



**FARKLI AHIR GÜBRESİ DOZLARI VE SULAMA
ARALIKLARINDA KIVIRCIK MARULDA SU VE
TOPRAK VERİMLİLİĞİ İLE TOPRAKTAN CO₂
SALIMI**

Galad Barre YUSUF

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

2025

(Her hakkı saklıdır.)

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

**FARKLI AHIR GÜBRESİ DOZLARI VE SULAMA ARALIKLARINDA KIVIRCIK
MARULDA SU VE TOPRAK VERİMLİLİĞİ İLE TOPRAKTAN CO₂ SALIMI**

(Water and Soil Productivity and Soil CO₂ Emissions in Curly Lettuce at Different Cattle
Manure Doses and Irrigation Intervals)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Galad Barre YUSUF

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Erzurum
Ağustos, 2025

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Galad Barre YUSUF tarafından hazırlanan “Farklı Ahır Gübresi Dozları ve Sulama Aralıklarında Kıvırcık Marulda Su ve Toprak Verimliliği İle Topraktan CO2 Salımı” başlıklı çalışması 22/08/2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Caner YERLİ <i>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

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

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

Aslı ıslak imzalıdır
Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Üstün ŞAHİN* danışmanlığında sunulan “Farklı Ahır Gübresi Dozları ve Sulama Aralıklarında Kıvırcık Marulda Su ve Toprak Verimliliği İle Toprakta CO₂ Salımı” 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	1	30
Kuramsal Temeller	15	30
Materyal ve Yöntem	14	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	4	20
Sonuç ve Öneriler	1	20
Tezin Geneli	10	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
Galad Barre YUSUF	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
22.8.2025	22.8.2025
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

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

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

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

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince bana her zaman yol gösteren, bilimsel bilgi ve tecrübelerini benimle cömertçe paylaşan, hiçbir desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Arazi denemeleri, laboratuvar çalışmaları ve veri analizlerinin her aşamasında bana samimiyetle destek olan, içten yaklaşımlarıyla yanımda bulunan bölümümüz Arş. Gör. Dr. Mehmet ALTUN'a, değerli arkadaşlarım Dr. Abdoul Nasser Aboubacar DAN BADAOU ve doktora öğrencisi Omar Abdulahi ASKALAN'a da gönülden teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca sevgileri, duaları ve sarsılmaz destekleriyle beni her zaman güçlü kılan kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimime sağladığı destekten dolayı Türkiye Bursları Programı'na (YTB) içtenlikle teşekkür ederim.

Galad Barre YUSUF

Ağustos, 2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI AHIR GÜBRESİ DOZLARI VE SULAMA ARALIKLARINDA KIVIRCIK MARULDA SU VE TOPRAK VERİMLİLİĞİ İLE TOPRAKTAN CO₂ SALIMI

Galad Barre YUSUF

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Amaç ve Yöntem: Çalışmada, toprağa iki farklı doz ahır (sığır) gübresi (AG1, AG2) uygulamasının, mineral gübrelemeyle (MG) kıyaslayarak, damla sulama ile iki farklı sulama aralığında (S1: 2 gün, S2: 4 gün) kıvırcık marul bitkisinin su tüketimi, gelişimi (bitki boyu ve çapı, gövde çapı, yaprak sayısı), pazarlanabilir verimi, su verimliliği, bitki besin içeriği (N, P, K, Ca, Mg, Na), bitki fizyolojisi (SPAD, stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği, membran zararlanma indeksi), toprak kimyasal (pH, EC, CaCO₃, organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O, değişebilir Ca, Mg, Na ve K, ve KDK, ESP, Fe, Cu, Mn, Zn), fiziksel ve hidrolik (kütle ve tane yoğunluğu, porozite, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su) özellikleri ile topraktan CO₂ salımlarına etkisi araştırılmıştır. Sık sulamayla artan verimle kıvırcık marulda su verimliliğinin artırılması ve birim verim başına CO₂ salınımlarının azaltılması amaçlanmıştır. Deneme, 2024 yılında, iki faktörle (gübre×sulama) 3 tekerrürlü olarak toplam 18 parselde gerçekleştirilmiştir. AG1 ve AG2 uygulamalarında olgunlaşmış ahır gübresi sırasıyla yaklaşık %3 ve %4,5 organik madde içerikleri sağlanacak dozlarda deneme parsellerinin 0-20 cm'lik yüzey toprak tabakasına ekimden önce uygulanmıştır.

Bulgular: Gerçek bitki su tüketimi AG1 ve AG2 uygulamalarında MG'ye göre sırasıyla %22,2 ve %38,1, S2 uygulamasında da S1'e göre %12,2 daha düşük belirlenmiştir. AG1 ve özellikle AG2 uygulamasında ve sık sulama koşullarında yüzey toprak tabakasında ve bitkide artan besin içerikleri, iyileşen fizyoloji ve gelişen toprak fiziksel özellikleri verim artışına katkıda bulunmuştur. En iyi bitki gelişiminin gözlendiği AG2-S1 uygulaması MG-S1'e göre %13,6 daha fazla pazarlanabilir verim (8512 g/m²), artan verim ve azalan su tüketimiyle %75,5 daha fazla su verimliliği (60,2 kg/m³) sağlamıştır. AG2-S1 uygulaması (0,909 g CO₂/m²) MG-S1 uygulamasına göre sezonluk ortalama CO₂ salımını %90,2 artırmıştır. Birim verim başına en fazla CO₂ salımı da (143,5 g CO₂/kg-verim) AG2-S2 uygulamasında belirlenmiştir. AG2-S1 uygulaması daha fazla verimle birim verim başına CO₂ salımını (130,8 g CO₂/kg-verim) kısmen azaltmıştır.

Sonuç: AG2-S1 uygulaması iyileşen bitki ve toprak sağlığı ile su verimliliği açısından kıvırcık marul yetiştiriciliğine en iyi pratik olarak değerlendirilirken, bu uygulamada sık sulamayla daha yüksek verimlerin elde edilmesinin ayrıca birim verim başına CO₂ salımlarını da azaltabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CO₂ salımı, Organik gübreleme, Su verimliliği, Toprak verimliliği

Ağustos 2025, 88 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

WATER AND SOIL PRODUCTIVITY AND SOIL CO₂ EMISSIONS IN CURLY LETTUCE AT DIFFERENT CATTLE MANURE DOSES AND IRRIGATION INTERVALS

Galad Barre YUSUF

Supervisor: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Aim and Method: In this study, the effects on evapotranspiration of curly lettuce drip-irrigated with two different irrigation intervals (W1: 2 days, W2: 4 days), crop development (height and diameter, stem diameter, number of leaves), marketable yield, water productivity, crop nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, Na), plant physiology (SPAD, stomatal conductance, leaf relative water content, membrane damage index), soil chemical properties (pH, EC, CaCO₃, organic matter, total Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O, exchangeable Ca, Mg, Na and K, and CEC, ESP, Fe, Cu, Mn, Zn), physical and hydraulic properties (bulk and particle densities, porosity, wet aggregate stability, field capacity, permanent wilting point, available water content) and CO₂ emissions from the soil were investigated under two different doses of cattle manure (CM1, CM2), compared to mineral fertilization (M). The aim is to increase water productivity in curly lettuce by increasing yield with frequent irrigation and to reduce CO₂ emissions per unit yield. The experiment was carried out in 2024 in a total of 18 plots with three replications using two factors (fertilizer × irrigation). In CM1 and CM2 treatments, mature cattle manure was applied to the 0-20 cm surface soil layer in experimental plots before planting at doses that would provide approximately 3% and 4.5% organic matter content, respectively.

Results: Actual crop evapotranspiration was determined to be 22.2% and 38.1% lower in CM1 and CM2 treatments, respectively, compared to M, and 12.2% lower in W2 treatment compared to W1. In CM1 and especially CM2 treatments under frequent irrigation conditions, there was an increase in nutrient contents in the surface soil layer and in the crop, improved physiology, and enhanced soil physical properties resulting in an increase in yield. The CM2-W1 treatment, which showed the best crop growth, provided 13.6% more marketable yield (8512 g/m²) and 75.5% more water productivity (60.2 kg/m³) than M-W1 due to increased yield and decreased water consumption. The CM2-W1 treatment (0.909 g CO₂/m²) increased seasonal average CO₂ emissions by 90.2% compared to the M-W1 treatment. The highest CO₂ emissions per unit yield (143.5 g CO₂/kg-yield) were determined in the CM2-W2 treatment. The CM2-W1 treatment partially reduced CO₂ emissions per unit yield (130.8 g CO₂/kg-yield) with a higher yield.

Conclusion: While the CM2-W1 treatment was evaluated as the best practice for curly lettuce cultivation in terms of improved plant and soil health and water productivity, it was determined that achieving higher yields with frequent irrigation in this application could also reduce CO₂ emissions per unit yield.

Keywords: CO₂ emissions, Organic fertilization, Water productivity, Soil fertility

August 2025, 88 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Organik Gübre Uygulamalarının Marul Bitkisinin Verimine Etkisi.....	4
Sulama Uygulamalarının Marul Bitkisinin Verimine Etkisi.....	6
Ahır Gübresi ve Sulama Uygulamalarının Toprakta CO ₂ Salımına Etkisi.....	10
MATERYAL VE METOD	13
Materyal	13
Deneme alanının konumu.....	13
Deneme alanı iklim özellikleri	13
Deneme tarlası toprak özellikleri	14
Su kaynağı özellikleri ve sulama sistemi	15
Deneme deseni	15
Gübre materyalleri, toprağa karıştırılması, ekim ve bakım.....	16
Sulama uygulamaları.....	17
Sezonluk gerçek bitki su tüketiminin (ET _a) belirlenmesi	19
Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliğinin (IWP) belirlenmesi.....	21
Toprak örneklerinin alınması, analiz ve hesaplamalar.....	21
Toprakta CO ₂ salımlarının ölçülmesi.....	24
Bitki Ölçüm ve Analizleri	25
Pazarlanabilir verim ve morfolojik ölçümleri	25
Fizyolojik ölçümler	26
Makro element analizleri.....	28
İstatistiksel analiz	28

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	29
Sulama Suyu Miktarı	29
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	29
Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa)	31
Bitki Gelişimi ve Pazarlanabilir Verim.....	33
Bitki Fizyolojik Özellikleri	38
Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (IWP)	42
Bitki Makro Element İçeriği	43
Toprak Kimyasal Özellikleri.....	44
Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri	49
Topraktan CO ₂ Salımı	52
SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR.....	60
EKLER	69
EK-1. İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	76

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Deneme Tarlası Toprağının Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	14
Tablo 2. Toprak Analiz Yöntemleri.....	21
Tablo 3. Kıvırcık Marul Bitkisinin Pazarlanabilir Verimiyle Büyüme Parametreleri ve Fizyolojik Özellikler Arasındaki İkili İlişkiler	36
Tablo 4. Kıvırcık Marul Bitkisinin Pazarlanabilir Verimiyle Toprak Verimlilik ve Bazı Fiziksel Özellikleri Arasındaki İkili İlişkiler.....	37
Tablo 5. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Kıvırcık Marul Bitkisinin Makro Element İçerikleri.....	44
Tablo 6. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Kimyasal Özellikleri.....	47
Tablo 7. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Makro ve Mikro Element İçerikleri.....	48
Tablo 8. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Deneme alanı.....	13
Şekil 2. Kıvırcık marul vejetasyon periyodu günlük sıcaklık ve yağış değerleri ile sıcaklık ortalaması.....	14
Şekil 3. Damla sulama sistemiyle kıvırcık marulun sulaması.....	15
Şekil 4. Deneme deseni	16
Şekil 5. Ahır gübresinin parsel yüzeylerine yayılması.....	17
Şekil 6. 2 Vejetasyon periyodunda sulama uygulamalarında (S1: 2 gün, S2: 4 gün) dönemsel ET_o , ET_c , yağış ve $ET_c - \text{yağış}$ değerleri	18
Şekil 7. Deneme parsellerinde nem ölçümü ve nem örnekleme.....	20
Şekil 8. Toprak analizleri	23
Şekil 9. CO_2 salımı ölçümleri.....	25
Şekil 10. Bitki verim ve morfolojik ölçümleri	25
Şekil 11. Klorofil içeriği (SPAD) ölçümleri	26
Şekil 12. Stoma iletkenliği ölçümleri.....	26
Şekil 13. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi.....	27
Şekil 14. Membran zararlanmasının belirlenmesi.....	28
Şekil 15. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında sezonluk sulama miktarları	29
Şekil 16. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında vejetasyon periyodu sulamalar öncesi toprak nem içerikleri.....	30
Şekil 17. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun gerçek su tüketimi (ET_a) değerleri.....	32
Şekil 18. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun pazarlanabilir verimi	33
Şekil 19. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun bitki boyu	34
Şekil 20. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun bitki çapı.....	34
Şekil 21. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun gövde çapı	35

Şekil 22. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun yaprak sayısı.....	35
Şekil 23. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sezonluk ortalama klorofil içeriği (SPAD) değerleri	39
Şekil 24. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sezonluk ortalama stoma iletkenliği değerleri.....	39
Şekil 25. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun hasatta yaprak oransal su içeriği değerleri	40
Şekil 26. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun hasatta mambran zararlanma indeksi değerleri	40
Şekil 27. Bitki N-Klorofil içeriği (SPAD) ilişkisi. **: $p<0,01$	41
Şekil 28. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun su verimliliği	42
Şekil 29. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sulama suyu verimliliği.....	42
Şekil 30. pH-CaCO ₃ ilişkisi. **: $p<0,01$	46
Şekil 31. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında vejetasyon dönemi CO ₂ salımlarının değişimi	52
Şekil 32. Vejetasyon döneminde CO ₂ salımlarının farklı derinliklerde toprak sıcaklık ve nem değerleri ile hava sıcaklığı ve H ₂ O salımlarıyla ilişkisi	54
Şekil 33. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında vejetasyon döneminde ortalama CO ₂ salımları	55
Şekil 34. Yüzey tabakada (0-20 cm) organik madde içeriği ile vejetasyon dönemi ortalama CO ₂ salımları arasındaki ilişki.....	56
Şekil 35. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında birim verim başına CO ₂ salımları	57

GİRİŞ

Tarımda yüksek verimli sebze üretimini büyük ölçüde etkileyen başlıca tarımsal girdileri gübreleme ve sulama faaliyetleri oluşturmaktadır. Gübreleme, daha yüksek ürün verimi, kalite ve nicelik için ihtiyaç duyulan besinleri sağladığından dolayı modern tarımsal üretimin temeli olarak kabul edilmektedir (Simanský *et al.*, 2022). Optimum bitki büyümesini teşvik amacıyla, bitkilerin gereksinim duydukları makro ve mikro besin elementlerinin zamanında ve yeter miktarlarda sağlanması esastır. Üreticilerin toprak sağlığını ve çevresel etkileri dikkate almadan yüksek verimler elde edebilmek için aşırı kimyasal gübre kullanımı eğiliminde olması, kaynak israfı, maliyet artışları, toprak ve su kaynakları ile atmosferde kirlenme yanında, aynı zamanda toprak-bitki-mikrobiyal popülasyonlar arasındaki doğal dengeyi de bozmaktadır (Rather *et al.*, 2018). Üre ve amonyum gübreleri yüksek oranlarda uygulandığında, toksisite, pH'daki artışlar ve iyonik etki nedeniyle toprak mikroorganizmalarının faaliyetleri baskılanabilmektedir. Ancak mikroorganizmaların mineral N ilavelerine tepkisi, çevresel ve yönetimle ilgili faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Geisseler and Scow, 2014). Aynı zamanda, mineral gübrelerin aşırı uygulanması toprak fiziksel özelliklerinin bozulmasına da neden olabilmektedir (Suwara vd., 2016). Geleneksel kimyasal gübrelerin çevresel etkisini azaltmak için organik gübreleme esastır (Khan ve ark., 2024).

Toprak gözenekliliği, gözenek boyutu dağılımı ve agregat stabilitesi, su tutma kapasitesini etkileyen önemli fiziksel toprak özellikleri olarak değerlendirilmektedir. Toprağın strüktürel gelişimi ve stabilitesi, özellikle gübreleme uygulamaları olmak üzere birçok tarımsal faaliyetten etkilenebilmektedir. Toprakların organik karbon içerikleri, toprak sağlığını etkileyen ana özelliklerinden birisini oluşturmaktadır. Bu nedenle, organik gübreleme uygulamaları verimlilik yanında, agregat stabilitesini ve su bulunabilirliğini etkileyebilecek önemli bir toprak yönetim pratiği olarak dikkate alınabilmektedir (Suwara *et al.*, 2016). Ahır gübresi, toprak verimliliğinin geliştirilmesinde en etkili gübrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Organik gübre, makro ve mikro besinleri kolayca erişilebilir bir biçimde sağladığı için bitki büyümesi açısından çok önemlidir. Ayrıca toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek toprak sağlığının artmasına yol açmaktadır. Toprak mikrobiyal biyokütlesi, toprak stabilitesi ve besin döngüsü için hayati bir öneme sahiptir. Toprağa organik katkı maddelerinin dahil edilmesi mikrobiyal aktiviteyi, çeşitliliği ve çoğalmayı teşvik ederek bitkiler için besin bulunabilirliğini artırmaktadır (Khan ve ark., 2024).

Organik gübrelemeyle sebze üretimi, özellikle marul gibi yapraklı yeşillikler için verimi artırmak amacıyla büyük ölçüde makro besinlere, özellikle azota dayanır (Toonsiri ve ark., 2016). Marulun organik gübrelemeyle yetiştirilmesi salata bitkileri için tercih edilmekte ve organik gübreleme zararlı kalıntılar bırakmadan kaliteyi artıran faydalı bir uygulama olarak kabul görmektedir (Rather *et al.*, 2018). İnorganik gübre kullanımının organik gübreye göre marul gibi salata bitkilerinde önemli seviyelerde nitrit ve nitrat birikimine neden olduğu da rapor edilmiştir (Üçok ve ark., 2019). Tuğa ve ark. (2021)'da kimyasal azotlu gübrelerin uygulandığı salata bitkilerinin yapraklarında nitrat/nitrit birikimi riskine vurgu yapmışlardır.

Tarımın CO₂ salımına olan temel katkısı yoğun toprak işleme, sulama ve gübre uygulaması gibi kültürel yönetim uygulamalarıyla ilgilidir (Hamrani et al, 2020; Altun and Sahin, 2025). Ancak organik gübre uygulaması, zamanla topraktan CO₂ salımına katkı sağlayan toprak karbon stoklarına katkıda bulunmaktadır (Liu *et al.*, 2024). Toprak karbon içeriğinde önemli seviyelerde artış sağlayabilmesi nedeniyle, toprağa uygulanan en önemli organik madde kaynaklarından biri olan hayvan gübresi uygulandığı ortamlarda, gübrenin hızla toprakta ayrışması ile atmosfere CO₂ olarak salınımı küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır.

CO₂ topraktan atmosfere köklerin (ototrofik solunum) ve topraktaki organik maddeyi ayrıştıran organizmaların (heterotrofik solunum) birleşik aktivitesiyle salınmaktadır. Yani topraktan CO₂ salımı, hem mikrobiyal ve hem de bitki kökü solunumlarını içermektedir (Ray *et al.*, 2020). CO₂ salımları, toprak organik madde içeriği ve onun mikrobiyal aktivitelerle ayrışmasıyla doğrudan bağlantılıdır (Yerli *et al.*, 2023a). Mikroorganizmalarla oksitlenen organik karbon, CO₂ olarak topraktan atmosfere geçmektedir (Yerli, 2023). Organik gübrelemeden kaynaklanacak olan yüksek azot içeriği, toprak biyolojik kapasitesini ve organik madde mineralizasyonunu geliştirerek toprak solunumunu artırmaktadır (Tang *et al.*, 2018). Toprak organik karbonu, mikroorganizmalar için bir enerji kaynağı olarak da fayda sağlamaktadır (Tang *et al.*, 2022). Bu nedenle, mikroorganizmalar yüksek karbon seviyeli ortamda organik maddeyi daha hızlı parçalayabilmekte ve bu da artan CO₂ salımlarına yol açabilmektedirler.

Yüksek organik madde topraktan daha fazla CO₂ salımına katkı sağlasa da, organik madde ayrışma süreçlerinde mikrobiyal aktivite için uygun çevre koşulları da hayati önem taşımaktadır. Toprak sıcaklığı çoğunlukla ototrofik solunumu etkilemektedir. Bu nedenle, toprak solunumu (ototrofik solunum + heterotrofik solunum) hem toprak sıcaklığına hem de neme göre değişebilmektedir. Toprak sıcaklığı ve nemi, mikroorganizma aktivitesini doğrudan etkilemekte ve organik madde mineralizasyonu nedeniyle topraktan daha fazla CO₂ salımına yol açmaktadır (Yerli *et al.*, 2022a; Yerli *et al.*, 2023a). Aşırı kuru koşullar mikrobiyal aktiviteyi

sınırlayıp potansiyel olarak CO₂ salımlarını azaltabilirken, aşırı nemli koşullar ise anaerobik solunum yoluyla toprak CO₂ üretimini artırabilen anaerobik mikroorganizmaların gelişimini artırabilmektedir (Keiluweit *et al.*, 2017). Ayrıca, iklim koşullarındaki değişimler de tarım topraklarından CO₂ salımlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Hamrani *et al.*, 2020). Hava sıcaklığı toprak CO₂ salımında önemli bir rol oynamakta, genel olarak CO₂ salımı artan hava sıcaklığıyla birlikte artmaktadır. Aslında bu durum dolaylı bir etki olarak artan hava sıcaklığının toprak sıcaklığını arttırmasıyla ilişkilidir.

Gübrenin çevresel etkisini anlamak, çeşitli tarımsal üretim ve yönetim uygulamalarında toprak ve bitki sağlığına katkısı yanında atmosfer sağlığı kapsamında CO₂ salımına etkisinin de izlenmesini gerektirmektedir. Kimyasal gübre ve alternatif ahır gübresinin toprak ve bitki sağlığıyla birlikte topraktan CO₂ salımı üzerindeki etkilerini marul yetiştiriciliğinde birlikte araştıran çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmüştür. Bu tek yıllık çalışmayla, iki farklı ahır gübresi dozu ve toprak nem rejiminin etkisinin de ortaya konulması amacıyla iki farklı sulama aralığında, toprak ve bitki verimliliği, marul su-verim ilişkileri ile birlikte verim-CO₂ salımı ilişkisinin de araştırılarak, kısa periyodlu süreç etkisinin birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Organik Gübre Uygulamalarının Marul Bitkisinin Verimine Etkisi

Paudel *et al.* (2004) organik gübrelerden ve kimyasal gübrelerden aynı miktarda azot uygulanacak şekilde inek gübresi, tavuk gübresi ve ördek gübresini 4,5, 4,7 ve 5,8 t/ha dozlarıyla uygulayarak, bireysel olarak gübreler arasında en fazla verimin tavuk gübresi uygulamasında olduğunu bunu inek, ördek gübresi ve kontrol konusunun izlediğini belirlemişlerdir.

Tahboub *et al.* (2010) 4 kg/m² dozunda dört farklı organik materyalin (sığır, tavuk, koyun, kompost) ve geleneksel sistemin marulun kimyasal bileşimi ve vejetatif üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve sonuçta koyun, kümes hayvanı ve sığır gübresinin daha fazla yaprak kuru ağırlığı ve kök taze ağırlığı sağlayarak marul kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini, daha yüksek C vitamini, toplam fenol ve klorofil içeriği sağladığını belirlemişlerdir.

Kang *et al.* (2011) ahır gübresi kompostunun genellikle yüksek fosfor içeriğine sahip olduğunu ve bu nedenle fosforlu gübrelerin yerine kullanılabileceğini ifade etmişler ve çalışmalarında ahır gübresi komposto uygulamasının marul yetiştiriciliği koşullarında toprağın organik madde, kullanılabilir fosfat, değiştirilebilir kalsiyum, magnezyum ve sodyum içeriğini kimyasal gübreden daha fazla artırdığını ifade etmişlerdir.

Islam *et al.* (2012), organik gübre (inek, tavuk) kullanılarak kimyasal uygulamaya göre daha yüksek marul üretiminin sağlandığını, ortalama maksimum yaprak sayısı, kök uzunluğu ve parsel başına verimin 35 t/ha ahır gübresi uygulamasında gözlemlendiğini, en düşük verimin ise kimyasal gübre uygulanan kontrol konusunda olduğunu ifade etmişlerdir.

Caliskan *et al.* (2014) yeşil gübre, ahır gübresi, ticari organik gübre ve bunların kombinasyonlarını karşılaştırmışlar, en yüksek marul verimi (71,8 ve 76,5 t/ha) yeşil gübre + ahır gübresi kombinasyonu ile elde etmişler, yeşil gübre ve ahır gübresinin birlikte kullanımının organik marul üretiminde başarıyla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Moreira *et al.* (2014) beş farklı organik madde kaynağı (organik kompost, tavuk gübresi, sığır gübresi, koyun gübresi ve hint yağı bitkisi) ve bir kontrol (gübresiz) ile malçlı ve malçsız koşulların marul yetiştiriciliğinde bitki çapı, bitki boyu, taze ve kuru kök ve sürgün ağırlığı ve ayrıca toprak sıcaklığı ve su geçirgenliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için yürüttükleri çalışmada, malç kullanıldığında, marul yetiştirmek için en iyi organik madde kaynağının tavuk gübresi olduğunu, malç olmadığı durumlarda ise en iyi sonucu sağlayan organik madde kaynağının organik kompost olduğunu bildirmişlerdir.

Mantovani *et al.* (2017) sığır gübresi ile organik gübrelemenin farklı kil içeriklerine sahip toprakların verimlilik özellikleri ile marul üretimi üzerine etkisini araştırmışlardır. 160 t/ha' a kadar ahır gübresi uygulamasının toprak asitliğini azalttığını, özellikle P, K ve Zn olmak üzere besin içeriğini artırdığını, büyüme ve verimi etkilemeden toprağın elektriksel iletkenliğini artırdığını, marulun yanı sıra daha sonra yetiştirilen roka ve hindibanın da verimini artırdığını belirtmişlerdir.

Ullah *et al.* (2017) ahır ve tavuk gübresi kullanarak, organik gübrenin marul çeşitlerinin büyümesi ve verimi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve maksimum yaprak sayısı (19,5), bitki boyu (26,66 cm), toplam klorofil içeriği (0,0062 mg/cm²) ve toplam verimi (4,16 t/ha) 10 t/ha tavuk gübresi ile muamele edilmiş marul yetiştiriciliğinde belirlemişler, ahır gübresinin de kimyasal gübreli kontrolden daha iyi büyüme ve verim sağladığını tespit etmişlerdir.

Kılıç (2018) tarafından organik gübre olarak tavuk gübresi, çiftlik gübresi, vermikompost ve leonarditin artan dozlarının marul gelişimi ve verimi üzerine olan etkileri araştırılmış, verim, gelişim ve besin elementi içerikleri üzerine vermikompost, leonardit ve çiftlik gübresinin en etkili gübreler olarak ortaya çıktığı, organik gübrelerin verim, yaprak sayısı, boy, gövde çapı, vitamin C, NO₃, P, Ca ve Mg içeriği üzerine önemli etkilerinin bulunduğu belirtilmiştir.

Miguel *et al.* (2018) üç farklı toprak tipinde, sığır gübresi ve sıvı organik gübre dozlarının marul bitkisinin büyümesi ve verimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 250 gr/bitki dozunda sığır gübresi uygulamasının maksimum sonuçlarla en uygun sığır gübresi dozunu oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Selçuk ve Çakıcı (2022) kireçli alkali topraklarda marul bitkisinin beslenme durumu ve verimi üzerine mikrobiyal gübre ve organik gübre uygulamalarının etkisini araştırmışlar, en yüksek verim mikrobiyal gübre + organik gübre karışım parsellerinde elde edilmiş, uygulamaların yaprak ve kök P içeriği ile yaprak N, Ca, Mg, Fe ve Zn içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Vella and Sacco (2022) tavuk, sığır, domuz gübresi ve kimyasal gübrenin marul verimi ve kalitesi üzerindeki etkisi araştırmışlardır. En iyi ürün performansının tavuk gübresinden elde edildiğini, bunu domuz gübresi, sığır gübresi ve kimyasal gübrenin izlediğini, yeraltı suyunu NO₃ açısından kontaminasyon potansiyelinin ahır gübresinde en düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Çelik (2023) marul tarımında aşırı miktarlarda kimyasal gübre kullanımı sonucu ortaya çıkan toprak ve ürün sorunların giderimine yönelik olarak sığır, koyun, tavuk ve kaz gübresi,

bunların karışımı ile %30 azaltılmış kimyasal gübre uygulamış, marul yetiştiriciliğinde % 30 oranında azaltılmış kimyasal gübrelerin farklı hayvansal gübreler ile birlikte kullanılması sonucunda ortalama verimde bir kayıp olmayacağını belirtmiştir.

Erdal ve ark. (2024) sığır gübresiyle hazırlanmış biyokömür katkılı bokaşı kompostlarının, kompostlanmamış sığır gübresine kıyasla marulun gelişimi ve bazı gelişim parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlar, bitki gelişimi açısından en iyi uygulamanın hayvansal gübre bokaşısı olduğu ve bokaşı kompostlanmış inek gübresine biyokömür veya bazı organik madde ilavelerinin etkisinin de önemli olmadığını ifade etmişlerdir.

Martins *et al.* (2024) malçla kaplı toprakta sığır gübresiyle gübrelenen marulun agronomik performansını değerlendirmişler, sığır gübresi uygulamasının büyümeyi önemli ölçüde teşvik ettiğini ve marul ürün verimini yaklaşık %53 artırdığını ifade etmişlerdir.

Gübreleme uygulamalarını kapsayan önceki çalışmalar, organik gübreleme koşullarında toprağın artan verimliliği ve iyileşen bitki ve toprak sağlığının marulun veriminde ve kalitesinde önemli artışlar sağladığını göstermiştir.

Sulama Uygulamalarının Marul Bitkisinin Verimine Etkisi

Kuslu *et al.* (2008) kıvırcık marulda (*Lactuca sativa* var. Crispa cv. Bohemia) evapotranspirasyon, su kullanım etkinliği, pazarlanabilir verim, verim bileşenleri ve mineral içerikleri üzerine Erzurum koşullarında iki yıllık bir tarla çalışmasıyla sulama seviyelerinin (tam sulamada 30 cm'deki yarıyıllık suyun %30'u eksildiğinde %100, 80, 60, 40 ve 20'si) etkilerini araştırmışlar, mevsimsel ortalama evapotranspirasyonu %100 sulamada 232 mm, %20 sulamada 121 mm olarak belirlemişler, ortalama pazarlanabilir verimin %100 sulamada 39,49 t/ha, %20 sulamada 14,57 t/ha, verim tepki faktörünün (ky) 1,39 olduğunu, ortalama su kullanım etkinliğinin %100 sulamada 168,88 kg/ha/mm, %20 sulamada 117,39 kg/ha/mm olarak belirlendiğini, her iki yılda da en düşük bitki boyu, bitki çapı, gövde çapı, yaprak sayısı, makro ve mikro element içeriklerinin %20 sulamada elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Bozkurt *et al.* (2009) sera koşullarında damla sulamayla farklı sulama seviyelerinin (A Sınıfı buharlaşma kabı yığılımlı değerinin 0,75, 1,0 ve 1,25'i ve sulamasız) ve farklı azot formlarının (amonyum nitrat ve amonyum sülfat) marulun (*Lactuca sativa* var. longifolia cv. Lital) verimi, kalitesi ve su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 1,0 oranıyla sulanan konuda 30 cm toprak derinliğine yerleştirilen tansiyometrenin okumaları 25 kPa'ya yaklaştığında sulamalar yapılmış, sulama seviyelerinin bitki kuru ağırlığı hariç verim ve verim bileşenleri üzerinde önemli etkilerinin olduğu, en yüksek verimin amonyum nitrat

gübrelemesiyle 1,0 oranıyla yapılan sulamadan elde edildiği, su kullanım verimliliği ve sulama suyu kullanım verimliliğinin sulama seviyesi azaldıkça arttığı ifade edilmiştir.

Şenyiğit and Kaplan (2013) sera koşullarında marulun (*Lactuca sativa* L. Var. Longifolia cv.) verimi ve bazı kalite parametreleri üzerinde 7 günlük aralıklarla damla sulama yöntemi ile uygulanan farklı sulama suyu seviyelerinin (A Sınıfı buharlaşma kabı yığışımı değeri 0,25, 0,50, 0,75, 1,0 ve 1,25'i ve sulamasız) etkilerini araştırmışlar, evapotranspirasyon değerlerinin 69,1 ile 158,5 mm arasında değiştiğini, en yüksek verimin 1,0 oranıyla yapılan sulamada elde edildiğini ve bunu 0,75 oranıyla yapılan sulamanın izlediğini, verimle su tüketimi arasında doğrusal bir ilişki saptandığını, verim tepki faktörünün (ky) 1.97 olduğunu, en yüksek su kullanım etkinliği ve sulama suyu kullanım etkinliği değerlerinin sırasıyla 0,60 t/ha/mm ve 0,96 t/ha/mm ile 1,0 oranıyla yapılan sulamadan elde edildiğini, toprak üstü ve altı bitki gelişme parametrelerinin de 1,0 oranıyla yapılan sulamada daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Yıldırım *et al.* (2015) sera koşullarında farklı su seviyelerinin (A Sınıfı buharlaşma kabı yığışımı değeri 0,25, 0,50, 0,75, 1,0 ve 1,25'i) marul çeşitlerinin verimi ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar, sulama suyu miktarının artırılmasının verimi olumlu yönde etkilediğini ifade etmişlerdir.

Kirnak *et al.* (2016) Şanlıurfa'da Aralık-Şubat ayları arasında yetiştirilen marulun (cv. Hazar) verimine damla sulamayla farklı sulama seviyelerinin (7 günde bir A Sınıfı buharlaşma kabı yığışımı değeri 0,25, 0,50, 0,75 ve 1,0'i) etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, en yüksek ortalama marul veriminin 7,8 t/da ile 1,0 oranıyla yapılan sulamadan elde edildiği, marul verimi açısından 1,0 ve 0,75 oranıyla yapılan sulamalar arasında önemli farklılıklar gözlenmediği, maksimum sulama suyu kullanım verimliliği ve toplam su kullanım verimliliğinin sırasıyla 0,117 ve 0,074 t/da/mm ile 0.25 oranıyla yapılan sulama uygulamasından elde edildiği, verim tepki faktörünün de (ky) 0,88 olarak bulunduğu belirtilmiştir.

Sahin *et al.* (2016) yarı kurak ve yüksek rakımlı Erzurum koşullarında damla sulama ile yetiştirilen marulda farklı sulama miktarlarının (A sınıfı kap buharlaşma kabı yığışımı değeri %100, 85 ve 70'i) bitki büyümesi (yaprak sayısı, gövde çapı, bitki çapı ve boyu), pazarlanabilir verim, su kullanımı ve ürün kalite özellikleri (mineral içeriği, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite) üzerine etkisini araştırmışlar, marul evapotranspirasyonunun en fazla miktarda sulanan uygulamada en yüksek olduğu (214,1 mm), bunun maksimum büyümeyi ve pazarlanabilir verimi (2,17 kg/m²) sağladığı, su kullanım verimliliğinin de bu uygulamada en yüksek olduğu (10,2 kg/m³), marul veriminin sulama miktarının azalmasıyla önemli ölçüde

azaldığı, ancak daha az miktarlarla sulamalarda yapraklardaki potasyum içeriğinin makro elementler (N, P, K, Ca, Mg, S ve Na) arasında, manganez içeriğinin de mikro elementler (Fe, Cu, Mn, Zn ve B) arasında en yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Al-Bayatı ve Şahin (2018) Konya ili açık tarla şartlarında Cuore marul çeşidinin (*Lactuca Sativa* L. var. *longifolia*) su-verim fonksiyonlarını 4 gün sulama aralığında A sınıfı buharlaşma kabı yığışımı değerinin 0,60, 0,80, 1,0 ve 1,20'sini uygulayarak araştırmışlar, marul verim tepki faktörünü (ky) 1,38 olarak belirlemişler ve A sınıfı buharlaşma kabından meydana gelen buharlaşmanın %100'ünün uygulanmasını ideal sulama programı olarak önermişlerdir.

Çoşkan ve Şenyiğit (2018) vermikompost ve farklı sulama suyu düzeylerinin (%75, %50, %25 ve %0), marul bitkisinin seçilmiş mikro besin alımına etkisini inceledikleri çalışmada, tam sulamanın en fazla mikro besin elementi alımını sağlamadığını, en fazla alımın %75 düzeyinde sulama koşulunda elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Malejane *et al.* (2018) iki marul çeşidinde (Lollo Bionda ve Vera) üç sulama seviyesinde (%25, %50 ve %75) sulama uygulamalarının hasat döneminde fitokimyasallar, askorbik asit, antioksidan aktivite, glikoz, fruktoz ve taze ve kuru kütle üzerindeki etkisi araştırmışlar, kısıntılı sulamanın, bitkilerde fitokimyasalların biyosentezini uyaran ve ürün kalitesini iyileştiren abiyotik stres koşullarını uyarabileceğini, ancak, kısıntının pazarlanabilir ürün verimini de etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Mohamoud (2019) farklı sulama (geleneksel, A Sınıfı buharlaşma kabı yığışımı değerinin 0,50, 0,75, 1,0 ve 1,25'i ve bunların ardışık olarak köklerin bir yarısı ıslatılacak şekilde uygulandığı yarı ıslatmalı sulama) koşullarında kıvrıcık (*Lactuca sativa* var. *crispa*) ve göbekli marullarda (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) verim ve bazı kalite özelliklerini araştırmış, baş boyu, kök boğazı çapı, yaprak alanı, toplam ve pazarlanabilir verim, ortalama baş ağırlığı, pazarlanabilir ortalama baş ağırlığı ve kıvrıcık marulun sulama suyu kullanım randımanının geleneksel ve 1,25 oranlı sulamada en iyi olduğunu ifade etmiştir.

Mostafa *et al.* (2019) organik gübrenin çeşitli sulama seviyeleri (%100, %80 ve %60 ETc) altında marulun büyümesi, verimi ve kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlar, baş uzunluğu, baş çapı, baş ağırlığı, kök ağırlığı ve toplam verim açısından en yüksek değeri ve bitkide en yüksek azot, fosfor ve potasyum değerlerini organik maddenin en fazla dozunda ve tam sulama koşulunda belirlemişlerdir.

Acar (2020) farklı yetiştirme ekolojilerinde gerçekleştirilen marul sulama araştırmalarıyla ilgili literatürlerden elde ettiği verim, verim bileşenleri ve su verimliliği

verilerinden maksimum verimin tam sulama uygulamasından elde edildiğini, marulun optimum verim ve kalite için ideal olan 2 veya 3 günlük sulama aralıklarıyla sulanabileceğini, evapotranspirasyon değerinin marul çeşitlerine, toprak nem içeriğinin mevcudiyetine ve iklimsel faktörlere büyük ölçüde bağlı olarak 208 mm ile 413 mm arasında değiştiğini, doğru sulama programı altında sebze yetiştiriciliğinde daha iyi verim, kalite ve su verimliliği sağlandığını, su tasarrufu için yağmurlama veya damla sulama sisteminin kullanılması gerektiğini ifade etmiştir.

Çerez (2020) sera koşullarında 4 gün sulama aralığında farklı sulama düzeyinin (A sınıfı buharlaşma kabı yığılımlı değerinin 0,60, 0,80, 1,0 ve 1,20 si) kıvırcık marul bitkisinin gelişimi ve verim parametrelerine olan etkisini araştırmış, Konya koşullarında ısıtmasız serada; güz dönemi (Eylül-Kasım) marul yetiştiriciliğinde 1,0 oranıyla sulamanın, bahar dönemi (Şubat-Nisan) marul yetiştiriciliğinde ise 0,80 oranıyla sulamanın uygun olacağını belirtmiştir.

Güvenaltın (2021) plastik örtülü sera ortamında yetiştirilen üç farklı kıvırcık ve baş salata çeşidinin (Carteganas, Concorde ve Melina) verim ve kalitesi üzerine damla sulama ile farklı sulama seviyelerinin (sera içine yerleştirilen 100 ml'lik cam petri kabından buharlaşan su miktarının 0,25, 0,50, 0,75, 1,0 ve 1,25'i) etkilerini araştırmış, mevsim boyunca 32,5 mm ile 122,5 mm arasında sulama suyu deneme parsellerine uygulanmış, üç farklı çeşit üzerindeki ortalama sonuçların göre en yüksek baş ağırlığı 0,75 sulama seviyesinde 581,2 g olarak, en düşük ise 224,8 g ile 0,25 sulama seviyesinde elde etmiş, diğer kalite parametrelerinde de 0,75 sulama seviyesinin tüm çeşitlerde daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Erguler at al. (2024) farklı sulama suyu seviyeleriyle (100, 75%, 50% ve 25%) yetiştirilen marulun toprağına farklı organik madde katkılarının (20 t/ha ahır gübresi, 20 t/ha biyoçar ve 10 t/ha çiftlik gübresi + 10 t/ha biyoçar) su ve sulama suyu verimliliği, verimlilik ve bitki özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar, marul yetiştiriciliğinde toprağına 10 t/ha çiftlik gübresi + 10 t/ha biyoçar uygulamasında %75 sulama suyu seviyesini önerilebilir olarak bulmuşlardır.

Jabbar (2025) marul bitkisinde her 3, 5 ve 7 günde bir sulama aralıkları ve farklı dozlarda organik gübre uygulanmalarının toprak özellikleri ve marul üretimine etkisini araştırmış, sık sulamanın en yüksek verimi sağladığını, daha seyrek sulamada agregat stabilitesinin arttığını, en yüksek dozun en iyi sonuçları sağladığı, kütle yoğunluğunu azalttığı poroziteyi ve agregat stabilitesini artırdığını belirlemiştir.

Farklı sulama miktarlarının ve aralıklarının marulda etkisini inceleyen önceki çalışmalar, azalan sulama seviyelerinde veya artan toprak nem açıklarında su stresine duyarlı bir bitki olan marulun veriminde önemli azalmalar olduğunu göstermiştir. Molina-Montenegro

et al. (2011)' da bu bitkinin, yüksek fotosentetik kapasitesini ve yüksek ticari değere sahip taze biyokütlesini korumak için tüm gelişim aşamalarında suya oldukça bağımlı olduğunu, su eksikliğine en duyarlı ürünlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Dessureault-Rompré *et al.* (2020) tarafından da marul bitkilerinin özellikle yüksek buharlaşma-terleme dönemlerinde su stresine karşı çok hassas olduğu belirtilmiştir.

Ahır Gübresi ve Sulama Uygulamalarının Topraktan CO₂ Salımına Etkisi

Ding *et al.* (2007) organik materyal ve NPK uygulamalarında, bitki sıraları arasında, topraktan kaynaklanan kümülatif CO₂ salımlarını mısır yetiştirme sezonunda karbon eşdeğeri olarak sırasıyla 228 ve 188 g C/m², buğday yetiştirme sezonunda 132 ve 123 g C/m² olarak belirlemişlerdir.

Zhai *et al.* (2011) mineral ve ahır gübresinin toprak verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek için uzun vadeli bir saha deneyi yürütmüşler, CO₂ salımlarının kontrol toprağındaki 10565 kg C/ha/yıl değerine göre gübre uygulamasında 28663 kg C/ha/yıl'lık bir değerle belirgin bir artış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Phan *et al.* (2012) sığır gübresi arazi uygulama tekniklerinin etkilerini değerlendirmek amacıyla iki önemli sera gazı, metan ve karbondioksit salımlarını ölçmüş, CH₄ ve CO₂ salımlarının gübre uygulama miktarındaki farklılıklardan belirgin bir şekilde etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Li *et al.* (2013) Kuzeydoğu Çin'de toprak CO₂ salımı üzerinde mısır samanı ve organik gübrenin uzun süreli uygulamalarının etkilerini ve toprak CO₂ salımının sıcaklık ve neme verdiği tepkileri değerlendirmişler, toplam CO₂ salımının organik gübre ile karıştırılmış topraklarda daha yüksek olduğunu, toprak sıcaklığı ve neminin CO₂ salımındaki mevsimsel değişimin %50-88'ini açıklayabildiğini belirtmişlerdir.

Zornoza *et al.* (2016), bir meyve bahçesinde, üç sulama stratejisinin toprak CO₂ salımı, toprak C havuz dinamikleri ve agregat içeriği ve stabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlar, kısıntılı su uygulamasının topraktan CO₂ salımında azalmaya yol açtığını, tam sulamaya kıyasla şiddetli kısıtta yıllık ortalama 159 g CO₂-C/m² azalma olduğunu, kısıntılı sulamanın toprak C içeriğini ve agregat stabilitesini etkilemediğini ifade etmişlerdir.

Ren *et al.* (2017) Çin'deki 379 gözlemden veri sentezleyerek ahır gübresinin toprak azot oksit (N₂O), karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) salımlarına etkisini kimyasal gübrelerle veya gübresiz uygulamalarla karşılaştırmışlar, N₂O, CO₂ ve CH₄ salımlarının ahır gübresi uygulamasından önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Elik (2019) tarafından biyoçar karıştırılmış nem kontrollü toprak örnekleriyle yürütülen bir çalışmada, karbon salımının toprak nem içeriğindeki artışa bağlı olarak önemli seviyede arttığı, benzer şekilde toprak nem miktarı ile mikrobiyal biyokütle arasında da anlamlı pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür.

Leytem *et al.* (2019) ahır gübre uygulama oranı ve sıklığının (yıllık veya iki yılda bir) mineral gübreye kıyasla sera gazı kayıpları üzerindeki etkisini belirlemek, sulama işleminin sera gazı kayıpları üzerindeki etkisini tespit etmek ve gübre kullanımının mineral gübreye kıyasla genel küresel ısınma potansiyelini ortaya koymak amacıyla yürüttükleri çalışmada, en yüksek gübre uygulama oranında, hem kümülatif N_2O-N hem de CO_2-C kayıplarının, mineral gübre uygulamalarının ve yıllık veya iki yılda bir uygulanan orta düzey gübre uygulama oranlarının üzerinde arttığını, toplam CO_2-C kayıplarının ahır gübresi uygulamalarında en yüksek seviyede olduğunu ve eklenen karbonun yaklaşık % 7'sinin CO_2-C olarak kaybedildiğini ifade etmişlerdir.

Akgöl ve Ortaş (2020) beş farklı uygulama ile (kontrol, mineral gübre, hayvan gübresi, kompost+mikoriza, kompost) topraktan CO_2 salımını araştırmışlar, organik gübre uygulaması yapılan parsellerde inorganik gübre uygulaması yapılan parsellere göre daha yüksek CO_2 salımı olduğunu, hayvan gübresi ile gübrelenen alanlarda toprakta karbonun daha uzun sürelerde ve daha fazla miktarda tutulduğunu belirlemişlerdir.

Ye at al. (2020) damla ve geleneksel sulama uygulamalarının N_2O , CO_2 ve CH_4 salımları üzerindeki etkisini araştırmışlar, toprak sıcaklığı (5 cm), toprak nemi ve hava sıcaklığını ölçmüşler, CO_2 emisyonlarının çevre sıcaklığı (toprak ve hava) ile önemli bir korelasyon gösterdiğini, CO_2 emisyonlarının kademeli olarak arttığını ve her sulama yönteminde artan sıcaklıklar ve bitki büyümesi ile mevsimsel farklılıklar gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Dungan *et al.* (2021) sentetik N gübresinin ve ahır gübresinin büyüme mevsimi boyunca azot oksit, karbondioksit ve metan emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlar, ahır gübresinin mısır ve arpa yetiştirilen toprağın üst 30 cm'sinde toprak organik karbonunda hızlı ve önemli artışlara neden olduğunu, rotasyon (yonca, mısır, arpa) boyunca kümülatif CO_2 kayıplarının da ortalama 12,17 kg CO_2-C/ha olduğunu belirlemişlerdir.

Yerli and Sahin (2021) farklı miktarlardaki koyun (20, 40 ve 60 t/ha) ve kümes hayvanı (15, 30 ve 45 t/ha) gübresinin farklı ıslatma-kurutma döngülerinin (3, 6 ve 9 günlük sulama aralıkları) CO_2 salımına etkisini toprak sıcaklığı ve nemiyle ilişkilendirerek araştırmışlar, sık sulama ve yüksek miktarda gübre kullanımının CO_2 salımını artırdığını, toprak sıcaklığının ve neminin CO_2 salımıyla doğrusal ilişkisinin olduğunu belirlemişlerdir.

Yerli and Sahin (2023) toprağa ahır gübresi ve biyoçar uygulayarak, farklı organik madde seviyelerinin (%1,21, %1,5, %2,5, %3,5 ve %4,5) toprağın temiz su ve arıtılmış atık suyla sulanması koşullarında ıslanma-kuruma döngülerinde topraktan CO₂ ve H₂O salımı ile toprak nemi ve sıcaklığı değerlerini araştırmışlar, ahır gübresiyle toprağın artan organik madde içeriğinden dolayı CO₂ salımının organik madde içeriğine bağlı olarak %29'dan %146'a kadar arttığını, topraktan CO₂ salımının toprak nemi ile önemli pozitif doğrusal ilişki gösterdiğini toprak sıcaklığının etkisinin de önemsiz olduğunu belirlemişlerdir.

Jin *et al.* (2023) toprağın tekrarlanan ıslanma-kuruma döngüleri ile toprak su içeriğindeki değişikliklere bağlı olarak CO₂ emisyonlarına verdiği tepkinin, sabit nemli toprağa göre daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Altun and Sahin (2025) ve Badaou and Sahin (2025) organik materyal ve farklı sulama rejimlerinin mısır yetiştirilen topraktan CO₂ salımına etkisini araştırmışlar, sık sulamanın CO₂ salımını artırdığını ancak mısır silaj verimini artırarak birim verim başına salımı azalttığını belirlemişlerdir.

Ahır gübresi ve diğer organik materyal uygulamalarının ve sulamanın CO₂ salımına etkisini inceleyen çalışmalar, organik materyalin toprağa karıştırılmasının toprakta artan organik madde içeriği ile birlikte toprağın da nemli olduğu koşullarda, artan mikroorganizma faaliyeti ile organik karbonun daha fazla ayrışmasıyla CO₂ salımlarını arttırdığını ortaya koymuştur.

MATERYAL VE METOD

Materyal

Deneme alanının konumu

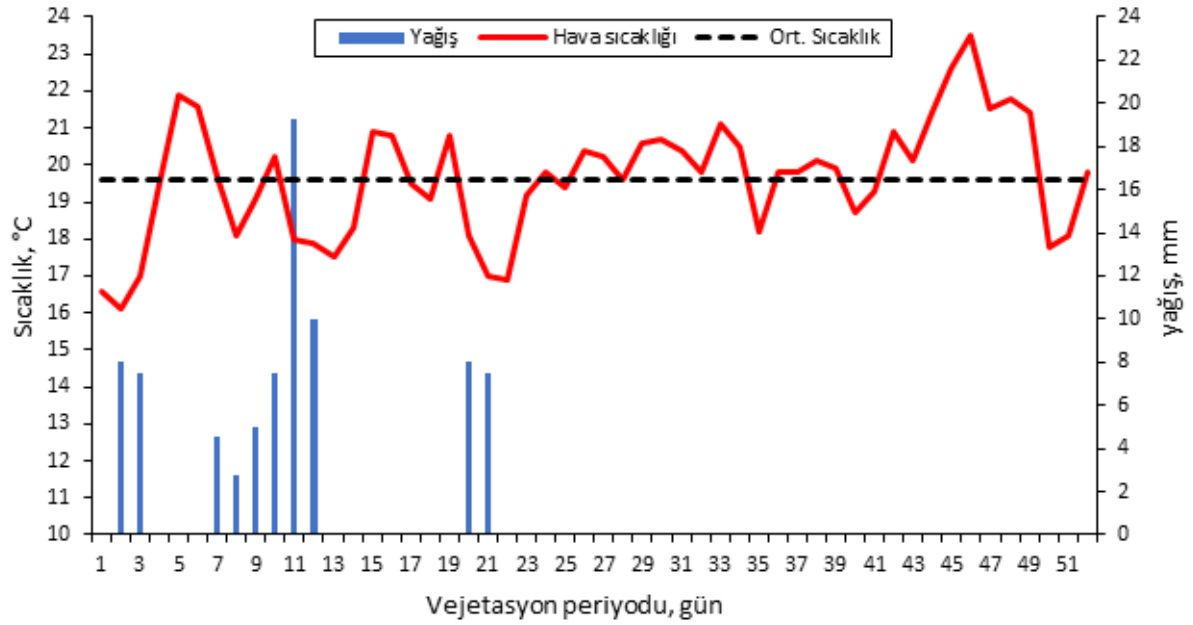
Çalışma, 2024 yılında 8 Temmuz-28 Ağustos tarihleri arasında Erzurum'da, Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi deneme alanında (39.934° N, 41.235° E, rakım: 1780 m) yürütülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Deneme alanı

Deneme alanı iklim özellikleri

Denemenin yürütüldüğü Erzurum ili karasal iklim kuşağı içerisinde yer almakta, kışları uzun ve sert, yazları ise kısa ve serin geçmektedir. Yıllık 395,7 mm yağış değeri ile yarı kurak iklime sahiptir. 1991-2020 dönemi ortalama verilerine göre Yıllık ortalama sıcaklığı $5,3^{\circ}\text{C}$ olan ilde, $19,1^{\circ}\text{C}$ ve $19,5^{\circ}\text{C}$ ortalama sıcaklıklar ile Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak geçen aylar olurken, 21,9 mm ve 16,5 mm aylık yağış değerleri ile de kurak aylar arasında yer almaktadırlar (MGM, 2025). 2024 yılında kıvırcık marulun vejetasyon döneminde de toplam 80 mm yağış gözlenirken, ortalama hava sıcaklığı da $19,6^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kıvrıcık marul vejetasyon periyodu günlük sıcaklık ve yağış değerleri ile sıcaklık ortalaması

Deneme tarlası toprak özellikleri

Deneme tarlasının 0-20 cm'lik yüzey tabakasında toprak bünyesi killi tın (%28,3 kil, % 31,2 silt, % 40,5 kum), 20-40 cm toprak tabakasında ise tın olarak belirlenmiştir (%23,5 kil, % 37,3 silt, %39,2 kum). 0-20 cm ve 20-40 cm toprak tabakalarında pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, organik madde, CaCO₃, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O içerikleri, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi (0,33 atm) ve solma noktasında (15 atm) tutulan nem miktarları, yarayışlı su, değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve mikro elementlerin (Fe, Cu, Zn, Mn) içerikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme Tarlası Toprağının Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Derinlik	pH	EC dS/m	Organik madde %	CaCO ₃ %	Toplam Kjeldahl-N %	NO ₃ -N mg/kg	P ₂ O ₅ kg/da	K ₂ O kg/da	Kütle yoğunluğu g/cm ³
0-20 cm	7,61	0,228	1,86	0,423	0,158	0,726	10,38	73,9	1,25
20-40 cm	8,02	0,251	1,13	1,186	0,088	0,523	9,25	73,7	1,27
Derinlik cm	Tane yoğunluğu	Porozite %	Agregat stabilitesi %	Tarla kapasitesi %Pw	Solma noktası %Pw	Yarayışlı su mm	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	
0-20 cm	2,67	53,2	52,48	25,01	13,87	27,85	14,67	5,51	
20-40 cm	2,68	52,7	47,68	24,43	13,43	27,94	13,98	5,24	
Derinlik cm	Na cmol/kg	K cmol/kg	KDK cmol/kg	ESP %	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	
0-20 cm	0,314	0,629	21,1	1,49	9,13	1,63	46,58	1,183	
20-40 cm	0,279	0,617	20,1	1,39	5,61	1,31	40,03	0,411	

Su kaynağı özellikleri ve sulama sistemi

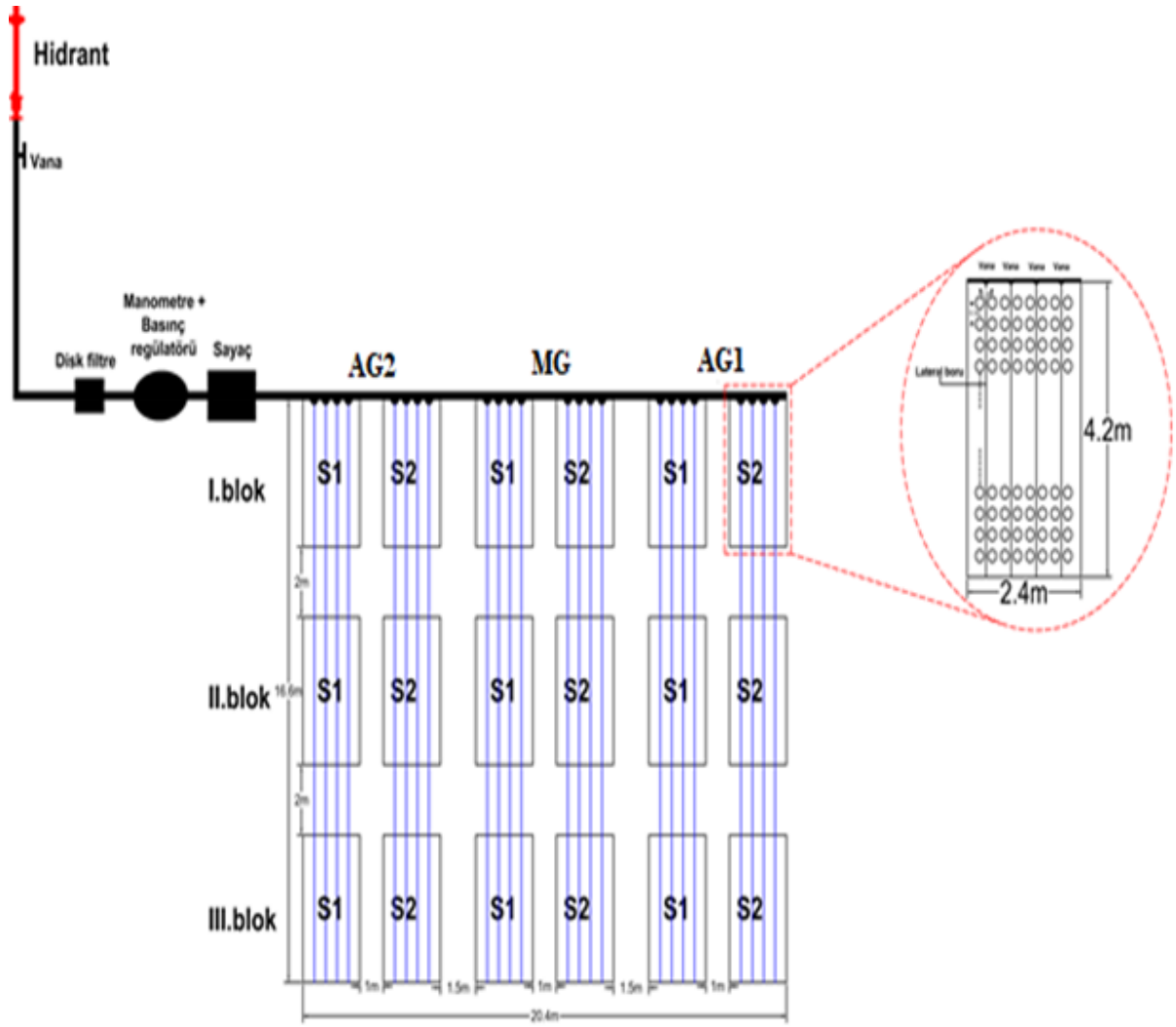
Sulama suyu deneme sahasındaki yeraltı suyundan temin edilmiştir. Su havuza alınıp dinlendirildikten sonra, basınçlı boru hattıyla deneme tarlasının yakınına kadar ulaşan bir hidranttan basınç altında alınıp tarlaya uygulanmıştır. Ayers and Westcot, (1985)' a göre bitkiler için tuzluluk sorunu yaratmayan ve toprak içinde sodyumluluk riski oluşturmayan ($pH = 7.46$; $EC = 0.290$ dS/m, sodyum adsorbsiyon oranı = 0.49) bu suyun tarlaya uygulanmasında yüzey üstü damla sulama yöntemi kullanılmıştır. Su hidranttan alındığı için sulama sisteminde pompaya gereksinim duyulmamış, istenilen basıncı sağlamak amacıyla da ana boru girişinde basınç düşürücü ve manometre kullanılmıştır. Suyun ana boruya girişinde ayrıca disk filtre de kullanılmıştır. Arazide infiltrasyon verileri dikkate alınarak, 1 atm çalışma basıncında 4 L/h damlatıcı debisi sağlayan 33 cm damlatıcı aralığına sahip 16 mm çaplı damla sulama boruları iki marul sırası arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Damla sulama sistemiyle kıvırcık marulun sulaması

Deneme deseni

Deneme, 3 tekerrürlü olarak toplam 18 parselden oluşan 3x2 faktöriyel tasarımda yürütülmüştür. Mineral (MG) ve iki doz ahır gübresini (AG1 ve AG2) kapsayan üç gübre uygulaması iki sulama aralığıyla (S1: 2 gün ve S2: 4 gün) test edilmiştir. Ana parseller gübre uygulamaları ve alt parseller sulama aralıkları için oluşturulmuştur. Her parsel 2,4 m × 4,2 m ölçülerinde düzenlenmiş, parseller arasında 1,5 m, bloklar arasında 2 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Deneme deseni

Gübre materyalleri, toprağa karıştırılması, ekim ve bakım

Deneme tarlası, fide dikiminden yaklaşık 3 hafta önce pullukla işlenmiş ve diskli tırmıkla (diskaro) düzeltilmiştir. Erzurum Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü hayvancılık işletmesinden temin edilmiş olan olgunlaşmış ahır (sığır) gübresi, organik gübre uygulanacak parsellerde 20 cm yüzey toprak tabakasındaki organik madde içeriğini orta-yüksek (yaklaşık %3), ve yüksek (yaklaşık %4,5) seviyeye çıkaracak dozlarda uygulanmıştır. Ahır gübresi parsellerinin yüzeyine homojen bir şekilde yayılmış (Şekil 5) ve çapa makinesiyle 15 cm üst toprak tabakasına karıştırılmıştır. Kullanılan ahır gübresinin pH ve EC değerleri ile organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn ve Mn içerikleri sırasıyla 7,86, 2,78 dS/m, %57,3 %1,173, 243,71 mg/kg, %0,427, 28,47 cmol/kg, 4,28 cmol/kg, 0,771 cmol/kg, 3,52 cmol/kg, 31,41 mg/kg, 16,88 mg/kg, 98,47 mg/kg ve 21,23 mg/kg olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Ahır gübresinin parsel yüzeylerine yayılması

Denemede ahır gübresi uygulanan parsellere kimyasal gübre uygulaması yapılmamıştır. Mineral gübre parsellerine uygulanacak azot ve fosforlu gübre miktarlarının belirlenmesi için ekim öncesinde 20 cm' lik yüzey tabakanın verimlilik analiz sonuçları dikkate alınmış, 12 kg/da dozunda üre (%45-46 N) ve 10 kg/da dozunda triple süper fosfat (%43-46 P₂O₅) uygulanmıştır. Azotun yarısı fide dikimi sırasında bitki sıralarına elle uygulanmış, diğer yarısı dikimden 3 hafta sonra uygulanmıştır. Fosfor gübresinin tamamı ise fide dikimi sırasında bitki sıralarına uygulanmıştır (Samancıoğlu, 2016).

Davidole kıvrıkcık marul çeşidinin fideleri, 8 Temmuz 2024 tarihinde sıralar ve bitkiler arasında 30 cm mesafe olacak şekilde parsellere dikilmiş ve her parselde 8 sıra oluşturulmuştur (Şekil 3). Bitki büyüme dönemi içerisinde herhangi bir pestisit uygulaması yapılmamış, yabancı otları yok etme ihtiyacı oluştuğunda çapalama yapılmıştır.

Sulama uygulamaları

Tarlada fide gelişiminin ilk döneminde sulama zamanını belirlemek için gerçek zamanlı iklim verileri kullanılarak hesaplanmış bitki su tüketim değeri (ET_c) ve yağış değerlerinden yararlanılmıştır.

ET_c hesaplamalarında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Allen *et al.*, 1998).

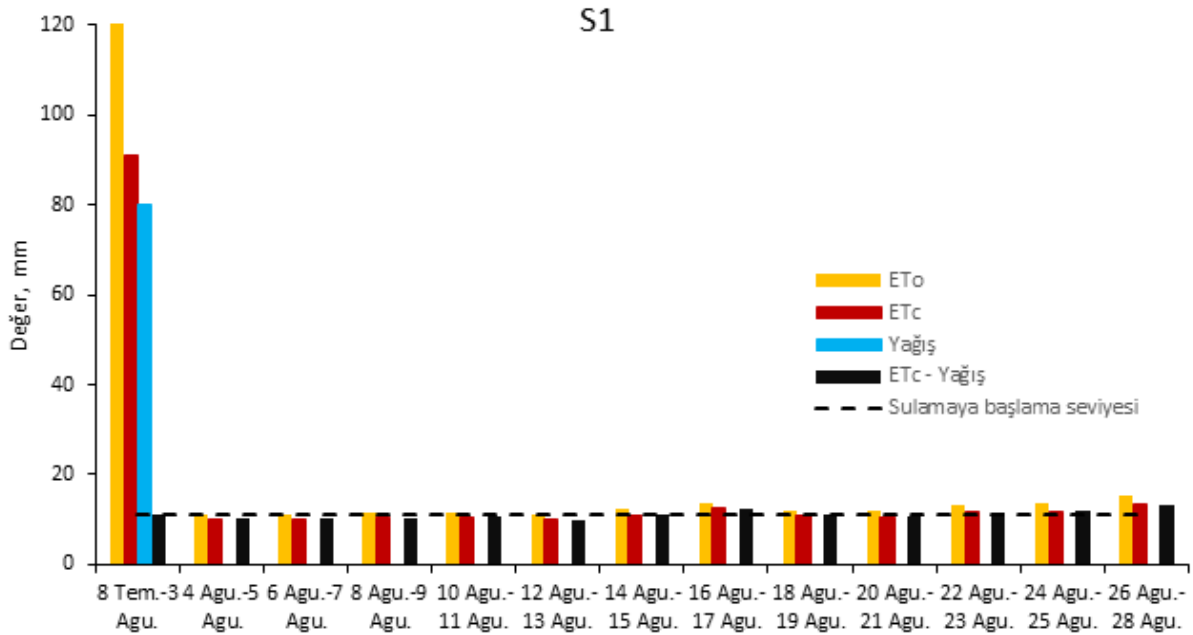
$$ET_c = ET_o \times k_c \quad (1)$$

Eşitlikte;

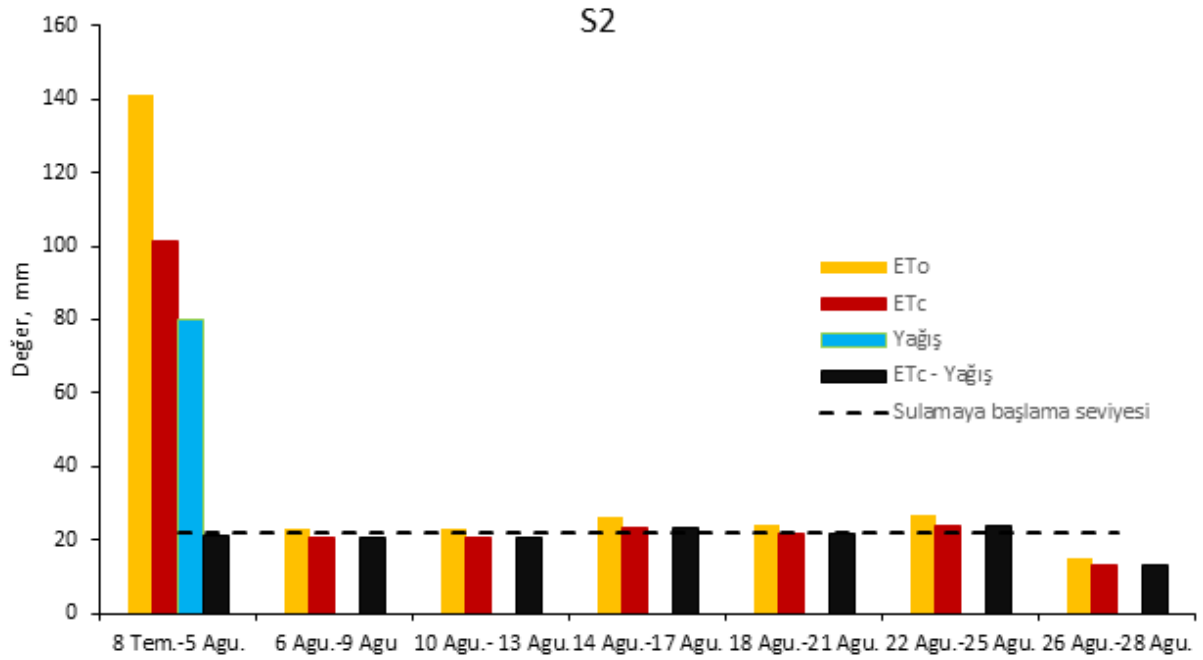
ET _c	:	Tahmin edilen bitki su tüketimi, mm/gün
ET _o	:	Referans bitki su tüketimi, mm/gün
k _c	:	Bitki su tüketim katsayısı

ET_o değerleri CROPWAT (Ver. 8.0) programında FAO56_Penman-Monteith eşitliği ile belirlenmiştir. Eşitlikte kullanılan iklim verileri deneme alanıyla aynı havzada yer alan ve deneme alanının yaklaşık 5 km uzağındaki Erzurum Havalimanı Meteoroloji İstasyonu'ndan günlük olarak temin edilmiştir. Erzurum ili için marul bitki katsayıları (k_c), “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinden alınmıştır (TAGEM, 2017).

İlk gelişme döneminde (8 Temmuz-3 Ağustos) $\sum(ET_c - \text{Yağış})$ değeri 11,1 mm’ye (etkili kök derinliğinde kullanılabilir toprak neminin %20’si) ulaştığında sulamaların yapılması planlanmış ancak, bu dönemde gerçekleşen yağış ET_c ’yi karşıladığı için sulamaya ihtiyaç duyulmamıştır. İzleyen dönemde ise S1 uygulamasında ilk sulama 3 Ağustosta, S2 uygulamasında 5 Ağustosta gerçekleştirildikten sonra hasada kadar 2 ve 4 günde bir sulamalarla süreç tamamlanmıştır. Bu dönemde $\sum(ET_c - \text{Yağış})$ değeri etkili kök derinliğinde kullanılabilir toprak neminin 2 günde bir sulama için %20’si olan 11,1 mm’ye ve 4 günde bir sulama için %40’ı olan 22,2 mm’ye yaklaşık olarak ulaştığında sulamaların gerçekleştirildiği gözlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 2. Vejetasyon periyodunda sulama uygulamalarında (S1: 2 gün, S2: 4 gün) dönemsel ET_o , ET_c , yağış ve $ET_c - \text{yağış}$ değerleri



Şekil 6. 2 Vejetasyon periyodunda sulama uygulamalarında (S1: 2 gün, S2: 4 gün) dönemsel ET_o , ET_c , yağış ve $ET_c - \text{yağış}$ değerleri (devamı)

Deneme konularına uygulanan su miktarları her gübre uygulamasının orta blok parsellerinde 40 cm etkili kök derinliğindeki mevcut toprak neminin tarla kapasitesine getirilmesi için gereken miktarlarda olacak şekilde aşağıdaki eşitliklerle belirlenmiştir (Kanber, 2010).

$$I = [(TK - MN) \times KY \times D \times P] / 10 \quad (2)$$

$$V = I \times A$$

Eşitliklerde;

I	:	Sulama suyu miktarı, mm
V	:	Sulama suyu hacmi, L
TK	:	Tarla kapasitesinde tutulan nem miktarı, %Pw
MN	:	Toprakta mevcut nem miktarı, % Pw
KY	:	Kütle yoğunluğu, g/cm ³
D	:	Etkili kök derinliği (40 cm)
P	:	Islatma oranı (0,85)
A	:	Parsel alanı, m ²

Sezonluk gerçek bitki su tüketiminin (ET_a) belirlenmesi

Sezonluk gerçek bitki su tüketimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Allen *et al.* 1998).

$$ET_a = I + P + C_r - R_f - D_w \pm \Delta S \quad (3)$$

Eşitlikte;

ET_a : Sezonluk gerçek bitki su tüketimi, mm

I : Sezonluk sulama suyu miktarı, mm

P : Yağış, mm

C_r : Kapillar yükselme, mm

R_f : Yüzey akış, mm

D_w : Derine sızma, mm

ΔS : Etkili kök derinliğinde toprak nem içeriğindeki değişim, mm

Yağış değerleri plüviyometre ile doğrudan deneme alanında ölçülmüştür. Deneme tarlası alanında taban suyu problemi olmadığından kapillar yükselme dikkate alınmamıştır. Toprağın infiltrasyon karakteristiklerine göre damlatıcı debisi ve aralığı seçildiğinden yüzey akışla su kaybı oluşmamıştır. Yağıştan kaynaklı derine sızma miktarı 40-60 cm'deki nem değişimleriyle belirlenmiş, sezonluk 80 mm yağışın 58 mm'si etkili yağış olarak dikkate alınmıştır. Toprak nem içeriğindeki değişimler, etkili kök derinliğindeki (40 cm) nemin ölçülmesiyle hesaplanmıştır.

Parsellerde nem ölçümleri, damlatıcıdan 10-15 cm uzaklıkta, parselin ortasındaki bitkiler arasında yapılmıştır. Ölçümler, her sulama öncesinde, sezon başında (fide dikimi) ve sezon sonunda (hasatta) yapılmıştır. Yüzey tabakada (0-20 cm) nem ölçümleri, deney alanına kalibre edilmiş bir toprak nemölçer (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) kullanılarak yapılırken, 20-40 cm ve 40-60 cm'deki nem ölçümleri gravimetrik olarak yapılmıştır. 0-20 cm'de gravimetrik yöntemle nem kontrol ölçümleri de gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Deneme parsellerinde nem ölçümü ve nem örnekleme

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

Su tüketimi ve sulama etkinliğini değerlendirmek için su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (IWP) değerlerinin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Howell *et al.* 2001).

$$WP = MY/ET_a \quad (4)$$

$$IWP = MY/I \quad (5)$$

Eşitliklerde;

WP : Su verimliliği, kg/m³

IWP : Sulama suyu verimliliği, kg/m³

MY : Pazarlanabilir verim, kg/da,

ET_a : Sezonluk gerçek bitki su tüketimi, mm

I : Sezonluk sulama miktarı, mm

Toprak örneklerinin alınması, analiz ve hesaplamalar

Denemeye girişte uygulamalar öncesinde deneme alanından ve hasat sonrasında da tüm parsellerden 0-20 cm ve 20-40 cm derinliklerine denk gelen tabakalardan örnekleme yapılmıştır. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde yapılan analizlerle, tekstür (deneme öncesinde), tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, pH, EC, CaCO₃ içeriği, organik madde, toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, alınabilir fosfor (P₂O₅) ve potasyum (K₂O), değişebilir katyonlar (K, Ca, Mg, Na) ve mikro elementler (Fe, Mn, Zn, Cu) belirlenmiştir (Tablo 2, Şekil 8).

Tablo 2. Toprak Analiz Yöntemleri

Parametre	Yöntem/Uygulama	Kaynak
Tekstür	Bouyoucos hidrometre yöntemi	Gee and Bauder, 1986
Tane yoğunluğu	Piknometre yöntemi	Blake and Hartge, 1986a
Kütle yoğunluğu	Silindire alınan bozulmamış toprak örneklerinin fırın kuru ağırlıklarının toplam hacme oranlanmasıyla belirlenmiştir.	Blake and Hartge, 1986b
Islak agregat stabilitesi	Islak eleme yöntemi	Kemper and Rosenau, 1986
Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları	Laboratuvarda basınçlı membran aleti kullanılarak belirlenmiştir.	Klute, 1986
pH	Satürasyon ekstraktında pH metre ile doğrudan okuma yapılarak tespit edilmiştir.	McLean, 1982

Tablo 2. (devamı)

EC	Saturasyon ekstraktında kondüktivimetre aleti ile okunarak belirlenmiştir.	Rhoades, 1982
CaCO ₃	Scheibler kalsimetresi	Nelson, 1982
Organik madde	Smith-Weldon yöntemi	Nelson and Sommers, 1982
Toplam Kjeldahl-N	Kjeldahl yöntemi	Bremner and Mulwaney, 1982
NO ₃ -N	Örnekler 2M KCl ile ekstrakte edilmiş, konsantrasyon MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu ve titrasyon yoluyla ölçülmüştür.	Keeney ve Nelson, 1982
Alınabilir fosfor (P ₂ O ₅)	Spektrofotometrede belirlenen fosfor miktarı dönüşüm katsayı ile çarpılarak belirlenmiştir.	Olsen and Sommers, 1982
Alınabilir potasyum (K ₂ O)	Fleymfotometrik cihazı ile belirlenen K miktarına dönüşüm katsayısı uygulanarak belirlenmiştir.	Knudsen et al, 1982
Mikro elementlerin (Fe, Mn, Zn, Cu)	Havada kurutulmuş örnekler 0.15 mm'lik elekten geçirilerek ve elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine bırakıldıktan yaş yakma yapılmıştır. Son olarak da filtre kâğıdından süzölmüş örneklerde Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi (AAS) cihazı ile okumalar gerçekleştirilmiştir.	Kacar, 2009
Değişebilir katyonların (Ca, Mg, Na ve K) içerikleri	Ca ve Mg EDTA çözeltisi ile titrasyon yöntemiyle, Na ve K fleymfotometre cihazında belirlenmiştir.	Kacar, 2009

Toplam porozite, yarayışlı su miktarı, katyon değiştirme kapasitesi ve değişebilir sodyum yüzdesi değerleri hesaplamayla belirlenmiştir. Porozite değeri kütle ve tane yoğunluk değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Danielson and Sutherland, 1986).

$$\text{Porozite} = [1 - (KY) / (TY \times V_w)] \times 100 \quad (6)$$

Eşitlikte;

KY : Kütle yoğunluğu, g/cm³

TY : Tane yoğunluğu

V_w : +4 °C' deki saf suyun hacim ağırlığı, 1 g/cm³

Yarayışlı su miktarı tarla kapasitesi ve solma noktası farkı ve hacim ağırlığı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Cassel and Nielsen, 1986).

Kasyon değişim kapasitesi toprak örneklerinde belirlenen değişebilir katyonların (Ca, Mg, Na ve K) toplanması ile belirlenmiştir (Çakmakcı, 2018).

Değişebilir sodyum yüzdesi aşığıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü, 2010).

$$ESP = (Na / KDK) \times 100 \quad (7)$$

Eşitlikte;

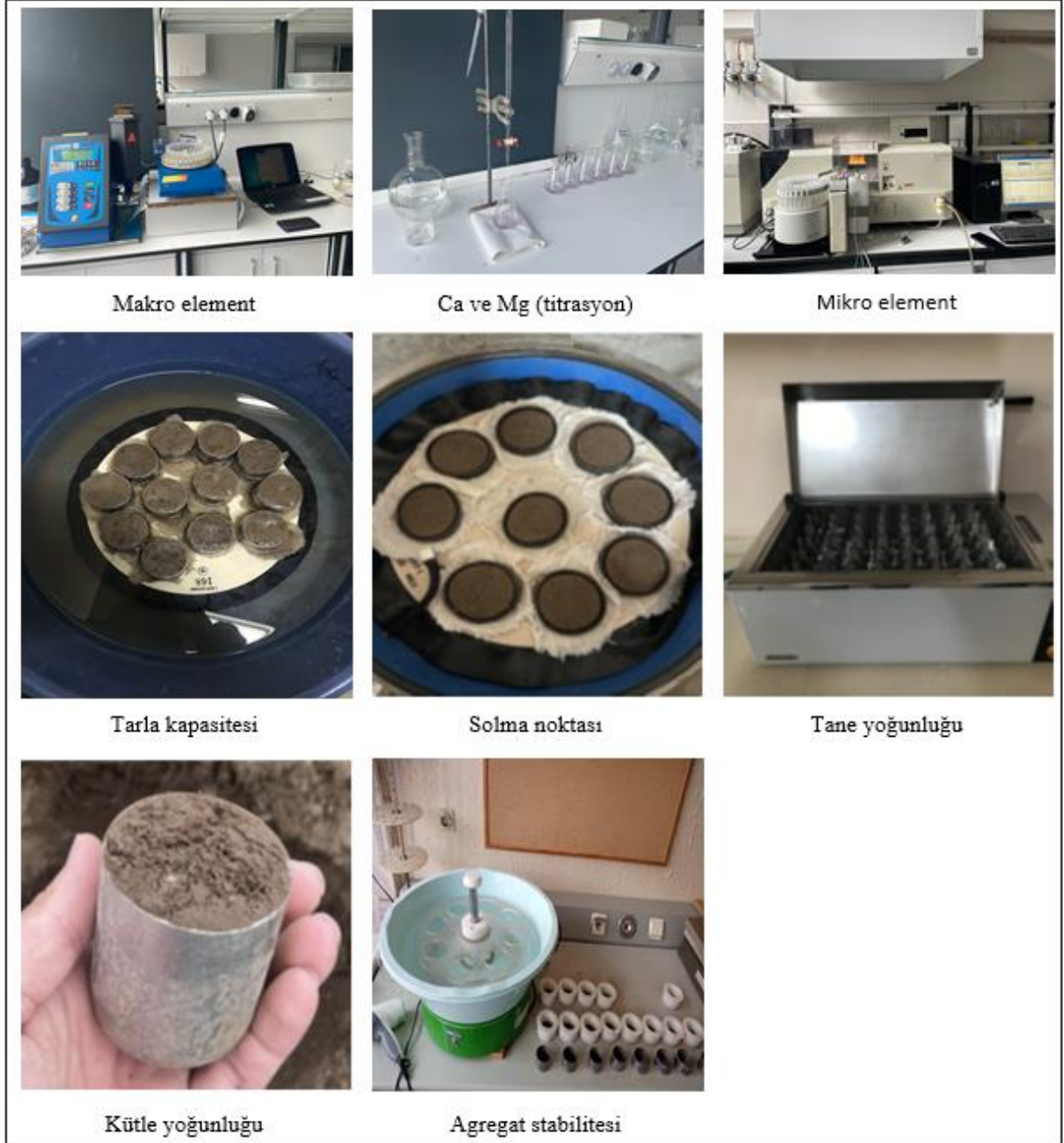
ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi, %

Na : Değişebilir Na miktarı, cmol/kg

KDK : Kasyon değişim kapasitesi, cmol/kg



Şekil 8. Toprak analizleri



Şekil 8. Toprak analizleri (devamı)

Topraktan CO₂ salımlarının ölçülmesi

Toprak CO₂ salımları, dikim günü ve bunu izleyen üç gün boyunca her gün ve sulamadan 1 gün önce ve 1 gün sonra ve ayrıca hasat sırasında EGM-5 kızılötesi gaz analizörü (CFX-2, PPSsystems, Stotfold, UK) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 9). Ölçümler, her parselin ortasındaki bitkiler arasında ve damlatıcılardan 10-15 cm uzaklıkta bulunan bir alanda 3 farklı rastgele noktada 3 kez tekrarlamalı olarak yapılmıştır (Altun and Sahin, 2025). Bu işlemde, ölçüm çemberi toprağa 1-2 cm derinliğe kadar yerleştirilmiş ve veriler 1 dakika içinde cihaz tarafından otomatik kaydedilmiştir. CO₂ salımları ölçülürken, toprak sıcaklık ve nem değerleri de 5 cm, 10 cm ve 20 cm derinliklerde ayrı ayrı ölçülmüştür. Toprak nemi bir TDR probu (Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) ile toprak sıcaklığı da CO₂ ölçüm cihazına bağlı bir sıcaklık

probu ile ölçülmüştür. Ayrıca, EGM-5 kızılötesi gaz analizörü her ölçüm sırasında H₂O salımı ve hava sıcaklıkları değerlerini de kayıt altına almıştır. Mevsimsel kümülatif CO₂ emisyonları, ekimden hasada kadar olan bireysel ölçüm değerlerinin ölçüm periyodu süresiyle çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Altun and Sahin, 2025).



Şekil 9. CO₂ salımı ölçümleri

Bitki Ölçüm ve Analizleri

Pazarlanabilir verim ve morfolojik ölçümleri

Kıvırcık marulun hasat olgunluğuna ulaştığı 28 Ağustos tarihinde pazarlanabilir verimi belirlemek için, kenar etkilerinden kaçınılarak parselin ortasından on bitki toplanmıştır. Hasarlı dış yapraklar çıkarıldıktan sonra tartılarak bireysel pazarlanabilir verim (g/bitki) ve birim alan başına pazarlanabilir verim değerleri belirlenmiştir (g/m²).

Hasat edilen bitkilerde ayrıca, cetvel yardımıyla kök boğazı ile tepe kısmı arasındaki mesafe ölçülerek bitki boyu, en geniş yerinden ölçülerek bitki çapı ve yaprak sayıları belirlenmiştir (Şekil 10) (Şahin ve ark., 2022).



Şekil 10. Bitki verim ve morfolojik ölçümleri

Fizyolojik ölçümler

Klorofil içeriği (SPAD): Sulama döneminde her sulama öncesi tüm parsellerde beş bitkinin iç yapraklarında (dıştan 2. ve 3. yaprağında) uç kısımlara yakın yerlerden 10:00 ile 14:00 saatleri arasında açık havada SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) klorofilmetre cihazı ile 10'ar okuma yapıp ve okumaların ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 11) (Kappel *et al.*, 2021; Erdal ve ark., 2024).



Şekil 11. Klorofil içeriği (SPAD) ölçümleri

Stoma iletkenliği: Sulama döneminde her sulama öncesi tüm parsellerde beş bitkinin iç yapraklarında (dıştan 2. ve 3. yaprağında) uç kısımlara yakın yerlerden 10:00 ile 14:00 saatleri arasında Decagon Devices, Inc. SC-1 Leaf Porometer model taşınabilir porometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 12) (Çamoğlu ve Demirel, 2015; Samancıoğlu, 2016).



Şekil 12. Stoma iletkenliği ölçümleri

Yaprak oransal su içeriği: Hasat öncesi her parselde üç bitkinin iç yapraklarında (dıştan 2. ve 3. yaprağında) uç kısımlara yakın yerlerden alınan 3'er adet örneğin önce yaş ağırlıkları (YA), 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletildikten sonra turgor ağırlıkları (TA) tartılarak belirlenmiş, sonrasında örnekler 65°C sıcaklıkta 48 h etüvde bekletildikten sonra kuru ağırlıkları da (KA) belirlenerek ve bu değerlerle aşağıdaki eşitlik yardımıyla yaprak oransal su içeriği hesaplanmıştır (Şekil 13) (Çamoğlu ve Demirel, 2015; Samancıoğlu, 2016).

$$\text{Yaprak oransal su içeriği (\%)} = [(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100 \quad (8)$$



Şekil 13. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Membran zararlanma: Hasat öncesi her bir parselde üç bitkinin iç yapraklarında (dıştan 2. ve 3.yaprağında) uç kısımlara yakın yerlerden alınan 3'er adet 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 aşağıdaki eşitlikle membran zararlanma hesaplanmıştır (Şekil 14) (Çamoğlu ve Demirel, 2015).

$$\text{Membran Zararlanma (\%)} = (EC1 / EC2) \times 100 \quad (9)$$



Şekil 14. Membran zararlanmanın belirlenmesi

Makro element analizleri

Bitkilerin makro (N, P, K, Ca, Mg, Na) element içerikleri örneklerin yaş yakma işlemine tabi tutulduktan sonra Ca ve Mg EDTA çözeltisi ile titrasyon yöntemiyle, Na ve K fleymfotometrik yöntemle göre belirlenmiştir (Kacar, 2009). Toplam azot (%) ve toplam fosfor içerikleri belirlemek amacıyla, öğütülmüş örnekler üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Toplam azot, Kjeldahl yöntemi kullanılarak yapılırken; toplam fosfor miktarı ise, yakma işlemi sonrasında elde edilen örneklerde spektrofotometrik yöntem ile, Kacar (2014)' a göre belirlenmiştir.

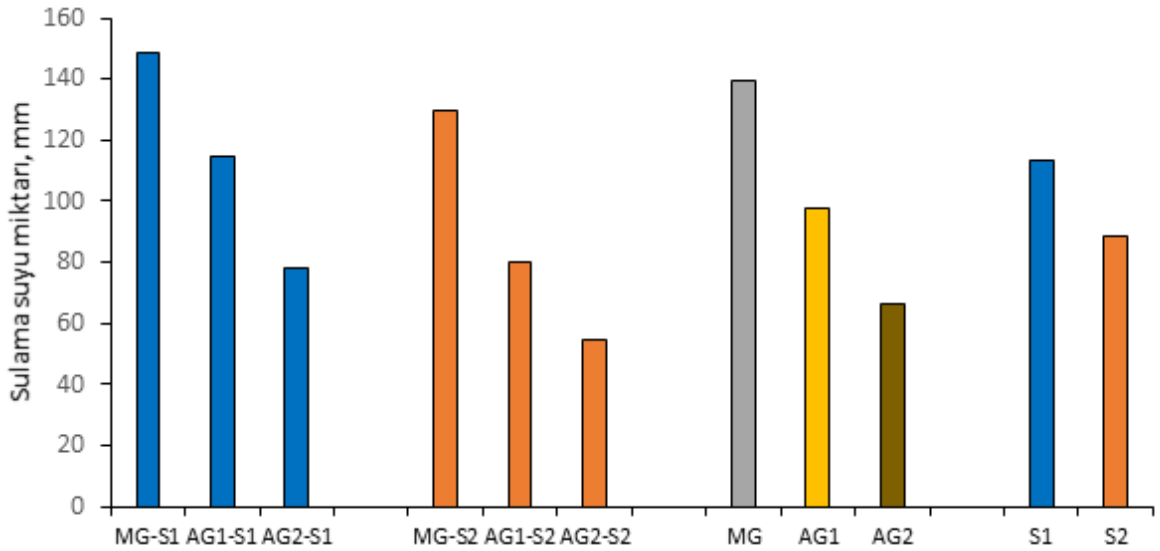
İstatistiksel analiz

Denemeden elde edilen deneysel veriler SPSS (ver. 22) kullanılarak, gübreleme uygulamaları için Genel Doğrusal Model ve sulama uygulamaları için Bağımsız Örneklem t Testi kullanılmıştır. Etkileşim etkileri One-Way ANOVA testi ile değerlendirilmiştir. Anlamlı ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde sınıflandırılmıştır. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve yönünü belirlemek için değişkenlere Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sulama Suyu Miktarı

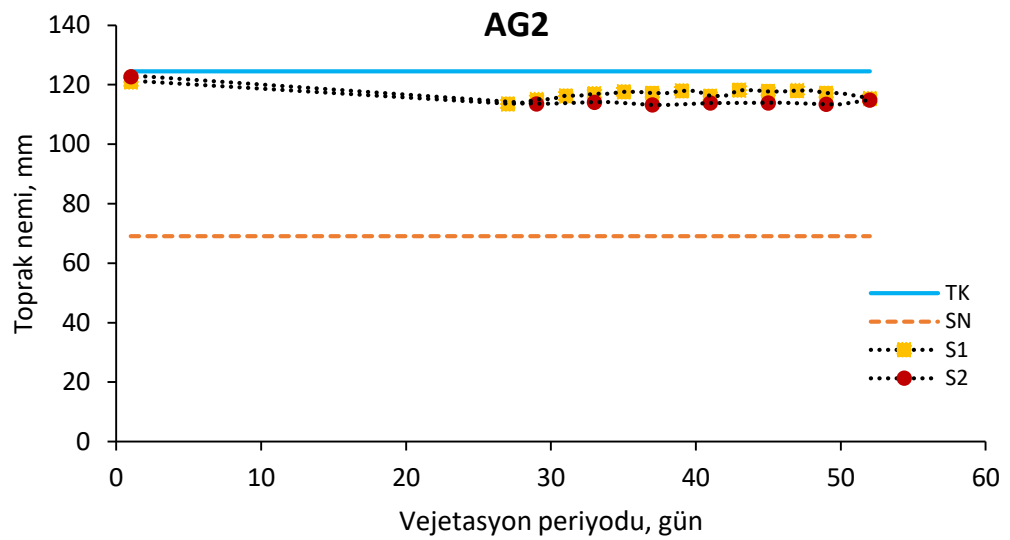
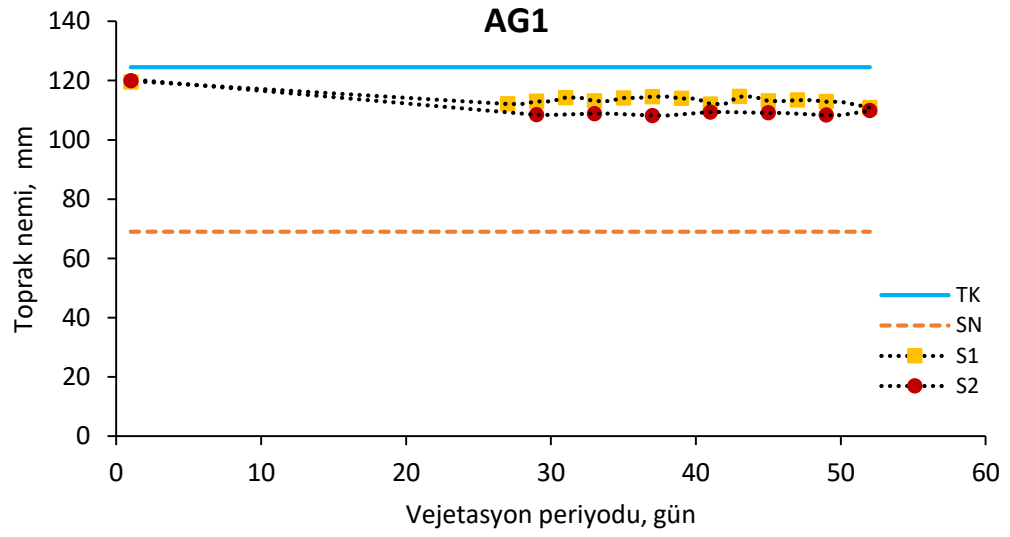
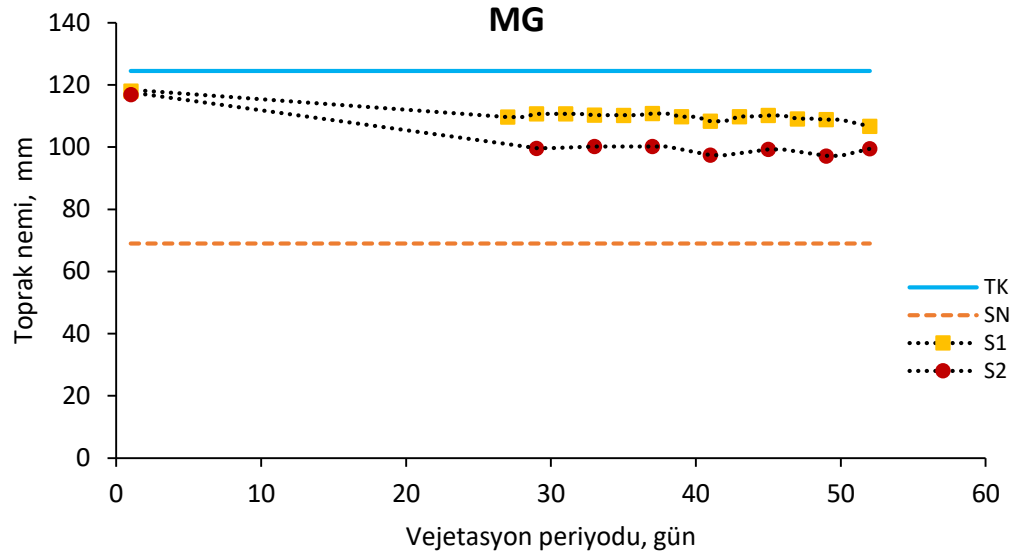
Kıvırcık marul vejetasyon periyodunda S1 uygulamasında 12 ve S2 uygulamasında 6 sulama yapılmıştır. MG uygulamasında S1 ve S2 sulamalarında sırasıyla 148,8 mm ve 130 mm, AG1 uygulamasında 114,4 mm ve 80,4 mm ve AG2 uygulamasında 77,9 mm ve 54,9 mm su uygulanmıştır (Şekil 15). AG2 uygulaması ile S1 sulamasında MG ve AG1 uygulamalarına göre sırasıyla 1,91 kat ve 1,47 kat, S2 uygulaması ile de 2,37 kat ve 1,46 kat sulama suyundan tasarruf sağlanmıştır. S2 uygulaması ortalama %22,3 su tasarrufu sağlamış, AG1 ve AG2 uygulamaları da MG uygulamasına göre ortalama sulama suyu ihtiyacını sırasıyla %31,8 ve %52,4 azaltmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında sezonluk sulama miktarları

Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler

Sezon başında tarla kapasitesine yakın olan toprak nemi, fide dikimini takip eden ilk gelişme döneminde yağışlardan dolayı (Şekil 2), S1 uygulamasında fide dikiminden 27 gün, S2 uygulamasında da 29 gün sonra ilk sulamalar yapılmış, daha sonra yağışsız geçen hasada kadarki süreçte devam eden sulamalarla yaklaşık yatay bir değişim gözlenmiştir (Şekil 16). Ahır gübresi uygulamalarında, toprak neminin daha fazla korunduğu, sulama sezonu boyunca nem içeriğindeki değişimlerinin mineral gübreye göre tarla kapasitesine daha yakın bir seyir izlediği belirlenmiştir.



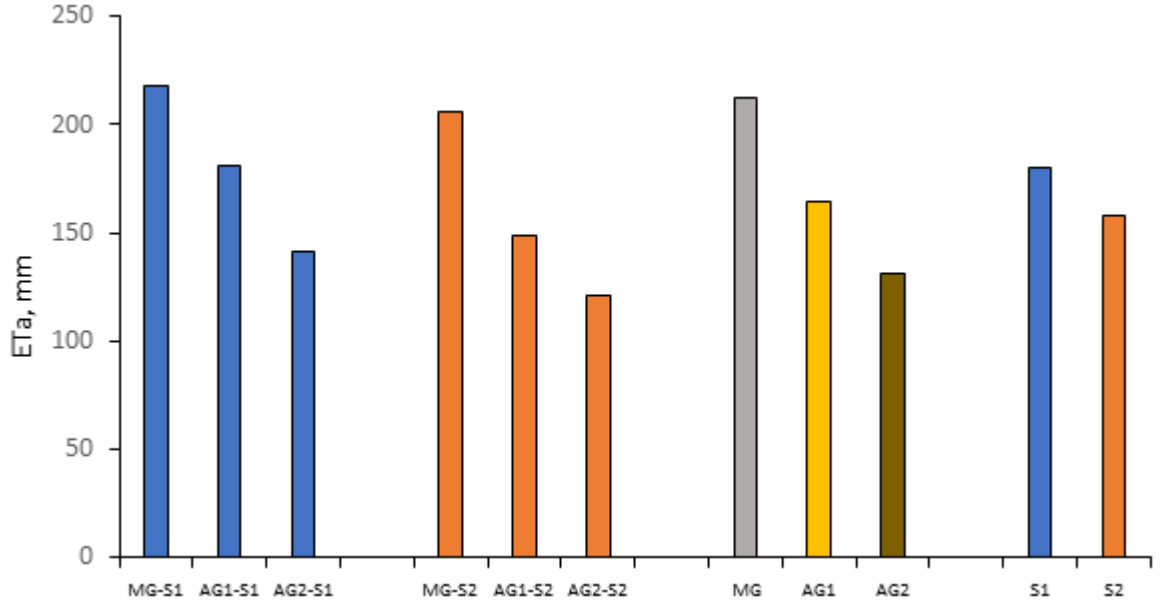
Şekil 16. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında vejetasyon periyodu sulamalar öncesi toprak nem içerikleri

Gerçek Bitki Su Tüketimi (ETa)

Vejetasyon periyodunda düşen yağışın etkili kısmı (58 mm), sezonluk sulama miktarları ve sezon başı-nem içeriklerindeki değişimler dikkate alınarak hesaplanmış, sezonluk gerçek su tüketim (ETa) değerleri Şekil 17’ de verilmiştir. AG1 ve AG2 uygulamalarında MG uygulamasına göre ETa değeri sırasıyla %22,2 ve %38,1 daha düşük belirlenmiştir. S2 uygulamasında da S1 uygulamasına göre %12,2 daha düşük ETa değeri belirlenmiştir. En düşük ETa değerinin belirlendiği AG2-S2 uygulaması (120,8 mm) MG-S2 uygulamasına (205,5 mm) göre gerçek bitki su tüketimini %41,2 azaltmıştır.

S2 uygulamasında toprakta artan stres koşulları bitki büyüme parametrelerinde düşüşe neden olmuştur (Şekil 19-22). Artan stresin bitki fizyolojisine olumsuz etkisiyle bitki su tüketiminin azalması su stresinin ana etkilerinden birisi fotosentez oranındaki düşüş nedeni ile vejetatif büyümedeki azalmayla açıklanabilmektedir (Çakmakcı ve ark., 2024). S2 uygulamasında özellikle SPAD değerlerinin S1 uygulamasına göre daha düşük olması da bu durumu açıklamaktadır (Şekil 23).

Ahır gübresi uygulamasında toprakta artan organik maddenin, toprağın fiziksel özelliklerini düzenleyerek toprak gözenekliliğini, yüzey alanını ve böylece su tutma kapasitesini artırarak toprak neminin korunmasını sağladığı değerlendirilmiştir (Erguler *et al.*, 2024). Bu çalışmada da strüktürel açısından toprak fiziksel özelliklerinin ahır gübresi uygulamalarında mineral gübrelemeye göre önemli seviyede iyileştiği belirlenmiştir (Tablo 8). Ayrıca, toprakta tutulan suyun buharlaşmayla kaybının azaltılması kapsamında yüzeydeki organik materyalin malç etkisinin de olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim Kadayıfci *et al.* (2004) tarafından yürütülen bir çalışmada toprak yüzeyinin örtülmesinin marul bitkisinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarını, açık koşullara göre yaklaşık %60 oranında azaltabildiği ifade edilmiştir.

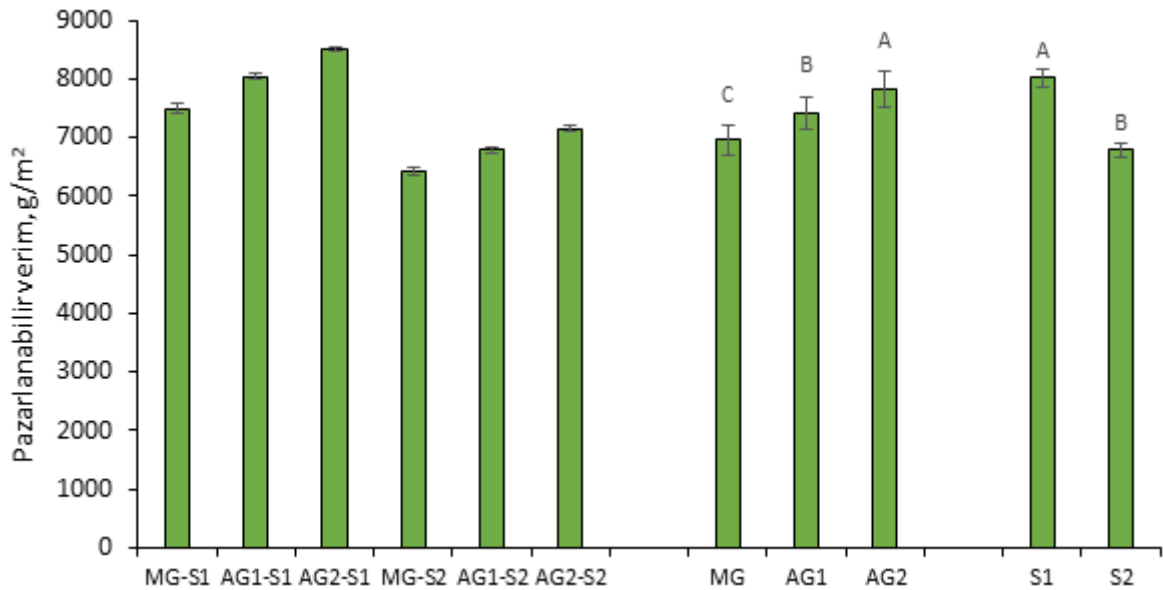


Şekil 17. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun gerçek su tüketimi (ETa) değerleri

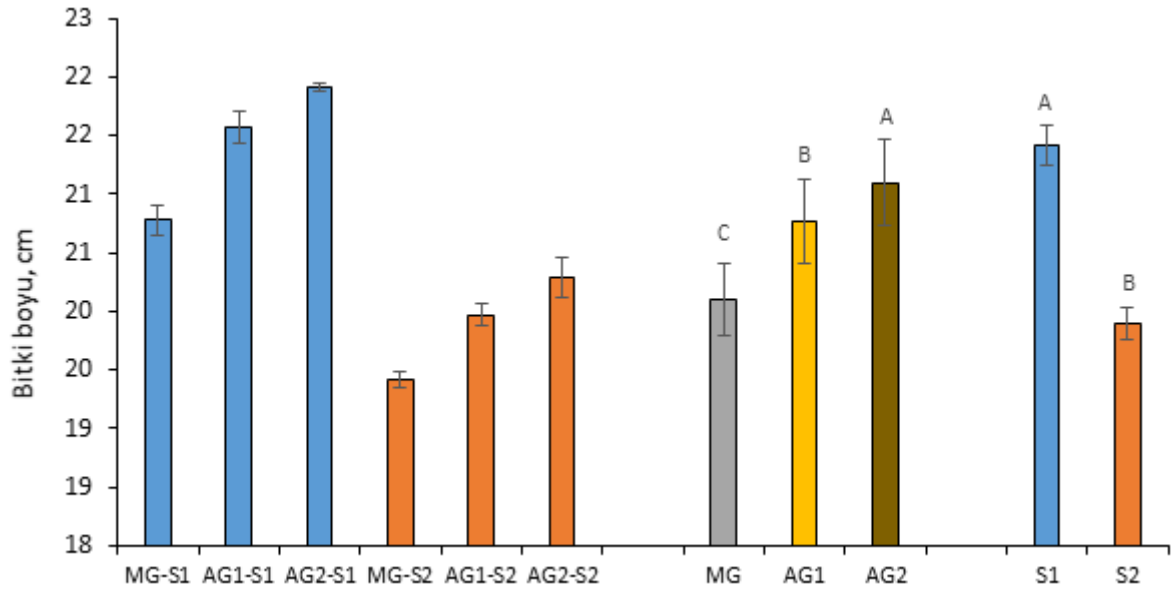
Bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak, Kuslu *et al.* (2008) Erzurum koşullarında iki yıllık kıvırcık marul denemesinde, tava yöntemiyle sulama koşullarında, gerçek su tüketimini tam sulamada ilk yıl 209,9 mm ve ikinci yıl 254,6 mm (ortalama 232,3 mm) olarak belirlerken, yine Erzurum koşullarında yürütülen diğer bir çalışmada Sahin *et al.* (2016)' de damla yöntemiyle tam sulanan marul için gerçek su tüketiminin denemenin ilk yılında 204,9 mm ve ikinci yılında 223,2 mm (ortalama 214,1 mm) olarak belirlemişlerdir. Her iki çalışmada da araştırmacılar toprakta artan stresin su tüketiminde önemli azalmalara yol açtığını ifade etmişlerdir. Erguler *et al.* (2024)' da Van yöresinde marul bitkisinde %75, %50 ve %25 sulama seviyelerinde ahır gübresi uygulamasında damla yöntemiyle tam sulamada (%100) mineral gübreyle (196 mm) göre gerçek su tüketiminde %3,1, %3,0, %3,6 ve %5,6 daha düşük değerler belirlemişlerdir. Ancak, daha düşük ve yüksek marul su tüketimi değerlerinin belirlendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Kirnak *et al.* (2016) Şanlıurfa koşullarında kış döneminde (Aralık-Şubat) 7 günde bir A Sınıfı buharlaşma kabı değerinin %100'üyle damla yöntemiyle sulanan marulun su tüketimini 125 mm olarak belirlemişlerdir. Al-Bayatı ve Şahin (2018) Konya sıcak iklim koşullarında A sınıfı buharlaşma kabından 4 günde bir buharlaşmanın miktarına eşit su miktarıyla damla yöntemiyle sulanan marulda su tüketimini 400,6 mm olarak belirlemişlerdir. Acar (2020)'da marul bitkisinde evapotranspirasyon değerinin toprak nem içeriğine, çeşit ve iklime göre 208 mm ile 413 mm arasında değiştiğini ifade etmiştir. Sonuçta daha düşük ve yüksek su tüketimi değerleri iklim, toprak ve yetiştirme koşullarına göre farklılaşabilmektedir.

Bitki Gelişimi ve Pazarlanabilir Verim

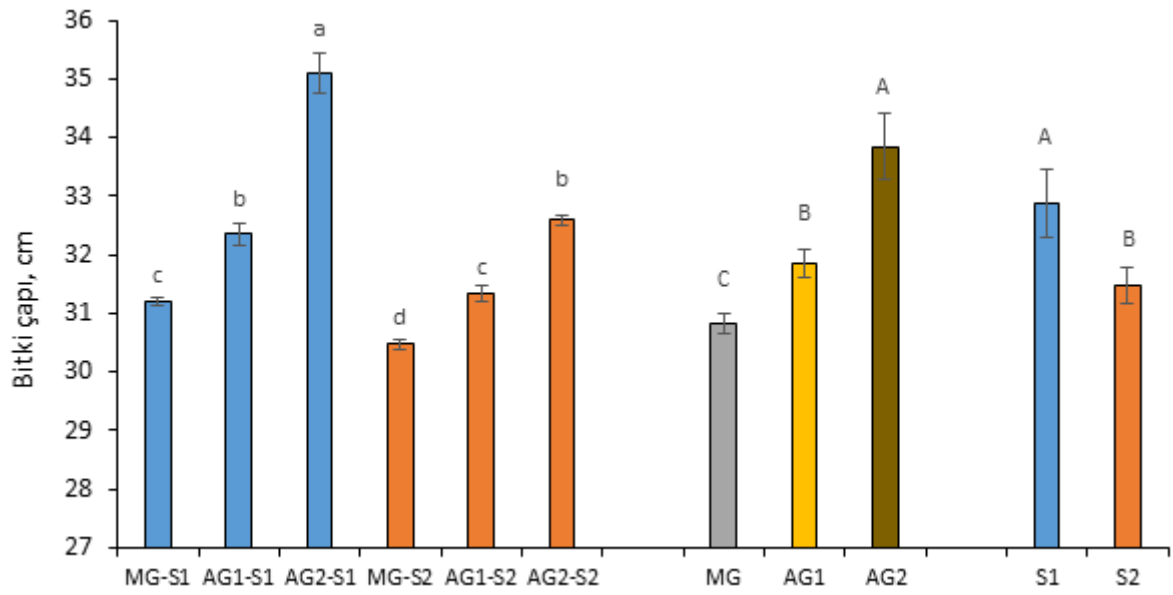
Ahır gübresi uygulamaları kıvırcık marulda pazarlanabilir verim ve büyüme parametrelerini önemli ölçüde artırmıştır (Şekil 18-22, Ek 1). AG2 uygulaması AG1 ve MG uygulamalarına göre sırasıyla %5,7 ve %12,7' lik bir artışla en yüksek pazarlanabilir verimi (7835,4 g/m²) sağlamıştır. Verimi destekleyen büyüme parametrelerinden bitki boyu, bitki çapı ve gövde çapı ile yaprak sayısında da ahır gübresi uygulamalarında artışlar verimdeki önemli artışları desteklemiştir. Bitki büyüme parametreleri ile pazarlanabilir verim arasında önemli ($p<0,01$) pozitif doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 3). AG2 uygulamasında MG uygulamasına göre bitki boyu, bitki çapı, gövde çapı ve yaprak sayısı sırasıyla %5,0, %10,1, %14,3 ve %14 ve AG1'e uygulamasında da MG uygulamasına göre %3,5, %3,6, %11,9 ve %7,6, daha fazla belirlenmiştir. S1 uygulamasında da bitki büyümesi artmış, bitki boyu, bitki çapı, gövde çapı, yaprak sayısı ve pazarlanabilir verim S2 uygulamasına göre sırasıyla %7,5, %4,4, %8,0, %12,4 ve %18,1 daha fazla belirlenmiştir (Şekil 18-22). Gübre x sulama interaksyonu dikkate alındığında en yüksek değer belirlendiği AG2-S1 uygulaması bitki çapını (35,1 cm) MG-S1 uygulamasına göre %12,5 (Şekil 20), yaprak sayısını da (40,2) %17,5 artırmıştır (Şekil 22).



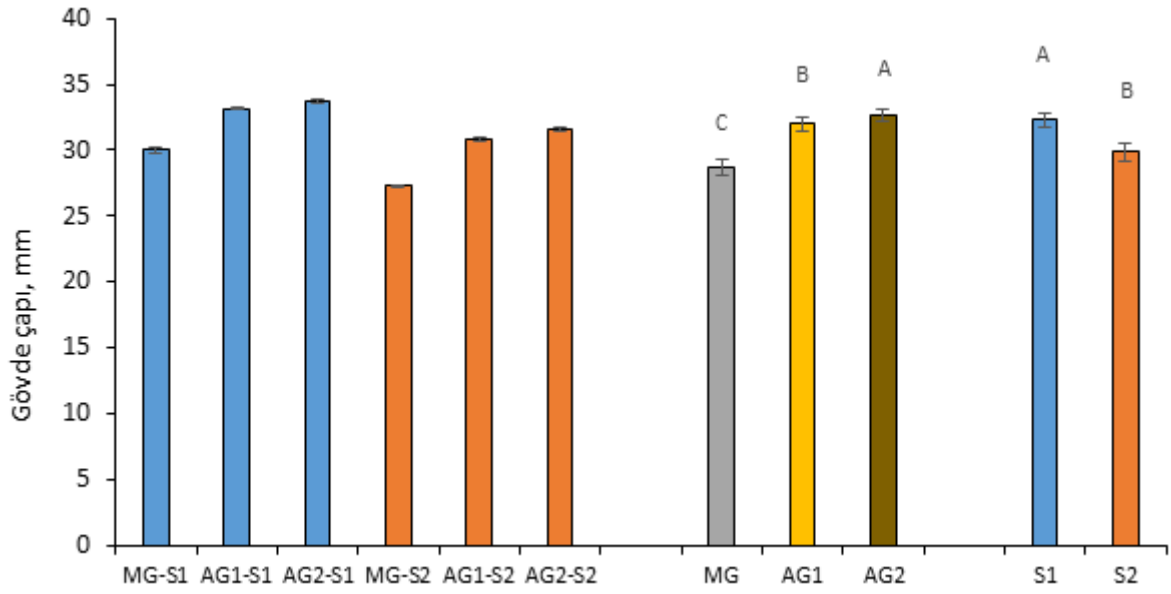
Şekil 18. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun pazarlanabilir verimi



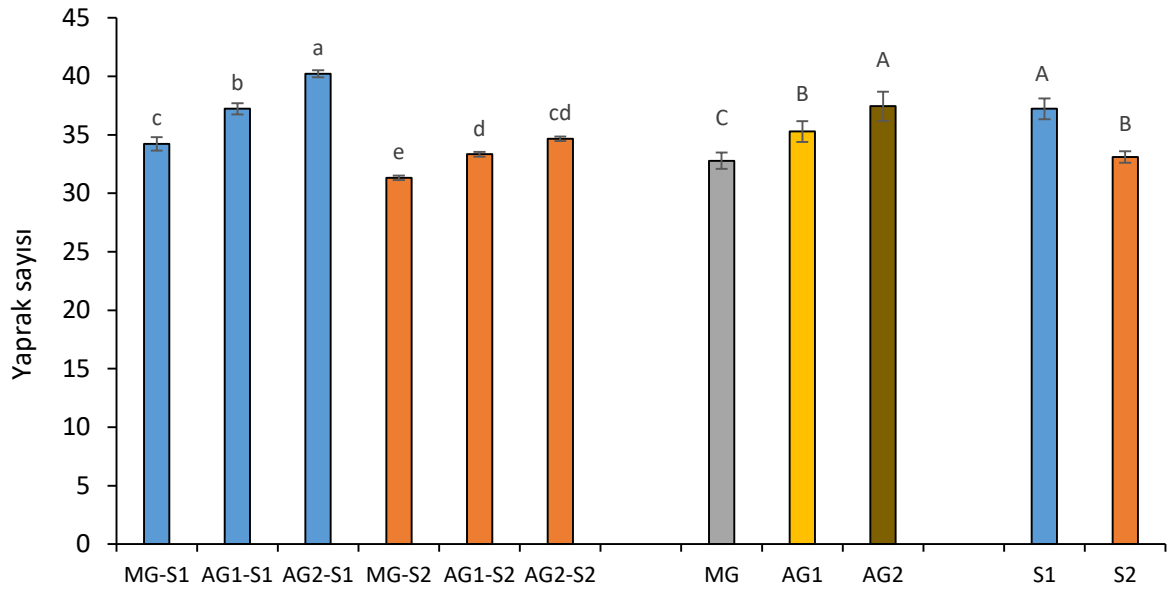
Şekil 19. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun bitki boyu



Şekil 20. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun bitki çapı



Şekil 21. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun gövde çapı



Şekil 22. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun yaprak sayısı

Toprak verimliliğini yansıtan makro besinlerden azot ve potasyum ile önemli toprak fiziksel özelliklerinden porozitenin yüzey tabaka değerleri ile pazarlanabilir verim arasındaki pozitif lineer ilişkiler önemli ($p<0,01$; $p<0,05$) bulunmuştur (Tablo 4). Dolayısıyla, ahır gübresi uygulamalarında gübrenin zengin besin içeriğinden dolayı toprakta artan verimliliğin (Tablo 7) ve iyileşen toprak fiziksel özelliklerinin (Tablo 8) verim artışını sağladığı değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Kıvırcık Marul Bitkisinin Pazarlanabilir Verimiyle Büyüme Parametreleri ve Fizyolojik Özellikler Arasındaki İkili İlişkiler

		Verim	Bitki Boyu	Bitki Çapı	Gövde Çapı	Yaprak Sayısı	SPAD	Stoma	YOSİ	MZİ
Verim	Pearson Korelasyon		0,969**	0,829**	0,866**	0,944**	0,889**	0,970**	0,910**	-0,886**
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N		18	18	18	18	18	18	18	18
Bitki Boyu	Pearson Korelasyon	0,969**		0,779**	0,863**	0,925**	0,877**	0,967**	0,899**	-0,859**
	Sig. (2-tailed)	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	18		18	18	18	18	18	18	18
Bitki Çapı	Pearson Korelasyon	0,829**	0,779**		0,831**	0,926**	0,891**	0,832**	0,861**	-0,927**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	18	18		18	18	18	18	18	18
Gövde Çapı	Pearson Korelasyon	0,866**	0,863**	0,831**		0,888**	0,947**	0,906**	0,872**	-0,911**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	18	18	18		18	18	18	18	18
Yaprak Sayısı	Pearson Korelasyon	0,944**	0,925**	0,926**	0,888**		0,916**	0,950**	0,897**	-0,913**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	18	18	18	18		18	18	18	18
SPAD	Pearson Korelasyon	0,889**	0,877**	0,891**	0,947**	0,916**		0,913**	0,948**	-0,935**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	N	18	18	18	18	18		18	18	18
Stoma	Pearson Korelasyon	0,970**	0,967**	0,832**	0,906**	0,950**	0,913**		0,889**	-0,875**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	18	18	18	18	18	18		18	18
YOSİ	Pearson Korelasyon	0,910**	0,899**	0,861**	0,872**	0,897**	0,948**	0,889**		-0,933**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
	N	18	18	18	18	18	18	18		18
MZİ	Pearson Korelasyon	-0,886**	-0,859**	-0,927**	-0,911**	-0,913**	-0,935**	-0,875**	-0,933**	
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	

SPAD: Klorofil içeriği, Stoma: Stoma iletkenliği, YOSİ: Yaprak oransal su içeriği, MZİ: Membran zararlanma indeksi. ** p<0,01

Tablo 4. Kıvırcık Marul Bitkisinin Pazarlanabilir Verimiyle Toprak Verimlilik ve Bazı Fiziksel Özellikleri Arasındaki İkili İlişkiler

		Verim	Organik madde	Kjeldahl-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	.K	Fe	Cu	Zn	Mn	Kütle Yoğunluğu	Porozite	Agregat Stabilitesi
Verim	Pearson Correlation		,393	,633**	,567*	,408	,695**	,043	,365	,422	,553*	,329	,399	,284	,251	,410	-,585*	,326
	Sig. (2-tailed)		,107	,005	,014	,093	,001	,866	,136	,081	,017	,183	,101	,253	,315	,091	,011	,187
	N		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Organik madde	Pearson Correlation	,393		,679**	,919**	,814**	,642**	,782**	,836**	,887**	,745**	,848**	,911**	,923**	,843**	-,455	,163	,939**
	Sig. (2-tailed)	,107		,002	,000	,000	,004	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,058	,519	,000
	N	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Kjeldahl-N	Pearson Correlation	,633**	,679**		,749**	,707**	,671**	,431	,605**	,691**	,667**	,548*	,608**	,605**	,708**	-,088	-,121	,586*
	Sig. (2-tailed)	,005	,002		,000	,001	,002	,074	,008	,001	,003	,019	,007	,008	,001	,730	,634	,011
	N	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
NO ₃ -N	Pearson Correlation	,567*	,919**	,749**		,722**	,669**	,577*	,753**	,767**	,716**	,745**	,827**	,831**	,848**	-,255	-,051	,869**
	Sig. (2-tailed)	,014	,000	,000		,001	,002	,012	,000	,000	,001	,000	,000	,000	,000	,307	,842	,000
	N	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
P ₂ O ₅	Pearson Correlation	,408	,814**	,707**	,722**		,562*	,726**	,613**	,913**	,631**	,688**	,695**	,769**	,669**	-,336	,122	,719**
	Sig. (2-tailed)	,093	,000	,001	,001		,015	,001	,007	,000	,005	,002	,001	,000	,002	,172	,629	,001
	N	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
K ₂ O	Pearson Correlation	,695**	,642**	,671**	,669**	,562*		,493**	,625**	,641**	,960**	,587*	,512*	,534*	,486*	-,001	-,196	,475*
	Sig. (2-tailed)	,001	,004	,002	,002	,015		,037	,006	,004	,000	,010	,030	,023	,041	,998	,436	,046
	N	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Ca	Pearson Correlation	,043	,782**	,431	,577*	,726**	,493*		,718**	,745**	,670**	,628**	,681**	,654**	,614**	-,695**	,541*	,708**
	Sig. (2-tailed)	,866	,000	,074	,012	,001	,037		,001	,000	,002	,005	,002	,003	,007	,001	,021	,001
	N	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mg	Pearson Correlation	,365	,836**	,605**	,753**	,613**	,625**	,718**		,672**	,696**	,542*	,755**	,701**	,671**	-,327	,112	,776**
	Sig. (2-tailed)	,136	,000	,008	,000	,007	,006	,001		,002	,001	,020	,000	,001	,002	,185	,659	,000
	N	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18
Na	Pearson Correlation	,422	,887**	,691**	,767**	,913**	,641**	,745**	,672**		,738**	,823**	,785**	,852**	,650**	-,447	,197	,787**
	Sig. (2-tailed)	,081	,000	,001	,000	,000	,004	,000	,002		,000	,000	,000	,000	,003	,063	,434	,000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18
K	Pearson Correlation	,553*	,745**	,667**	,716**	,631**	,960**	,670**	,696**	,738**		,690**	,579*	,640**	,584*	-,282	,075	,594**
	Sig. (2-tailed)	,017	,000	,003	,001	,005	,000	,002	,001	,000		,002	,012	,004	,011	,258	,768	,009
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18	18
Fe	Pearson Correlation	,329	,848**	,548*	,745**	,688**	,587*	,628**	,542*	,823**	,690**		,735**	,903**	,663**	-,448	,184	,735**
	Sig. (2-tailed)	,183	,000	,019	,000	,002	,010	,005	,020	,000	,002		,001	,000	,003	,062	,466	,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18	18
Cu	Pearson Correlation	,399	,911**	,608**	,827**	,695**	,512*	,681**	,755**	,785**	,579*	,735**		,794**	,781**	-,302	,000	,845**
	Sig. (2-tailed)	,101	,000	,007	,000	,001	,030	,002	,000	,000	,012	,001		,000	,000	,224	,999	,000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18	18
Zn	Pearson Correlation	,284	,923**	,605**	,831**	,769**	,534*	,654**	,701**	,852**	,640**	,903**	,794**		,783**	-,450	,190	,812**
	Sig. (2-tailed)	,253	,000	,008	,000	,000	,023	,003	,001	,000	,004	,000	,000		,000	,061	,449	,000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18	18
Mn	Pearson Correlation	,251	,843**	,708**	,848**	,669**	,486*	,614**	,671**	,650**	,584*	,663**	,781**	,783**		-,413	,143	,788**
	Sig. (2-tailed)	,315	,000	,001	,000	,002	,041	,007	,002	,003	,011	,003	,000	,000		,089	,571	,000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18	18
Kütle Yoğunluğu	Pearson Correlation	,410	-,455	-,088	-,255	-,336	-,001	-,695**	-,327	-,447	-,282	-,448	-,302	-,450	-,413		-,938**	-,486*
	Sig. (2-tailed)	,091	,058	,730	,307	,172	,998	,001	,185	,063	,258	,062	,224	,061	,089		,000	,041
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18
Porozite	Pearson Correlation	-,585*	,163	-,121	-,051	,122	-,196	,541*	,112	,197	,075	,184	,000	,190	,143	-,938**		,214
	Sig. (2-tailed)	,011	,519	,634	,842	,629	,436	,021	,659	,434	,768	,466	,999	,449	,571		,000	,393
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18
Agregat Stabilitesi	Pearson Correlation	,326	,939**	,586*	,869**	,719**	,475*	,708**	,776**	,787**	,594**	,735**	,845**	,812**	,788**	-,486*	,214	
	Sig. (2-tailed)	,187	,000	,011	,000	,001	,046	,001	,000	,000	,009	,001	,000	,000	,000		,041	,393
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		18	18

**p<0,01; *: p<0,05

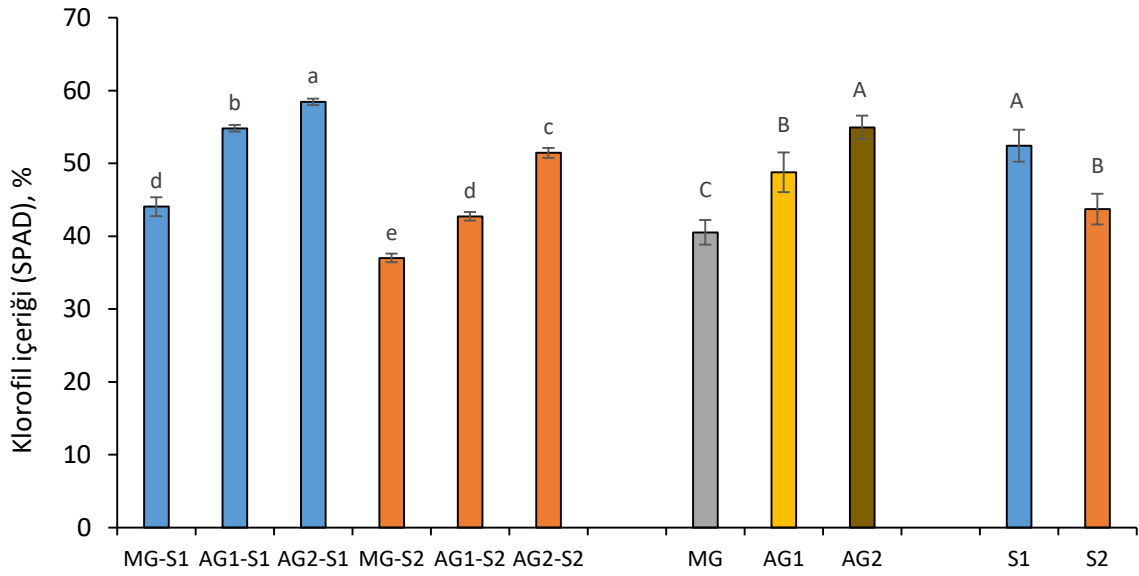
Toprak neminin yetersizliği bitkinin metabolik ve fizyolojik süreçlerini olumsuz etkileyerek bitkinin büyümesini ve verimi sınırlandırmaktadır (Erguler *et al.*, 2024). Bu çalışmada bitki fizyolojik özelliklerinin S2 uygulamasında S1 uygulamasına göre önemli seviyede gerilemiş olması da bu durumu desteklemektedir (Şekil 23-26). Bitki fizyolojik özellikleri ile pazarlanabilir verim arasında önemli ($p<0,01$) doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 3). Acar (2020) marulun optimum verim ve kalite için ideal olan 2 veya 3 günlük sulama aralıklarının uygun olduğunu 3 günden fazla (örneğin 4 gün veya daha fazla) sulama, kök sistemlerinde su stresi oluşması nedeniyle büyük verim ve kalite düşüşlerine neden olabileceğini ifade etmiştir. Molina-Montenegro *et al.* (2011) marulun, yüksek fotosentetik kapasitesinden dolayı biyokütlesini korumak için tüm gelişim aşamalarında su eksikliğine en duyarlı bitkilerden biri olduğunu, yine, Dessureault-Rompré *et al.* (2020)'da marul bitkisinin özellikle evapotranspirasyonun arttığı dönemlerde su stresine karşı çok hassas olduğunu belirtmişlerdir.

Yüksek N içerikli organik gübreler, düşük uygulamalarda bile marul büyümesini artırabilmektedir (Zandvakili *et al.*, 2019). Ahır gübresi uygulamasının toprakta artan verimlilikle marul bitkisinin verimini mineral gübreye göre önemli derecede artırdığı ve su stresıyla da önemli derecede azalttığı Erguler *et al.* (2024) tarafından da belirlenmiştir. Mostafa *et al.* (2019)'da marulda en yüksek toplam verim değerini organik maddenin en fazla dozunda ve tam sulama koşulunda belirlemişlerdir. Özen (2018)'de marul bitkisinin verim, ortalama baş ağırlığı, kök boğaz çapı ve baş boyunun organik materyalin doz artışıyla arttığını ifade etmiştir. Çelik (2023)'te azaltılmış mineral gübreyle takviye edilmiş ahır gübresi uygulamasında azaltılmış mineral gübreye göre marul baş ağırlığının 3 katını aşan oranda daha fazla olduğunu belirlemiştir. Kuslu *et al.* (2008) tarafından da kıvırcık marul bitkisi için Erzurum koşullarında en yüksek verim tam sulamada 39,49 ton/ha olarak belirlenmiş, artan su stresinin verime olumsuz etkilediği, %80 su kısıtı seviyesinde 14,57 t/ha olduğu ifade edilmiştir. Şenyiğit ve Kaplan (2013), Kirnak *et al.* (2016), Sahin *et al.* (2016) ve Al-Bayatı ve Şahin (2018)'de marulda su stresinin verimi önemli derecede azalttığını belirlemişlerdir. Ibrahim *et al.* (2024)'de çalışmalarında su stresinin marul bitki boyu, kök uzunluğu, örtü yüzdesi, yaprak alan indeksi, yaprak sayısı, taze ve kuru baş ağırlıkları ve kök ağırlıklarını önemli ölçüde olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir.

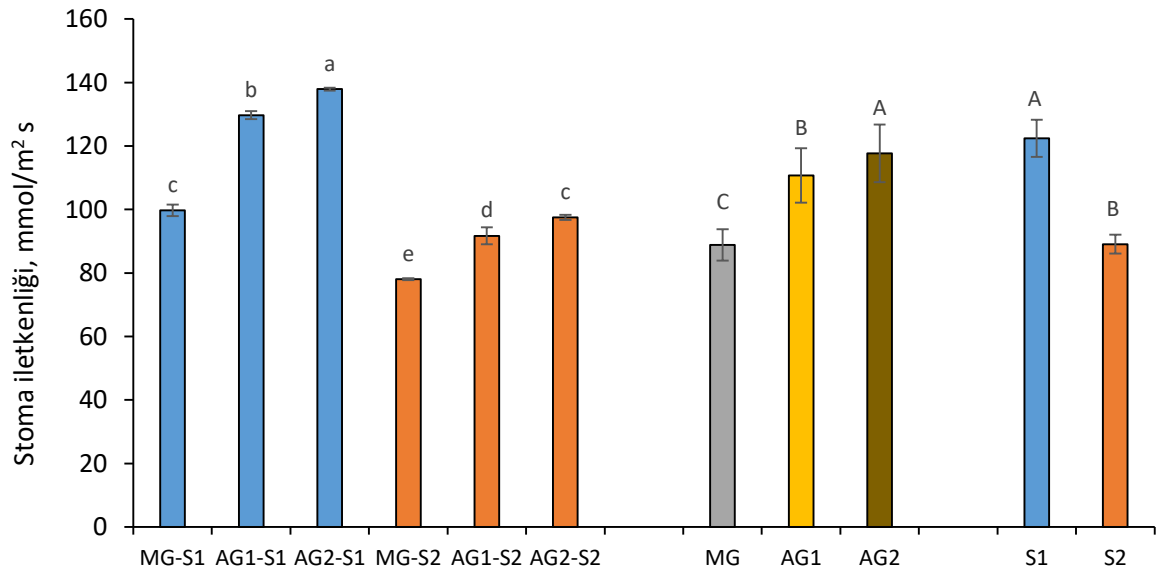
Bitki Fizyolojik Özellikleri

Klorofil içeriği (SPAD), stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği ahır gübresi ve sık sulamayla önemli seviyede ($p<0.01$) artarken, membran zararlanma indeksi azalmıştır (Ek 1). AG2 uygulaması %54,9 SPAD, 117,7 mmol/m² s stoma iletkenliği, %92 yaprak oransal su

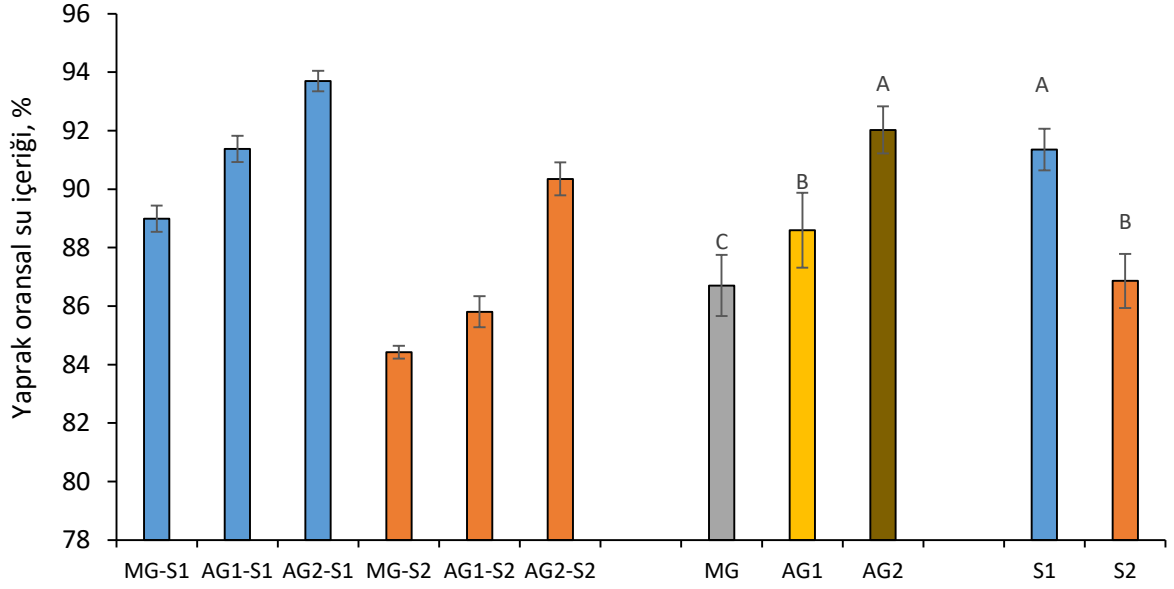
içeriği ve %11,1 membran zararlanma indeks değeri ile en iyi sonuçları sağlamıştır (Şekil 23-26). AG2 uygulaması MG uygulamasına göre SPAD, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği değerlerinde sırasıyla %35,6, %32,4, %6,1 artış ve membran zararlanmada %26,5 azalma sağlamıştır. AG1 uygulamasında da MG uygulamasına göre %20,5, %24,5 ve %2,2 artış ve %10,6 azalış belirlenmiştir. S1 uygulaması S2 uygulamasına göre SPAD değerini %19,9, stoma iletkenliğini %37,5 ve yaprak oransal su içeriğini %5,2 artırırken, membran zararlanmayı %15,4 azaltmıştır (Şekil 23-26). Gübre x sulama interaksiyonu dikkate alındığında en yüksek değerlerin belirlendiği AG2-S1 uygulaması (%58,5), MG-S1 uygulamasına göre %33,0 daha fazla SPAD değeri sağlamıştır (Şekil 23).



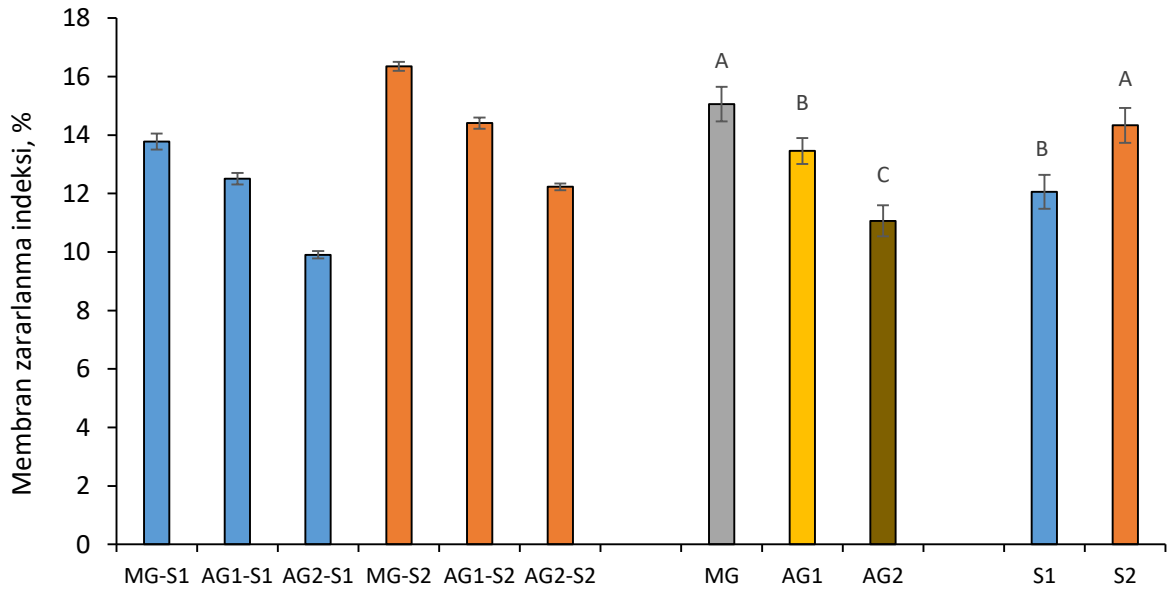
Şekil 23. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sezonluk ortalama klorofil içeriği (SPAD) değerleri



Şekil 24. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sezonluk ortalama stoma iletkenliği değerleri



Şekil 25. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun hasatta yaprak oransal su içeriği değerleri

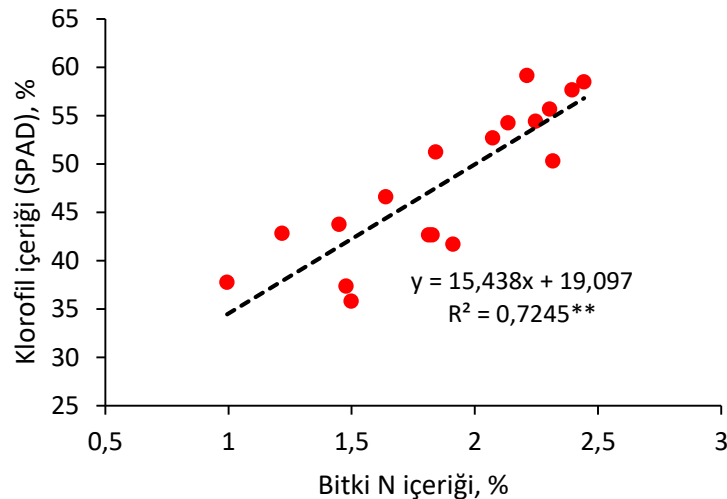


Şekil 26. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun hasatta mambran zararlanma indeksi değerleri

Stomaların açıklığı dolayısıyla stoma iletkenliğinin yaprak su içeriğinin artması ile arttığı ve stoma açıklığına bağlı olarak buharlaşma etkisiyle de yaprak sıcaklığının azalmasıyla membran zararlanmanın azaldığı dikkate alındığında (Yerli., 2022; Altun, 2024), bu çalışmada bitki fizyolojik göstergeleri arasında belirlenmiş olan önemli ($p < 0,01$) doğrusal ilişkiler (Tablo 3), gübre ve sulama uygulamalarına bağlı olarak SPAD değerlerindeki değişimlerin stoma iletkenliği, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma içinde benzer olduğunu göstermiştir. Stoma kapanması sürecinin uzaması hücre içerisinde CO_2 'nin yetersizliğiyle reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine neden olarak fotosentetik sisteme zarar vermektedir

(Laxa *et al.*, 2019). Ayrıca, su eksikliğinin etkisinin bir sonucu olarak turgor kaybıyla büyüme hızında, yaprak gelişiminde, stoma iletkenliğinde ve fotosentez sürecinde azalmalar kaydedilmiştir (Bhargava and Sawant, 2013). Su stresiyle yaprak su içeriği azalmakta, stomalar kapanmakta, yaprak sıcaklığı artmakta, hücre membran sistemleri zarar görerek hücre ölümleri gerçekleşmektedir (Dolferus 2014; Öztürk 2015). Bitkilerde su stresiyle membran zararlanmada artışlar birçok araştırmacı tarafından da belirlenmiştir (Pıtır 2015; Yarış 2018, Yildirim *et al.* 2021). Ancak, bu çalışmada su stresi koşulunda ahır gübresinin membran zararlanmayı azaltıcı etkisi önemli bulunmuştur (Şekil 26). AG1 ve AG2 uygulamalarında bitki Na içeriği artmasına rağmen, Ca içeriğindeki daha fazla artışının etkisiyle, bu uygulamalarda Ca/Na oranı (0,37) mineral gübre uygulamasına göre (0,34) artmış olduğundan, artan Ca/Na oranının Na'nın hücre duvarını bozucu etkisini kısmen sınırlandırdığı değerlendirilmiştir (Tablo 5). Yetersiz azot da bitki dokularında ve hücrelerinde geri dönüşü olmayan hasarlara yol açarak azalan stoma yoğunluğu ve boyutuyla stoma iletkenliğini azaltabilir (Liao *et al.*, 2022). Dolayısıyla, daha yüksek ahır gübresi dozuyla bitki azot içeriğinin artırılması (Tablo 5), membran zararlanmadaki artışı azaltarak stoma gelişimini desteklemiş olabilir. Ayrıca, ahır gübresi uygulamalarında yüksek yaprak oransal içeriği değerleri de (Şekil 25), su stresinden kaçınmanın bir göstergesi olmuştur (Yildirim *et al.*, 2021).

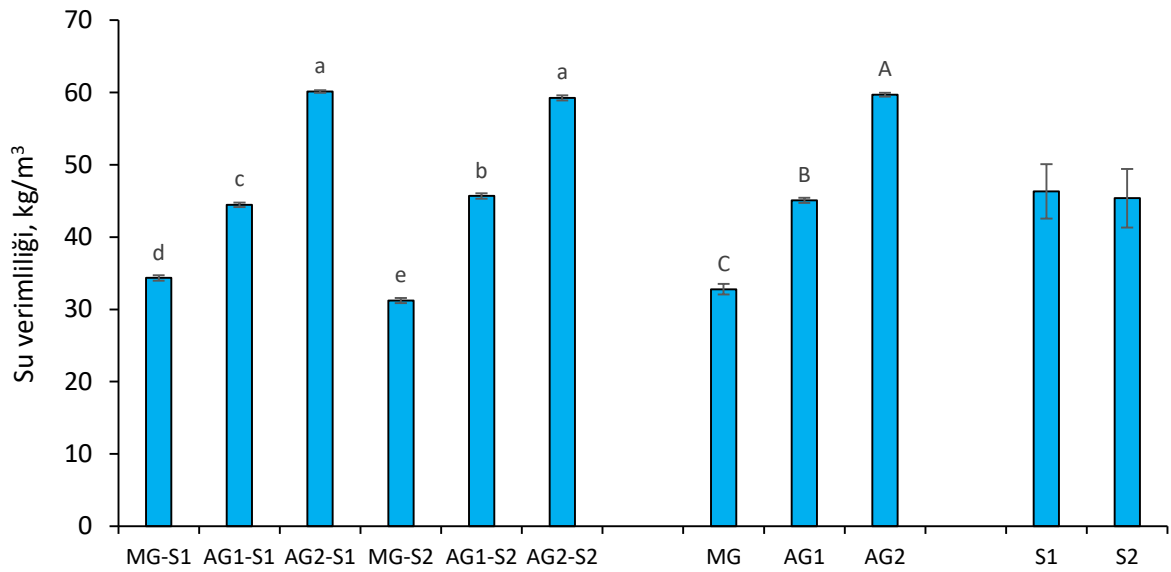
Bitkilerin fotosentez sürecini destekleyen klorofil içeriği bitki N içeriğiyle doğrudan ilgilidir (Altun, 2024). Dolayısıyla ahır gübresi uygulamalarında toprağa kazandırılan ve bitkide biriken N içeriğinden (Tablo 5, 7) dolayı SPAD değerleri daha yüksek belirlenmiştir. Bitki N içeriği ve SPAD değerleri arasındaki önemli ($p < 0,01$) ilişki de bu sonucu desteklemiştir (Şekil 27). Benzer şekilde Çakmakçı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024)'da toprağa organik materyal kazandırılmış koşullarda bitkide artan N ile SPAD değerleri arasında yüksek pozitif doğrusal korelasyonlar olduğunu ifade etmişlerdir.



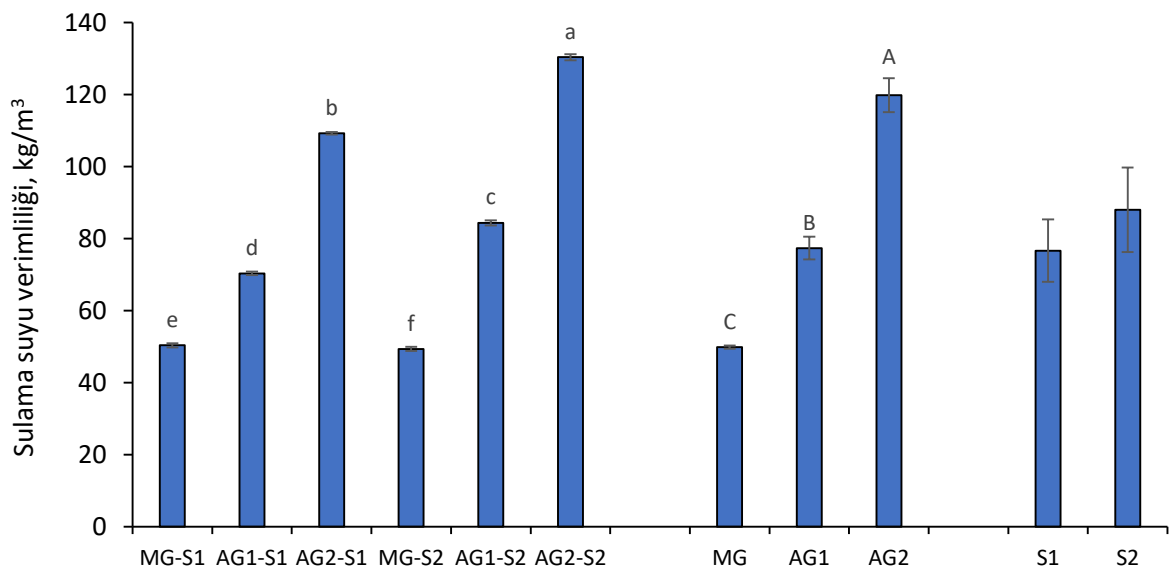
Şekil 27. Bitki N-Klorofil içeriği (SPAD) ilişkisi. **: $p < 0,01$

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

WP ve IWP değerleri gübre ve sulama uygulamalarından önemli derecede etkilenmiştir (Ek 1). AG2 uygulaması WP değerini ($59,7 \text{ kg/m}^3$) MG ve AG1'e göre sırasıyla %82,0 ve %32,4, IWP değerini ($119,8 \text{ kg/m}^3$) %140,1 ve %55,0 artırmıştır (Şekil 28, 29). S1 uygulaması WP değerini ($46,3 \text{ kg/m}^3$) S2 uygulamasına göre %2,0 artırırken, IWP değerini ($76,3 \text{ kg/m}^3$) %12,8 azaltmıştır (Şekil 28, 29). IWP ve WP değerleri artan verim (Şekil 18) ve azalan sulama suyu ve su tüketim miktarlarıyla (Şekil 15, 17) önemli derecede artmıştır. Ancak, S2 uygulamasında önemli verim düşüşü olmasına rağmen (Şekil 18) uygulanan suyun miktarının daha fazla azalması (Şekil 15) IWP değerlerinin S2 uygulamasında artmasını sağlamıştır.



Şekil 28. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun su verimliliği



Şekil 29. Mineral ve ahır gübresi uygulamalarında farklı sulama aralıklarında kıvırcık marulun sulama suyu verimliliği

Marulda artan verim ve azalan sulama suyu ve su tüketimiyle IWP ve WP değerlerinde ahır gübresi uygulamasında mineral gübreye göre daha fazla artış Erguler *et al.* (2024) tarafından da belirlenmiştir. Kuslu *et al.* (2008) kıvırcık marulda, Şenyiğit ve Kaplan (2013) ve Sahin *et al.* (2016) marulda artan stresin su tüketimini azaltmasına rağmen verimi daha çok düşürerek su verimliliğinde tam sulamaya göre önemli derecede düşüş sağladığını ifade etmişlerdir. Yürütülen birçok çalışmada marulun su verimliliği değerlerinin yetiştirme koşulları ve sulama seviyelerine göre önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuslu *et al.* (2008) Erzurum koşullarında tam sulanan kıvırcık marulda WP değerini 16,89 kg/m³ ve IWP değerini 22,59 kg/m³ olarak belirlemişlerdir. Kirnak *et al.* (2016) Şanlıurfa koşullarında kış döneminde 7 günde bir damla sulamayla (%100 Class A Pan) yetiştirilen marulun WP ve IWP değerlerini sırasıyla 62 kg/m³ ve 66 kg/m³ olarak, Al-Bayatı ve Şahin (2018) Konya koşullarında damla sulama koşullarında tam sulanan (%100 Class A Pan) marul WP ve IWP değerlerini sırasıyla 17 kg/m³ ve 18,3 kg/m³ olarak belirlemiştir. Sahin *et al.* (2016) Erzurum koşullarında %15 ve %30 sezonluk su kısıtlarında IWP değerlerini tam sulamaya göre (12,4 kg/m³) sırasıyla %10,4 ve %17,3 daha düşük, WP değerlerini de tam sulamada belirlenmiş olan 10,2 kg/m³ değerine göre %22,2 ve %37,8 daha düşük belirlemişleridir. Çerez (2020)'in Konya koşullarında, 4 gün sulama aralığında, A sınıfı buharlaşma kabından buharlaşan suyun %60, %80, %100 ve %120 sinin kıvırcık marul bitkisine etkisini araştırdığı çalışmasında da, sulama suyu kullanım randımanı değerlerini güz (Eylül-Kasım) dönemi yetiştiriciliğinde 43,19-56,19 kg/m³ arasında, bahar (Şubat-Nisan) dönemi yetiştiriciliğinde 60,82-81,85 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Bitki Makro Element İçeriği

Bitki makro element içerikleri topraktaki artışa benzer şekilde ahır gübresi uygulamasıyla önemli seviyelerde ($p<0,01$) artmıştır (Ek 1, Tablo 5). En fazla artışların belirlendiği AG2 uygulamasında, MG uygulamasına göre N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %53,5, %295,7, %4,8, %22,0 ve %7,0 daha fazla belirlenmiştir. MG uygulamasına kıyasla AG1 uygulamasında artışlarda sırasıyla %37,5, %173,9, %2,4, %14,6 ve %1,4 olmuştur (Tablo 5). AG2 ve AG1 uygulamalarında MG uygulamasına göre Na içeriği sırasıyla %11,5 ve %4,9 daha fazla belirlenmesine rağmen Ca/Na oranının yaklaşık %9 daha düşük bulunmuş olması sodyumun hücre duvarına olumsuz etkisinin kısıtlanması açısından önemli bulunmuştur (Sahin *et al.*, 2024).

Organik gübreler, çeşitli besin maddelerinin sürekli olarak sağlanmasının yanında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin de iyileştirilmesini sağlayarak marulun besin alımında artışlarla besin maddesi içeriklerinde ve bitki büyümesinde önemli katkılar

sağlayabilmektedir (Moreira *et al.*, 2014). Çelik (2023) marulda azaltılmış mineral gübreye takviye edilmiş ahır gübresi uygulamasında azaltılmış mineral gübreye göre makro-mikro besin element içerikleri önemli derecede yüksek belirlemiştir. Mostafa *et al.* (2019) marul bitkisinde en yüksek N, P ve K değerlerini organik maddenin en fazla uygulandığı ve tam sulama yapılan koşullarda belirlemiştir. Özen (2018)'de marul bitkisinin N, P ve Na içeriklerinin organik madde doz artışıyla genel olarak arttığını belirlemiştir.

Tablo 5. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Kıvrıkcık Marul Bitkisinin Makro Element İçerikleri

Uygulama		N %	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg
S1	MG	1,56±0,18	0,23±0,00	1,28±0,02	0,42±0,02	1,43±0,03	1,22±0,01
	AG1	2,23±0,05	0,63±0,01	1,30±0,01	0,48±0,02	1,45±0,05	1,28±0,02
	AG2	2,35±0,07	0,92±0,05	1,34±0,02	0,51±0,04	1,53±0,02	1,37±0,02
S2	MG	1,32±0,16	0,22±0,01	1,25±0,01	0,40±0,02	1,42±0,02	1,21±0,01
	AG1	1,72±0,14	0,63±0,01	1,28±0,01	0,46±0,03	1,44±0,04	1,27±0,00
	AG2	2,08±0,14	0,90±0,04	1,31±0,03	0,50±0,05	1,52±0,02	1,35±0,06
Gübre ortalama	MG	1,44±0,12	0,23±0,00 c	1,26±0,01 b	0,41±0,01 b	1,43±0,02 b	1,22±0,01 c
	AG1	1,98±0,13	0,63±0,01 b	1,29±0,01 ab	0,47±0,02 a	1,45±0,03 b	1,28±0,01 b
	AG2	2,21±0,09	0,91±0,03 a	1,32±0,02 a	0,50±0,03 a	1,53±0,01 a	1,36±0,03 a
Sulama ortalama	S1	2,05±0,14	0,59±0,10	1,30±0,01	0,47±0,02	1,47±0,02	1,29±0,02
	S2	1,71±0,13	0,59±0,10	1,28±0,01	0,45±0,02	1,46±0,02	1,28±0,03

Toprak Kimyasal Özellikleri

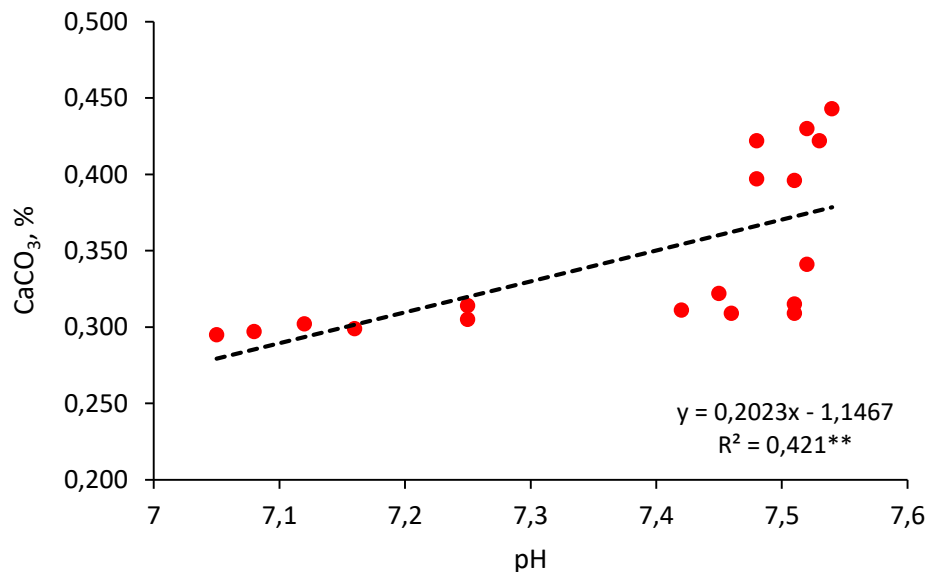
Yüzey toprak tabakasının (0-20 cm) deneme sonrası pH ve EC değerleri, organik madde, CaCO₃, değişebilir katyon (Ca, Mg, K ve Na) içerikleri, KDK ve ESP değerleri ile makro (Toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O) ve mikro element (Fe, Cu, Mn, Zn) içerikleri ahır gübresi uygulamasıyla başlangıç değerlerine göre pH ve CaCO₃ için azalma, diğerleri için de önemli artışlar göstermiş, ahır gübresinin daha yüksek dozunun etkisinin önemli seviyede ($p < 0,01$) daha fazla olduğu belirlenmiştir (Tablo 1, 6, 7, Ek 1). Mineral gübre uygulamasında ise yüzey tabakada genelde başlangıç değerlerine yakın sonuçlar bulunurken, yürütülen tarımsal faaliyete bağlı olarak kısmi değişimler görülmüştür. Alt tabaka (20-40 cm) değerlerinin ise başlangıç değerlerine yakın olduğu, ancak ahır gübresi uygulamasının pH'yı önemli derecede ($p < 0,01$) azaltırken, EC, organik madde ve mikro element (Fe, Cu, Mn, Zn) içeriklerini önemli derecede ($p < 0,01$) artırdığı belirlenmiştir (Tablo 1, 6, 7, Ek 1).

Mineral gübrelemeye kıyaslandığında, yüzey tabakada AG2 uygulamasında pH, EC, OM, CaCO₃, değişebilir Ca, Mg, Na ve K, KDK, ESP, Toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O,

Fe, Cu, Zn ve Mn için değişim oranları sırasıyla %4,8, %88,1, %151,5, %27,8, %12,7, %22,1, %30,5, %14,5, %15,5, %12,2, %86,2, %90,5, %21,8, %12,5, %25,9, %17,7, %22,0 ve %147,2 olmuştur. Toprakta ahır gübresi uygulamasında artan makro ve mikro element içeriklerinin doğrudan organik madde kaynaklı olduğu, toprakta organik madde ile makro ve mikro element içerikleri arasındaki ilişkilerin önemli seviyede ($p<0,01$) pozitif lineer olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Alt tabakada ise AG2 uygulamasında mineral gübreye göre pH, EC, organik madde, Fe, Cu, Zn ve Mn için değişimler sırasıyla %2,8, %16,2, %12,6, %37,2, %24,0, %16,2 ve %74,4 olarak belirlenmiştir (Tablo 6, 7). Bu sonuçlar tuzun ve mikro elementlerin, deneme süreci dikkate alındığında, kısa sürede alt tabakaya taşınarak birikebileceğini göstermiştir.

Ahır gübresinin yüzey tabakaya uygulanmış olmasının, ahır gübresi uygulamalarında üst tabaka değerlerinin başlangıç değerlerine ve mineral gübre uygulamasına göre önemli seviyede değişmesinin nedeni olduğu, alt tabakada organik madde, tuzluluk ve mikro element artışında ise sulamanın taşıyıcı etkisinin olduğu değerlendirilmiştir. Tuzluluk değerlerinde kısmen artışlar olmasına rağmen değerler tuzlu toprak sınır değerinin (4 dS/m) ve marul bitkisinin tuzluluk eşik değerinin (1,3 dS/m) oldukça altında kalmıştır (Kanber ve Ünlü, 2010).

Amonyum nitrifikasyonu süreciyle üretilen hidrojen iyonlarının pH'yı düşürdüğü dikkate alındığında, ahır gübresinin yüksek içeriğiyle toprağa kazandırılan azotun ve toprakta artan organik maddenin mineralizasyonu sonucu oluşan organik asitlerin pH düşüşünün nedeni olduğu, pH' daki azalmanın toprakta kireç çözünürlüğünü artırarak CaCO_3 içeriğini de düşürebileceği ve toprağın Ca içeriğine katkı da sağlayabileceği Çakmakçı (2018), Yerli (2022) ve Altun (2024) tarafından da ifade edilmiştir. Yüzey tabakada azalan pH değerlerine bağlı olarak toprakta CaCO_3 içeriklerinde de azalmaların önemli ($p<0,01$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 30).



Şekil 30. pH-CaCO₃ ilişkisi. **: p<0,01

Ahır gübresinin makro ve mikro besin içeriğinin yüksekliğine bağlı olarak toprakta özellikle ahır gübresinin karıştırıldığı yüzey tabakada makro ve mikro besinlerin içeriği önemli seviyelerde artabilmektedir (Badaou, 2025). Ahır gübresi uygulamasında toprakta gözlenen KDK artışının organik maddenin koloidal yapısından kaynaklandığı, KDK'daki artışa yüksek Ca içeriğinin neden olduğu, dolayısıyla, artan KDK'nın da toprakların besin adsorbsiyonunu artırdığı değerlendirilmiştir (Brunetto *et al.* 2012; Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Altun, 2024; Badaou, 2025). Çalışma bulgularımıza benzer şekilde Özen (2018)'in marul bitkisinin verim ve kalitesi üzerine organik materyal uygulamalarının etkilerini araştırdığı çalışmasında da, artan dozlara bağlı olarak toprakların EC, organik C, organik madde, organik P, NH₄-N, NO₃-N, toplam N, alınabilir P, değişebilir Ca, Mg, Na ve K ile alınabilir Fe, Mn ve Zn içeriklerinin genel olarak arttığı belirlenmiştir.

Tablo 6. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Kimyasal Özellikleri

Derinlik	Uygulama		pH	EC dS/m	Organik madde, %	CaCO ₃ %	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	K cmol/kg	KDK cmol/kg	ESP %
0-20 cm	S1	MG	7,50±0,01 a	0,287±0,035	1,28±0,02	0,416±0,010	14,77±0,20	5,37±0,26	0,307±0,010	0,668±0,027	21,11±0,44	1,46±0,06
		AG1	7,46±0,03 a	0,442±0,035	2,19±0,05	0,310±0,001	15,37±0,37	5,93±0,26	0,382±0,005	0,713±0,005	22,40±0,61	1,71±0,03
		AG2	7,08±0,02 c	0,552±0,012	3,26±0,04	0,298±0,002	16,17±0,58	6,63±0,15	0,401±0,007	0,733±0,022	23,93±0,73	1,68±0,03
	S2	MG	7,52±0,02 a	0,283±0,005	1,41±0,06	0,421±0,013	14,63±0,24	5,50±0,35	0,309±0,017	0,615±0,016	21,06±0,45	1,47±0,11
		AG1	7,49±0,02 a	0,350±0,006	2,43±0,03	0,326±0,008	16,97±0,09	6,07±0,24	0,382±0,007	0,698±0,012	24,11±0,22	1,59±0,04
		AG2	7,22±0,03 b	0,520±0,005	3,47±0,06	0,306±0,004	16,97±0,18	6,63±0,12	0,403±0,008	0,736±0,018	24,74±0,26	1,63±0,01
	Gübre ortalama	MG	7,51±0,01 a	0,285±0,016 c	1,34±0,04 c	0,418±0,008 a	14,70±0,14 b	5,43±0,20 c	0,308±0,009 b	0,641±0,019 b	21,08±0,28 c	1,47±0,06 b
		AG1	7,48±0,02 a	0,396±0,026 b	2,31±0,06 b	0,318±0,005 b	16,17±0,40 a	6,00±0,16 b	0,382±0,004 a	0,706±0,007 a	23,25±0,48 b	1,65±0,04 a
		AG2	7,15±0,03 b	0,536±0,009 a	3,37±0,06 a	0,302±0,003 c	16,57±0,33 a	6,63±0,08 a	0,402±0,005 a	0,734±0,013 a	24,34±0,39 a	1,65±0,02 a
	Sulama ortalama	S1	7,35±0,07	0,427±0,041	2,24±0,29	0,341±0,019	15,43±0,29	5,98±0,22	0,364±0,015	0,704±0,014	22,48±0,51	1,61±0,05
		S2	7,41±0,05	0,385±0,035	2,44±0,30	0,351±0,018	16,19±0,40	6,07±0,21	0,365±0,015	0,683±0,020	23,30±0,59	1,56±0,04
20-40 cm	S1	MG	7,75±0,02	0,317±0,008 c	1,01±0,07	1,180±0,004	14,07±0,58	5,10±0,31	0,281±0,008	0,617±0,024	20,06±0,32	1,40±0,05
		AG1	7,63±0,03	0,316±0,003 c	1,05±0,05	1,177±0,004	14,17±0,41	5,27±0,41	0,283±0,014	0,623±0,027	20,34±0,41	1,39±0,05
		AG2	7,55±0,03	0,372±0,005 a	1,13±0,01	1,174±0,001	14,13±0,26	5,17±0,58	0,279±0,008	0,622±0,023	20,20±0,38	1,38±0,01
	S2	MG	7,81±0,10	0,312±0,001 c	1,05±0,05	1,185±0,005	14,30±0,12	5,00±0,42	0,282±0,004	0,612±0,003	20,19±0,35	1,40±0,02
		AG1	7,66±0,05	0,350±0,010 b	1,10±0,05	1,179±0,002	14,33±0,22	4,87±0,54	0,280±0,003	0,622±0,017	20,10±0,60	1,40±0,04
		AG2	7,58±0,05	0,357±0,005 ab	1,20±0,03	1,176±0,002	14,17±0,22	5,23±0,29	0,282±0,009	0,612±0,017	20,29±0,49	1,39±0,03
	Gübre ortalama	MG	7,78±0,05 a	0,314±0,004 c	1,03±0,04 b	1,183±0,003	14,18±0,27	5,05±0,23	0,282±0,004	0,615±0,011	20,13±0,21	1,40±0,02
		AG1	7,65±0,03 b	0,333±0,009 b	1,07±0,03 ab	1,178±0,002	14,25±0,21	5,07±0,31	0,282±0,007	0,623±0,014	20,22±0,33	1,39±0,03
		AG2	7,56±0,03 b	0,365±0,005 a	1,16±0,02 a	1,175±0,001	14,15±0,15	5,20±0,29	0,280±0,005	0,617±0,013	20,25±0,28	1,38±0,01
	Sulama ortalama	S1	7,64±0,03	0,335±0,010	1,06±0,03	1,177±0,002	14,12±0,22	5,18±0,23	0,281±0,005	0,621±0,012	20,20±0,19	1,39±0,02
		S2	7,69±0,05	0,340±0,008	1,12±0,03	1,180±0,002	14,27±0,10	5,03±0,22	0,281±0,003	0,615±0,007	20,20±0,25	1,39±0,02

Tablo 7. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Makro ve Mikro Element İçerikleri

Derinlik	Uygulama		Kjeldahl-N %	NO ₃ -N mg/kg	P ₂ O ₅ kg/da	K ₂ O kg/da	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg
0-20 cm	S1	MG	0,136±0,006	0,747±0,023	10,96±0,11	77,2±2,84	8,87±0,26	1,63±0,04	44,79±0,75	1,00±0,03
		AG1	0,214±0,027	0,910±0,040	12,98±0,40	83,1±0,23	10,52±0,74	1,75±0,03	51,96±0,60	1,19±0,03
		AG2	0,277±0,007	1,423±0,062	13,33±0,29	83,3±2,12	11,10±0,07	1,93±0,07	55,66±1,13	2,63±0,14
	S2	MG	0,123±0,013	0,700±0,040	10,97±0,50	70,3±1,82	9,15±0,27	1,66±0,03	48,09±0,08	1,16±0,03
		AG1	0,192±0,042	0,863±0,023	12,96±0,34	77,0±1,42	10,57±0,18	1,76±0,01	52,46±1,43	1,88±0,08
		AG2	0,208±0,036	1,330±0,040	13,38±0,48	82,5±2,06	11,57±0,30	1,93±0,02	57,66±1,40	2,71±0,54
	Gübre ortalama	MG	0,130±0,007 b	0,723±0,023 c	10,97±0,23 b	73,7±2,16 b	9,01±0,18 b	1,64±0,02 c	46,44±0,81 c	1,08±0,04 b
		AG1	0,203±0,023 a	0,887±0,023 b	12,97±0,23 a	80,0±1,50 a	10,54±0,34 a	1,76±0,01 b	52,21±0,70 b	1,53±0,16 b
		AG2	0,242±0,023 a	1,377±0,039 a	13,36±0,25 a	82,9±1,33 a	11,34±0,17 a	1,93±0,03 a	56,66±0,92 a	2,67±0,25 a
	Sulama ortalama	S1	0,209±0,022	1,027±0,104	12,42±0,40	81,2±1,43	10,16±0,40	1,77±0,05	50,80±1,65	1,61±0,26
		S2	0,174±0,021	0,964±0,096	12,44±0,43	76,6±1,98	10,43±0,37	1,78±0,04	52,74±1,50	1,92±0,27
20-40 cm	S1	MG	0,103±0,008	0,515±0,059	9,09±0,16	72,8±2,44	5,47±0,11	1,27±0,07	37,99±0,63	0,36±0,03
		AG1	0,107±0,002	0,534±0,084	9,11±0,09	71,9±3,18	5,81±0,36	1,44±0,02	41,71±0,53	0,55±0,02
		AG2	0,110±0,002	0,560±0,083	9,21±0,36	70,3±2,07	7,22±0,09	1,56±0,03	43,81±0,60	0,67±0,02
	S2	MG	0,098±0,004	0,513±0,069	9,06±0,07	73,1±0,30	5,67±0,11	1,31±0,06	39,87±1,91	0,43±0,02
		AG1	0,100±0,002	0,531±0,056	9,12±0,24	72,4±1,62	6,24±0,06	1,45±0,01	42,67±0,92	0,57±0,03
		AG2	0,105±0,004	0,552±0,030	9,24±0,31	70,2±2,17	8,07±0,42	1,64±0,05	46,66±0,73	0,70±0,03
	Gübre ortalama	MG	0,100±0,004	0,514±0,041	9,07±0,08	73,0±1,10	5,57±0,08 b	1,29±0,04 c	38,93±0,99 c	0,39±0,02 c
		AG1	0,104±0,002	0,533±0,045	9,11±0,11	72,2±1,60	6,03±0,19 b	1,45±0,01 b	42,19±0,52 b	0,56±0,02 b
		AG2	0,107±0,002	0,556±0,040	9,22±0,21	70,2±1,34	7,64±0,27 a	1,60±0,03 a	45,23±0,77 a	0,68±0,02 a
	Sulama ortalama	S1	0,107±0,003	0,537±0,039	9,13±0,12	71,7±1,35	6,17±0,29	1,43±0,05	41,17±0,90	0,53±0,05
		S2	0,101±0,002	0,532±0,028	9,14±0,12	71,9±0,91	6,66±0,38	1,47±0,05	43,06±1,18	0,57±0,04

Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Yüzey toprak tabakasında (0-20 cm) ahır gübresi uygulaması mineral gübreye göre kütle ve tane yoğunluğunu önemli seviyede (sırasıyla $p<0,05$ ve $p<0,01$) azaltmış, agregat stabilitesini önemli seviyede ($p<0,01$) artırmıştır (Tablo 8, Ek 1). 20-40 cm'lik tabakada da ahır gübresi uygulamasıyla kütle ve tane yoğunluğunda önemli (sırasıyla $p<0,01$ ve $p<0,05$) azalmalar, porozitede önemli ($p<0,01$) artışlar belirlenmiştir. Yüzey tabakada S2 uygulamasıyla önemli derecede ($p<0,01$) azalan kütle yoğunluğunun etkisiyle artan porozite tarla kapasitesinin de önemli derecede ($p<0,05$) artmasını sağlamış olsa da yararışlı su miktarına etkisi olmamıştır (Tablo 8, Ek 1). Yüzey tabakada mineral gübrelemeyle kıyaslandığında AG1 uygulamasında kütle ve tane yoğunluğunda azalış ve agregat stabilitesinde artış oranları sırasıyla %0,8 %0,8 ve %3,4 olarak belirlenirken, AG2 uygulamasında oranlar sırasıyla %1,6, %1,9 ve %9,2 olmuştur. Alt tabakada (20-40 cm) ise AG1 uygulamasında kütle ve tane yoğunluğunda azalış ve porozitede artış oranları %2,4, %0,4 ve %2,0 ve AG2 uygulamasında oranlar sırasıyla %4,0, %0,4 ve %3,4 olarak belirlenmiştir. Yüzey tabakada S1 uygulamasına göre S2 uygulaması hacim ağırlığını %3,3 azaltırken, porozite ve tarla kapasitesi değerini sırasıyla %2,2 ve %2,6 artırmıştır (Tablo 7).

Her iki tabakada da kütle yoğunluğu değerleri başlangıç değerlerinin altında, porozite değerleri de üzerinde belirlenmiştir. Agregat stabilitesi değerleri ise yüzey tabakada ahır gübresi uygulamalarında başlangıç değerlerine göre daha yüksek, alt tabakada ve mineral gübre uygulamasında ise başlangıç değerine yakın bulunmuştur (Tablo 1, 7). Toprakta artan organik maddenin ve Ca içeriğinin agregasyonu destekleyerek kütle yoğunluğu ve poroziteyi iyileştirdiği değerlendirilmiştir (Tablo 6, 8). Organik madde agregat stabilitesini önemli seviyede ($p<0,01$) artırmış, kütle yoğunluğunun agregat stabilitesi ve porozite ile ilişkilerinin de önemli seviyede (sırasıyla $p<0,05$ ve $p<0,01$) negatif lineer olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Ahır gübresi uygulamasında, kütle yoğunluğundaki önemli düşüşün toprakta minerallerden daha düşük parçacık yoğunluğuna sahip olan organik madde artışına bağlı olduğu, aynı zamanda organik maddenin agregasyonunu da artırdığı Loss *et al.* (2019), Altun (2024) ve Badaou (2025) tarafından da belirlenmiştir. Benzer şekilde Biswas *et al.* (2017)'de toprakta artan organik maddenin kütle yoğunluğunu azalttığını bildirmiştir. Ayrıca, Celik *et al.* (2010) ahır gübresi uygulamasında yüzey tabakanın kütle yoğunluğunun mineral gübrelemeye kıyasla %3,6 daha düşük olduğunu, Meng *et al.* (2019)'de ahır gübresi uygulamasının kütle yoğunluğunu yaklaşık %13 azalttığını, poroziteyi ise yaklaşık %12 artırdığını ifade etmişlerdir. Birçok çalışmada yine toprakta artan organik maddenin tane yoğunluğunu da azalttığı ifade edilmiştir (Çakmakçı, 2018; Yerli, 2022; Altun, 2024; Badaou, 2025). Toprakta artan organik

madde, mikroorganizma aktivitesiyle de toprak taneleri arasındaki bağları güçlendirerek agregasyonu teşvik etmekte ve oluşan agregatlarının daha sağlam ve stabil kalmasına katkı sağlamaktadır (Badaou, 2025).

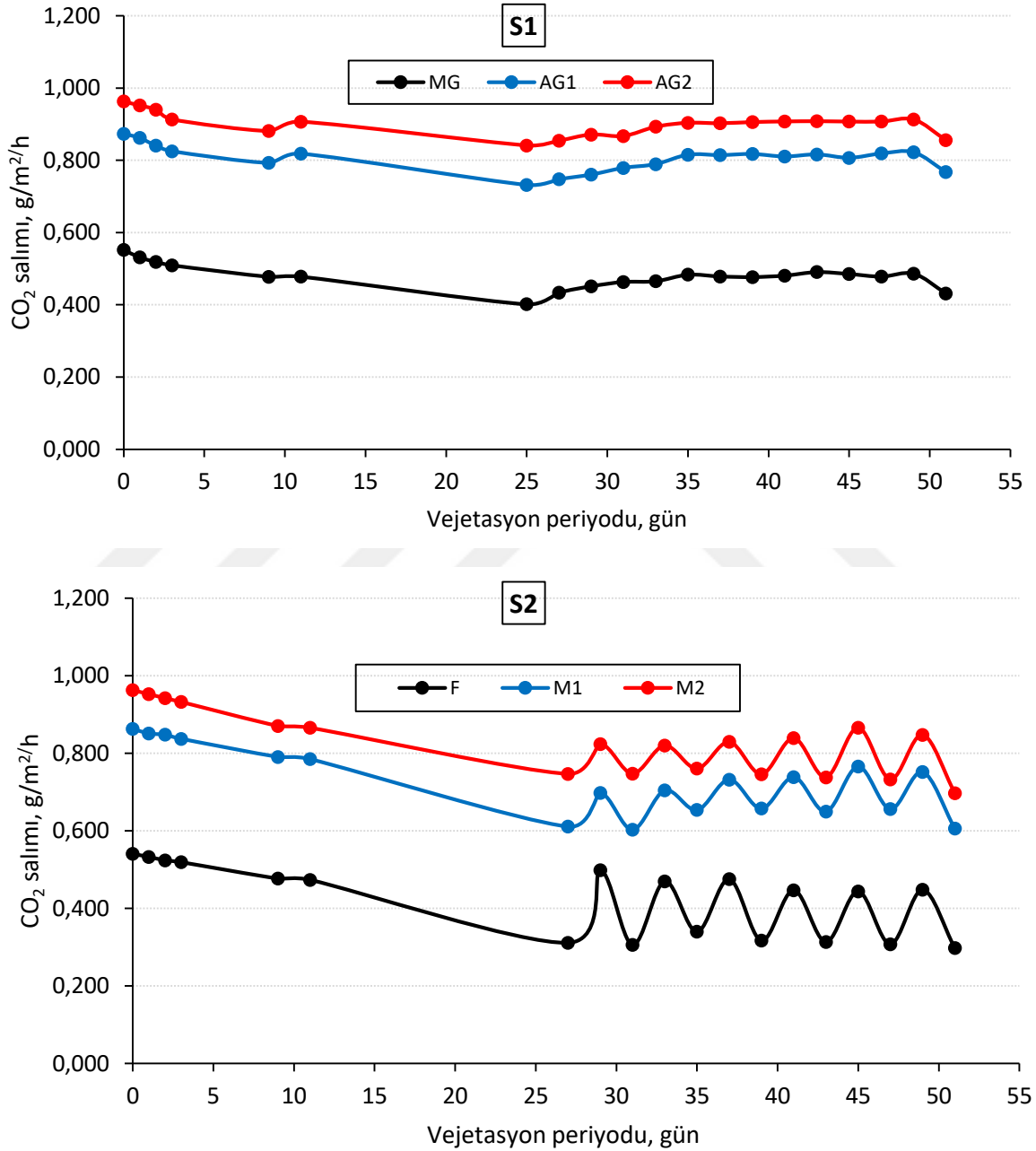


Tablo 8. Mineral ve Ahır Gübresi Uygulamalarında Farklı Sulama Aralıklarında Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Derinlik	Uygulama		Kütle yoğunluğu g/cm ³	Tane yoğunluğu	Porozite %	Agregat stabilitesi %	Tarla kapasitesi Pw	Solma noktası Pw	Yarayışlı su mm
0-20 cm	S1	MG	1,23±0,01 ab	2,68	53,99 bc	51,95±0,22	25,15±0,20	14,00±0,09	27,44±0,53
		AG1	1,24±0,01 a	2,66	53,42 c	53,05±0,07	24,99±0,18	13,80±0,03	27,75±0,40
		AG2	1,21±0,01 bc	2,63	54,06 bc	56,74±0,54	25,94±0,25	14,08±0,10	28,68±0,48
	S2	MG	1,22±0,01 b	2,67	54,45 b	52,09±0,06	25,56±0,29	14,02±0,07	28,08±0,99
		AG1	1,17±0,00 d	2,66	55,90 a	54,48±0,10	26,43±0,26	14,38±0,10	28,26±0,44
		AG2	1,19±0,01 cd	2,63	54,63 b	56,88±1,00	26,06±0,41	14,26±0,42	28,17±0,40
	Gübre ortalama	MG	1,22±0,01 a	2,68 a	54,22	52,02±0,11 c	25,36±0,18	14,01±0,05	27,76±0,52
		AG1	1,21±0,02 b	2,66 b	54,66	53,77±0,32 b	25,71±0,35	14,09±0,14	28,01±0,29
		AG2	1,20±0,01 b	2,63 c	54,35	56,81±0,51 a	26,00±0,22	14,17±0,20	28,43±0,30
	Sulama ortalama	S1	1,23±0,01 a	2,66	53,82 b	53,91±0,74	25,36±0,18 b	13,96±0,06	27,96±0,30
		S2	1,19±0,01 b	2,65	54,99 a	54,48±0,75	26,02±0,21 a	14,22±0,14	28,17±0,33
20-40 cm	S1	MG	1,26±0,01	2,68	53,14	47,41±0,06	24,49±0,28	13,60±0,12	27,36±0,65
		AG1	1,23±0,00	2,68	54,17	47,35±0,03	24,87±0,13	13,71±0,21	27,38±0,84
		AG2	1,20±0,01	2,68	55,03	47,43±0,07	25,03±0,29	13,93±0,07	26,71±0,73
	S2	MG	1,27±0,01	2,68	52,54	47,40±0,10	24,31±0,37	13,42±0,05	27,64±1,00
		AG1	1,24±0,01	2,68	53,57	47,30±0,13	24,53±0,25	13,59±0,22	27,13±0,37
		AG2	1,22±0,01	2,67	54,28	47,35±0,08	24,64±0,64	13,72±0,18	26,67±1,93
	Gübre ortalama	MG	1,26±0,01 a	2,68 a	52,84 c	47,41±0,05	24,40±0,21	13,51±0,07	27,50±0,54
		AG1	1,23±0,00 b	2,67 b	53,87 b	47,32±0,06	24,70±0,14	13,65±0,14	27,26±0,41
		AG2	1,21±0,01 c	2,67 b	54,66 a	47,39±0,05	24,84±0,33	13,83±0,10	26,69±0,93
	Sulama ortalama	S1	1,23±0,01	2,68 a	54,11	47,40±0,03	24,79±0,15	13,75±0,09	27,15±0,39
		S2	1,24±0,01	2,67 b	53,46	47,35±0,06	24,49±0,23	13,58±0,09	27,15±0,65

Topraktan CO₂ Salımı

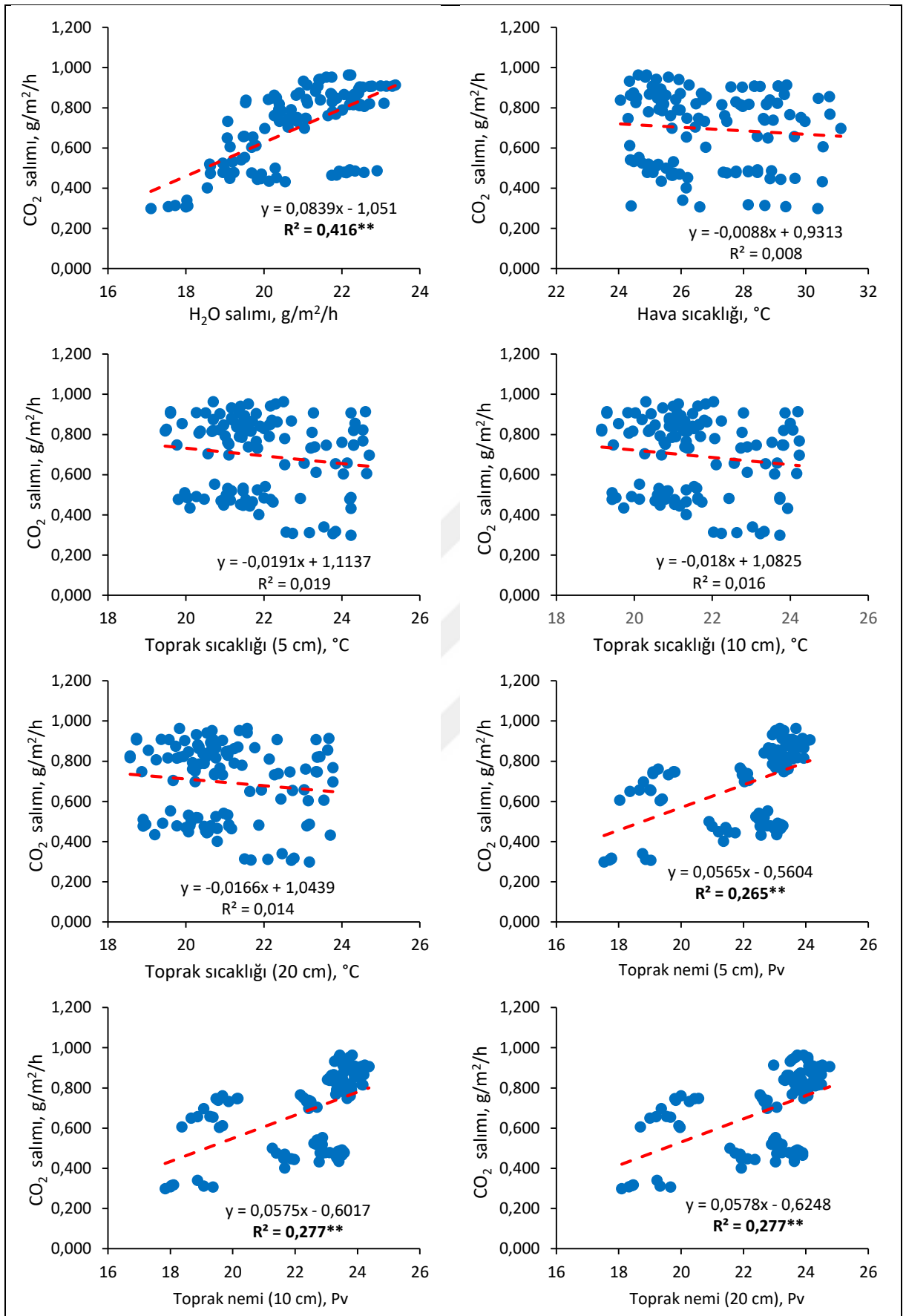
Kıvırcık marul vejetasyon dönemi boyunca topraktan CO₂ salımları, vejetasyon periyodunda başında, toprak işleme-ekim döneminde, daha yüksek belirlenmiş, ilerleyen dönemde hasada kadar sulamalar öncesi düşük ve sulamalar sonrası artan şekilde karalı değişimler göstermiştir (Şekil 31). Ahır gübresi uygulamalarında mineral gübreye göre daha yüksek değerler ölçülmüştür.



Şekil 31. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında vejetasyon dönemi CO₂ salımlarının değişimi

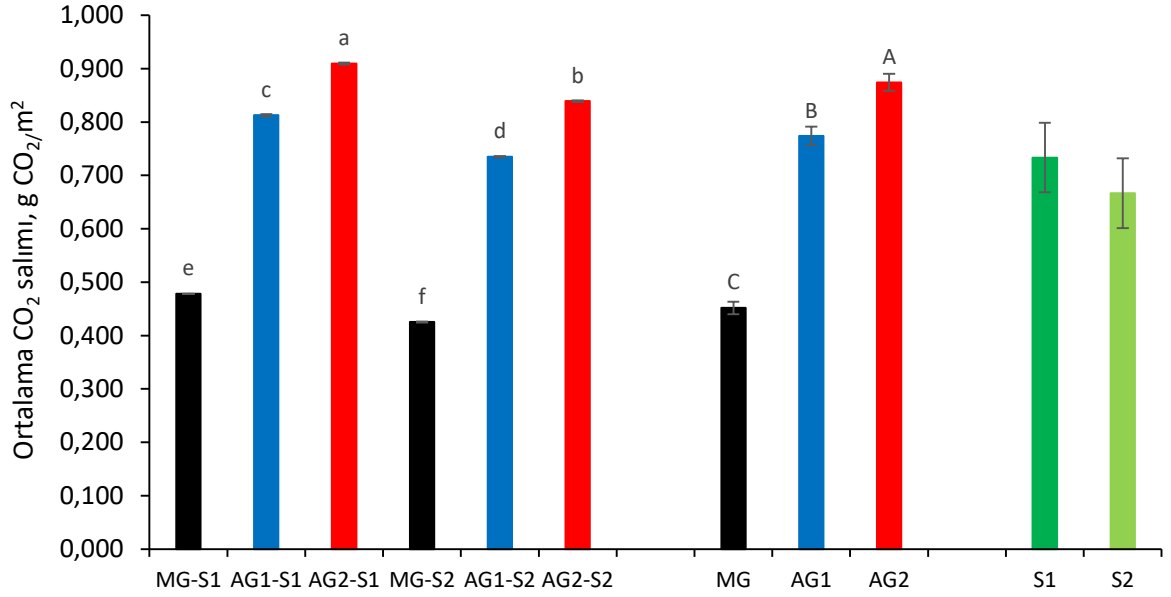
Toprak organik karbonun mineralizasyonunda toprak nemi büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla toprağın ıslatılması mikrobiyal aktiviteyi artırdığından CO₂ salımlarının artışı

kaçınılmaz kılmaktadır (Hou *et al.*, 2020). Bu çalışmada sezon boyunca üç farklı derinlikte ölçülen toprak nem içerikleri ile ölçüm anındaki CO₂ salımları arasında önemli ($p<0,01$) pozitif doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 32). Toprak nemindeki artışla birlikte artan CO₂ salımları ile yine toprak nemi ile önemli derecede ($p<0,01$) artan H₂O salımları arasındaki ilişki de önemli ölçüde ($p<0,01$) pozitif doğrusal olmuştur. Benzer şekilde, Yerli *et al.* (2022), Altun and Sahin (2025) ve Badaou and Sahin (2025)'de farklı sulama seviyelerinde CO₂ salımı ile toprak nem içeriği ve H₂O salımları arasında doğrusal korelasyonlar bildirmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları ayrıca toprak sıcaklığının doğrudan hava sıcaklığıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Ancak, CO₂ salımlarının hem hava hem de toprak sıcaklıklarına bağlı olarak önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir (Şekil 32). Vejetasyon dönemindeki tüm verilerden ortalama toprak sıcaklığı 21-22 °C civarında tespit edilmiştir. Peregrina (2016), yaklaşık 20 °C'lik bir toprak sıcaklığının CO₂ emisyonları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, artan sıcaklıkların toprak CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin ise azaldığını ifade etmişse de, aksine (Navarro-Pedreño *et al.*, 2021) yüksek sıcaklıkların mikrobiyal aktiviteyi uyararak organik maddenin ayrışmasını hızlandırabileceğini ve bunun da toprak solunumunu artırabileceğini ve böylece topraktan daha fazla CO₂ salımına yol açabileceğini belirtmişlerdir.



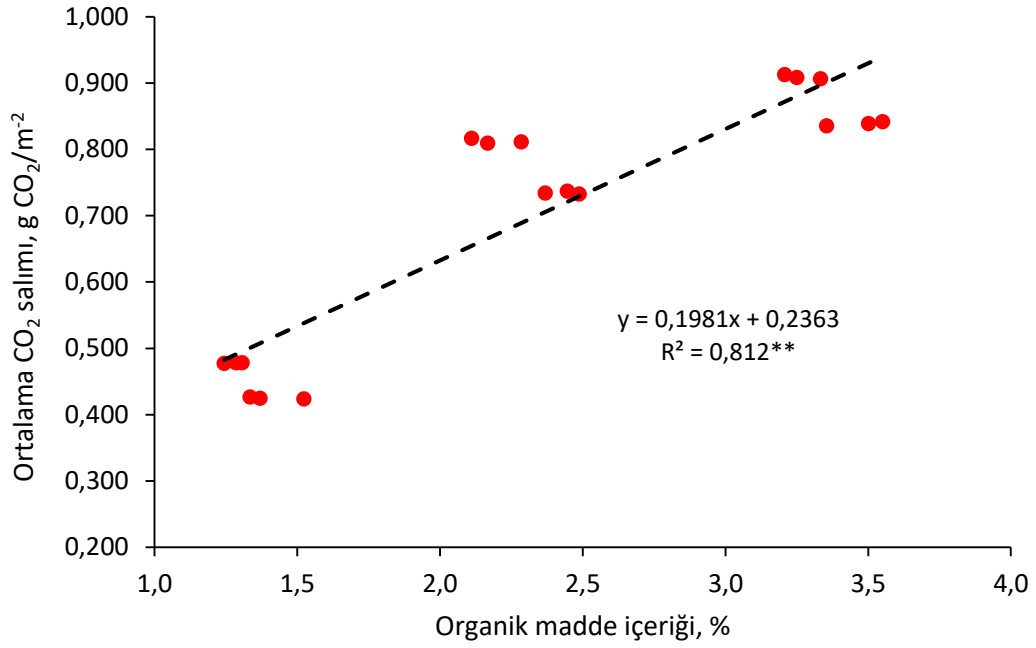
Şekil 32. Vejetasyon döneminde CO₂ salımlarının farklı derinliklerde toprak sıcaklık ve nem değerleri ile hava sıcaklığı ve H₂O salımlarıyla ilişkisi

İstatistiksel olarak önemli seviyede ($p<0,01$) en yüksek salıma neden olan AG2 uygulamasındaki mevsimsel ortalama CO₂ salımı, AG1 ve MG uygulamalarına kıyasla sırasıyla %12,9 ve %93,4 daha yüksekti (Şekil 33, Ek 1). AG1 uygulaması da MG uygulamasına göre %71,2 daha fazla CO₂ salımı sağlamıştır. S1 uygulaması ortalama CO₂ salımını S2'ye kıyasla %10,1 oranında artırmıştır. Böylece, mevsimsel ortalama CO₂ salımı, 0,909 g CO₂/m² değeriyle AG1-S1 uygulamasında MG-S1 uygulamasına kıyasla %90,2 daha yüksek belirlenmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında vejetasyon döneminde ortalama CO₂ salımları

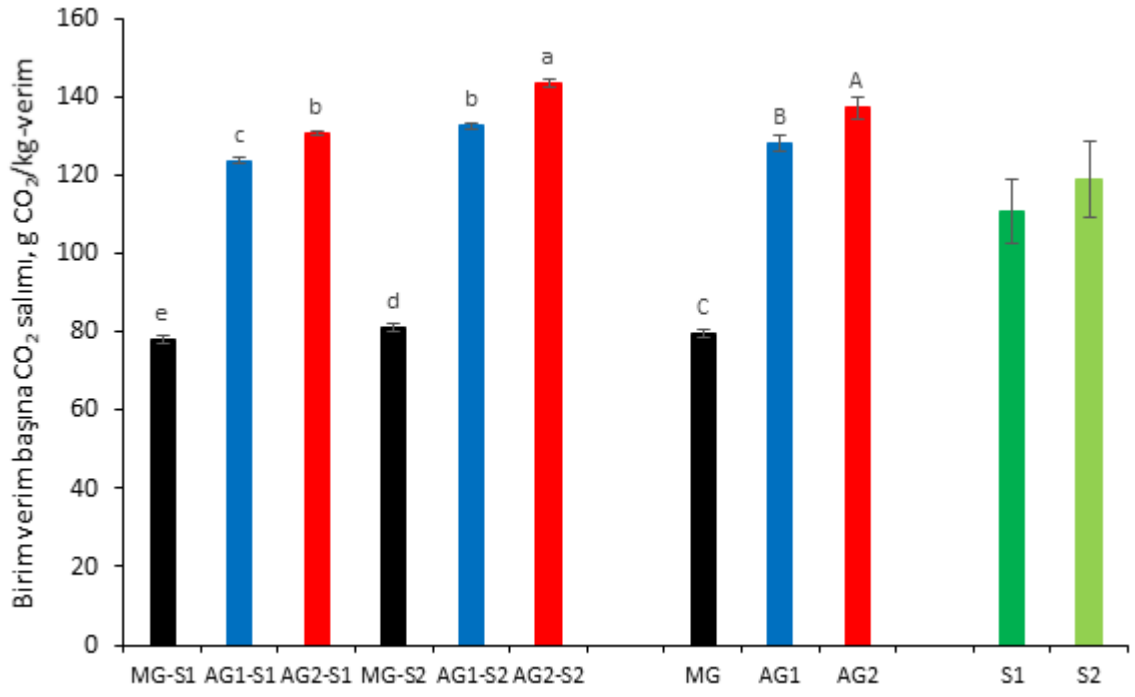
Birçok çalışmada, mikroorganizmaların gelişimi için uygun bir enerji kaynağı olan topraktaki karbon oranının artırılmasının, toprak biyolojik aktivitesinin iyileştirilmesiyle mineralizasyon oranına daha fazla katkıda bulunarak CO₂ emisyonunu artırabileceği bildirilmiştir (Tang *et al.*, 2018; 2022; Yerli *et al.*, 2022; Altun and Sahin, 2025; Badaou and Sahin, 2025). Bu nedenle, bu çalışmada gübre uygulamalarının artan dozuyla CO₂ salımlarını artıran temel faktörün topraktaki yüksek organik madde içeriği olduğu değerlendirilmiştir. Hasatta yüzey tabakanın (0-20 cm) organik madde içeriği ile mevsimsel ortalama CO₂ salımları arasında önemli ($p<0,01$) pozitif bir korelasyon belirlenmiştir (Şekil 34). Benzer şekilde, Altun and Sahin (2025) ve Badaou and Sahin (2025)'de de yüksek CO₂ salımlarının yüksek toprak organik madde içeriği kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 34. Yüzey tabakada (0-20 cm) organik madde içeriği ile vejetasyon dönemi ortalama CO₂ salımları arasındaki ilişki

Ahır gübresi uygulaması kıvırcık marulda pazarlanabilir verimi önemli ölçüde artırmasına rağmen (Şekil 18), birim pazarlanabilir verim başına CO₂ salımları da ahır gübresi uygulamalarıyla önemli ölçüde artmıştır (Şekil 35, Ek 1). AG2 uygulaması, birim verim başına CO₂ salımını AG1 ve MG kıyasla sırasıyla %7 ve %72 oranında artırmıştır. AG1 uygulamasında MG ye göre artış da %60,7 olarak belirlenmiştir. S1 uygulaması da S2 uygulamasından daha yüksek verimle birim verim başına %6,9 daha düşük CO₂ salımına neden olmuştur (Şekil 35). Pereira *et al.* (2021), daha yüksek verimin birim verim başına karbon ayak izini azalttığını ifade ederken, bu çalışmada verim önemli ölçüde artmasına rağmen CO₂ salımındaki artış karşında etkisi sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, birim verim başına CO₂ salımı, 143,5 g CO₂/kg-verim ile AG2-S2 uygulamasında, ikinci sırada da kısmen daha yüksek verime sahip olan AG2-S1 uygulamasında 130,8 g CO₂/kg-verim olarak en yüksek değerler olarak belirlenmiş, sırasıyla MG-S2 ve MG-S1 uygulamalarına kıyasla %76,7 ve %67,5 oranlarında artışlar sağlamıştır (Şekil 35).

Bu çalışmanın değerleriyle kıyaslandığında, birçok çalışmada daha yüksek değerlerin belirlendiği görülmüştür. Pereira *et al.* (2021), ana ve ikinci ürün marul üretimi için sırasıyla 145 ve 254 g CO₂/kg-verim karbon ayak izi değerleri, Plawecki *et al.* (2014) ve Bartzas *et al.* (2015) sera koşullarında yetiştirilen marul için sırasıyla 198 g CO₂/kg-verim ve 209-225 g CO₂/kg-verim karbon ayak izi değerleri bildirmişlerdir. Martin-Gorriz *et al.* (2020)' de marul için 192 ila 500 g CO₂/kg-verim arasında değişen geniş bir karbon ayak izi değeri bildirmişlerdir.



Şekil 35. Farklı gübreleme ve sulama uygulamalarında birim verim başına CO₂ salımları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kıvırcık marul yetiştiriciliğinde mineral gübreleme (MG) ve 0-20 cm'lik yüzey toprak tabakasındaki organik madde içeriğini orta-yüksek (yaklaşık %3), ve yüksek (yaklaşık %4,5) seviyeye çıkaracak dozlarda ahır gübresi (AG1 ve AG2) uygulamaları ile farklı sulama aralıklarının (S1: 2 gün, S2: 4 gün), bitki su tüketimi, verim, su verimliliği, bitki makro-mikro element içeriği, bitki fizyoloji, toprak özellikleri ve topraktan CO₂ salımı üzerine önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Bitki su tüketimi mineral gübreye göre AG1 uygulamasında %22,2 ve AG2 uygulamasında %38,1, S2 uygulamasında da S1'ye göre %12,2 daha az belirlenmiştir.

Toprak kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine ahır gübresi uygulamasının etkisi yüzey tabakada (0-20 cm) alt tabakaya göre (20-40 cm) daha fazla olmuştur. Yüzey tabakada AG2 uygulamasında MG uygulamasıyla kıyaslandığında pH, EC, OM, CaCO₃, değişebilir Ca, Mg, Na ve K, kation değişim kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi, Toplam Kjeldahl-N, NO₃-N, alınabilir fosfor ve potasyum, Fe, Cu, Zn ve Mn için sırasıyla %4,8, %88,1, %151,5, %27,8, %12,7, %22,1, %30,5, %14,5, %15,5, %12,2, %86,2, %90,5, %21,8, %12,5, %25,9, %17,7, %22,0 ve %147,2 daha fazla değerler sağlamıştır. Aynı zamanda kütle ve tane yoğunluğunda azalış ve agregat stabilitesinde artış oranları da sırasıyla %1,6, %1,9 ve %9,2 olmuştur.

Toprakta artan verimlilik bitki makro element içeriklerini de artırmış, AG2 uygulamasında MG uygulamasına göre N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %53,5, %295,7, %4,8, %22,0 ve %7,0 daha fazla belirlenmiştir.

Ahır gübresi uygulaması bitki fizyolojisini iyileştirmiş, AG2 uygulaması MG uygulamasına göre SPAD, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği değerlerinde sırasıyla %35,6, %32,4, %6,1 oranlarında artışlar ve membran zararlanmada %26,5 oranında bir azalma sağlamıştır. S1 uygulaması S2 uygulamasıyla kıyaslandığında SPAD değerini %19,9, stoma iletkenliğini %37,5 ve yaprak oransal su içeriğini %5,2 artırırken, membran zararlanmayı %15,4 azaltmıştır.

İyileşen toprak fiziksel özellikleri, artan toprak verimliliği ve bitkide artan besinler ile iyileşen fizyoloji verimi pozitif etkilemiştir. Pazarlanabilir verim AG1 ve AG2 uygulamalarında mineral gübreye göre sırasıyla %12,7 ve %6,6 daha fazla belirlenmiştir. Sık

sulanan S1 uygulamasında S2'ye göre %18,1 daha fazla verim elde edilmiştir. En yüksek verim, AG2-S1 uygulamasında 8512 g/m² olarak MG-S1'e göre %13,6 daha fazla bulunmuştur.

Verim arttıkça su verimliliği de önemli derecede artmış, AG2 uygulaması mineral gübreye göre su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (IWP) değerlerini sırasıyla %82,0 ve %140,1, AG1 uygulaması da sırasıyla %37,5 ve %54,9 artırmıştır. S1 uygulamasında WP değeri S2'ye göre %2,0, IWP değeri de S2'ye göre %12,8 daha fazla belirlenmiştir. En yüksek değerler olarak, AG2-S1 uygulamasında WP (60,2 kg/m³) MG-S1'e göre %75,5, AG2-S2 uygulamasında IWP (130,4 kg/m³) MG-S2'ye göre %164 daha fazla belirlenmiştir.

Ahır gübresi uygulamalarında mineral gübreye göre daha yüksek CO₂ salımları ölçülmüştür. En yüksek değerlerin ölçüldüğü AG2 uygulamasında mevsimsel ortalama CO₂ salımı MG uygulamasına göre %93,4, S1 uygulamasında da S2'ye göre %10,1 daha fazla belirlenmiştir. Mevsimsel ortalama en yüksek CO₂ salımı, 0,909 g CO₂/m² değeriyle AG2-S1 uygulamasında MG-S1 uygulamasına göre %90,2 daha yüksek bulunmuştur. Toprakta artan organik maddenin mineralizasyonundan sorumlu toprak nem içeriği CO₂ salımlarını doğrudan etkileyen faktör olmuştur.

Kıvırcık marul verimi ahır gübresi uygulamasıyla önemli derecede artmış olsa da, artan CO₂ salımının birim verim başına CO₂ salımını azaltmada etkisi sınırlı kalmış, bu nedenle, birim verim başına CO₂ salımı 143,5 g CO₂/kg-verim ile AG2-S2 uygulamasında en yüksek olarak belirlenmiştir. İkinci sırada da kısmen daha yüksek verime sahip olan AG2-S1 uygulamasında 130,8 g CO₂/kg-verim olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, mineral gübreye göre, ahır gübresiyle kıvırcık marul yetiştiriciliğinin bitkiye daha fazla besin sağlayarak ve fizyolojisini iyileştirerek bitki sağlığını desteklediği ve böylece verimde daha fazla artışa neden olan toprak sağlığına ilişkin koşulların iyileşmesine katkı sağladığı değerlendirilmiştir. Ancak, toprak ve bitki sağlığına yönelik faydalarına rağmen, ahır gübresinin küresel ısınma açısından atmosfer sağlığını olumsuz etkileyen CO₂ salımlarında önemli artışlara yol açabileceği de dikkate alınmalıdır. Toprak neminin CO₂ salımına doğrudan etkisi dikkate alındığında, CO₂ salımlarının azaltılmasına yönelik sulama yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, ahır gübresi ile yetiştiricilik koşullarında sulamanın daha sık aralıklarla yapılması CO₂ salımlarını artırmamasına rağmen, artan verimden dolayı birim verim başına CO₂ salımlarının azaltılmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, AG2-S1 uygulaması önerilebilir bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Acar, B., 2020. Water – yield relationships of lettuce plants for different irrigation strategies. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 66(5): 177-180.
- Akgöl, H., Ortaş, İ., 2020. Organik ve inorganik gübre uygulamalarının atmosfere karbon salınımı ve toprakta tutulan organik karbon fraksiyonları üzerine etkileri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 39(3): 98-108.
- Al-Bayati, Y.F.A., Şahin, M., 2018. Konya ili açık tarla koşullarında marul bitkisinin su-verim parametrelerinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 7(2): 38-45.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
- Altun, M., 2024. Farklı Sulama Rejimleri Altında Arıtma Çamuru Uygulamasının Silajlık Mısır Yetiştirilen Toprakta Üretkenlik Parametreleri ve Karbon Stok Değişimi Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Altun, M., Sahin, U., 2025. Frequent Irrigation of silage maize in soil containing sewage sludge reduces CO₂ emissions per unit yield by increasing productivity. *Water, Air & Soil Pollution*, 236: 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-07859-6>
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture, 29 Rev. 1. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.
- Badaou, A.N.A.D., 2025. Organik Gübrelemeyle Yetiştirilen Silajlık Mısırdaki Farklı Sulama Rejimlerinin Su Verimliliği Toprak Üretkenliği ve CO₂ Salımına Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Badaou, A.N.A.D., Sahin, U., 2025. Frequent irrigation in manure-fertilized soil reduces CO₂ emissions per unit yield by increasing maize silage yield. *Water Air and Soil Pollution*, 236, 449. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08124-6>
- Bartzas, G., Zaharaki, D., Komnitsas, K., 2015. Life cycle assessment of open field and greenhouse cultivation of lettuce and barley. *Information Processing in Agriculture*, 2, 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.10.001>
- Bhargava, S., Sawant, K., 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breed*, 132: 21–32. <https://doi.org/10.1111/pbr.12004>
- Biswas, S.K., Mojid, M.A., Wyseure, G.C.L., 2017. Physicochemical properties of soil under wheat cultivation by irrigation with municipal wastewater in Bangladesh. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253713>
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986a. Particle Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 377-381.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986b. Bulk Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 363-375.

- Bozkurt, S., Mansuroğlu, G.S., Kara, M., Önder, S., 2009. Responses of lettuce to irrigation levels and nitrogen forms. *African Journal of Agricultural Research*, 4(11), 1171-1177.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-Total. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 595-622.
- Brunetto, G., Comin, J.J., Schmitt, D.E., Guardini, R., Mezzari, C.P., Oliveira, B.S., Moraes, M.P., Gatiboni, L.C., Lovato, P.E., Ceretta, C.A., 2012. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *Revista Brasileira do Ciencia Solo*, 36, 10-20. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026>
- Çakmakcı, Ö., Yerli, C., Şahin, Ü., 2024. Kuraklık Koşullarında Bitki Davranışları. *Tarımsal Sürdürülebilirlikte Teknolojik Gelişmeler ve Güncel Yaklaşımlar*, Tüfenkci, Ş., (Ed.). Akademisyen Kitabevi, Ankara, 65-78.
- Çakmakcı, T., 2018. Farklı Yöntemlerle Değişen Seviyelerde Arıtılmış Atık Su Uygulamalarının Silajlık Mısırdaki Su Kullanımı, Bitki ve Toprak Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Caliskan, S., Yetisir, H., Karanlık, S., 2014. Combined use of green manure and farmyard manure allows better nutrition of organic lettuce. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1): 248-254. <https://doi.org/10.15835/nbha4219328>
- Çamoğlu, G., Demirel, K., 2015. Marulda farklı tuz ve potasyum uygulamalarının verim ve bazı fizyo-morfolojik özelliklere etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1): 89-97.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field Capacity and Available Water Capacity. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 901-924.
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M., Akpınar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160, 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- Çelik, Y., 2023. Organik ve inorganik gübrelerin marulun (*Lactuca sativa* L.) verim ve bitki beslenmesi üzerine etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 12(1): 31-40. <https://doi.org/10.29278/azd.1082696>
- Çerez, N.E., 2020. Konya ili sera koşullarında farklı sulama suyu düzeylerinin marul bitkisinin gelişim ve verimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Coşkan, A., Şenyiğit, U., 2018. Farklı sulama suyu düzeyi ve vermikompost dozlarının marul bitkisinin mikro element alımına etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı: 348-356.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L., 1986. Porosity. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 443-460.
- Dessureault-Rompré, J., Caron, J., Plamondon, L., Gaudreau, L., Jutras, S., Lafond, J.A., 2020. Growth and water-use characteristics of Romaine lettuce cultivated in Histosol as affected by irrigation management, compaction, and seeding type. *Canadian Journal of Soil Science*, 100: 278-288. <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0123>

- Ding, W., Meng, L., Yin, Y., Cai, Z., Zheng, X., 2007. CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2): 669-679. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.09.024>
- Dolferus, R., 2014. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Science*, 2229, 247-261. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.10.002>
- Dungan, R.S., Leytem, A.B., Tarkalson, D.D., 2021. Greenhouse gas emissions from an irrigated cropping rotation with dairy manure utilization in a semiarid climate. *Agronomy Journal*, 113(2): 1222-1237. <https://doi.org/10.1002/agj2.20599>
- Elik, N., 2019. Farklı nem içeriklerine sahip topraklarda karbon emisyonu. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Erdal, İ., Yaylacı, C., Türkan, Ş.A., Mejri, R., 2024. Sığır gübresi ve sığır gübresi kaynaklı Bokashi kompostlarının marulun gelişimi ve yaprak SPAD değerlerine etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2): 85-93. <https://doi.org/10.54975/sduzfd.1591463>
- Erguler, D., Okyay, F., Senol, O., Yerli, C., 2024. Effects of farmyard manure and biochar treatments on the development and water use of lettuce under the deficit irrigation regime. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(2): 274-283. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i2.274-283.6662>
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 383-409.
- Geisseler, D., Scow, K.M., 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75: 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>
- Güvenaltın, Y., 2021. Serada yetiştirilen kivi ve baş salata çeşitlerinin verim ve kalitesi üzerine farklı sulama seviyelerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Hamrani, A., Akbarzadeh, A., Madramootoo, C.A., 2020. Machine learning for predicting greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 741(1): 140338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140338>
- Hou, H., Han, Z., Yang, Y., Abudu, S., Cai, H., Li, Z., 2020. Soil CO₂ emissions from summer maize fields under deficit irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4442–4449. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07127-1>
- Ibrahim, Y.M., Buyuktas, D., Karaca, C., 2024. Evaporation and transpiration components of crop evapotranspiration and growth parameters of lettuce grown under greenhouse conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150(5): <https://doi.org/10.1061/JIDEDH.IRENG-10256>
- Islam, Md.S., Ahmed, A., Mahmud, S., Tusher, T.R., Khanom, S., 2012. Effects of organic fertilizer on the growth and yield of blettuce (*Lactuca sativa* L.) used as vegetables. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, 2(3): 116-128.
- Jabbar, H.A., 2025. Effect of irrigation periods and organic fertilization on some soil properties and lettuce production. *Dijlah Journal of Agricultural Sciences*, 3(1): 31-39.
- Jin, X., Wu, F., Wu, Q., Hedēnec, P., Peng, Y., Wang, Z., Yue, K., 2023. Effects of drying-rewetting cycles on the fluxes of soil greenhouse gases. *Heliyon*, 9, e12984. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12984>

- 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.
- Kadayıfci, A., Tuylu, G.I., Ucar, Y., Cakmak B., 2004. Effects of mulch and irrigation water amounts on lettuce's yield, evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in Isparta location, Turkey. Journal of Biological Sciences, 4: 751-755. <https://doi.org/10.3923/jbs.2004.751.755>
- Kanber, R., 2010. Tarla Sulama Sistemleri. ukurova Universitesi, Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 283, Kitap No: A-89, Adana.
- Kanber, R., nl, M., 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. ukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap No: A-87, Adana.
- Kang, C.S., Roh, A.S., Kim, S.K., Park, K.Y., 2011. Effects of the application of livestock manure compost on reducing the chemical fertilizer use for the lettuce cultivation in green house. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 44(3): 457-464. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2011.44.3.457>
- Kappel, N., Boros, I.F., Ravelombola, F.S., Sipos, L., 2021. EC sensitivity of hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) types interms of nitrate accumulation. Agriculture, 11: 315. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040315>
- Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen-Inorganic Forms. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 643–693.
- Keiluweit, M., Wanzek, T., Kleber, M., Nico, P., Fendorf, S., 2017. Anaerobic microsites have an unaccounted role in soil carbon stabilization. Nature communications, 8(1): 1771. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01406-6>
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 425-441.
- Khan, M.T., Aleinikovienė, J., Butkevičienė, L.M., 2024. Innovative organic fertilizers and cover crops: perspectives for sustainable agriculture in the era of climate change and organic agriculture. Agronomy, 14: 2871. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122871>
- Kılıç, B., 2018. Bazı organik gübrelerin marul yetiştiriciliğinde gelişme ve verim üzerine etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Besleme Anabilim Dalı, Antalya.
- Kirnak, H., Taş, I., Gkalp, Z., Karaman, S., 2016. Effects of different irrigation levels on yield of lettuce grown in an unheated greenhouse. Current Trends in Natural Sciences, 5(9): 145-151.
- Klute, A., 1986. Water Retention: Laboratory methods. In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Klute, A. (ed). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 635-660.
- Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 225–245.
- Kuslu, Y., Dursun, A., Sahin, U., Kiziloglu, F., Turan, M., 2008. Short communication. Effect of deficit irrigation on curly lettuce grown under semiarid conditions. Spanish Journal of Agricultural Research, 6(4): 714-719. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008064-367>

- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., Dietz, K.J., 2019. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8: 94. <https://doi.org/10.3390/2Fantiox8040094>
- Leytem, A.B., Moore, A.D., Dungan, R.S., 2019. Greenhouse gas emissions from an irrigated crop rotation utilizing dairy manure. *Soil Science Society of America Journal, Soil Biology & Biochemistry*, 83:137–152. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.06.0216>
- Li, L.J., You, M.Y., Shi, H.A., Ding, X.L., Qiao, Y.F., Han, X.Z., 2013. Soil CO₂ emissions from a cultivated Mollisol: Effects of organic amendments, soil temperature, and moisture. *European Journal of Soil Biology*, 55: 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.12.009>
- Liao, Q., Ding, R., Du, D., Kang, S., Tong, L., Li, S., 2022. Stomatal conductance drives variations of yield and water use of maize under water and nitrogen stress. *Agricultural Water Management*, 268: 107651. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107651>
- Liu, L., Ouyang, Z., Hu, C., Li, J., 2024. Quantifying direct CO₂ emissions from organic manure fertilizer and maize residual roots using ¹³C labeling technique: A field study. *Science of The Total Environment*, 906: 167603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167603>
- Loss, A., Da Rosa Couto, R., Brunetto, G., Da Veiga, M., Toselli, M., Baldi, E., 2019. Animal manure as fertilizer: changes in soil attributes, productivity and food composition. *International Journal of Research - Granthaalayah*, 7(9), 307-331. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i9.2019.615>
- Malejane, D.N., Tinyani, P., Soundy, P., Sultanbawa, Y., Sivakumar, D., 2018. Deficit irrigation improves phenolic content and antioxidant activity in leafy lettuce varieties. *Food Science & Nutrition*, 6(2): 334-341. <https://doi.org/10.1002/fsn3.559>
- Mantovani, J.R., Carrera, M., Moreira, J.L.A., Marques, D.J., Da Silva, A.B., 2017. Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. *Rev. Caatinga, Mossoró*, 30 (4): 825-836. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n402rc>
- Martin-Gorriz, B., Gallego-Elvira, B., Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J.F., 2020. Life cycle assessment of fruit and vegetable production in the Region of Murcia (south-east Spain) and evaluation of impact mitigation practices. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121656. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121656>
- Martins, R.M.V., Nunes, J.C., Aguiar, L.A., Rodrigues, W.P., da Silva, C.A., da Silva Nunes, J.A., da Silva, J.A., 2024. Agricultural management practices for the cultivation of lettuce and jilo. *Caderno Pedagógico*, 21(13): e11937. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-188>
- McLean, E.O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 199–223.
- Meng, Q., Ma, X., Zhang, J., Yu, Z., 2019. The long-term effects of cattle manure application to agricultural soils as a natural-based solution to combat salinization. *Catena*, 175, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.022>
- MGM, 2025. Erzurum İli İklim Verileri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ERZURUM> (06 .05.2025)
- Miguel, J., Gomes, D.C.B.B., Nabais, C.N., 2018. The influence of dosing cattle manure and organic liquid fertilizers towards growth and crop yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) on

- three different soil types. International Journal of Development Research, 8(12): 24604-24611.
- Mohamoud, S.S., 2019. Farklı su stresi koşullarının bazı kıvrıkcık (*Lactuca sativa* var. *erispa*) ve göbekli (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) marul çeşitlerinde verim ve kalite üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Antalya.
- Molina-Montenegro, M.A., Zurita-Silva, A., Oses, R., 2011. Effect of water availability on physiological performance and lettuce crop yield (*Lactuca sativa*). Ciencia E Investigación Agraria, 38(1): 65-74.
- Moreira, M.A., dos Santos, C.A.P., Lucas, A.A.T., Bianchini, F.G., de Souza, I.M., Viégas, P.R.A., 2014. Lettuce production according to different sources of organic matter and soil cover. Agricultural Sciences, 5(2): 99-105. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.52013>
- Mostafa, H.H.A., Hefzy, M., Zahran, M.M.A.A., Refai, E.F.S., 2019. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants to application of compost levels under various irrigation regimes. Middle East Journal of Agriculture Research, 8(2): 662-674.
- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Zorpas, A.A., 2021. The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality? Sci, 3(1), 18. <https://doi.org/10.3390/sci3010018>
- Nelson, D. W., 1982. Carbonate and Gypsum. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 181–196.
- Nelson, D. W., Sommers, L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 539–577.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 403–427.
- Özen, N., 2018. Marul Bitkisinin Verim ve Kalitesi Üzerine Farklı Mineralizasyon Oranlarına Sahip Organik Uygulamaların Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya.
- Öztürk, N.Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 3(5), 307-315. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i5.307-315.307>
- Paudel, K.P., Sukprakarn, S., Sidathani, K., Osotsapar, Y., 2004. Effects of organic manures on production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in reference to chemical fertilizer. Agriculture and Natural Resources, 38(1): 31-37. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/242924>
- Peregrina, F., 2016. Surface soil properties influence carbon oxide pulses after precipitation events in a semiarid vineyard under conventional tillage and cover crops. Pedosphere, 26, 499–509. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60060-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60060-1)
- Pereira, B.de J., Filho, A.B.C., Scale Jr, N.L., 2021. Greenhouse gas emissions and carbon footprint of cucumber, tomato and lettuce production using two cropping systems. Journal of Cleaner Production, 282, 124517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124517>

- Phan, N.T., Kim, K.H., Parker, D., Jean, E.C., Sa, J.H., Cho, C.S., 2012. Effect of beef cattle manure application rate on CH₄ and CO₂ emissions. *Atmospheric Environment*, 63: 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.028>
- 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.
- Plawecki, R., Pirog, R., Montri, A., Hamm, M.W., 2014. Comparative carbon footprint assessment of winter lettuce production in two climatic zones for Midwestern market. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29, 310–318. <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170513000161>
- Rather, A. M., Jabeen, N., Bhat, T. A., Parray, E. A., Hajam, M. A., Wani, M. A., Bhat, I.A., 2018. Effect of organic manures and bio-fertilizers on growth and yield of lettuce. *The Pharma Innovation Journal*, 7(5): 75–77.
- Ray, R. L., Griffin, R. W., Fares, A., Elhassan, A., Awal, R., Woldeesenbet, S., Risch, E., 2020. Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*, 10(1): 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6>
- Ren, F., Zhang, X., Liu, J. Sun, N., Wu, L., Li, Z., Xu, M., 2017. A synthetic analysis of greenhouse gas emissions from manure amended agricultural soils in China. *Scientific Reports*, 7: 812. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07793-6>
- Rhoades, J.D., 1982. Soluble Salts. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (eds). Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc of Amer., Madison, WI, 167–178.
- Sahin U., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M., Cakmakci, T., 2016. Growth, yield, water use and crop quality responses of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region of high altitude. *Journal of Applied Horticulture*, 18(3): 195-202.
- Sahin, O., Yagcioglu, K.D., Kadioglu, Y.K., Gunes, A., 2024. Evaluating ecological nano-calcium from eggshells: effects on calcium nutrition and oxidative stress in lettuce under saline and boron toxicity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43: 4416–4425. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11407-7>
- Şahin, G.T., Kandemir, D., Balkaya, A., Karaağaç, O., Sarıbaş, Ş., 2022. Sonbahar dönemi yetiştiriciliğinde kıvrıkcık (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) ve yedikule (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) tipi marul çeşitlerinin vejetatif büyüme düzeylerinin incelenmesi. *BAHÇE*, 51(1): 1-10. <https://doi.org/10.53471/bahce.1067643>
- Samancıoğlu, A., 2016. Effects of bacteria applications on water use efficiency, plant growth, yield and quality of cabbage grown under different irrigation levels. (Ph.D. Thesis). Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erzurum.
- Selçuk, M.E., Çakıcı, H., 2022. The effect of microbial fertilizer (*Bacillus* spp) and farmyard manure applications on the nutritional status and yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L.) in limy alkaline soils. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(3): 471–481. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6970504>
- Şenyiğit, U., Kaplan, D., 2013. Impact of different irrigation water levels on yield and some quality parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* cv.) under unheated greenhouse condition. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich (Infrastructure and Ecology of Rural Areas)*, 2/IV: 97-107.
- Simanský, V., Jonczak, J., Horváthová, J., Igaz., D., Aydın, E., Kováčik, P., 2022. Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime

- of sandy soils? Soil and Tillage Research, 215: 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>
- Suwara, I., Pawlak-Zareba, K., Gozdowski, D., Perzanowska, A., 2016. Physical properties of soil after 54 years of long-term fertilization and crop rotation. Plant, Soil and Environment, 62(9): 389–394. <https://doi.org/10.17221/151/2016-PSE>
- TAGEM, 2017. Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tahboub A.B., Abu-Zahra, T.R., Al-Abbadi, A.A., 2010. Chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa*) grown in soils amended with different sources of animal manure to simulate organic farming conditions. Journal of Food, Agriculture & Environment, 8 (3-4): 736-740.
- Tang, C., Yang, F., Antonietti, M., 2022. Carbon materials advancing microorganisms in driving soil organic carbon regulation. Research, 2022: 9857374. <https://doi.org/10.34133/2022/9857374>
- Tang, J., Wang, J., Li, Z., Wang, S., Qu, Y., 2018. Effects of irrigation regime and nitrogen fertilizer management on CH₄, N₂O and CO₂ emissions from saline-alkaline paddy fields in Northeast China. Sustainability, 10: 475. <https://doi.org/10.3390/su10020475>
- Toonsiri, P., Del Grosso, S.J., Sukor, A., Davis, J.G., 2016. Greenhouse gas emissions from solid and liquid organic fertilizers applied to lettuce. Journal of Environmental Quality, 45: 1812–1821. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.12.0623>
- Tuğa, H., Üzal, Ö., Yaşar, F., 2021. Bazı organik materyallerin kıvrıkcık yaprak salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*)’ da verim ve bitki besin elementi içeriklerine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 24(3): 495-504. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.728899>
- Üçok, Z., Demir, H., Sönmez, İ., Polat, E., 2019. Farklı organik gübre uygulamalarının kıvrıkcık salatada (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) verim, kalite ve bitki besin elementi içeriklerine etkileri. Mediterranean Agricultural Sciences, 32: 63-68. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.559120>
- Ullah, I., Rahman, J., Khan, S., Ahmad, I., Amin, N.U., Sajid, M., Habib, N., Alam, M., Faisal, S., E-Ahad, F., 2017. Influence of organic manure on growth and yield of lettuce cultivars. International Journal of Agricultural and Environmental Research, 3(4): 423-438.
- Vella, A., Sacco, A.T., 2022. The effect of poultry, cattle and swine manure applications to soil on lettuce yield and quality and ground water contamination potential. International Journal of Agriculture and Environmental Research, 8(2): 194-208.
- 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.
- Ye, X., Liu, H., Zhang, X., Ma, J., Han, B., Li, W., Zou, H., Zhang, Y., Lin, X., 2020. Impacts of irrigation methods on greenhouse gas emissions/absorptions from vegetable soils. Journal Soils and Sediments, 20: 723–733. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02422-3>
- 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., 2023. Influences of farmyard manure and its biochars prepared at different temperatures on soil properties and soil enzymes and CO₂ emission from soil under irrigation conditions with treated wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(1): 59. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06085-2>
- Yerli, C., Cakmakci, T., Sahin, U., 2023a. Soil CO₂ emission linearly increases with organic matter added using stabilized sewage sludge under recycled wastewater irrigation conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234, 56. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06069-2>
- Yerli, C., Sahin, U., Oztas, T., 2022. CO₂ emission from soil in silage maize irrigated with wastewater under deficit irrigation in direct sowing practice. *Agricultural Water Management*, 271: 107791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107791>
- Yerli, C., Sahin, U., 2021. Effect of different manure applications and wetting-drying cycles on CO₂ emissions from soil. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(9): 1513-1520.
- Yerli, C., Sahin, U., 2023. CO₂ release from a soil with improved organic matter content with farmyard manure and biochar under the irrigation conditions with different water sources. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(3): 522-531. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i3.522-531.6008>
- Yerli, C., Sahin, U., Oztas, T., 2022. CO₂ emission from soil in silage maize irrigated with wastewater under deficit irrigation in direct sowing practice. *Agricultural Water Management*, 271, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107791>
- Yildirim, E., Ekinci, M., Sahin, U., Ors, S., Turan, M., Demir, İ., Dursun, A., Kotan R., 2021. Improved water productivity in summer squash under water deficit with PGPR and synthetic methyl amine applications. *Rhizosphere*, 20, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100446>
- Yıldırım, M., Bahar, E., Demirel, K., 2015. The effects of different irrigation levels on the yield and physical properties of lettuce cultivars (*Lactuca sativa* var.campania). *COMU Journal of Agricultural Faculty*, 3(1): 29-34.
- Zandvakili, O.R., Barker, A.V., Hashemi, M., Etemadi, F., 2019. Biomass and nutrient concentration of lettuce grown with organic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 42(5): 444-457. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567778>
- Zhai, L.M., Liu, H.B., Zhang, J.Z., Huang, J., Wang, B.R., 2011. Long-term application of organic manure and mineral fertilizer on N₂O and CO₂ emissions in a red soil from cultivated maize-wheat rotation in China. *Agricultural Sciences in China*, 10(11): 1748-1757. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60174-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60174-0)
- Zornoza, R., Rosales, R.M., Acosta, J.A., de la Rosa, J.M., Arcenegui, V., Faz, Á., Pastor, A.P., 2016. Efficient irrigation management can contribute to reduce soil CO₂ emissions in agriculture. *Geoderma*, 263: 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.003>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Galad Barre YUSUF
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Beledweyne Secondary School
Lisans:	Zamzam University of Science and Technology
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce: B2	