges. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(9), 8619-8628.

- Lu, M., Zhao, J., Lu, Z., Li, M., Yang, J., Fullen, M., ... and Fan, M. (2023). Maize–soybean intercropping increases soil nutrient availability and aggregate stability. *Plant and Soil*, 1-16.
- Lu, X., Hou, E., Guo, J., Gilliam, F. S., Li, J., Tang, S., and 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.
- M., 2020. Biochar amendment mitigates greenhouse gases emission and global warming potential in dairy manure based silage corn in boreal climate. *Environmental Pollution*, 265, 114869.
- Macharia, J.M., Pelster, D.E., Ngetich, F.K., Shisanya, C.A., Mucheru- Muna, M. and Mugendi, D.N., 2020. Soil greenhouse gas fluxes from maize production under different soil fertility management practices in East Africa. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125 (7), e2019JG005427.
- Mancinelli, R., Marinari, S., Brunetti, P., Radicetti, E. and 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.
- Maria, I. C. D., Chiba, M. K., Costa, A., Berton, R. S., 2010. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 967-974.
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R. and Català, M.M., 2016. Influence of irrigation frequency on greenhouse gases emission from paddy soil. *Paddy and Water Env.*, 14 (1), 199-210.
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. ve Thebo, A. 2015. Global wastewater and sludge production, treatment and use. In *Wastewater* (pp. 15-38). Springer, Dordrecht.
- Mbanjwa, V. E., Hughes, J. C., and 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.
- McCauley A, Jones C, Olson-Rutz K (2017). Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Module No: 8*, Montana State University Extension, p. 16
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 199-224.
- Melenya, C., Bonsu, M., Logah, V., Quansah, C., Adjei-Gyapong, T., Yeboah, I. B. ve Abubakari, A. 2015. Carbon sequestration in soils under different land use systems and its impact on climate change.
- Meşe, A. (2021). *Farklı silajlık mısır çeşitlerinin Bilecik ekolojik koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Mondal, S., Singh, R. D., Patra, A. K., and Dwivedi, B. S. (2015). Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic haplustept under cowpea-wheat cropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 4, 37–41. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. enmm. 2014. 12. 001](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2014.12.001)
- Moreira RS, Lense GHE, Favero LF, Oliveira Junior BMD, Mincato RL. 2020 Nutritional status and physiological parameters of maize cultivated with sewage sludge. *Cienc Agrotecnol* 44:e029919.

- Motta SR, Maggiore T. 2013 Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grows on soil amended with sewage sludge and urea. *Eur J Agron* 45:59–67. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. eja. 2012. 10. 007](https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.007).
- Mousavi, S.R. and Shahsavari M., 2014. Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (*Zea mays*). In *Biological Forum*, 6 (2), 228-233.
- Mujdeci, M., Simsek, S. and Uygur V., 2017. The effects of organic amendments on soil water retention characteristics under conventional tillage system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 4075-4081.
- Musazura, W., Odindo, A.O., Tesfamariam, E.H., Hughes, J.C. and Buckley C.A., 2019. Nitrogen and phosphorus fluxes in three soils fertigated with decentralised wastewater treatment effluent to field capacity. *J. of Water Reuse and Desalination*, 9 (2), 142-151.
- Mücevher, O. (2022). Farklı materyaller ile zenginleştirilen tavuk gübresi ve tarımsal atıklardan elde edilen kompostun toprak kalitesi ve mısır (*Zea Mays L.*) bitkisinin gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi.
- Nahar, N., and Shahadat Hossen, M. (2021). Influence of sewage sludge application on soil properties, carrot growth and heavy metal uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(1), 1-10.
- 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.
- Nilahyane, A. and Islam A., 2018. Different irrigation systems and nitrogen rates improve yield and water use efficiency of corn silage. *Universty Wyoming Extension*, B-1326.
- Norouzi, J., Sayfzadeh, S., Eradatmand Asli, D., Zakerin, H., and Hadidi Masouleh, 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.
- Norouzian, K., Abbasi, N., and Abedi Koupai, J. (2018). Use of sewage sludge ash and hydrated lime to improve the engineering properties of clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 1575-1586.
- Ntonta, S., Mathew, I., Zengeni, R., Muchaonyerwa, P., and Chaplot, V. 2022. Crop residues differ in their decomposition dynamics: review of available data from world literature. *Geoderma* 419, 115855.
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A., and Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15-32.
- Olson, K. R. ve 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., and 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. and Khadra R., 2015b. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fy ash and sewage sludge. *Arid Land Reserach and Management*, 29, 41-54.

- Ors, S., Sahin, U., Khadra, R. 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Res. Manag.* 29, 41–54.
- Outhman AM (2016) Impact of use sewage sludge in agriculture on physical properties of soil. *IOSR J Environ Sci Toxicol Food Tech* 10:8–86.
- Ödemiş, B., Akışcan, Y., Can, D., and Akgöl, B. 2022. Su stresi koşullarında uygulanan yapraktan kükürt uygulamasının pamuğun verim, bitki su tüketimi ve bazı fizyolojik özelliklerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2), 202-212
- Özgür, A. Z., Orman, Ş., Hüseyin, O. K., and Tavalı, İ. E. 2023. Evaluation of sewage sludge effects on soil fertility and silage maize growth. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 36(3), 147-152.
- Öztürk, E., and Sefaoğlu, F. (2022). Bölüm 3 Kuraklık (Su) Stresi. *Bitkilerde Abiyotik ve Biyotik*, 57.
- Öztürk, E., and Sefaoğlu, F., 2022. Bölüm 3 Kuraklık (Su) Stresi. *Bitkilerde Abiyotik Ve Biyotik*, 57.
- Öztürk, N.Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(5), 307-315.
- Pareja-Sánchez, E., Cantero-Martínez, C., Álvaro-Fuentes, J., and Plaza-Bonilla, D. (2019). Tillage and nitrogen fertilization in irrigated maize: key practices to reduce soil CO₂ and CH₄ emissions. *Soil and Tillage Research*, 191, 29-36.
- Parlak M, Yiğini Y, Ekinci H (2014) Seasonal change of erodibility in the soils of Canakkale-Umurbey plain. *COMU J Agr Fac* 2:123–131.
- Pathak, H., and Wassmann, R. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of Technical Coefficients. *Agricultural Systems*, 94, 807–825.
- Payero, J. O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D.ve Petersen, J. L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management*, 95(8), 895-908.
- Peichl, M., Thober, S., Meyer, V., and Samaniego, L. 2018. The effect of soil moisture anomalies on maize yield in Germany. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18: 889–906.
- 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. ve Pask, A. 2012. Stomatal conductance. *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. CIMMYT, Mexico, 15-17.
- Poggere, G. C., Serrat, B. M., Mangrich, A. S., França, A. A., Corrêa, R. S. ve Barbosa, J. Z. 2019. Clay mineralogy affects the efficiency of sewage sludge in reducing lead retention of soils. *Journal of Environmental Sciences*, 80, 45-57.
- Premalatha, R. P., Poorna Bindu, J., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., and Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1092637.
- Protano, G., Baroni, F., Di Lella, L. A., Mazzoni, A., Nannoni, F., and Papale, A. (2020). How do properties and heavy metal levels change in soils fertilized with regulated doses of

- urban sewage sludge in the framework of a real agronomic treatment program?. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 1383-1394.
- Qian XJ, Zhang XF, Zeng WL, Jiang DB, Xiong DZ (2015) A study of soil pH spatial distribution and its correlation with the available nutrients in tobacco-growing areas of Longyan City. *J Suzhou Univ Sci Technol (Natural Science)* 32:75–80 (In Chinese).
- Raju, R.A., 1979. Influence of Levels and Sources of Nitrogen on Composition of N, P, K, Nutrients in Straw and Quality of Grain. *The Andhra Agricultural J.*, 25 (1-2), 1-4.
- Ramirez, P. B., Machado, S., Singh, S., Plunkett, R., and Calderón, F. J. (2023). Addressing the effects of soil organic carbon on water retention in US Pacific Northwest wheat–soil systems. *Frontiers in Soil Science*, 3, 1233886.
- Rashidi, M., and Seilsepour, M. (2011). Prediction of soil sodium adsorption ratio based on soil electrical conductivity. *Middle East Journal of Scientific Research*, 8(2), 379-383.
- Ravi, S., Young, T., Macinnis-Ng, C., Nyugen, T. V., Duxbury, M., Alfaro, A. C. ve Leuzinger, S. 2020. Untargeted metabolomics in halophytes: The role of different metabolites in New Zealand mangroves under multi-factorial abiotic stress conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 173, 103993.
- Rehman, R. A., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Zafar-ul-Hye, M., ve Iqbal, M. F. 2018. Efficiency of various sewage sludges and their biochars in improving selected soil properties and growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of environmental management*, 223, 607-613.
- Richards, J. C. 1982. Method: Approach, design, and procedure. *Tesol Quarterly*, 16(2), 153-168.
- Romanos, D., Nemer, N., Khairallah, Y., ve Saab, M. T. A. 2019. Assessing the quality of sewage sludge as an agricultural soil amendment in Mediterranean habitats. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 377-383.
- Rowlings, D.W., Grace, P.R., Kiese, R., and Weier, K.L. 2012. Environmental factors controlling temporal and spatial variability in the soil-atmosphere exchange of CO₂, CH₄ and N₂O from an Australian subtropical rainforest. *Glob. Change Biol.* 18, 726–738.
- 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.
- Sabagh, A.E., Barutçular, C., Islam, M.S. 2017. Relationships between stomatal conductance and yield under deficit irrigation in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5(1), 14-21.
- Sabtow, H. A., and 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.
- Sabtow, H.A., 2019. Determination of changes in hydraulic conductivity in saline-sodic soils that have been subjected to wetting-drying processes with waste water and mixed with stabilized sewage sludge. MS Thesis. Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erzurum, Turkey.
- Safdarian, M., Razmjoo, J. and Dehnavi M.M., 2014. Effect of nitrogen sources and rates on yield and quality of silage corn. *Journal of Plant Nutrition*, 37 (4), 611-617.

- Saha, S., Saha, B. N., Pati, S., Pal, B., ve Hazra, G. C. 2017. Agricultural use of sewage sludge in India: benefits and potential risk of heavy metals contamination and possible remediation options—a review. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 20(3-4), 183-199.
- Sahin, U., Kiziloglu, F. M., Abdallh, A. H. M., Badaou, A. N. A. D., Sabtow, H. A., and Canbolat, 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., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M. and Cakmakci T., 2016. Growth, yield, water use and crop quality responses of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region high altitude. *Journal of Applied Horticulture*, 18 (3), 195-202.
- 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 UM, Jabro JD, Stevens WB. 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.
- Salemi, H., Soom, M. A. M., Mousavi, S. F., Ganji, A., Lee, T. S., Yusoff, M. K., and Verdinejad, V. R. (2011). Irrigated Silage Maize Yield and Water Productivity Response to Deficit Irrigation in an Arid Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5).
- 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.
- Samara, E., Matsi, T., Balidakis, A., 2017. Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. *Waste Manag.* 68, 378-387.
- Sampathkumar, T., Pandian, B.J., Jeyakumar, P. and 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* (Doctoral dissertation).
- Sarı H (2017) The effect of some soil characteristics on the hydraulic conductivity of soil in Tekirdağ Province. *Alınları J Agr Sci* 32:95–103.
- Sarker TC, Incerti G, Spaccini R, Piccolo A, Mazzoleni S, Bonanomi G (2018) Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from ¹³C NMR spectroscopy. *Soil Biol Biochem* 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., ... and 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.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N. ve Ocak, S. 2018. Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.

- Seydoşoğlu, S., and Saruhan, V. (2017). Farklı ekim zamanlarının bazı silajlık mısır çeşitlerinde verim ve verim unsurlarına etkisinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(4), 377-383.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V., Mermer, A., 2015. Diyarbakır ili Silvan ilçesi taban meralarının vejetasyon yapısı üzerinde bir araştırma. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 1-7.
- Shaaban, M., Wu, Y., Núñez-Delgado, A., Kuzyakov, Y., Peng, Q. A., Lin, S., and Hu, R. (2023). Enzyme activities and organic matter mineralization in response to application of gypsum, manure and rice straw in saline and sodic soils. *Environmental Research*, 224, 115393.
- Shahrabian, E., ve Soleymani, A., 2011. Response of forage maize hybrids to different regimes of irrigation. *Res. on Crops* 12 (1) : 53-59.
- Shakeel, A., Anjum, L., Ibni Zamir, S., Rizwan, M., Arshad, M., Mehmood, Q., Sajjad, M., and Waqas, A. (2021). Irrigation water quality effects on CO₂ emissions along with crop and soil responses. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 58(2), 637–642. [https:// doi. org/ 10. 21162/ PAKJAS/ 21. 699](https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.699)
- Shan, Y., Lv, M., Zuo, W., Tang, Z., Ding, C., Yu, Z., ... and Bai, Y. (2021). Sewage sludge application enhances soil properties and rice growth in a salt-affected mudflat soil. *Scientific Reports*, 11(1), 1402.
- Sharma, P. (2024). Biochar application for sustainable soil erosion control: a review of current research and future perspectives. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1373287.
- Shiota, K., Takaoka, M., Yamaguchi, S., and Oshita, K. (2015). Emission of particulate matter 2.5 (PM_{2.5}) from sewage sludge incinerators in Japan. *Drying Technology*, 33(11), 1286-1294.
- Shirani, H., HajAbbasi, M., Afyouni, M., and Dashti, H. (2010). Cumulative effects of sewage sludge on soil physical and chemical characteristics. *Water and Wastewater*, 3, 28-36.
- Sikder, R. K., Wang, X., Zhang, H., Gui, H., Dong, Q., Jin, D., and 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. and 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. and 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.
- Sinaie, S., Sadeghi-Namaghi, H., and Fekrat, L. 2019. Effects of elevated CO₂ and water stress on population growth of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), on sweet pepper under environmentally controlled conditions. *J. Asia-Pac. Entomol.* 22 (1), 96–102.
- Sinegani, M. S., Sinegani, A. A. S., and Hadipour, M. (2017). Spatial distribution of total phosphorus and organic carbon in the salt-affected soils in the Meyghan Playa, Iran. *Spanish Journal of Soil Science: SJSS*, 7(3), 149-163.
- Singh, H., Northup, B. K., Rice, C. W., and Prasad, P. V. (2022). Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. *Biochar*, 4(1), 8.

- Singh, R. P. and Agrawal, M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28(2), 347-358.
- Singh, V., Phuleria, H. C., and Chandel, M. K. (2020). Estimation of energy recovery potential of sewage sludge in India: Waste to watt approach. *Journal of Cleaner Production*, 276, 122538.
- Skowrońska, M., Bielińska, E. J., Szymański, K., Futa, B., Antonkiewicz, J., and Kołodziej, B. (2020). An integrated assessment of the long-term impact of municipal sewage sludge on the chemical and biological properties of soil. *Catena*, 189, 104484.
- Smith, A. P., Marin-Spiotta, E., de Graaff, M. A., and Balser, T. C. (2014). Microbial community structure varies across soil organic matter aggregate pools during tropical land cover change. *Soil Biology and Biochemistry*, 77, 292–303.
- Smith, P. *et al.* Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Edenhofer, O. *et al.*) 813–922 (Cambridge Univ. Press, 2014).
- Song, M., Wang, R. and Zeng X., 2018. Water resources utilization efficiency and influence factors under environmental restrictions. *Journal of Cleaner Production*, 184, 611-621.
- Sonsri, K., and 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.
- Sou, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H., and Boivin, P. 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200, 31-39.
- Soureshjani, H.K., Nezami, A., Kâfi, M. and Tadayon M., 2019. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 213, 270-279.
- Stewart, D.W. ve Dwyer, L.M. 1999. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. *Crop Science*, 39, 422-427.
- Sumiahadi, A. (2021). Farklı bitki artıklarının bazı toprak özellikleri ve bazı baklagil yem bitkilerinin gelişimi üzerine etkileri.
- Sun, J., Lu, X., Chen, G., Luo, N., Zhang, Q., and Li, X. (2023). Biochar promotes soil aggregate stability and associated organic carbon sequestration and regulates microbial community structures in Mollisols from northeast China. *Soil*, 9(1), 261-275.
- Sun, X., Mu, C., and Song, C. 2011. Seasonal and spatial variations of methane emissions from montane wetlands in Northeast China. *Atmos. Environ.* 45, 1809–1816.
- Sun, Y., Guo, G., Shi, H., Liu, M., Keith, A., Li, H., and 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. and 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.
- Szymanska, G., Sulewska, H., and Śmiatacz, K. 2013. Response of maize grown for silage on the application of sewage sludge. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 12(3).

- Szymanska, G., Sulewska, H., and Smiatacz, K. 2016. Response of maize (*Zea mays* L.) grown for grain after the application of sewage sludge. *Journal of Central European Agriculture*, 17(1), 139-154.
- Şahin, M., and Kara, B. (2021). Burdur Koşullarında Bazı Silajlık At dişi Mısır Çeşitlerinin Performanslarının Belirlenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 11(1), 76-82.
- Şahin, M., ve Kara, B. (2021). Burdur Koşullarında Bazı Silajlık At dişi Mısır Çeşitlerinin Performanslarının Belirlenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 11(1), 76-82.
- Şenlikoğlu, G. (2015). Organik Materyal İlavesi ve Azotlu Gübre Uygulamalarının Ispanak Bitkisinin (*Spinacia oleracea* L.) Gelişimi ve Nitrat Akümülyasyonuna Etkileri (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Şenyigit, U. ve Akbolat D. 2010. Farklı sulama yöntemlerinin topraktan karbondioksit çıkışı üzerine etkisi. *Ekoloji Dergisi*. 19 (77): 59-64.
- Tabatabaei, S.H., Nafchi, R.F., Najafi, P., Karizan, M.M. and Nazem Z., 2017. Comparison of traditional and modern deficit irrigation techniques in corn cultivation using treated municipal wastewater. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6 (1), 47-55.
- TAGEM., 2017. Türkiyede Sulanan Bitkilerin Bitki su tüketimi Rehberi. <https://www.tarimorman.gov.tr/tagem>
- Tanrıkulu, A., Dokuyucu, T. ve Sürme M., 2020. Mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının silaj verimi, verim unsurları ve kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 43-52.
- Taşkın, M.B., Balcı, M., Soba, M.R., Kaya, E.C., Pınar, Ö., Tanyel, G., Kabaoğlu, A., Turan, M.A., and Taban, S. 2015. Doğu Karadeniz Bölgesinde çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt durumları. *Toprak Su Dergisi*, 4(2), 30-40.
- Tekce, E., Bayraktar, B., and Aksakal, V. (2019). Investigation of the effects of some herbal extracts used in different ratios on meat fatty acid profile level in experimental heat stress created in broilers. *Poultry IntechOpen*, London.
- Thangarajan, R., Kunhikrishnan, A., Seshadri, B., Bolan, N. S., and Naidu, R. 2012. Greenhouse gas emission from wastewater irrigated soils. In B. Henning (Eds.), *Sustainable irrigation and drainage IV: management, technologies and policies*. (pp. 225–236). Lightning Source, Britain.
- Tian, R., Qi, G., Kang, Y., Jia, Q., Wang, J., Xiao, F., ... and Chen, Q. (2023). Effects of irrigation and nitrogen application on soil water and nitrogen distribution and water-nitrogen utilization of wolfberry in the Yellow River Irrigation Region of Gansu Province, China. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1309219.
- Tripathi, V.K., Rajput, T.B.S., Patel, N., 2016. Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production*, 139, 396-406.
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Golec, R. D. C., Jacobs, H., Flammini, A., Prosperi, P., Cardenas-Galindo, P., Schmidhuber, J., Sanchez, M. J. S., Srivastava, N., and Smith, P. 2015. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming. *Global Change Biology*, 21(7), 2655–2660.

- Tufenkci, S., Yerli, C., and Cakmakci, T. 2021. A review at CO₂ emission from soil. In A. Atılgan, I. Erdal, and S. Boyaci (Eds.), *Biosystems Engineering II* (pp. 117–128). Academician Bookstore.
- TUİK, 2023. Belediye Atıksu İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK).
- TUİK, 2023. Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK).
- Tunc, T. and Sahin U., 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management*, 158, 213-224.
- Tunç, T., 2013. Farklı İşlemlerle Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanımının Toprak ve Bitki Özellikleri ile Su Kullanımına Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Turan, M.A., Katkat A.V., Özsoy G., and Taban, S. 2010. Bursa ili alüviyal tarım topraklarının verimlilik durumları ve potansiyel beslenme sorunlarının belirlenmesi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 115-130.
- Turek, A., Wieczorek, K., and Wolf, W. M. (2019). Digestion procedure and determination of heavy metals in sewage sludge—An analytical problem. *Sustainability*, 11(6), 1753.
- Tüfenkci Ş., Yerli C. ve Çakmakci T., 2021. Toprakta CO₂ Salınımına Bir Bakış. *Biyosistem Mühendisliği II*, Ed: A. Atılgan, I. Erdal, S. Boyaci, S. Akademisyen Y., 117-128.
- Ucak, A.B., Ayasan, T. and 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.
- Uçgun, K., Kelebek, C., Cansu, M., Altındal, M., and 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, Bursa.
- Usman, K., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M. U., Khan, N., Khan, M. A., and Khalil, S. K. (2012). Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications.
- Vaca Paulin, R. O. C. I. O., Lugo de la Fuente, J. A., Esteller Alberich, M. V., Martinez Soriano, J. P. R., ve Zavaleta Mancera, H. A. 2011. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and Zea mays L. plants (heavy metals, quality and productivity). *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27(4), 303-311.
- 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.
- Vurarak, Y., and Bilgili, M. E. 2015. Agricultural mechanization, erosion and carbon emission: A review. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 30(3), 307–316.
- Wang, F., Xue, J., Xie, R., Ming, B., Wang, K., Hou, P., ... and Li, S., 2022. Assessing growth and water productivity for drip-irrigated maize under high plant density in arid to semi-humid climates. *Agriculture*, 12(1), 97.
- Wang, S., Hu, K., Feng, P., Qin, W., and Leghari, S. J. (2023). Determining the effects of organic manure substitution on soil pH in Chinese vegetable fields: a meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 23(1), 118-130.

- Wang, Y., Li, Q., and 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.
- Wulanningtyas, H. S., Gong, Y., Li, P., Sakagami, N., Nishiwaki, J., and 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.
- Wydro, U., Jabłońska-Trypuć, A., Hawrylik, E., Butarewicz, A., Rodziewicz, J., Janczukowicz, W., and Wołejko, E. (2021). Heavy metals behavior in soil/plant system after sewage sludge application. *Energies*, 14(6), 1584.
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., ... and 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.
- Xue, Y.D., Yang, P.L., Luo, Y.P., Li, Y.K., Ren, S.M., Su, Y.P. and Niu Y.T., 2012. Characteristics and driven factors of nitrous oxide and carbon dioxide emissions in soil irrigated with treated wastewater. *Journal of Integrative Agriculture*, 11 (8), 1354-1364.
- Yakit, S., Tuna, A.L., 2006. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 19(1), 59-67.
- Yang, H., Yang, J., Lv, Y., He, J., 2014. SPAD values and nitrogen nutrition index for the evaluation of rice nitrogen status. *Plant Production Science*, 17(1), 81-92.
- Yao, Y., Chen, J., Li, F., Sun, M., Yang, X., Wang, G., and Sun, W., 2022. Exchangeable Ca²⁺ 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.
- Yaseen, R., Shafi, J., Ahmad, W., Rana, M.S., Salim, M. and Qaisrani S.A., 2014. Effect of deficit irrigation and mulch on soil physical properties, growth and yield of maize. *Environment and Ecology Research*, 2 (3), 122-137.
- Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., Cerdà, A., 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma* 266, 58-65.
- Yeganeh, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Rezaeinejad, Y., and Schulin, R. (2010). Transport of zinc, copper, and lead in a sewage sludge amended calcareous soil. *Soil use and management*, 26(2), 176-182.
- Yenesew, M. ve Tilahun, K. 2009. Yield and water use efficiency of deficit-irrigated maize in a semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9(8), 1635-1651.
- Yerli, C. and Sahin U., 2022. An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey). *Brazilian Journal of Biology*, 82, 249745.
- Yerli, C., 2022. Farklı Toprak İşleme-Ekim Koşullarında Silajlık Mısır Yetiştiriciliğinde Arıtılmış Atık Su Düzeylerinin Bitki ve Toprak Özellikleri ile CO₂ Salınımına Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Yerli, C., and Sahin, U. 2021. Effect of different manure applications and wetting-drying cycles on CO₂ emissions from soil. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(9), 317–324.
- Yerli, C., Cakmakci, T., and Sahin, U. (2023). Soil CO₂ 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., Cakmakci, T., and Sahin, U. (2023). Soil CO₂ 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., Çakmakcı, T., Şahin, U. ve Tüfenkçi Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9 (Özel Sayı), 103-114.
- Yerli, C., Sahin, U., Cakmakci, T., and Tufenkci, S. 2019. Effects of agricultural applications on CO₂ emission and ways to reduce. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(9), 1446–1456.
- Yerlikaya, R., and Torun, M. B., 2018. Sera Koşullarında Toprağa Uygulanan Farklı Dozlarda Bor ve Sulama Suyunun Mısır Bitkisinin Büyüme ve Kuru Madde Verimine Etkisinin Belirlenmesi.
- Yılmaz, E., and Alagöz, Z. (2005). Organik Materyal Uygulamasının Toprağın Agregat Oluşum ve Stabilitesi Üzerine Etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(1), 131-138.
- Yılmaz, N., Akman, O. ve Öner F., 2020. Bazı silajlık mısır çeşitlerinde (*Zea mays* L.) bitkisel özelliklerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9 (1), 103-110.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Sahin, U., Ors, S., Turan, M., Demir, İ., Dursun, A. and Kotan R., 2021. Improved water productivity in summer squash under water deficit with PGPR and synthetic methyl amine applications. *Rhizosphere*, 20, 100446.
- Yu, Z., Wang, G. and Marschner P., 2014. Drying and rewetting–effect of frequency of cycles and length of moist period on soil respiration and microbial biomass. *European Journal of Soil Biology*, 62, 132-137.
- Yuan, S. J., and Dai, X. H. (2016). Facile synthesis of sewage sludge-derived in-situ multi-doped nanoporous carbon material for electrocatalytic oxygen reduction. *Scientific Reports*, 6(1), 27570.
- Yun, J., Chen, X., Liu, S., and Zhang, W. (2019, June). Effects of temperature and moisture on soil organic carbon mineralization. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 562, No. 1, p. 012085). IOP Publishing.
- Zare, R., Sohrabi, T. and Motesharezadeh B., 2018. Effect of deficit irrigation with treated wastewater on corn yield. *Iranian J. of Soil and Water Research*, 49 (3), 505-514.
- Zhalnina K, Dias R, de Quadros PD, Davis-Richardson A, Camargo FA, Clark IM, McGrath SP, Hirsch PR, Triplett EW (2015) Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. *Microb Ecol* 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.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., and Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The innovation*, 1(1).
- 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.

- Zhou, W., Han, G., Liu, M., and Li, X. (2019). Effects of soil pH and texture on soil carbon and nitrogen in soil profiles under different land uses in Mun River Basin, Northeast Thailand. *PeerJ*, 7, e7880.
- Zoghlami, R. I., Hamdi, H., Mokni-Tlili, S., Hechmi, S., Khelil, M. N., Aissa, N. B., ... and Jedidi, N. (2020). Monitoring the variation of soil quality with sewage sludge application rates in absence of rhizosphere effect. *International soil and water conservation research*, 8(3), 245-252.
- Zornoza, R., Acosta, J. A., Gabarrón, M., Gómez-Garrido, M., Sánchez-Navarro, V., Terrero, A., ... and Pérez-Pastor, A. (2018). Greenhouse gas emissions and soil organic matter dynamics in woody crop orchards with different irrigation regimes. *Science of the Total Environment*, 644, 1429-1438.
- Zornoza, R., Rosales, R.M., Acosta, J.A., de la Rosa, J.M., Arcenegui, V., Faz, A., and PerezPastor, 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., ... and Siddique, K. H., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483.
- Zuo, W., Gu, C., Zhang, W., Xu, K., Wang, Y., Bai, Y., and Dai, Q. 2019. Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. *Science of The Total Environment*, 654, 541-549.

EKLER

Ek-1. Su Verimliliği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	100,404	65,273	,000
	Sulama uygulamaları	2	170,362	110,753	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,062	,690	,660
	Hata	24	1,538		
2022	Aritma çamuru dozları	3	96,862	245,861	,000
	Sulama uygulamaları	2	88,717	225,185	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,899	4,819	,002
	Hata	24	0,394		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	98,374	185,002	,000
	Sulama uygulamaları	2	125,175	235,404	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,823	1,548	,206
	Hata	24	0,532		

Ek-2. Sulama Suyu Verimliliği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	193,876	65,635	,000
	Sulama uygulamaları	2	97,135	32,884	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,346	,794	,584
	Hata	24	2,954		
2022	Aritma çamuru dozları	3	204,882	234,757	,000
	Sulama uygulamaları	2	32,585	37,337	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,307	3,789	,009
	Hata	24	0,873		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	198,793	188,596	,000
	Sulama uygulamaları	2	56,444	53,549	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,532	1,453	,236
	Hata	24	1,054		

Ek-3. Tane Yoğunluğu Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	4,156E-03	57,538	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,750E-04	2,423	,110
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,417E-04	1,962	,112
		Hata	24	7,222E-05		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	4,462E-03	53,544	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,583E-04	1,900	,171
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	9,537E-05	1,144	,368
		Hata	24	8,333E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	4,096E-03	56,718	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,194E-04	1,654	,212
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,157E-04	1,603	,190
		Hata	24	7,222E-05		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	3,981E-05	,478	,701
		Sulama uygulamaları	2	6,944E-05	,833	,447
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,093E-05	,611	,719
		Hata	24	8,333E-05		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	1,759E-05	,211	,888
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-05	,700	,506
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,176E-04	1,411	,251
		Hata	24	8,333E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,019E-05	,183	,907
		Sulama uygulamaları	2	8,333E-06	,150	,862
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,241E-05	1,483	,226
		Hata	24	5,556E-05		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	5,926E-05	,970	,423
		Sulama uygulamaları	2	1,944E-05	,318	,730
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,648E-05	,924	,495
		Hata	24	6,111E-05		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	1,111E-05	,167	,918
		Sulama uygulamaları	2	1,944E-05	,292	,750
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,500E-05	1,125	,378
		Hata	24	6,667E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,019E-05	,458	,714
		Sulama uygulamaları	2	2,778E-06	,125	,883
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,130E-05	,958	,474
		Hata	24	2,222E-05		

Ek-4. Kütle Yoğunluğu Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	,002	18,758	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,944E-05	,175	,841
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	7,870E-05	,708	,646
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma amuru dozları	3	,002	20,444	,000
		Sulama uygulamaları	2	5,278E-05	,576	,570
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	4,907E-05	,535	,776
		Hata	24	9,167E-05		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	,002	37,526	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,611E-05	,684	,514
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	3,611E-05	,684	,664
		Hata	24	5,278E-05		
30-60 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	,000	,996	,412
		Sulama uygulamaları	2	,000	1,197	,319
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	,000	,548	,766
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma amuru dozları	3	,000	2,108	,126
		Sulama uygulamaları	2	,000	2,161	,137
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	,000	3,108	,021
		Hata	24	8,611E-05		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	,000	2,694	,069
		Sulama uygulamaları	2	,000	2,111	,143
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	,000	1,222	,330
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	,000	1,576	,221
		Sulama uygulamaları	2	,000	,740	,488
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	3,981E-05	,186	,978
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma amuru dozları	3	5,463E-05	,393	,759
		Sulama uygulamaları	2	,000	,740	,488
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	,000	1,593	,192
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	,000	1,562	,225
		Sulama uygulamaları	2	2,500E-05	,257	,775
		Aritma amuru dozları imes Sulama uygulamaları	6	7,685E-05	,790	,586
		Hata	24	9,722E-05		

Ek-5. Porozite Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,953	6,141	,003
		Sulama uygulamaları	2	,230	1,480	,248
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,290	1,869	,128
		Hata	24	,155		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,350	1,801	,174
		Sulama uygulamaları	2	,233	1,201	,318
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,126	0,650	,690
		Hata	24	,194		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,350	1,801	,174
		Sulama uygulamaları	2	,233	1,201	,318
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,126	0,650	,690
		Hata	24	,194		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,331	1,227	,321
		Sulama uygulamaları	2	,382	1,415	,263
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,123	0,455	,834
		Hata	24	,270		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,209	1,374	,275
		Sulama uygulamaları	2	,297	1,959	,163
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,390	2,566	,046
		Hata	24	,152		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,262	2,322	,101
		Sulama uygulamaları	2	,316	2,800	,081
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,206	1,826	,136
		Hata	24	,113		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,575	1,767	,180
		Sulama uygulamaları	2	,272	0,837	,445
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,062	0,191	,976
		Hata	24	,325		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,093	0,449	,720
		Sulama uygulamaları	2	,113	0,550	,584
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,274	1,327	,284
		Hata	24	,206		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,274	2,290	,104
		Sulama uygulamaları	2	,126	1,052	,365
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,100	0,831	,557
		Hata	24	,120		

Ek-6. Islak Agregat Stabilitesi Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	93,330	662,696	,000
		Sulama uygulamaları	2	,054	,384	,685
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,018	,128	,992
		Hata	24	,141		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	89,472	496,701	,000
		Sulama uygulamaları	2	,196	1,088	,353
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,063	,348	,904
		Hata	24	,180		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	91,400	1445,252	,000
		Sulama uygulamaları	2	,067	1,064	,361
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,013	,212	,969
		Hata	24	,063		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,012	0,177	,911
		Sulama uygulamaları	2	,019	,286	,754
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,029	,440	,845
		Hata	24	,066		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,016	0,259	,854
		Sulama uygulamaları	2	,141	2,336	,118
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,026	,428	,853
		Hata	24	,060		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,010	0,394	,758
		Sulama uygulamaları	2	,059	2,305	,121
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,022	,877	,526
		Hata	24	,026		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,094	0,972	,422
		Sulama uygulamaları	2	,152	1,579	,227
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,057	,588	,737
		Hata	24	,096		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,071	1,101	,368
		Sulama uygulamaları	2	,040	,622	,545
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,030	,465	,827
		Hata	24	,064		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,079	3,217	,041
		Sulama uygulamaları	2	,029	1,189	,322
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,024	,990	,454
		Hata	24	,025		

Ek-7. Toprak pH Değeri Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,011	18,886	,000
		Sulama uygulamaları	2	,000	,512	,606
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,796	,582
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	7,318	,001
		Sulama uygulamaları	2	,000	,286	,754
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,215	,968
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,008	21,183	,000
		Sulama uygulamaları	2	,000	,156	,857
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,412	,863
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,004	0,936	,439
		Sulama uygulamaları	2	,005	1,219	,313
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,005	1,046	,421
		Hata	24	,004		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,006	1,838	,167
		Sulama uygulamaları	2	,005	1,463	,251
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,004	1,046	,421
		Hata	24	,003		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	1,756	,182
		Sulama uygulamaları	2	,003	1,236	,308
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,004	1,342	,278
		Hata	24	,003		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	0,459	,714
		Sulama uygulamaları	2	,004	,668	,522
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,129	,991
		Hata	24	,007		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,019	7,083	,001
		Sulama uygulamaları	2	,006	2,176	,135
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,007	2,749	,035
		Hata	24	,003		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,007	5,134	,007
		Sulama uygulamaları	2	,005	3,569	,044
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	1,497	,221
		Hata	24	,001		

Ek-8. Toprak EC Değeri Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,005	30,854	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,611E-05	,203	,818
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,620	,713
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	55,071	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,536E-04	1,874	,175
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,549	,766
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	83,359	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,186E-05	,193	,826
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,482	,815
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	4,071	,018
		Sulama uygulamaları	2	5,278E-05	1,357	,276
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	3,357	,015
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	1,441	,256
		Sulama uygulamaları	2	1,241E-04	1,529	,237
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	1,727	,158
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	3,974	,020
		Sulama uygulamaları	2	2,469E-05	,662	,525
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,586	,738
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	1,264	,309
		Sulama uygulamaları	2	3,028E-04	4,542	,021
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,431	,851
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	3,550	,029
		Sulama uygulamaları	2	1,954E-04	1,469	,250
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,623	,710
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	4,556	,012
		Sulama uygulamaları	2	2,287E-04	5,188	,013
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,647	,692
		Hata	24	,000		

Ek-9. Toprak CaCO₃ İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,020	3,133	,044
		Sulama uygulamaları	2	,002	,296	,746
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,115	,994
		Hata	24	,006		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,030	14,162	,000
		Sulama uygulamaları	2	,004	1,979	,160
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	1,358	,271
		Hata	24	,002		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,024	12,921	,000
		Sulama uygulamaları	2	,000	,124	,884
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,439	,845
		Hata	24	,002		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,788	,513
		Sulama uygulamaları	2	,001	,620	,546
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	1,667	,173
		Hata	24	,002		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,341	,796
		Sulama uygulamaları	2	,000	,101	,905
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	1,765	,149
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,916	,448
		Sulama uygulamaları	2	,000	,479	,625
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	2,412	,058
		Hata	24	,001		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,110	,954
		Sulama uygulamaları	2	,004	,973	,392
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,108	,995
		Hata	24	,004		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,494	,690
		Sulama uygulamaları	2	,000	,217	,807
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,928	,493
		Hata	24	,002		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,251	,860
		Sulama uygulamaları	2	,001	,240	,789
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,304	,929
		Hata	24	,002		

Ek-10. Toprak OM içeriği varyans analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,074	956,131	,000
		Sulama uygulamaları	2	,006	78,429	,000
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	3,667	,010
		Hata	24	7,778E-05		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,148	321,789	,000
		Sulama uygulamaları	2	,002	4,934	,016
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,331	,914
		Hata	24	4,611E-04		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,105	665,889	,000
		Sulama uygulamaları	2	,004	23,211	,000
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,871	,530
		Hata	24	1,583E-04		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,044	,987
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,816	,454
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,570	,750
		Hata	24	4,222E-04		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,024	,995
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,084	,920
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,347	,904
		Hata	24	9,278E-04		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,026	,994
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,049	,952
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,322	,919
		Hata	24	3,944E-04		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,102	,958
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,620	,546
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	1,006	,444
		Hata	24	4,611E-04		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,309	,819
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,194	,825
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,528	,781
		Hata	24	8,750E-04		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,203	,893
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,860	,436
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,939	,486
		Hata	24	3,778E-04		

Ek-11. Toprak Kjeldahl N İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,012	88,248	,000
		Sulama uygulamaları	2	,001	4,106	,029
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	1,184	,348
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,008	166,005	,000
		Sulama uygulamaları	2	,000	7,633	,003
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	2,357	,062
		Hata	24	5,058E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,010	201,004	,000
		Sulama uygulamaları	2	,000	9,375	,001
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	2,523	,049
		Hata	24	4,881E-05		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	1,191	,334
		Sulama uygulamaları	2	2,500E-05	,191	,827
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,500E-05	,191	,976
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	3,903	,021
		Sulama uygulamaları	2	7,675E-05	1,898	,172
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,038E-05	,504	,799
		Hata	24	4,044E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	9,381E-05	3,247	,039
		Sulama uygulamaları	2	1,878E-05	,650	,531
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,681E-05	,582	,741
		Hata	24	2,889E-05		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	1,759E-05	,905	,453
		Sulama uygulamaları	2	8,333E-06	,429	,656
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,315E-05	1,190	,345
		Hata	24	1,944E-05		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	1,296E-05	,658	,586
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-07	,030	,971
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,213E-06	,366	,893
		Hata	24	1,969E-05		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2,028E-06	,298	,827
		Sulama uygulamaları	2	3,528E-06	,518	,602
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	9,972E-06	1,465	,232
		Hata	24	6,806E-06		

Ek-12. Toprak NO₃ İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	47,181	6230,795	,000
		Sulama uygulamaları	2	,170	22,388	,000
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,029	3,790	,008
		Hata	24	,008		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	42,944	4780,419	,000
		Sulama uygulamaları	2	,076	8,470	,002
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,023	2,571	,046
		Hata	24	,009		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	45,041	11426,810	,000
		Sulama uygulamaları	2	,119	30,193	,000
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,025	6,437	,000
		Hata	24	,004		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,002	,181	,908
		Sulama uygulamaları	2	,002	,181	,835
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,026	2,256	,072
		Hata	24	,011		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	,057	,982
		Sulama uygulamaları	2	,005	,574	,571
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,007	,831	,558
		Hata	24	,009		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	,152	,927
		Sulama uygulamaları	2	,001	,186	,831
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,009	1,813	,139
		Hata	24	,005		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,005	,328	,805
		Sulama uygulamaları	2	,009	,538	,591
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,016	1,028	,431
		Hata	24	,016		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	,051	,984
		Sulama uygulamaları	2	,000	,022	,979
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,110	,994
		Hata	24	,009		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	,068	,977
		Sulama uygulamaları	2	,002	,185	,832
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,005	,473	,822
		Hata	24	,010		

Ek-13. Toprak P₂O₅ İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	16,878	43,504	,000
		Sulama uygulamaları	2	,146	,376	,691
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,172	,444	,842
		Hata	24	,388		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	17,150	159,092	,000
		Sulama uygulamaları	2	,009	,084	,919
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,010	,091	,997
		Hata	24	,108		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	17,019	137,715	,000
		Sulama uygulamaları	2	,056	,452	,642
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,036	,288	,937
		Hata	24	,124		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,266	0,926	,443
		Sulama uygulamaları	2	,046	,161	,852
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,480	1,671	,171
		Hata	24	,287		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,045	0,214	,886
		Sulama uygulamaları	2	,025	,119	,888
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,012	,059	,999
		Hata	24	,208		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,118	0,948	,433
		Sulama uygulamaları	2	,025	,196	,823
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,131	1,046	,421
		Hata	24	,125		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,452	1,118	,361
		Sulama uygulamaları	2	,045	,112	,895
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,257	,636	,700
		Hata	24	,404		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,277	3,857	,022
		Sulama uygulamaları	2	,050	,697	,508
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,037	,511	,794
		Hata	24	,072		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,276	2,556	,079
		Sulama uygulamaları	2	,025	,231	,796
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,083	,771	,600
		Hata	24	,108		

Ek-14. Toprak K₂O İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	327,344	37,111	,000
		Sulama uygulamaları	2	4,592	,521	,601
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,589	,407	,867
		Hata	24	8,821		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	198,814	12,725	,000
		Sulama uygulamaları	2	0,189	,012	,988
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,193	,204	,972
		Hata	24	15,624		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	250,965	39,727	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,556	,246	,784
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,977	,155	,986
		Hata	24	6,317		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	15,231	1,656	,203
		Sulama uygulamaları	2	0,452	,049	,952
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,894	,967	,468
		Hata	24	9,197		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	18,686	2,651	,072
		Sulama uygulamaları	2	1,963	,279	,759
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,971	,847	,547
		Hata	24	7,049		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	14,030	3,669	,026
		Sulama uygulamaları	2	0,270	,071	,932
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,564	,670	,674
		Hata	24	3,824		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,811	0,433	,732
		Sulama uygulamaları	2	4,465	2,380	,114
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,216	,648	,691
		Hata	24	1,876		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,659	0,779	,517
		Sulama uygulamaları	2	1,195	,350	,708
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,347	,102	,995
		Hata	24	3,411		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,239	0,885	,463
		Sulama uygulamaları	2	1,589	1,135	,338
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,420	,300	,931
		Hata	24	1,400		

Ek-15. Toprak Ca İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	5,451	36,986	,000
		Sulama uygulamaları	2	,027	,184	,833
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,087	,592	,734
		Hata	24	,147		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	1,832	11,902	,000
		Sulama uygulamaları	2	,087	,565	,576
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,053	,344	,906
		Hata	24	,154		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	3,324	45,690	,000
		Sulama uygulamaları	2	,052	,714	,500
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,027	,371	,890
		Hata	24	,073		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,103	0,521	,672
		Sulama uygulamaları	2	,158	,800	,461
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,079	,398	,873
		Hata	24	,198		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,049	0,355	,786
		Sulama uygulamaları	2	,052	,377	,690
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,016	,113	,994
		Hata	24	,139		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,070	0,978	,419
		Sulama uygulamaları	2	,008	,110	,897
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,023	,318	,921
		Hata	24	,071		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,175	0,928	,442
		Sulama uygulamaları	2	,066	,348	,709
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,103	,549	,766
		Hata	24	,188		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,018	0,405	,751
		Sulama uygulamaları	2	,020	,458	,638
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,059	1,334	,281
		Hata	24	,044		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,025	0,384	,765
		Sulama uygulamaları	2	,015	,239	,790
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,045	,700	,652
		Hata	24	,064		

Ek-16. Toprak Mg İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,449	224,098	,000
		Sulama uygulamaları	2	,002	1,004	,381
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,553	,763
		Hata	24	,002		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,324	118,272	,000
		Sulama uygulamaları	2	,004	1,351	,278
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,345	,906
		Hata	24	,003		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,380	265,256	,000
		Sulama uygulamaları	2	,003	1,921	,168
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,510	,795
		Hata	24	,001		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,226	,877
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,268	,767
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,179	,980
		Hata	24	,004		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,003	1,073	,379
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,397	,677
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,415	,862
		Hata	24	,003		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,306	,821
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,433	,654
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,260	,950
		Hata	24	,002		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	0,698	,563
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,086	,918
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,417	,861
		Hata	24	,005		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,090	,965
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,160	,853
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	,704	,649
		Hata	24	,005		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	0,787	,513
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,181	,835
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	1,248	,318
		Hata	24	,002		

Ek-17. Toprak Na İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	20,000	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,083E-04	1,364	,275
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,417E-04	2,236	,074
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,004	21,527	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,611E-05	,500	,613
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,574E-05	,091	,997
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,003	38,091	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,611E-05	,939	,405
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,500E-05	,818	,567
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,174	,913
		Sulama uygulamaları	2	7,194E-04	,640	,536
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,491E-04	,755	,612
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,384	,766
		Sulama uygulamaları	2	5,278E-05	,204	,817
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,157E-04	,835	,555
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,237	,870
		Sulama uygulamaları	2	2,861E-04	,678	,517
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,750E-04	,888	,519
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	1,163	,344
		Sulama uygulamaları	2	1,361E-04	,521	,600
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,954E-04	,748	,617
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,124	,945
		Sulama uygulamaları	2	2,861E-04	2,020	,155
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,648E-05	,399	,872
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,395	,757
		Sulama uygulamaları	2	1,861E-04	1,558	,231
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,278E-05	,442	,843
		Hata	24	,000		

Ek-18. Toprak K içeriği varyans analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,033	51,148	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,583E-04	,549	,585
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,546E-04	,237	,960
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,023	22,281	,000
		Sulama uygulamaları	2	7,778E-05	,077	,927
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,185E-04	,215	,968
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,027	64,578	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,028E-04	,727	,494
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,463E-05	,131	,991
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,001	2,686	,069
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-05	,108	,898
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,472E-04	1,201	,340
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	3,803	,023
		Sulama uygulamaları	2	3,083E-04	,745	,485
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,380E-04	,575	,746
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	5,313	,006
		Sulama uygulamaları	2	1,333E-04	,578	,568
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,333E-04	,578	,744
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,000	1,892	,158
		Sulama uygulamaları	2	1,444E-04	1,300	,291
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,185E-05	,467	,826
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,911	,450
		Sulama uygulamaları	2	1,361E-04	,620	,546
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,056E-05	,367	,893
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	2,296	,103
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-05	,583	,566
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,241E-05	,324	,918
		Hata	24	,000		

Ek-19. KDK Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	9,889	61,852	,000
		Sulama uygulamaları	2	,013	,083	,920
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,097	,605	,723
		Hata	24	,160		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	4,345	26,531	,000
		Sulama uygulamaları	2	,064	,392	,680
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,061	,370	,891
		Hata	24	,164		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	6,763	82,446	,000
		Sulama uygulamaları	2	,034	,420	,662
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,029	,356	,899
		Hata	24	,082		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,106	0,546	,656
		Sulama uygulamaları	2	,113	,582	,566
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,073	,378	,886
		Hata	24	,194		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,039	0,257	,855
		Sulama uygulamaları	2	,065	,427	,657
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,018	,115	,994
		Hata	24	,153		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,058	0,809	,501
		Sulama uygulamaları	2	,004	,058	,944
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,023	,319	,921
		Hata	24	,072		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	0,144	0,710	,556
		Sulama uygulamaları	2	,080	,393	,679
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,109	,539	,773
		Hata	24	,203		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	0,024	0,455	,716
		Sulama uygulamaları	2	,010	,180	,836
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,047	,898	,512
		Hata	24	,053		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,022	0,340	,797
		Sulama uygulamaları	2	,018	,273	,763
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,044	,673	,672
		Hata	24	,065		

Ek-20. ESP Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,008	2,167	,118
		Sulama uygulamaları	2	,004	1,041	,369
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,006	1,535	,209
		Hata	24	,004		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,026	6,324	,003
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,150	,861
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	0,083	,997
		Hata	24	,004		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,014	6,152	,003
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,539	,590
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	0,746	,619
		Hata	24	,002		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,005	0,201	,895
		Sulama uygulamaları	2	,022	0,914	,414
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,020	0,806	,575
		Hata	24	,024		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,219	,882
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,023	,977
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,004	0,625	,708
		Hata	24	,007		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,140	,935
		Sulama uygulamaları	2	,007	0,707	,503
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,007	0,718	,639
		Hata	24	,010		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,011	1,848	,165
		Sulama uygulamaları	2	,001	0,179	,837
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,006	0,988	,455
		Hata	24	,006		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,081	,970
		Sulama uygulamaları	2	,007	2,341	,118
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	0,430	,852
		Hata	24	,003		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	0,790	,512
		Sulama uygulamaları	2	,003	1,413	,263
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	0,432	,850
		Hata	24	,002		

Ek-21. Toprak B İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,126	23,540	,000
		Sulama uygulamaları	2	6,669E-03	1,248	,305
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,395	,875
		Hata	24	,005		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,040	64,557	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,611E-05	,138	,872
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,553	,763
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,076	47,395	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,544E-03	1,590	,225
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,477	,819
		Hata	24	,002		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	1,370	,276
		Sulama uygulamaları	2	2,119E-03	,965	,395
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,179	,980
		Hata	24	,002		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	9,884	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,111E-04	,663	,525
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,860	,538
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	3,580	,029
		Sulama uygulamaları	2	1,053E-03	1,707	,203
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,314	,923
		Hata	24	,001		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,009	1,862	,163
		Sulama uygulamaları	2	9,333E-04	,192	,826
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,331	,914
		Hata	24	,005		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,816	,498
		Sulama uygulamaları	2	4,111E-04	,332	,721
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,287	,937
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,004	2,887	,056
		Sulama uygulamaları	2	4,750E-04	,350	,708
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,621	,712
		Hata	24	,001		

Ek-22. Toprak Fe İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,070	23,071	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,441E-02	8,018	,002
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,498	,804
		Hata	24	,003		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,061	41,036	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,111E-05	,007	,993
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,146	,988
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,066	51,977	,000
		Sulama uygulamaları	2	5,725E-03	4,540	,021
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,428	,853
		Hata	24	,001		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,103	,957
		Sulama uygulamaları	2	4,358E-03	,387	,683
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,023	1,000
		Hata	24	,011		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,068	,976
		Sulama uygulamaları	2	2,528E-04	,245	,785
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,130	,991
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	0,062	,979
		Sulama uygulamaları	2	1,769E-03	,472	,629
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,041	1,000
		Hata	24	,004		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	0,281	,839
		Sulama uygulamaları	2	8,044E-03	,757	,480
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,053	,999
		Hata	24	,011		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	1,236	,318
		Sulama uygulamaları	2	1,083E-04	,214	,809
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,280	,941
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,354	,787
		Sulama uygulamaları	2	1,703E-03	,605	,554
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,051	,999
		Hata	24	,003		

Ek-23. Toprak Cu İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Arıtma çamuru dozları	3	,092	37,848	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,769E-03	,731	,492
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,880E-04	,119	,993
		Hata	24	,002		
	2022	Arıtma çamuru dozları	3	,081	181,673	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,333E-05	,075	,928
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,852E-05	,042	1,000
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	,085	88,798	,000
		Sulama uygulamaları	2	5,361E-04	,561	,578
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,685E-05	,080	,998
		Hata	24	,001		
30-60 cm	2021	Arıtma çamuru dozları	3	,002	0,709	,556
		Sulama uygulamaları	2	2,508E-03	1,180	,324
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,565E-04	,215	,968
		Hata	24	,002		
	2022	Arıtma çamuru dozları	3	,001	0,318	,813
		Sulama uygulamaları	2	4,778E-04	,194	,825
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,111E-04	,289	,936
		Hata	24	,002		
	2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	,000	0,236	,871
		Sulama uygulamaları	2	1,108E-03	,813	,456
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,935E-04	,142	,989
		Hata	24	,001		
60-90 cm	2021	Arıtma çamuru dozları	3	,013	1,938	,150
		Sulama uygulamaları	2	5,619E-03	,837	,445
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,120E-04	,076	,998
		Hata	24	,007		
	2022	Arıtma çamuru dozları	3	,002	1,349	,282
		Sulama uygulamaları	2	6,361E-04	,561	,578
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,620E-04	,408	,867
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	,003	1,563	,224
		Sulama uygulamaları	2	6,028E-04	,347	,711
		Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,769E-04	,217	,968
		Hata	24	,002		

Ek-24. Toprak Mn İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	2,530	119,627	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,954E-02	1,397	,267
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,281E-02	1,551	,205
		Hata	24	,021		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,217	336,266	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,083E-04	,047	,954
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,935E-04	,120	,993
		Hata	24	,007		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2,369	370,854	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,919E-03	1,396	,267
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,094E-03	1,110	,386
		Hata	24	,006		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,013	23,296	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,083E-04	,369	,695
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,194E-04	1,453	,236
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,596	,624
		Sulama uygulamaları	2	1,444E-04	,063	,939
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,741E-04	,336	,911
		Hata	24	,002		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,005	7,075	,001
		Sulama uygulamaları	2	1,333E-04	,178	,838
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,481E-04	,731	,629
		Hata	24	,001		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,002	0,268	,848
		Sulama uygulamaları	2	1,035E-02	1,200	,319
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,786E-03	,439	,845
		Hata	24	,009		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	0,377	,770
		Sulama uygulamaları	2	4,083E-04	,086	,918
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,708E-03	,358	,898
		Hata	24	,005		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	0,346	,792
		Sulama uygulamaları	2	3,419E-03	,895	,422
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,797E-03	,470	,824
		Hata	24	,004		

Ek-25. Toprak Zn İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	110,164	42,972	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,105E+00	,431	,655
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,255E+00	,880	,524
		Hata	24	2,564		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	52,583	328,669	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,038E-01	5,024	,015
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,934E-01	3,084	,022
		Hata	24	,160		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	78,324	119,810	,000
		Sulama uygulamaları	2	9,280E-01	1,420	,261
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	9,529E-01	1,458	,235
		Hata	24	,654		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,303	0,379	,769
		Sulama uygulamaları	2	1,099E-01	,138	,872
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,344E-01	,544	,769
		Hata	24	,798		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,126	1,016	,403
		Sulama uygulamaları	2	7,286E-02	,586	,564
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,165E-02	,335	,912
		Hata	24	,124		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,032	0,156	,925
		Sulama uygulamaları	2	2,703E-03	,013	,987
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,365E-01	,668	,676
		Hata	24	,204		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,192	0,113	,952
		Sulama uygulamaları	2	1,344E+00	,793	,464
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,040E+00	,613	,718
		Hata	24	1,696		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,382	0,414	,745
		Sulama uygulamaları	2	1,490E-01	,161	,852
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,823E-01	,414	,863
		Hata	24	,924		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,162	0,195	,899
		Sulama uygulamaları	2	5,336E-01	,642	,535
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,513E-01	,423	,857
		Hata	24	,831		

Ek-26. Toprak Pb İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	3,368	19,622	,000
		Sulama uygulamaları	2	5,192E-02	,303	,742
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,029E-01	,599	,728
		Hata	24	,172		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,398	55,176	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,308E-03	,076	,927
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,146E-02	,264	,949
		Hata	24	,043		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2,852	38,288	,000
		Sulama uygulamaları	2	8,508E-03	,114	,893
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,784E-02	,239	,959
		Hata	24	,074		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,215	1,747	,184
		Sulama uygulamaları	2	1,113E-01	,905	,418
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,728E-02	,547	,767
		Hata	24	,123		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,075	1,825	,170
		Sulama uygulamaları	2	1,668E-02	,404	,672
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,307E-02	,559	,758
		Hata	24	,041		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,128	2,510	,083
		Sulama uygulamaları	2	2,592E-02	,506	,609
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,016E-02	,589	,736
		Hata	24	,051		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,034	0,574	,638
		Sulama uygulamaları	2	1,641E-02	,280	,758
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,796E-02	,478	,818
		Hata	24	,059		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,004	0,162	,921
		Sulama uygulamaları	2	3,211E-03	,137	,872
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	9,741E-04	,042	1,000
		Hata	24	,023		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,013	0,899	,456
		Sulama uygulamaları	2	7,525E-03	,511	,606
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,869E-03	,399	,872
		Hata	24	,015		

Ek-27. Toprak Cd İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	1,561E-04	89,185	,000
		Sulama uygulamaları	2	4,528E-06	2,587	,096
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,824E-06	2,757	,035
		Hata	24	1,750E-06		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	4,211E-05	18,488	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,611E-07	,159	,854
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,833E-07	,256	,952
		Hata	24	2,278E-06		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	8,684E-05	125,053	,000
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-07	,840	,444
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,065E-06	2,973	,026
		Hata	24	6,944E-07		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	5,463E-07	0,787	,513
		Sulama uygulamaları	2	2,083E-06	3,000	,069
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,796E-07	,547	,768
		Hata	24	6,944E-07		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,222E-07	0,105	,956
		Sulama uygulamaları	2	1,083E-06	,513	,605
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,333E-08	,039	1,000
		Hata	24	2,111E-06		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	3,981E-07	0,448	,721
		Sulama uygulamaları	2	1,028E-06	1,156	,332
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,481E-08	,073	,998
		Hata	24	8,889E-07		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	1,296E-06	1,609	,213
		Sulama uygulamaları	2	1,583E-06	1,966	,162
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,352E-07	,540	,772
		Hata	24	8,056E-07		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	1,435E-06	0,847	,482
		Sulama uygulamaları	2	1,028E-06	,607	,553
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,019E-07	,060	,999
		Hata	24	1,694E-06		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	3,241E-07	0,648	,592
		Sulama uygulamaları	2	3,333E-07	,667	,523
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,852E-07	,370	,891
		Hata	24	5,000E-07		

Ek-28. Toprak Cr İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	5,226E-03	11,265	,000
		Sulama uygulamaları	2	3,583E-04	,772	,473
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,954E-04	,421	,858
		Hata	24	,000		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,374E-03	7,515	,001
		Sulama uygulamaları	2	1,480E-04	,469	,632
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,832E-05	,153	,987
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	3,537E-03	15,646	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,072E-04	,916	,413
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	9,160E-05	,405	,868
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	1,163E-03	1,984	,143
		Sulama uygulamaları	2	1,300E-03	2,218	,131
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,074E-04	1,207	,337
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	7,455E-05	,344	,794
		Sulama uygulamaları	2	4,111E-06	,019	,981
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,130E-05	,052	,999
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,675E-04	,749	,533
		Sulama uygulamaları	2	3,144E-04	1,407	,264
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,823E-04	,816	,568
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	2,769E-04	,109	,954
		Sulama uygulamaları	2	5,833E-05	,023	,977
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,546E-04	,258	,951
		Hata	24	,003		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	8,321E-05	,623	,607
		Sulama uygulamaları	2	1,003E-05	,075	,928
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,955E-05	,146	,988
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	7,218E-05	,114	,951
		Sulama uygulamaları	2	2,858E-05	,045	,956
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,632E-04	,258	,951
		Hata	24	,001		

Ek-29. Toprak Ni İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	5,610E-03	10,098	,000
		Sulama uygulamaları	2	,001	1,680	,208
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,074E-04	1,453	,236
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	2,407E-05	,176	,912
		Sulama uygulamaları	2	,000	1,262	,301
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,477E-05	,473	,821
		Hata	24	,000		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,397E-03	7,707	,001
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,720	,497
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,751E-04	1,517	,215
		Hata	24	,000		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	3,880E-04	,317	,813
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,293	,749
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,435E-04	,117	,993
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	5,076E-04	,995	,412
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,573	,572
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,439E-04	,478	,818
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	4,292E-04	1,265	,309
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,910	,416
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,081E-04	,319	,921
		Hata	24	,000		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	9,907E-05	,069	,976
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,083	,920
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,360E-03	1,643	,179
		Hata	24	,001		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	4,429E-04	,318	,812
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,039	,962
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,703E-05	,048	,999
		Hata	24	,001		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2,189E-04	,299	,826
		Sulama uygulamaları	2	,000	0,025	,975
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,054E-04	,691	,659
		Hata	24	,001		

Ek-30. Toprak Hg İçeriği Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	2,028E-04	73,000	,000
		Sulama uygulamaları	2	1,111E-05	4,000	,032
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,111E-05	4,000	,006
		Hata	24	2,778E-06		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	5,069E-05	73,000	,000
		Sulama uygulamaları	2	2,778E-06	4,000	,032
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,778E-06	4,000	,006
		Hata	24	6,944E-07		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	-	-	-
		Sulama uygulamaları	2	-	-	-
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	-	-	-
		Hata	24	-		

Ek-31. TK Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,697	2,879	,057
		Sulama uygulamaları	2	,008	,032	,968
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,024	,098	,996
		Hata	24	,242		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,782	6,821	,002
		Sulama uygulamaları	2	,003	,029	,971
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,033	,291	,936
		Hata	24	,115		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,748	5,894	,004
		Sulama uygulamaları	2	,005	,042	,959
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,029	,228	,963
		Hata	24	,127		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,051	0,097	,961
		Sulama uygulamaları	2	,022	,041	,959
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,009	,017	1,000
		Hata	24	,529		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,059	0,352	,788
		Sulama uygulamaları	2	,025	,151	,861
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,036	,215	,968
		Hata	24	,167		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,058	0,201	,895
		Sulama uygulamaları	2	,022	,076	,927
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,010	,034	1,000
		Hata	24	,289		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,119	0,289	,833
		Sulama uygulamaları	2	,031	,075	,928
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,021	,051	,999
		Hata	24	,412		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,074	0,325	,807
		Sulama uygulamaları	2	,069	,299	,744
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,054	,236	,960
		Hata	24	,229		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,085	0,392	,760
		Sulama uygulamaları	2	,004	,017	,984
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,019	,086	,997
		Hata	24	,218		

Ek-32. SN Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,063	,453	,717
		Sulama uygulamaları	2	,004	,026	,974
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,002	,013	1,000
		Hata	24	,138		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,041	1,086	,374
		Sulama uygulamaları	2	,008	,207	,814
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,023	,612	,718
		Hata	24	,038		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,045	,772	,521
		Sulama uygulamaları	2	,002	,033	,968
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,009	,159	,985
		Hata	24	,059		
30-60 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,003	,018	,997
		Sulama uygulamaları	2	,004	,024	,976
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	,016	1,000
		Hata	24	,185		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,070	1,223	,323
		Sulama uygulamaları	2	,121	2,117	,142
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,133	2,330	,065
		Hata	24	,057		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,028	,446	,722
		Sulama uygulamaları	2	,041	,661	,526
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,032	,518	,789
		Hata	24	,062		
60-90 cm	2021	Aritma çamuru dozları	3	,024	,190	,902
		Sulama uygulamaları	2	,010	,079	,924
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,017	,138	,990
		Hata	24	,126		
	2022	Aritma çamuru dozları	3	,008	,157	,924
		Sulama uygulamaları	2	,022	,449	,644
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,024	,487	,812
		Hata	24	,049		
	2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,011	,345	,793
		Sulama uygulamaları	2	,006	,181	,836
		Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,024	,733	,628
		Hata	24	,032		

Ek-33. Yarayırlı Su Varyans Analizi

Derinlik (cm)	Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
0-30 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	1,055	,132	,940
		Sulama uygulamaları	2	,385	,048	,953
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,319	,040	1,000
		Hata	24	7,984		
	2022	Aritma amuru dozları	3	2,459	1,409	,265
		Sulama uygulamaları	2	,028	,016	,984
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,840	,481	,816
		Hata	24	1,745		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	1,649	,578	,635
		Sulama uygulamaları	2	,974	,341	,714
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,056	1,070	,407
		Hata	24	2,855		
30-60 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	,067	,006	,999
		Sulama uygulamaları	2	,003	,000	1,000
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,229	,021	1,000
		Hata	24	10,696		
	2022	Aritma amuru dozları	3	1,649	,578	,635
		Sulama uygulamaları	2	,974	,341	,714
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,056	1,070	,407
		Hata	24	2,855		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	,528	,103	,957
		Sulama uygulamaları	2	,303	,059	,943
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,867	,170	,982
		Hata	24	5,100		
60-90 cm	2021	Aritma amuru dozları	3	,370	,068	,977
		Sulama uygulamaları	2	1,660	,304	,741
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,341	,062	,999
		Hata	24	5,466		
	2022	Aritma amuru dozları	3	,528	,103	,957
		Sulama uygulamaları	2	,303	,059	,943
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,867	,170	,982
		Hata	24	5,100		
	2021-2022	Aritma amuru dozları	3	,348	,125	,944
		Sulama uygulamaları	2	,058	,021	,979
		Aritma amuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,322	,116	,994
		Hata	24	2,785		

Ek-34. Bitki Boyu Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	872,579	66,346	,000
	Sulama uygulamaları	2	266,577	20,269	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	38,025	2,891	,029
	Hata	24	13,152		
2022	Aritma çamuru dozları	3	3862,754	1071,747	,000
	Sulama uygulamaları	2	354,377	98,324	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	15,279	4,239	,005
	Hata	24	3,604		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2077,032	582,527	,000
	Sulama uygulamaları	2	308,543	86,534	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	14,106	3,956	,007
	Hata	24	3,566		

Ek-35. Bitki Gövde Çapı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	10,783	23,010	,000
	Sulama uygulamaları	2	12,000	25,608	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,747	1,595	,192
	Hata	24	0,469		
2022	Aritma çamuru dozları	3	9,009	34,540	,000
	Sulama uygulamaları	2	9,537	36,563	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,686	2,629	,042
	Hata	24	0,261		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	9,986	69,003	,000
	Sulama uygulamaları	2	10,659	73,649	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,644	4,448	,004
	Hata	24	0,145		

Ek-36. Silajlık Ot Verimi Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	16629266,206	64,856	,000
	Sulama uygulamaları	2	22159842,246	86,426	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	171810,534	0,670	,675
	Hata	24	256402,479		
2022	Aritma çamuru dozları	3	20944833,279	242,426	,000
	Sulama uygulamaları	2	15091775,219	174,680	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	392157,279	4,539	,003
	Hata	24	86396,943		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	18668832,873	196,521	,000
	Sulama uygulamaları	2	18366815,485	193,342	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	154789,202	1,629	,182
	Hata	24	94996,425		

Ek-37. Kuru Madde Verimi Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	1190875,922	56,511	,000
	Sulama uygulamaları	2	1520681,968	72,162	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	19858,466	0,942	,484
	Hata	24	21073,244		
2022	Aritma çamuru dozları	3	1541429,787	661,137	,000
	Sulama uygulamaları	2	1178967,305	505,673	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	55348,327	23,740	,000
	Hata	24	2331,483		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1359787,777	195,833	,000
	Sulama uygulamaları	2	1344421,177	193,620	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	26296,608	3,787	,009
	Hata	24	6943,599		

Ek-38. ADF Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	4,983	12,375	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,879	4,667	,019
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,092	0,228	,964
	Hata	24	0,403		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	4,920	11,799	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,874	4,496	,022
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,087	0,210	,970
	Hata	24	0,417		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	4,983	12,375	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,879	4,667	,019
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,092	0,228	,964
	Hata	24	0,403		

Ek-39. NDF Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	9,795	27,227	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,049	2,917	,073
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,050	0,140	,989
	Hata	24	0,360		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	14,806	45,518	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,427	1,314	,287
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,040	0,123	,992
	Hata	24	0,325		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	11,916	70,554	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,646	3,824	,036
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,039	0,232	,962
	Hata	24	0,169		

Ek-40. Ham Protein Oranı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	14,046	656,627	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,092	4,295	,025
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,002	0,075	,998
	Hata	24	0,021		
2022	Aritma çamuru dozları	3	6,364	58,296	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,372	3,407	,050
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,020	0,184	,978
	Hata	24	0,109		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	9,879	298,868	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,189	5,706	,009
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,007	0,204	,972
	Hata	24	0,033		

Ek-41. Bitki N İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,359	655,780	,000
	Sulama uygulamaları	2	,002	4,319	,025
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,255E-05	,078	,998
	Hata	24	,001		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,165	61,608	,000
	Sulama uygulamaları	2	,008	3,143	,061
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,472E-04	,130	,991
	Hata	24	,003		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,249	304,366	,000
	Sulama uygulamaları	2	,005	5,942	,008
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,361E-04	,166	,983
	Hata	24	,001		

Ek-42. Bitki P İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,013	356,795	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	30,692	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,648E-05	1,564	,201
	Hata	24	3,611E-05		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,016	113,818	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	9,222	,001
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,983E-04	1,424	,246
	Hata	24	1,393E-04		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,014	267,816	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	22,240	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,914E-05	1,676	,170
	Hata	24	5,319E-05		

Ek-43. Bitki K İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,006	9,651	,000
	Sulama uygulamaları	2	,003	4,421	,023
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,302	,930
	Hata	24	,001		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,007	5,157	,007
	Sulama uygulamaları	2	,001	1,022	,375
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,123	,992
	Hata	24	,001		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,007	11,694	,000
	Sulama uygulamaları	2	,002	3,515	,046
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,201	,973
	Hata	24	,001		

Ek-44. Bitki Ca İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,034	20,177	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	0,717	,498
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,274	,944
	Hata	24	,002		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,014	17,441	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	0,914	,414
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,340	,908
	Hata	24	,001		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,023	34,796	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	1,435	,258
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,412	,864
	Hata	24	,001		

Ek-45. Bitki Mg İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,024	13,051	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	0,768	,475
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,105	,995
	Hata	24	,002		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,008	8,704	,000
	Sulama uygulamaları	2	,000	0,326	,725
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,232	,962
	Hata	24	,001		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,015	21,832	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	1,045	,367
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,097	,996
	Hata	24	,001		

Ek-46. Bitki Na içeriği varyans analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,063	44,318	,000
	Sulama uygulamaları	2	,011	7,951	,002
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,844	,549
	Hata	24	,001		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,034	20,452	,000
	Sulama uygulamaları	2	,002	1,441	,256
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,000	,159	,985
	Hata	24	,002		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,047	40,229	,000
	Sulama uygulamaları	2	,006	5,094	,014
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,001	,468	,825
	Hata	24	,001		

Ek-47. Bitki B İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	24,345	18,871	,000
	Sulama uygulamaları	2	,562	0,436	,652
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,033	,026	1,000
	Hata	24	1,290		
2022	Aritma çamuru dozları	3	12,425	14,357	,000
	Sulama uygulamaları	2	,585	0,675	,518
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,043	,050	,999
	Hata	24	,865		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	17,855	28,091	,000
	Sulama uygulamaları	2	,567	0,892	,423
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,007	,012	1,000
	Hata	24	,636		

Ek-48. Bitki Fe İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	848,943	105,157	,000
	Sulama uygulamaları	2	58,866	7,292	,003
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,206	,273	,944
	Hata	24	8,073		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	822,239	122,484	,000
	Sulama uygulamaları	2	50,036	7,454	,003
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,888	,281	,940
	Hata	24	6,713		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	834,027	195,921	,000
	Sulama uygulamaları	2	54,541	12,812	,000
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,862	,437	,846
	Hata	24	4,257		

Ek-49. Bitki Cu İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	6,634	24,597	,000
	Sulama uygulamaları	2	,014	,052	,950
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,349E-02	,124	,992
	Hata	24	,270		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	3,616	49,625	,000
	Sulama uygulamaları	2	,009	,126	,882
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,500E-05	,000	1,000
	Hata	24	,073		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	5,001	43,412	,000
	Sulama uygulamaları	2	,010	,086	,918
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,434E-03	,073	,998
	Hata	24	,115		

Ek-50. Bitki Mn İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	461,932	145,975	,000
	Sulama uygulamaları	2	16,599	5,245	,013
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	4,182E+00	1,322	,286
	Hata	24	3,164		
2022	Aritma çamuru dozları	3	256,930	159,053	,000
	Sulama uygulamaları	2	3,334	2,064	,149
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,378E-01	,209	,970
	Hata	24	1,615		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	345,529	248,122	,000
	Sulama uygulamaları	2	8,663	6,221	,007
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,264E-01	,522	,786
	Hata	24	1,393		

Ek-51. Bitki Zn İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	8,498	63,803	,000
	Sulama uygulamaları	2	,023	,175	,841
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	7,814E-02	,587	,738
	Hata	24	,133		
2022	Aritma çamuru dozları	3	4,767	24,126	,000
	Sulama uygulamaları	2	,009	,048	,953
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,851E-03	,030	1,000
	Hata	24	,198		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	6,485	93,026	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	,021	,979
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,422E-02	,347	,904
	Hata	24	,070		

Ek-52. Bitki Pb İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,002	83,556	,000
	Sulama uygulamaları	2	2,778E-06	,111	,895
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,389E-05	,556	,761
	Hata	24	2,500E-05		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	56,510	,000
	Sulama uygulamaları	2	7,778E-07	,027	,973
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	8,519E-07	,030	1,000
	Hata	24	2,850E-05		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,002	129,132	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,361E-06	,096	,909
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,880E-06	,273	,944
	Hata	24	1,419E-05		

Ek-53. Bitki Cd İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	9,907E-05	5,944	,004
	Sulama uygulamaları	2	4,444E-05	2,667	,090
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,852E-05	1,111	,385
	Hata	24	1,667E-05		
2022	Aritma çamuru dozları	3	4,237E-05	3,581	,029
	Sulama uygulamaları	2	1,861E-06	0,157	,855
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,009E-06	0,085	,997
	Hata	24	1,183E-05		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	6,092E-05	9,138	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,258E-05	1,887	,173
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	5,472E-06	0,821	,565
	Hata	24	6,667E-06		

Ek-54. Bitki Cr İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	,002	15,894	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,361E-04	1,195	,320
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,324E-04	1,163	,358
	Hata	24	1,139E-04		
2022	Aritma çamuru dozları	3	,000	4,471	,012
	Sulama uygulamaları	2	6,333E-06	,193	,826
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,296E-06	,070	,998
	Hata	24	3,278E-05		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	,001	19,763	,000
	Sulama uygulamaları	2	3,478E-05	,989	,387
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	3,485E-05	,991	,453
	Hata	24	3,517E-05		

Ek-55. Bitki Ni İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	3,981E-05	3,583	,029
	Sulama uygulamaları	2	2,778E-06	,250	,781
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	6,481E-06	,583	,740
	Hata	24	1,111E-05		
2022	Aritma çamuru dozları	3	2,610E-05	1,839	,167
	Sulama uygulamaları	2	1,083E-06	,076	,927
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,269E-06	,089	,997
	Hata	24	1,419E-05		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	2,736E-05	4,191	,016
	Sulama uygulamaları	2	2,111E-06	,323	,727
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	2,333E-06	,357	,898
	Hata	24	6,528E-06		

Ek-56. SPAD Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	239,667	2007,217	,000
	Sulama uygulamaları	2	129,617	1085,546	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,860	7,207	,000
	Hata	24	,119		
2022	Aritma çamuru dozları	3	238,935	1886,327	,000
	Sulama uygulamaları	2	121,030	955,500	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,076	8,494	,000
	Hata	24	,127		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	238,513	2179,305	,000
	Sulama uygulamaları	2	125,456	1146,297	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,995	9,092	,000
	Hata	24	,109		

Ek-57. Stoma İletkenliği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	680,759	64,834	,000
	Sulama uygulamaları	2	38947,604	3709,296	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	72,757	6,929	,000
	Hata	24	10,500		
2022	Aritma çamuru dozları	3	360,146	768,540	,000
	Sulama uygulamaları	2	37942,495	80967,980	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	104,603	223,219	,000
	Hata	24	,469		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	505,792	157,024	,000
	Sulama uygulamaları	2	38445,429	11935,456	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	87,790	27,255	,000
	Hata	24	3,221		

Ek-58. Yaprak Alan İndeksi Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	4,634	93,369	,000
	Sulama uygulamaları	2	6,987	140,771	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,193	3,881	,008
	Hata	24	,050		
2022	Aritma çamuru dozları	3	6,405	27,229	,000
	Sulama uygulamaları	2	4,552	19,351	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,099	0,422	,857
	Hata	24	,235		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	5,367	87,446	,000
	Sulama uygulamaları	2	5,614	91,473	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,100	1,635	,181
	Hata	24	,061		

Ek-59. Yaprak Oransal Su İçeriği Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	17,581	10,280	,000
	Sulama uygulamaları	2	107,260	62,717	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	1,016	0,594	,732
	Hata	24	1,710		
2022	Aritma çamuru dozları	3	12,737	14,945	,000
	Sulama uygulamaları	2	116,602	136,821	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,945	1,109	,386
	Hata	24	,852		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	15,212	21,706	,000
	Sulama uygulamaları	2	110,734	158,004	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,904	1,290	,299
	Hata	24	,701		

Ek-60. Membran Zararlanma İndeksi Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	18,167	8,493	,001
	Sulama uygulamaları	2	523,822	244,868	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,814	0,380	,884
	Hata	24	2,139		
2022	Aritma çamuru dozları	3	7,402	14,358	,000
	Sulama uygulamaları	2	298,194	578,393	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,846	1,641	,179
	Hata	24	,516		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	10,917	15,418	,000
	Sulama uygulamaları	2	293,710	414,812	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,561	0,793	,585
	Hata	24	,708		

Ek-61. Sezon Başı Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	271,246	833,213	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,124	0,382	,686
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,196	0,601	,727
	Hata	24	,326		
2022	Aritma çamuru dozları	3	159,108	926,965	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,023	0,131	,878
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,164	0,958	,474
	Hata	24	,172		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	201,461	1337,276	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,053	0,349	,709
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,129	0,854	,542
	Hata	24	,151		

Ek-62. Mayıs Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	241,222	698,228	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,109	0,314	,733
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,465	1,345	,276
	Hata	24	,345		
2022	Aritma çamuru dozları	3	165,877	873,408	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,022	0,116	,891
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,189	0,997	,450
	Hata	24	,190		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	192,420	1156,450	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,038	0,228	,798
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,207	1,243	,320
	Hata	24	,166		

Ek-63. Haziran Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	39,418	33,590	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,382	0,326	,725
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,159	0,135	,990
	Hata	24	1,174		
2022	Aritma çamuru dozları	3	154,966	1225,105	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,198	1,565	,230
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,371	2,933	,027
	Hata	24	,126		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	86,511	249,930	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,087	0,252	,780
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,097	0,280	,941
	Hata	24	,346		

Ek-64. Temmuz Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	32,340	81,843	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,314	0,794	,464
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,256	0,647	,692
	Hata	24	,395		
2022	Aritma çamuru dozları	3	127,696	1015,902	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,336	2,675	,089
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,032	0,256	,952
	Hata	24	,126		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	72,091	540,682	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,000	0,003	,997
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,105	0,791	,586
	Hata	24	,133		

Ek-65. Ağustos Ayı Sonu Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	33,246	195,208	,000
	Sulama uygulamaları	2	3,601	21,143	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,226	1,327	,284
	Hata	24	,170		
2022	Aritma çamuru dozları	3	74,549	376,379	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,304	1,533	,236
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,095	0,480	,817
	Hata	24	,198		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	51,822	554,671	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,406	15,048	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,056	0,604	,725
	Hata	24	,093		

Ek-66. Hasat Dönemi Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	25,117	274,378	,000
	Sulama uygulamaları	2	3,031	33,106	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,248	2,709	,037
	Hata	24	,092		
2022	Aritma çamuru dozları	3	54,834	247,021	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,445	6,510	,006
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,107	0,481	,816
	Hata	24	,222		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	37,708	486,368	,000
	Sulama uygulamaları	2	2,148	27,705	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,123	1,586	,194
	Hata	24	,078		

Ek-67. Sezonluk Karbon Stoku Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	144,873	294,599	,000
	Sulama uygulamaları	2	3,169	6,444	,006
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,291	0,591	,734
	Hata	24	,492		
2022	Aritma çamuru dozları	3	27,520	63,523	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,691	3,903	,034
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,166	0,383	,882
	Hata	24	,433		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	69,156	258,784	,000
	Sulama uygulamaları	2	2,339	8,751	,001
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,175	0,655	,686
	Hata	24	,267		

Ek-68. Mayıs Ayı CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	0,816	3,933	,020
	Sulama uygulamaları	2	0,052	0,252	,779
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,219	1,053	,417
	Hata	24	,208		
2022	Aritma çamuru dozları	3	0,079	1,002	,409
	Sulama uygulamaları	2	0,007	0,090	,914
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,076	0,968	,468
	Hata	24	,079		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	0,129	1,610	,213
	Sulama uygulamaları	2	0,019	0,237	,790
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,130	1,626	,183
	Hata	24	,080		

Ek-69. Haziran Ayı CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	26,790	90,723	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,024	0,081	,922
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,163	0,552	,763
	Hata	24	,295		
2022	Aritma çamuru dozları	3	0,138	3,439	,033
	Sulama uygulamaları	2	0,035	0,861	,436
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,026	0,646	,693
	Hata	24	,040		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	7,177	90,771	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,008	0,096	,909
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,050	0,628	,707
	Hata	24	,079		

Ek-70. Temmuz Ayı CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	0,558	1,721	,189
	Sulama uygulamaları	2	0,067	0,206	,815
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,108	0,333	,913
	Hata	24	,324		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	0,364	6,131	,003
	Sulama uygulamaları	2	0,009	0,154	,858
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,075	1,261	,312
	Hata	24	,059		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	0,244	2,263	,107
	Sulama uygulamaları	2	0,023	0,215	,808
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,047	0,432	,850
	Hata	24	,108		

Ek-71. Ağustos Ayı CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Arıtma çamuru dozları	3	0,195	1,682	,197
	Sulama uygulamaları	2	0,494	4,259	,026
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,114	0,983	,458
	Hata	24	,116		
2022	Arıtma çamuru dozları	3	1,879	26,346	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,230	3,225	,057
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,030	0,422	,857
	Hata	24	,071		
2021-2022	Arıtma çamuru dozları	3	0,578	11,708	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,349	7,069	,004
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,037	0,755	,612
	Hata	24	,049		

Ek-72. Eylül Ayı CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	1,830	4,215	,016
	Sulama uygulamaları	2	0,376	0,865	,434
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,271	0,623	,710
	Hata	24	,434		
2022	Aritma çamuru dozları	3	10,311	19,232	,000
	Sulama uygulamaları	2	1,574	2,935	,072
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,469	0,875	,528
	Hata	24	,536		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	4,306	14,957	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,438	1,521	,239
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,214	0,745	,619
	Hata	24	,288		

Ek-73. Sezonluk CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2021	Aritma çamuru dozları	3	2,132	295,573	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,047	6,465	,006
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,004	0,590	,735
	Hata	24	,007		
2022	Aritma çamuru dozları	3	0,439	63,469	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,027	3,925	,034
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	0,385	,881
	Hata	24	,007		
2021-2022	Aritma çamuru dozları	3	1,040	254,195	,000
	Sulama uygulamaları	2	0,036	8,678	,001
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	,003	0,647	,692
	Hata	24	,004		

Ek-74. Ölçülen Sezonluk CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,021	5896,071	,000
	Sulama uygulamaları	2	,000	96,000	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	0,000	1,000
	Hata	24	3,500E-06		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,023	1671,654	,000
	Sulama uygulamaları	2	,004	306,777	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	1,355	0,272
	Hata	24	1,395E-05		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,023	1633,288	,000
	Sulama uygulamaları	2	,004	284,178	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	1,237	0,323
	Hata	24	1,417E-05		

Ek-75. H₂O Salınımı Varyans Analizi

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	1,959	50,012	,000
	Sulama uygulamaları	2	2,271	57,986	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,012	0,303	0,929
	Hata	24	3,917E-02		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	2,394	78,364	,000
	Sulama uygulamaları	2	5,068	165,855	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,014	0,473	0,822
	Hata	24	3,056E-02		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	2,268	69,184	,000
	Sulama uygulamaları	2	4,672	142,534	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,010	0,319	0,920
	Hata	24	3,278E-02		

Ek-76. Toprak Nemi Varyans Analizi (5 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,393	21,095	,000
	Sulama uygulamaları	2	,056	3,000	,069
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,064	3,438	0,014
	Hata	24	1,861E-02		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,424	254,444	,000
	Sulama uygulamaları	2	10,330	6198,000	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,003	1,778	0,146
	Hata	24	1,667E-03		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,000	303,133	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	7105,400	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	0,333	0,913
	Hata	24	1,389E-07		

Ek-77. Toprak Nemi Varyans Analizi (10 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,554	105,053	,000
	Sulama uygulamaları	2	,135	25,632	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,067	12,789	0,000
	Hata	24	5,278E-03		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,383	65,651	,000
	Sulama uygulamaları	2	9,754	1672,048	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,009	1,508	0,218
	Hata	24	5,833E-03		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,000	112,692	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	2649,769	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	5,462	0,001
	Hata	24	3,611E-07		

Ek-78. Toprak Nemi Varyans Analizi (20 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,423	89,471	,000
	Sulama uygulamaları	2	,063	13,412	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,057	12,000	0,000
	Hata	24	4,722E-03		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,301	108,367	,000
	Sulama uygulamaları	2	9,689	3487,900	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,010	3,767	0,009
	Hata	24	2,778E-03		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,000	32,700	,000
	Sulama uygulamaları	2	,001	816,100	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,000	0,900	0,511
	Hata	24	1,111E-06		

Ek-79. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (5 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,077	1,798	,175
	Sulama uygulamaları	2	,385	8,948	,001
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,215	4,991	0,002
	Hata	24	4,306E-02		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,068	3,930	,021
	Sulama uygulamaları	2	14,441	838,500	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,072	4,156	0,005
	Hata	24	1,722E-02		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,060	3,191	,042
	Sulama uygulamaları	2	13,379	708,279	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,079	4,162	0,005
	Hata	24	1,889E-02		

Ek-80. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (10 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,023	0,475	,703
	Sulama uygulamaları	2	,104	2,144	,139
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,199	4,113	0,006
	Hata	24	4,833E-02		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,076	4,162	,017
	Sulama uygulamaları	2	18,274	996,788	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,024	1,313	0,289
	Hata	24	1,833E-02		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,045	2,805	,061
	Sulama uygulamaları	2	16,817	1043,845	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,034	2,098	0,091
	Hata	24	1,611E-02		

Ek-81. Toprak Sıcaklığı Varyans Analizi (20 cm)

Dönem	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
Toprak işleme- ekim dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,107	2,321	,101
	Sulama uygulamaları	2	4,419	95,825	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,238	5,159	0,002
	Hata	24	4,611E-02		
Sulama dönemi	Aritma çamuru dozları	3	,069	2,902	,056
	Sulama uygulamaları	2	21,442	908,129	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,014	0,584	0,739
	Hata	24	2,361E-02		
Sezonluk toplam	Aritma çamuru dozları	3	,061	2,995	,051
	Sulama uygulamaları	2	20,669	1019,274	,000
	Aritma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	0,018	0,900	0,511
	Hata	24	2,028E-02		

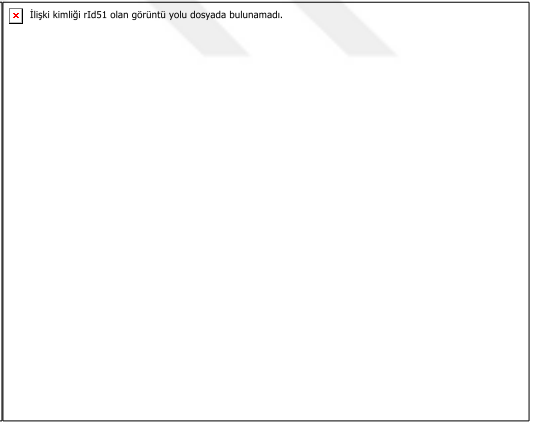
Ek-82. Birim Üretim Alanı Başına CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2022	Arıtma çamuru dozları	3	19604650,971	1670,059	,000
	Sulama uygulamaları	2	3436078,368	292,709	,000
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	14792,138	1,260	,312
	Hata	24	11738,895		

Ek-83. Birim Verim Başına CO₂ Salınımı Varyans Analizi

Yıl	Varyans kaynakları	SD	Kareler ortalaması	F	P
2022	Arıtma çamuru dozları	3	249,105	32,406	,000
	Sulama uygulamaları	2	361,908	47,081	,000
	Arıtma çamuru dozları × Sulama uygulamaları	6	32,857	4,274	,005
	Hata	24	7,687		

Ek-84. 2021 D0S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

	
---	--

Ek-85. 2021 D0S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

	
---	--

Ek-86. 2021 D0S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-87. 2021 D1S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-88. 2021 D1S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-89. 2021 D1S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-90. 2021 D2S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-91. 2021 D2S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-92. 2021 D2S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-93. 2021 D3S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-94. 2021 D3S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği rld51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-95. 2021 D3S3 Uygulamalarında İnfiltasyon Hızı ve Toplam İnfiltasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-96. 2022 D0S1 Uygulamalarında İnfiltasyon Hızı ve Toplam İnfiltasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-97. 2022 D0S2 Uygulamalarında İnfiltasyon Hızı ve Toplam İnfiltasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-98. 2022 D0S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-99. 2022 D1S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-100. 2022 D1S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-101. 2022 D1S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-102. 2022 D2S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-103. 2022 D2S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-104. 2022 D2S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-105. 2022 D3S1 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-106. 2022 D3S2 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	 İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-107. 2022 D3S3 Uygulamalarında İnfiltrasyon Hızı ve Toplam İnfiltrasyon

☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.	☒ İlişki kimliği r1d51 olan görüntü yolu dosyada bulunamadı.
--	--

Ek-108. Farklı Artıma Çamuru Dozları ve Sulama Uygulamalarında Bazı Bitki Parametreleri Arasındaki Korelasyonlar (n=36)

	Parametreler							
	KMV	B.Boy	B.G.Çapı	SPAD	Stoma	YAI	YOS	MZI
SOV	,982**	,881**	,917**	,956**	,687**	,937**	,853**	-,412*
KMV		,889**	,917**	,949**	,693**	,937**	,837**	-,408*
B.Boy			,837**	,921**	,409*	,870**	,617**	-,091
B.G.Çapı				,926**	,658**	,902**	,780**	-,429**
SPAD					,592**	,944**	,775**	-,299
Stoma						,714**	,881**	-,817**
YAI							,818**	-,411*
YOS								-,722**

SOV: Silajlık ot verimi, KMV: Kuru madde verimi, B.Boy: Bitki boyu, B.G.Çapı: Bitki gövde çapı, SPAD: Klorofil içeriği, Stoma: Stoma iletkenliği, YAI: Yaprak alan indeksi, YOS: Yaprak oransal su içeriği, MZI: Membran zararlanma indeksi, *p<0,05, **p<0,01

Ek-109. CO₂, H₂O, Hava Sıcaklığı ve Farklı Derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) Toprak Nemi İle Toprak Sıcaklıkları Arasındaki Korelasyonlar (n=524)

	Parametreler							
	H ₂ O	Hava sic.	Nem 5 cm	Nem 10 cm	Nem 20 cm	T.Sic.-5 cm	T.Sic.-10 cm	T.Sic.-20 cm
CO ₂	,575**	-,558**	,454**	,438**	,435**	-,721**	-,723**	-,725**
H ₂ O		-,117**	,554**	,531**	,542**	-,399**	-,407**	-,418**
Hava sic.			-,117**	-,104*	-,099*	,842**	,836**	,830**
Nem-5 cm				,989**	,994**	-,387**	-,406**	-,409**
Nem-10 cm					,991**	-,373**	-,392**	-,394**
Nem-20 cm						-,374**	-,394**	-,396**
T.Sic.-5 cm							,999**	,998**
T.Sic.-10 cm								,999**

CO₂: Karbondioksit salınımı, H₂O: Su buharı salınımı, Hava sic.: Hava sıcaklığı, Nem-5 cm: 5 cm toprak derinliğindeki nem, Nem-10 cm: 10 cm toprak derinliğindeki nem, Nem-20 cm: 20 cm toprak derinliğindeki nem, T.Sic.-5 cm: 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık, T.Sic.-10 cm: 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık, T.Sic.-20 cm: 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık, *p<0,05, **p<0,01

ÖZGEÇMİŞ

Kişi Bilgiler
Adı Soyadı: Mehmet ALTUN
Eğitim
Lise: Yusuf Kenan Lisesi (2006)
Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2012)
Yüksek Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2018)
Doktora: Atatürk Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (2024)
Yabancı Dil Bilgisi
İngilizce: B2