



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI SULAMA SEVİYELERİNDE BİYOGAZ BULAMACI VE KİMYASAL
GÜBRE UYGULAMALARININ PAMUK BİTKİSİNİN (GOSSYPIUM HIRSUTUM
L.) FİZYOLOJİSİ, BİYOKİMYASI, VERİM PARAMETRELERİ VE TOPRAK
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Suat CUN
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA
2026**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI SULAMA SEVİYELERİNDE BİYOGAZ BULAMACI VE KİMYASAL
GÜBRE UYGULAMALARININ PAMUK BİTKİSİNİN (GOSSYPIUM HIRSUTUM
L.) FİZYOLOJİSİ, BİYOKİMYASI, VERİM PARAMETRELERİ VE TOPRAK
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Suat CUN
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Vedat BEYYAVAŞ
2. DANIŞMAN: Doç. Dr. Cevher İlhan CEVHERİ**

**ŞANLIURFA
2026**

TEŐEKKÖR

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle çalışmama katkı sağlayan, bana değerli bilgi, rehberlik ve desteğini gösteren danışmanlarım Prof. Dr. Vedat BEYYAVAŞ ve Doç. Dr. Cevher İlhan CEVHERİ'ye akademik gelişimime önemli katkılarda bulunan ve bana bilimsel anlamda vizyon kazandıran değerli hocalarım Prof. Dr. Erdal SAKİN ve Dr. Öğr. Ü. Emrah RAMAZANOğLU'na, çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Ü Sabri AKIN'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, çalışma süresince desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Hakan YILDIRIM ve Zemzem FIRAT'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR	viii
SİMGELER.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1. Sulama Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar	7
2.2. Biyogaz Bulamacı Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar	10
2.3. Kimyasal Gübre Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	15
3. GEREÇ ve YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Deneme alanına ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri	19
3.1.3. Çalışmada kullanılan pamuk tohum çeşidi ve özellikleri.....	20
3.1.4. Çalışmada kullanılan gübre miktarları ve gübrelerin uygulanması.....	20
3.1.5. Sulama konuları.....	20
3.2. Yöntem	22
3.2.1. Deneme deseni	22
3.2.2. Kültürel uygulamalar.....	23
3.2.2.1. Toprak hazırlığı	23
3.2.2.2. Ekim işlemi	23
3.2.2.3. Bakım işlemi	24
3.2.3. Sulama hesaplamaları.....	24
3.2.4. Su ve sulama suyu kullanım etkinliği	26
3.2.5. İncelenen toprak parametreleri.....	26
3.2.5.1. Toprak reaksiyonu (pH).....	26
3.2.5.2. Elektriksel iletkenlik (EC, dS/m)	26
3.2.5.3. Kireç (CaCO ₃ , %)	27
3.2.5.4. Amonyum (NH ₄ ⁺) tayini (mg/N/kg/toprak)	27
3.2.5.5. Nitrat (NO ₃ ⁻) tayini (mg/N/kg/toprak)	27
3.2.5.6. CO ₂ emisyonu (g/m ² /hafta)	28
3.2.5.7. Katalaz enzim aktivitesi (ml O ₂ /g kuru toprak/dk)	28
3.2.5.8. Üreaz enzim aktivitesi (µg N/g kuru toprak/saat)	28
3.2.5.9. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (µg TPF/g kuru toprak/24 saat)	28
3.2.6. İncelenen bitki parametreleri.....	28
3.2.6.1. Bitki boyu (cm)	28
3.2.6.2. Boğum sayısı (adet/bitki)	29
3.2.6.3. SPAD değeri	29
3.2.6.4. Yaş ve kuru madde birikimi parametrelerinin incelenmesi.....	29
3.2.6.5. Yaprakta makro ve mikro besin elementlerinin tayini.....	29
3.2.7. Hasat döneminde incelenen özellikler.....	29
3.2.7.1. Kütlü pamuk verimi (kg/da)	29

3.2.7.2. Koza sayısı (adet/bitki).....	29
3.2.7.3. Koza ağırlığı (g)	29
3.2.7.4. Koza kütlü ağırlığı (g)	30
3.2.7.5. Çırcır randımanı (%)	30
3.2.7.6. 100 Tohum ağırlığı (g)	30
3.2.7.7. Lif kopma dayanıklılığı (g/tex).....	30
3.2.7.8. Lif inceliği (micronaire).....	30
3.2.7.9. Lif uzunluğu (mm)	30
3.2.8. Verilerin değerlendirilmesi.....	30
3.2.9. Deneme sürecinde elde edilen görüntüleme sonuçlarına ilişkin görseller	31
4. BULGULAR	33
4.1. Araştırma Bulguları.....	33
4.1.1. Sulama konularına ilişkin bulgular.....	33
4.1.2. Toprak kimyasal özellikleri, enzim aktiviteleri, azot formları ve CO ₂ emisyonuna ilişkin bulgular	34
4.1.2.1. Toprak reaksiyonu (pH).....	34
4.1.2.2. Elektriksel iletkenlik (dS/m)	36
4.1.2.3. Kireç (CaCO ₃) içeriği (%).....	38
4.1.2.4. Amonyum (NH ₄ ⁺) içeriği (mg N/kg/toprak).....	40
4.1.2.5. Nitrat (NO ₃ ⁻) içeriği (mg N/kg/toprak)	42
4.1.2.6. Katalaz (CAT) enzim aktivitesi (ml O ₂ /g/kuru toprak/dk).....	44
4.1.2.7. Üreaz enzim aktivitesi (µg N/g/kuru toprak/saat)	46
4.1.2.8. Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi (µg TPF/g/kuru toprak/24 sa)	48
4.1.2.9. Karbondioksit (CO ₂) emisyonu (g/m ² /hafta)	50
4.1.3. Uygulamaların Bitki Gelişimi ve Büyüme Parametrelerine ilişkin Bulgular ..	51
4.1.3.1. Bitki boyu (cm).....	51
4.1.3.2. Boğum Sayısı (adet/bitki).....	57
4.1.3.3. Bitki Yaş Ağırlığı (g)	63
4.1.3.4. Bitki Kuru Ağırlığı (g).....	69
4.1.3.5. SPAD Değeri	75
4.1.4. Yaprakta Makro ve Mikro Besin Elementlerinin Uygulamalara Bağlı Değişimine İlişkin Bulgular	77
4.1.4.1. Yaprakta azot (N) içeriği (%)	77
4.1.4.2. Alüminyum (Al) içeriği (mg/kg).....	78
4.1.4.3. Bor (B) içeriği (mg/kg)	81
4.1.4.4. Kalsiyum (Ca) içeriği (mg/kg)	82
4.1.4.5. Bakır (Cu) içeriği (mg/kg).....	85
4.1.4.6. Demir (Fe) içeriği (mg/kg)	86
4.1.4.7. Potasyum (K) içeriği (mg/kg).....	89
4.1.4.8. Magnezyum (Mg) içeriği (mg/kg).....	91
4.1.4.9. Mangan (Mn) içeriği (mg/kg).....	92
4.1.4.10. Sodyum (Na) içeriği (mg/kg)	94
4.1.4.11. Silisyum (Si) içeriği (mg/kg).....	96
4.1.5. Farklı Uygulamaların Pamuk Verim Bileşenleri Üzerine Bulguların Değerlendirilmesi	99

4.1.5.1. Koza sayısı (adet/bitki).....	99
4.1.5.2. Koza ağırlığı (g)	100
4.1.5.3. Koza kütlü ağırlığı (g)	102
4.1.5.4. Çırçır randımanı (%)	105
4.1.5.5. 100 tohum ağırlığı (g).....	107
4.1.5.6. Kütlü pamuk verimi (kg/da)	108
4.1.6. Pamuk Lifine Ait Fiziksel Kalite Özelliklerine İlişkin Bulgular	111
4.1.6.1. Lif kopma dayanıklılığı (g/tex).....	111
4.1.6.2. Lif inceliği (Micronaire).....	112
4.1.6.3. Lif uzunluğu (mm)	114
5. TARTIŞMA.....	117
5.1. Sulama Konularının Üzerine Bulguların Tartışılması.....	117
5.2. Toprak Kimyasal Özellikleri, Enzim Aktiviteleri ve Azot Dönüşümleri Üzerine Bulguların Tartışılması	118
5.3. Uygulamaların Bitki Gelişimi ve Büyüme Parametreleri Üzerine Dönemsel Etkilerin Tartışılması.....	123
5.4. Yaprakta Makro ve Mikro Besin Elementlerinin uygulamalara Bağlı Değişimi .	128
5.5. Pamukta Verim Bileşenlerinin Uygulamalara Bağlı Olarak Değerlendirilmesi...	129
5.6. Pamuk Lifine Ait Fiziksel Kalite Özelliklerine İlişkin Bulguların Tartışılması ..	132
6. SONUÇLAR	134
7. ÖNERİLER	136
KAYNAKLAR.....	137
ÖZ GEÇMİŞ	155

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI SULAMA SEVİYELERİNDE BİYOGAZ BULAMACI VE KİMYASAL GÜBRE UYGULAMALARININ PAMUK BİTKİSİNİN (*GOSSYPIUM HIRSUTUM* L.) FİZYOLOJİSİ, BİYOKİMYASI, VERİM PARAMETRELERİ VE TOPRAK KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Suat CUN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vedat BEYYAVAŞ

2. Danışman: Doç. Dr. Cevher İlhan CEVHERİ

Yıl: 2026, Sayfa: 155

Bu çalışma, 2024 ve 2025 yıllarında Şanlıurfa koşullarında farklı sulama seviyeleri (I_1 , I_2 , I_3) ile gübreleme uygulamalarının (Kontrol, Kimyasal-N, Biyogaz Bulamacı-B) pamukta toprak özellikleri, bitki gelişimi, besin elementi içerikleri, verim ve lif kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, tesadüf blokları bölünmüş parseller desenine göre kurulmuş ve Fiona pamuk çeşidi kullanılmıştır. Deneme yıllarına ait iklimsel farklılıklar ile sulama ve gübreleme etkileşimleri, incelenen parametreler üzerinde belirleyici olmuştur. Toprak pH'ı uygulamalardan etkilenmezken, EC değerleri özellikle ilk yılda sulama ve gübre etkileşiminden önemli düzeyde etkilenmiş ve en yüksek değer I_1 *N uygulamasında belirlenmiştir. Toprak kireç içeriği her iki yılda da I_2 *B uygulamalarında artmıştır. Toprak azot formlarında, NH_4^+ ve NO_3^- içerikleri bakımından en yüksek değerler her iki yılda I_2 *B uygulamasında görülmüştür. Toprak biyolojik aktivitesinin göstergeleri olan katalaz ve üreaz enzim aktiviteleri çalışmanın her iki yılında da I_2 *B ve I_3 *B uygulamalarında artış göstermiştir. Dehidrogenaz enzim aktivitesi birinci yıl I_1 *N, ikinci yıl ise I_1 *B etkileşiminde değişkenlik göstermiştir. Bitki gelişimi bakımından, bitki boyu sulama düzeyinin artmasıyla yükselmiş ve en yüksek değerler kimyasal gübre uygulamalarında elde edilmiştir. Biyokütle parametrelerinde erken dönemde I_2 *B, ileri dönemde ise I_3 *N etkileşimi etkili olmuştur. SPAD değeri her iki yılda da en yüksek I_2 *N etkileşiminde belirlenmiştir. Bitki besin elementi içerikleri incelendiğinde, N, B, Mn ve Na konsantrasyonları I_2 *N'de; Al, Ca, Cu, K, Mg, Fe ve Si konsantrasyonları ise I_3 *B etkileşiminde en yüksek değerleri göstermiştir. Verim bileşenlerinde en yüksek koza sayısı I_2 *B ve I_3 *N, koza ağırlığı ise I_3 *B uygulamalarında belirlenmiştir. Kütlü pamuk verimi her iki yılda da en yüksek I_2 *N etkileşiminde elde edilmiştir (2024: 543,97 kg/da; 2025: 574,00 kg/da). Buna karşın, lif kalite özellikleri uygulamalardan önemli düzeyde etkilenmemiştir. Sonuç olarak, sulama düzeyleri ile farklı gübre uygulamaları pamukta toprak özellikleri, bitki gelişimi ve verim üzerinde belirleyici olmuş; özellikle uygun su ve besin yönetiminin birlikte uygulanması üretim performansını artırmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pamuk yetiştiriciliğinde sulama ve gübreleme stratejilerinin entegre biçimde planlanmasının hem verim hem de toprak özelliklerinin sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Sulama, Verim, Kimyasal gübre, Biyogaz bulamacı, Pamuk

ABSTRACT

PHD THESIS

EFFECTS OF BIOGAS SLURRY AND CHEMICAL FERTILIZER APPLICATIONS UNDER DIFFERENT IRRIGATION LEVELS ON THE PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY, YIELD PARAMETERS, AND SOIL QUALITY OF COTTON (GOSSYPIUM HIRSUTUM L.)

Suat CUN

HARRAN UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL
DEPARTMENT OF FIELD CROPS

Thesis Advisor: Prof. Vedat BEYYAVAŞ

2. Thesis Advisor: Assoc. Prof. Cevher İlhan CEVHERİ

Year: 2026, Page: 155

This study was conducted under the conditions of Şanlıurfa during the 2024 and 2025 growing seasons to determine the effects of different irrigation levels (I_1 , I_2 , I_3) and fertilization practices (Control-C, Chemical-N, Biogas Slurry-B) on soil properties, plant growth, nutrient element contents, yield, and fiber quality in cotton. The experiment was established according to a randomized complete block design with a split-plot arrangement, and the Fiona cotton cultivar was used. Soil pH was not affected by treatments, whereas EC values were significantly influenced by irrigation*fertilization interaction, especially in the first year, with the highest value in I_1 *N. Soil CaCO_3 content increased in I_2 *B treatments in both years. Regarding soil nitrogen forms, the highest NH_4^+ and NO_3^- contents were observed in the I_2 *B treatment in both years. Catalase and urease enzyme activities, which are indicators of soil biological activity, increased under the I_2 *B and I_3 *B treatments in both years of the study. Dehydrogenase enzyme activity varied depending on the interaction, being highest in I_1 *N in the first year and in I_1 *B in the second year. In terms of plant growth, plant height increased with increasing irrigation levels, and the highest values were obtained under chemical fertilization. For biomass, I_2 *B was effective at early stages, while I_3 *N was more effective at later stages. SPAD values were highest in I_2 *N in both years. Regarding nutrient contents, N, B, Mn, and Na were highest in I_2 *N, whereas Al, Ca, Cu, K, Mg, Fe, and Si were highest in I_3 *B. Regarding yield components, the highest boll number was obtained in I_2 *B and I_3 *N treatments, while the highest boll weight was recorded in the I_3 *B treatment. Seed cotton yield was highest in the I_2 *N interaction in both years (2024: 543,97 kg/da; 2025: 574,00 kg/da). In contrast, fiber quality traits were not significantly affected by the treatments. In conclusion, irrigation levels and fertilization practices significantly influenced soil properties, plant growth, and cotton yield, with the combined application of proper water and nutrient management improving production performance. The findings highlight that integrated irrigation and fertilization strategies are crucial for both yield and soil sustainability in cotton cultivation.

KEYWORDS: Irrigation, Yield, Chemical fertilizer, Biogas slurry, Cotton

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Deneme alanına ait toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
Çizelge 3.2.	Şanlıurfa iline ait 2024 ve 2025 yılları iklim verileri	19
Çizelge 3.3.	Denemede kullanılan biyogaz bulamacının bazı kimyasal özellikleri	20
Çizelge 3.4.	Araştırma alanında kullanılacak olan sulama suyunun kalite analiz sonuçları	21
Çizelge 4.1.	Araştırmada pamuk bitkisinin sulama suyu, bitki su tüketim ve su verimliliği sonuçları	33
Çizelge 4.2.	Toprakta pH değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	34
Çizelge 4.3.	Toprakta pH değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	34
Çizelge 4.4.	Toprakta elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	36
Çizelge 4.5.	Toprakta elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	36
Çizelge 4.6.	Toprakta CaCO_3 değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları . .	38
Çizelge 4.7.	Toprakta CaCO_3 değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	38
Çizelge 4.8.	Toprakta amonyum (NH_4^+) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	40
Çizelge 4.9.	Toprakta amonyum (NH_4^+) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	40
Çizelge 4.10.	Toprakta nitrat (NO_3^-) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	42
Çizelge 4.11.	Toprakta nitrat (NO_3^-) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	42
Çizelge 4.12.	Toprakta katalaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	44
Çizelge 4.13.	Toprakta katalaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	44
Çizelge 4.14.	Toprakta üreaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	46
Çizelge 4.15.	Toprakta üreaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	46
Çizelge 4.16.	Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	48
Çizelge 4.17.	Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	48
Çizelge 4.18.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları	51
Çizelge 4.19.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri . . .	53
Çizelge 4.20.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları	54
Çizelge 4.21.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri . . .	56

Çizelge 4.22.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları . . .	57
Çizelge 4.23.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	59
Çizelge 4.24.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları . . .	60
Çizelge 4.25.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	62
Çizelge 4.26.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki bitki yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları .	63
Çizelge 4.27.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki yaş ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	65
Çizelge 4.28.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki bitki yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları .	66
Çizelge 4.29.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki yaş ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	68
Çizelge 4.30.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları . . .	69
Çizelge 4.31.	2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	71
Çizelge 4.32.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları . . .	72
Çizelge 4.33.	2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri	74
Çizelge 4.34.	Pamuk bitkisi SPAD değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	75
Çizelge 4.35.	Bitki SPAD değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	76
Çizelge 4.36.	Pamuk bitkisinde yaprak azot (%N) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	77
Çizelge 4.37.	Pamuk bitkisinde yaprakta azot (%N) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	77
Çizelge 4.38.	Pamuk bitkisi yapraklarında alüminyum (Al) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	79
Çizelge 4.39.	Pamuk bitkisi yapraklarında alüminyum (Al) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	79
Çizelge 4.40.	Pamuk bitkisinde yaprak bor (B) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	81
Çizelge 4.41.	Pamuk bitkisi yapraklarında bor (B) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	81
Çizelge 4.42.	Pamuk bitkisinde yaprak kalsiyum (Ca) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	83
Çizelge 4.43.	Pamuk bitkisi yapraklarında kalsiyum (Ca) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	83
Çizelge 4.44.	Pamuk bitkisi yapraklarında bakır (Cu) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	85

Çizelge 4.45.	Pamuk bitkisi yapraklarında bakır (Cu) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	85
Çizelge 4.46.	Pamuk bitkisi yapraklarında demir (Fe) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	87
Çizelge 4.47.	Pamuk bitkisi yapraklarında demir (Fe) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	87
Çizelge 4.48.	Pamuk bitkisi yapraklarında potasyum (K) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	89
Çizelge 4.49.	Pamuk bitkisi yapraklarında potasyum (K) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	89
Çizelge 4.50.	Pamuk bitkisi yapraklarında magnezyum (Mg) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	91
Çizelge 4.51.	Pamuk bitkisi yapraklarında magnezyum (Mg) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	91
Çizelge 4.52.	Pamuk bitkisi yapraklarında mangan (Mn) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	93
Çizelge 4.53.	Pamuk bitkisi yapraklarında mangan (Mn) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	93
Çizelge 4.54.	Pamuk bitkisi yapraklarında sodyum (Na) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	94
Çizelge 4.55.	Pamuk bitkisi yapraklarında sodyum (Na) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	95
Çizelge 4.56.	Pamuk bitkisi yapraklarında silisyum (Si) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	97
Çizelge 4.57.	Pamuk bitkisi yapraklarında silisyum (Si) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	97
Çizelge 4.58.	Pamuk bitkisinde koza sayısı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	99
Çizelge 4.59.	Pamuk bitkisinde koza sayısı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	99
Çizelge 4.60.	Pamuk bitkisinde koza ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	100
Çizelge 4.61.	Pamuk bitkisinde koza ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	101
Çizelge 4.62.	Pamuk bitkisinde koza kütlü ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	103
Çizelge 4.63.	Pamuk bitkisinde koza kütlü ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	103
Çizelge 4.64.	Pamuk bitkisinde çırcır randımanı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	105
Çizelge 4.65.	Pamuk bitkisinde çırcır randımanı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	105
Çizelge 4.66.	Pamuk bitkisinde 100 tohum ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	107

Çizelge 4.67.	Pamuk bitkisinde 100 tohum ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	107
Çizelge 4.68.	Pamuk bitkisinde kütlü pamuk verimi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	109
Çizelge 4.69.	Pamuk bitkisinde kütlü pamuk verimi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	109
Çizelge 4.70.	Pamuk bitkisinde lif kopma dayanıklılığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	111
Çizelge 4.71.	Pamuk bitkisinde lif kopma dayanıklılığına ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	111
Çizelge 4.72.	Pamuk bitkisinde lif inceliği değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	113
Çizelge 4.73.	Pamuk bitkisinde lif inceliğine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	113
Çizelge 4.74.	Pamuk bitkisinde lif uzunluğu değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	115
Çizelge 4.75.	Pamuk bitkisinde lif uzunluğuna ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Araştırmada kullanılan sulama materyali (class A pan)	22
Şekil 3.2.	Uygulamaların parseller içindeki dağılımını gösteren şematik deneme planı	23
Şekil 3.3.	Biyogaz bulamacı merkezi ve takviye işlemine ait görseller . . .	31
Şekil 3.4.	Biyogaz bulamacının deneme alanına taşınması ve uygulanması-na ait görseller	31
Şekil 3.5.	Pamuk denemesine ait konum bilgisi ve parsellerin drone ile yukarıdan görünümü	31
Şekil 3.6.	Çalışmada sulama ve gübre uygulamalarının bitki üzerindeki etkisi	32
Şekil 3.7.	Deneme parsellerinde yüzey sıcaklığı dağılımını gösteren termal kamera görüntüleri	32
Şekil 4.1.	Sulama ve gübre uygulamalarının toprakta CO ₂ emisyonuna etkisi	50

KISALTMALAR

TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ICAC	Uluslararası Pamuk Danışma Komitesi
TOB	Tarım ve Orman Bakanlığı
WUE	Su kullanım verimliliği
IWUE	Sulama suyu kullanım etkinliği
DAP	Diamonyum fosfat
SPAD	Klorofil içeriği ölçüm indeksi
NDVI	Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi
SWAP	Toprak-su-atmosfer-bitki modeli
MBN	Mikrobiyal biyokütle azotu
SOM	Toprak organik maddesi

SİMGELER

%	Yüzde
ha	Hektar
kg	Kilogram
da	Dekar
mm	Milimetre
dS/m	Desisiemens metre
atm	Atmosfer
cm	Santimetre
ml	Mililitre
g	Gram
mg	Miligram
l	Litre

1. GİRİŞ

Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.), doğal elyafın ana kaynağı olması ve dünyada tekstil üretiminde kullanılan tüm elyafın %35'inden sorumlu olması nedeniyle dünya çapında en önemli ürünlerden biridir (Gündüz vd., 2020; Maryum vd., 2022). Kütlü şeklinde tarladan alınan pamuk bitkisi, başta lifinin tekstil ve hazır giyim alanlarında hammadde olarak kullanılmasının yanı sıra çiğit olarak bilinen tohumuyla da yağ sanayisinde, küspesiyle de yem sanayisinde ve daha birçok alanlarında kullanılmaktadır (Özüdoğru, 2021).

Pamuk yetiştiriciliği ağırlıklı olarak dünyanın yarı kurak ve subtropikal bölgelerinde yapılan ve bu bölgelerde sıklıkla şiddetli kuraklık koşulları görülmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 80 ülkede üretilen pamuğun %80'inden fazlası Türkiye'nin de aralarında bulunduğu on ülkede üretilmektedir. Dünyada ilk on pamuk üreticisi ülke Çin, Hindistan, ABD, Brezilya, Avustralya, Türkiye, Pakistan, Özbekistan, Arjantin ve Mali'dir (Statistico, 2024). Pamuk Danışma Kurulu (ICAC)'nın 2023/2024 döneminde dünya lif pamuk üretimine bakıldığında ilk 10 ülke toplam dünya üretiminin yaklaşık %87,5'ini karşılamaktadır. Türkiye üretiminin dünya üretimine katkısı yaklaşık %2,8'dir (ICAC, 2024).

Türkiye dünya pamuk üretiminde öne çıkan ülkelerden birisidir. TÜİK'in 2025 yılı Bitkisel Üretim 1. Tahmini'ne göre 2024/2025 sezonunda Türkiye'de 467 bin ha alanda 2,2 milyon ton kütlü pamuk üretimi gerçekleştirilmiş olup eşdeğeri 830 bin ton lif pamuk üretilmiştir (TÜİK, 2025). Türkiye'de pamuk üretimi, 2024/2025 üretim sezonunda 23 ilde yapılmış olup, bu üretimin yaklaşık %87,9'u Şanlıurfa, Diyarbakır, Aydın, Hatay, İzmir ve Manisa illeri karşılamaktadır. Bu iller sırasıyla pamuk üretiminin Şanlıurfa %41,1, Diyarbakır %17,3, Aydın %11, Hatay %7,8, İzmir %7,1 ve Manisa %3,6'nı sağlamaktadır (TOB, 2024).

Üretimin en fazla yapıldığı şehirlerimizin başında olan Şanlıurfa, ülkemizin dünyanın önemli pamuk üretici ülkeleri arasında yer almasında büyük pay sahibidir. TÜİK 2023/2024 üretim sezonuna göre, kentte 2 milyon 34 bin 343 dekarlık bir alan üzerinde pamuk ekimi yapılmış olup, ekim sonucunda 325 bin 979 ton lif pamuk üretimi sağlanmıştır. Bu verilere göre Şanlıurfa gerek ekim alanı gerekse üretim bazında pamuk üretiminin en yoğun yapıldığı şehir olmuştur (TÜİK, 2024).

Pamuk üretiminde büyük bir öneme sahip olan bölgemiz günümüzün önemli problemlerinden biri olan küresel ısınma ve buna bağlı olarak meydana gelen kuraklık, gelecekte ciddi problemleri beraberinde getirecektir. Tahminlere göre, 2080 yılına kadar iklim değişikliği dünya çapında sulama suyu talebinde %20 artışa ve tarımsal üretimde %10 azalmaya neden olacaktır (Esteve vd., 2015; Fischer vd., 2007). Ayrıca, nicel bir iklim değişikliği risk analizinin sonuçlarına göre, iklim değişikliğinden kaynaklanan tarımsal üretim kayıplarının sırasıyla %90, %50 ve %10 güven aralıklarında %69, %57 ve %45 olması beklenmektedir (Elnashar ve Elyamany, 2023). Küresel ısınmaya ilişkin olarak, toplam sera gazı emisyonlarının %14'ü tarımdan kaynaklanmakta ve %52 metan (CH₄), %84 ise nitroz oksit (N₂O) sonucu meydana gelmektedir (Ton, 2012). Tarımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar %40'a çıkacağı tahmin edilmektedir (Smith vd., 2008).

Küresel iklim değişikliği pamuk yetiştiriciliğini olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Pamuğun yeterli verim ve kaliteli elyaf üretebilmesi için belirli bir nem ve sıcaklık seviyesine ihtiyacı vardır. Atmosferdeki artan CO₂ fotosentezi belirli bir seviyeye kadar artırırken, aşırı sıcaklıklar ise tam tersine verimi azaltıcı etkiye sahiptir (Hughes, 2021). Bu aşırı hava koşullarından bazıları aşırı rüzgarlar ve sıcaklıklar, uzun süreli kuraklıklar, aşırı yağışlar, seller ve bunların hepsi pamuk mahsulünün büyümesini ve verimliliğini olumsuz etkileyebilir. Cunneen ve Owain (2021), tarafından yapılan bir araştırmada, iklimsel risklerden en az biri, 2045 ile 2065 yılları arasında küresel ortalama sıcaklık artışının 2,0°C olması senaryosunda, 2040 yılına kadar tüm pamuk yetiştirme alanlarının yarısını ciddi şekilde etkileyecektir. Tahmin edilen sıcaklık artışı ve kuru iklim koşulları nedeniyle su stresi koşulları gelecekte daha da kötüleşebilir (Himanshu vd., 2023). Su eksikliği stresi, özellikle fotosentez, stoma iletkenliği ve terleme olmak üzere bitki fizyolojik süreçlerini olumsuz etkilemekte ve pamuğun su kullanımı farklı büyüme aşamalarında önemli ölçüde değişir (Luo vd., 2016). Bu nedenle, toprak nemi ve yağış mevcudiyeti ve bunların zamansal-mekansal dağılımı pamuk büyümesini ve verimliliğini önemli ölçüde etkileyebilir (Wu vd., 2022). Su stresi koşulları altında, uygun zamanlanmış sulama veya yağış az miktarda bile olsa ürünlerin genel büyümesini ve gelişimini büyük ölçüde artırabilir. Öngörülemeyen su stresi koşulları altında ürün üretimini artırmak için kuraklığa adaptasyonlar ve iyileşme ile ilişkili farklı fizyo-biyokimyasal süreçleri belirlemek gereklidir (Bashir vd., 2021). İklim

değişikliğinin bir sonucu olarak, sıcaklıktaki artış başlangıçta pamuk büyümesini hafifçe artırabilir, ancak optimum durumu aşmak bitkinin termal strese maruz kalmasına neden olur. Hızlanan fenoloji, koza gelişiminin kritik aşamasını kısaltır, daha az ve daha küçük kozalarla meydana getirmekte ve sonuçta verim düşüşüne yol açmaktadır (Celik vd., 2023; Kaplan vd., 2023).

İklim değişikliklerinin sulu pamuk üzerindeki etkilerinin asgari düzeyde olması muhtemel ve yağmurla beslenen pamuğun daha savunmasız olacağı ileri sürülmektedir (Jans vd., 2021). Bu nedenle, pamuk üreticilerinin bu aşırı iklim olaylarına uyum sağlaması kaçınılmazdır. Bu konuda alınabilecek bazı önlemler arasında toprak ve su koruma uygulamaları, yeni geliştirilen çeşitlerin kullanımı, sentetik tarımsal girdilerin azaltılması ve üretimin çeşitlendirilmesi yer almaktadır (Voora vd., 2020). Bu uygulamalar arasında sulama uygulamaları oldukça önemli bir yere sahiptir. Sulama uygulamaları toprak mikrobiyal aktiviteleri ve dolayısıyla CO₂, N₂O ve CH₄ gibi sera gazlarının emisyonu üzerinde önemli rol üstlenmektedir (Sapkota vd., 2020). Bu gazların emisyonunun artması, küresel ısınma nedeniyle kullanılabilir su kaynaklarını azaltabilir. Farklı sulama sistemleri sera gazı emisyonunda önemli farklılıklar gösterir (Wu vd., 2014) ve yetersiz sulamanın bu gazların emisyonunu düşürdüğü bilinmektedir (Gultekin vd., 2023).

Pamuk üretiminde su tüketimini azaltmak için etkili stratejiler geliştirmek için, özellikle sürdürülemez kısma odaklanarak, su tüketimindeki zamansal ve mekansal değişimleri analiz etmek esastır. Verim ve iklim koşullarının yıllık olarak değişerek su tüketimlerini etkilediği iyi bilinse de, bu değişimlerin zaman içinde artıp artmadığını araştırmak ve bu değişimlere neden olan faktörleri belirlemek hayati önem taşımaktadır (Demeke vd., 2024).

Türkiye'deki Harran Ovası, ülkenin toplam pamuk üretiminin %25'ini sağlayan başlıca yetiştirme bölgesidir (Cullu vd., 2022). 1995'te hayata geçirilen büyük sulama projesi olan Güneydoğu Anadolu Projesi, sulama suyu teminindeki artış sayesinde bölgede pamuk üretiminde önemli bir yükseliş sağlamıştır (Aydogdu vd., 2018). Pamuk, Harran Ovası'nda daha fazla suya (damla sulama yöntemiyle 700-800 mm su) ihtiyaç duyan bir bitkidir (Cetin, 2019). Ancak, değişen yağış rejimleri (pamuk yetiştirme mevsimi boyunca hiç yağış

olmaması veya çok az yağış olması) bölgedeki su bulunabilirliğini azaltabilir (Demircan vd., 2017). Bu nedenle Harran ovasında pamuk üretiminin sürdürülebilmesi için sulama suyu kullanım verimliliğini artırmaya yönelik tarımsal uygulamalara ihtiyaç duyulacaktır.

Tükenen su kaynaklarının yerine getirilememesi, su kaynaklarında birikenden daha fazla suyun tüketilmesi zaman içinde üreticilere yeterli suyun verilememesi sonucunu doğuruyor. Bu durumda kısıntılı sulama programlaması ile daha az suyla tarımsal üretimin yapılması bir zorunluluk olarak öne çıkmaktadır. Tarımsal üretimde kullanılan geleneksel kısıntılı sulama, ürün veriminde önemli azalışa sebep olmadan kullanılan suyun miktarını azaltan yaklaşımlardan biridir (Chai vd., 2016). Bu teknik, sulama etkinliğini artırdığı gibi çiftçilerin kazançlarını da artıran bir uygulamadır (Feres ve Soriano, 2007).

Kısıntılı sulama altındaki bitkiler, bir miktar su stresi yaşar ve genellikle tam sulanan bitkilerden daha düşük verime sahiptirler (Satış vd., 2023). Kısıntılı sulama koşulları altında %20-40 arasında sulama suyu tasarrufuna karşılık %10'un altındaki verim azalması gerçekleşebilir (Kögler ve Söffer, 2017). Pek çok bitkide maksimum su verimliliği ya da su kullanım verimliliği (WUE) elde etmek için sulama stratejileri belirlenir. Bu amaçla farklı su uygulamalarına karşı olarak gösterilen ürün tepkileri kullanılmaktadır. Su açığına bitkinin duyarlılığı, iklim koşulları, bitki türleri ve çeşitleri ve tarımsal yönetim uygulamaları gibi birçok faktörden etkilenebilir. Bazı bitkilerde oluşturulan kısıntılı sulama oranlarının verim kaybı ve yüksek sulama suyu kullanım verimliliği ile sonuçlanmadığını (Patanè vd., 2011), ya da bitki verimini olumsuz etkilemeden su tasarrufu sağlandığı görülmüştür (Samperio vd., 2015; Wahed vd., 2017).

Sulama suyunun dengeli ve programlı yapılmasının yanı sıra kimyasal ve organik gübrelerin de dengeli uygulanması, toprak sağlığını iyileştirmek ve verimliliği artırmak için önemli bir tarım uygulaması olarak kabul edilebilir (Singh vd., 2013; Singh ve Ahlawat, 2014; Moyin-Jesu, 2015; Hernandez vd., 2016). Gübreler, ürün veriminde sürekli artış sağlamak için tarımsal üretimde sıklıkla kullanılmaktadır (Guan vd., 2022). Kimyasal gübrelerin uygulanması ürün verimini artırmasına rağmen, uzun yıllar boyunca aşırı gübre uygulaması, yüzey akışı, yıkanma ve buharlaşma yoluyla besin kaybına yol açmaktadır (Chen vd., 2020; Wang vd., 2020). Toprak verimliliğini ve ürün verimini artırmak için kullanılabilecek

organik materyallerden biri biyogaz bulamacıdır (Yu vd., 2010; Alburquerque vd., 2012). Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir (Kiliç, 2007). Geri dönüştürülmüş biyogaz bulamacı, bitki artıkları, hayvan atıkları ve evsel atıkların anaerobik sindirimi sonucu oluşan sıvı bir yan üründür (Jain vd., 2015). Bu yan ürün, biyogaz bulamacı aynı zamanda tarımsal üretimde kullanılabilen çevre dostu bir organik gübredir.

Son zamanlarda, biyogaz bulamacının kullanımı, yüksek besin bileşenleri, çevre dostu olması ve kimyasal gübrelerle göre daha düşük maliyetleri nedeniyle önemli bir gübre türü olarak kabul edilmektedir (Holm-Nielsen vd., 2009; Surendra vd., 2014; D'Imporzano vd., 2018). Bir tür biyogübre olarak, biyogaz bulamacı bol miktarda azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve diğer eser elementler içermektedir. Ayrıca, biyogaz bulamacı yüksek amino asit seviyeleri, büyüme hormonları ve bitki büyümesini destekleyen antibiyotikler nedeniyle biyolojik bir pestisit olarak kullanılabilir (Banik ve Nandi, 2004; Lu vd., 2012; Insam vd., 2015; Sheets vd., 2015; Tan vd., 2016).

Kuru bulamacın daha düşük seviyelerde azot (0,5%'ten az) içerdiği, ıslak bulamacın ise %1,6'dan fazla azotu kolayca erişilebilir besin olarak içerdiği ve fermantasyon sürecine bağlı olarak, kuru maddeden gelen karbon (C) konsantrasyonu azalırken, biyogaz bulamacının amonyum iyonu (NH_4^+) içeriği artmış ve bu da C/N oranının azalmasına neden olduğu belirtilmiştir (Hansen vd., 2006).

Ayrıca, biyogaz bulamacı yaygın kimyasal gübrelerle göre bitkilere daha fazla kolayca erişilebilir azot sağlamaktadır (Möller ve Müller, 2012). Genel olarak, azotun mevcut formları nitrat (NO_3^-), amonyum (NH_4^+) ve kısmen organik maddenin bozunmasından gelen basit yapıli organik maddeler içermesi ve bunların bitkiler tarafından doğrudan emilebilmesi açısından da etkin rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, biyogaz bulamacı bazı mikro besinler, oksimonlar, vitaminler ve humik asit dahil olmak üzere çeşitli besin maddeleri de bünyesinde bulundurması, yalnızca suyu tutmakla kalmayıp toprak verimliliğini, toprak ortamını, gazı ve ısıyı da düzenlemesinin yanı sıra aynı zamanda bitki büyümesi için de faydalı olmasıyla öne çıkmaktadır (Liu vd., 2009; İslam vd., 2010). Bu bakımdan biyogaz bulamacı uygulaması, topraktaki organik madde içeriğini artırabilir ve azot besin maddesini zenginleştirebilir

(Sørensen ve Amato, 2002; Chantigny vd., 2004; Berenguer vd., 2008). Aynı zamanda, farklı derecelerde de olsa, toprağın enzim aktivitelerini artırabilir ve fiziksel özelliklerini iyileştirebilir (Peu vd., 2006; Guerrero vd., 2007), böylece toprak verimliliğinin korunmasına ve toprak ortamındaki su, gübre, gaz ve ısı düzenlemesi açısından etkin bir şekilde rol oynamaktadır (Wu-Di, 2002).

Bu bağlamda, sulama alanlarının tekniğine uygun bir şekilde planlanması ve kullanılması su tasarrufu konusunda ciddi adımlar atılması gerekmektedir. Yüksek tarımsal sulama hedefi, bitki başına kullanılan su kullanım etkinliğinin olası en yüksek düzeye çıkarılması ve bitkisel üretim için en uygun kullanılabileceği su rejiminin belirlenmesi gerekmektedir (Zhang vd., 2008). Öte yandan gerek toprak sağlığı gerek de insan sağlığı açısından çevreye zarar vermeyen organik kaynaklı gübrelerin tercih edilmesi gibi uygulamalara yönelmek bitkiler açısından etkin bir program oluşturma konusunda başarılı bir adım olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı; farklı sulama seviyesi ile oluşan su stresinin toprakta kimyasal ve biyogaz bulamacı uygulamalarının pamuk bitkisinde farklı vejetatif döneminde iyileştirici etkisini fizyolojik, biyokimyasal ve verim-kalite özellikleri ile toprak kalitesi tepkisinin ölçülmesidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Sulama Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar

Kanber (1977), Çukurova bölgesinde yetiştirilen pamuk bitkisi için en uygun sulama programını belirlemeyi hedeflemiş ve araştırmalar sonucunda, bölgenin toprak ve iklim şartları dikkate alınarak pamukta ilk sulamanın ekimden 40-45 gün sonra yapılmasının uygun olduğu; sonraki sulama aralıklarının ise 15 gün olarak planlanması gerektiği ortaya konmuştur. Ayrıca, mevsim boyunca her sulamada pamuk bitkisine ortalama 125 mm sulama suyu verilerek toplamda 5 kez sulama yapılması önerilmiştir.

Karaata (1985), Harran Ovası koşullarında yetiştirilen pamuk bitkisinin mevsimlik su ihtiyacını ve sulama aralıklarını belirlemeyi hedeflemiş ve araştırma sonuçlarına göre pamuk bitkisinin mevsimlik su ihtiyacının 1,325 mm olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Harran Ovası şartlarında sulama aralığının Haziran ayında 10 gün, Temmuz ve Ağustos aylarında ise 8 gün olarak uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Bilgel (1996), Harran Ovası koşullarında gerçekleştirdiği çalışmada, pamuk bitkisi için en uygun sulama zamanını belirlemeyi amaçlamış ve araştırma bulgularına göre pamukta sulama aralığının 10 gün olması gerektiği, ilk sulamanın bitki çıkışından 30–35 gün sonra yapılmasının uygun olduğu; son sulamanın ise %5 koza açımı sonrasında gerçekleştirilmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Alishah ve Ahmedikhah (2009), 2000-2001 yıllarında, İran'da 21 farklı lokasyonda gerçekleştirdikleri araştırmada beş pamuk türünün su stresine karşı verdiği tepkileri incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, pamukta oluşan kuraklık stresinin verim, koza sayısı ve koza ağırlığında azalmaya yol açtığı; buna karşın hasatta erkencilik sağladığı bildirilmiştir.

Ünlü vd. (2011), 2005–2008 yıllarında, Çukurova'da yaptıkları çalışmada dört farklı sulama oranının (%0, %25, %50, %100) pamuk verim özelliklerini yüksek oranda etkilediğini gözlemlemişlerdir. Sulama yapılmadığında (%0) kütlü pamuk veriminin 136,9 kg/da iken, tam sulamada (%100) bu değerin 339,7 kg/da'ye yükseldiği bildirilmiştir. Ayrıca, sulama oranı arttıkça yaprak alan indekslerinin de yükseldiği rapor edilmiştir.

Asadi vd. (2011), 2010 yılında, İran'da yürüttükleri çalışmada pamuk bitkisinde üç farklı sulama dozunu hem yer altı hem de yer üstü damla sulama sistemleriyle uygulayarak verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Denemede kullanılan pan katsayıları %100, %80 ve %60 şeklindedir. Toprak üstünde uygulanan %100 pan katsayısının, toprak altındaki karşılığının %80 olduğu bildirilmiştir. Toprak altı damla sulama sisteminde %80 su dozunun su kullanım etkinliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sistemde %80 su dozu uygulandığında verimde %12, koza ağırlığında %2,6 azalma; ancak koza sayısında %11,2 artış olduğu rapor edilmiştir. %60 su dozu uygulandığında hektar başına 3,200 m³ su tasarrufu sağlanmış, buna karşılık verimde %38, koza sayısında %37 ve koza kütlüsünde %24 oranında azalma meydana gelmiştir. Araştırmada, toprak altı sulamada %80 su dozunun kurak iklim bölgelerinde su tasarrufu sağlarken bitki üzerindeki su kullanım etkinliğini olumlu yönde artırdığı sonucuna varılmıştır.

Hussein vd. (2011), 2007–2008 yıllarında, Suriye'nin Şam güneydoğusunda kısıntılı su uygulanan pamuk bitkisinde oluşturulan su stresinin verim ve verim parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Denemede dört farklı pan katsayısı (%50, %65, %80, %100) kullanılarak sulama yapılmıştır. Araştırma bulgularına göre, kısıtlı sulamanın neden olduğu su stresi hasatta erkenciliğe yol açmış; koza sayısı, bitki boyu ve koza ağırlığında önemli düşüşlere neden olmuştur. Çırcır randımanında ise anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Ayrıca, su stresinin lif uzunluğu ve lif kalitesi parametrelerini azalttığı, ancak uzama katsayısı ve üniformite üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı; mikroner değerinde ise artış yaşandığı rapor edilmiştir.

Kang vd. (2012), 2008–2009 yıllarında, Çin'in Kuzey Batı Bölgesi'nde yürüttükleri çalışmada pamuk bitkisinde toprak matrik potansiyeline göre belirlenen farklı nem düzeylerinin (-50 kPa, -40 kPa, -30 kPa, -20 kPa, -10 kPa) fenolojik özellikler ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kökler aracılığıyla topraktan alınan su miktarı arttıkça kütlü pamuk veriminin ve koza sayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kütlü ve koza ağırlığının toplamının farklı su oranlarına karşı düzensiz tepkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Cave (2013), 2011-2012 yıllarında, Teksas'ta yürütülen çalışmada pamuk çeşitlerinin

dört farklı pan katsayısına (%0, %30, %60, %90) verdikleri tepkileri belirlemeyi amaçlamıştır. İki farklı lokasyonda gerçekleştirilen denemelerde, sulama suyu miktarı arttıkça verimin yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, pan katsayılarının lif uzunluğunu etkilediği ve %90 pan katsayısına göre yapılan sulamalarda en uzun liflerin elde edildiği bildirilmiştir. Sulama oranlarındaki farklılıkların çırçır randımanı üzerinde etkili olmadığı da belirlenmiştir.

Patil vd. (2014), 2009–2010 yıllarında, Hindistan'ın Surat (Gujarat) bölgesinde su stresi ve normal koşullarda 20 pamuk genotipinin verim komponentleri ile verimleri arasındaki farklılıkları ve ilişkileri değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, sulama koşullarında koza sayısı ile kütlü pamuk verimi, hasat indeksi, koza kütlesi ve biyokütle arasında; su stresi koşullarında ise koza sayısı ile pamuk verimi, hasat indeksi, biyokütle, bitki boyu ve nispi nem içeriği arasında önemli ve pozitif ilişkiler tespit edilmiştir.

Zafar ve Azhar (2015), 2015 yılında, Pakistan–Faisalabad üniversitesinde kısıtlı ve normal sulama koşullarında *Gossypium hirsutum* L.'ye ait 49 farklı pamuk hattını serada inceleyerek, bu hatların farklı sulama koşullarına verdikleri tepkileri değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, pamuk hatları arasında belirgin genotipik farklılıklar tespit edilmiştir. Araştırmacılar, su stresi toleransının ölçümünde gövde uzunluğu, kök uzunluğu ve toplam kök ile toprak üstü bitki ağırlıklarının seleksiyon kriteri olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Çoşkun (2015), 2014 yılında, Harran Ovası koşullarında yaptığı çalışmada, farklı lateral aralıkları (70 cm ve 140 cm) ile sulama suyu seviyelerinin (%75, %100, %125, %150) pamuk bitkisinin verim ve verim bileşenlerine etkilerini araştırmıştır. En yüksek verim (616 kg/da), 140 cm lateral aralığında ve %150 pan katsayısına göre sulanan parselden elde edilmiştir. Mevsimlik sulama suyu miktarı 475–951 mm, mevsimlik bitki su tüketimi ise 588–1,033 mm arasında değişmiştir. Araştırmada, sulama suyu miktarı ve mevsimlik su tüketimi ile verim arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır.

Wang vd. (2016), pamukta kısıtlı su uygulamasının oluşturduğu stres koşullarının bitki üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Su stresi altında koza sayısı ve kütlü pamuk ağırlığında azalma gözlenirken, çırçır randımanında su koşullarına bağlı anlamlı bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, stres altındaki pamuk bitkisinde ilk oluşan kozalarda lif uzunluğu ve

dayanıklılığında değişim görülmezken, orta ve üst kozlarda negatif etkiler tespit edilmiştir. Lif inceliği ise yıllara göre farklılık göstermiş; bazı yıllarda su stresi lif inceliğini artırmış, bazı yıllarda ise ters yönde değişim göstermiştir.

Kaya ve Aydın (2017), iklim değişikliği senaryoları ve ileri sürülen görüşler doğrultusunda Akdeniz Havzası'nda öngörülen değişikliklerin topraktaki kullanılabilir nem üzerindeki etkilerini agrohidrolojik bir modelle simüle etmişlerdir. SWAP modelini kullandıkları çalışmada, Aydın bölgesine ait toprak profilleri ve toprak türlerine göre yaz sezonu boyunca oluşabilecek nem senaryolarını oluşturmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, sıcaklık artışlarının toprak buharlaşması ve bitki terlemesinde önemli ölçüde artışa yol açtığını, taban suyu yüksek olan bölgelerde kapiler su hareketliliği ile bitki kök bölgesine su taşınmasının arttığını göstermiştir.

Datta vd. (2019) pamukta toplam mevsimsel su kullanımının, ilk çiçeklenmeye kadar yaklaşık %20'sini, ilk çiçeklenme ile son çiçeklenme arasında %40'ını, son çiçeklenme ile birkaç koza açma arasında %30'unu ve olgunlukta yaklaşık %10'unu oluşturduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, uygun sulama yönetimi uygulanmazsa veya suya duyarlı dönemlerde dikkatli davranılmazsa verim kaybının %50'den fazla olabileceğini vurgulamışlardır.

Üzen vd. (2019), Diyarbakır koşullarında 2016-2017 yıllarında farklı damla sulama sistemleri ve farklı sulama suyu düzeylerinin pamuk bitkisinde bazı kalite göstergeleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, farklı sulama miktarlarının lif uzaması ve olgunluk indeksini artırdığı; farklı damla sulama sistemlerinin ise lif mukavemetini etkilediği ve en yüksek değerlerin yüzey altı damla sulama ile elde edildiği belirtilmiştir.

Orazgylyjov vd. (2023), 2019–2022 yılları arasında, Türkmenistan'nın farklı bölgelerinde yapılan çalışmaların pamukta kullanılan sulama suyu miktarının ve pamuk işleme ile gübreleme ekipmanlarının maliyetini %50'ye kadar azaltabileceğini gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, yüksek yoğunluklu ekim yoluyla pamuk verimini ve su verimliliğini artırmanın ve toprak suyundan daha fazla yararlanmanın mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Biyogaz Bulamacı Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar

Islam vd. (2010), 2007 yılında Bangladeşte yürütülen bir çalışmada, mısır yeminde maksimum büyümenin sağlanabilmesi için biyogaz bulamacının optimum düzeyde (70 kg bulamaç N/ha) uygulanmasını önermişlerdir. Ancak bu seviyenin üzerinde yapılan uygulamaların bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkilere yol açabileceği belirtilmiştir.

Yu vd. (2010), 2008 yılında Çin’de, yoğunlaştırılmış biyogaz bulamacının toprak özellikleri, domates meyve kalitesi ile rizosfer ve rizosfer dışı topraklardaki mikroflora bileşimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir üretim sezonu boyunca tarla denemesi yürütmüşlerdir. Çalışma sonuçları, yoğunlaştırılmış biyogaz bulamacı uygulamasının toprak organik maddesi, kullanılabilir azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) ile toplam N ve P içeriklerini ve elektriksel iletkenliği önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Aynı zamanda domates meyvesindeki amino asit, protein, çözünebilir şeker, β -karoten, tanen ve C vitamini içeriklerinde de belirgin artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca uygulama sonrasında rizosfer/rizosfer dışı (R/S) oranlarının ve topraktaki kültürlenebilir bakteri, aktinomiset ve mantar sayılarının arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, yoğunlaştırılmış biyogaz bulamacı kullanımının domates üretiminde uygulanabilir bir yöntem olduğunu ve sürdürülebilir tarım açısından önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Kowalski vd. (2013), 2011-2012 yıllarında, Polonya’da farklı mevsimler boyunca domuz gübresinden üretilen biyogaz bulamacının besin elementi içeriğini analiz etmişlerdir. İlkbahar mevsiminde azot, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, fosfor ve kuru madde değerlerinin en yüksek olduğunu; kış mevsiminde ise en düşük değerlerin görüldüğünü; potasyum seviyelerinin yıl boyunca sabit kaldığını ve sanitizasyon etkinliğinin besili domuz çiftliklerinde üreme çiftliklerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Du vd. (2018), 2010-2014 yıllarında Çin’de, dört yıllık tarla çalışmasında fıstık kabuğu biyochar’ı ve biyogaz bulamacının toprak özelliklerini iyileştirme konusundaki etkilerini araştırmışlardır. Kombinasyon uygulamasının toprak agregat stabilitesini, organik karbon stoğunu ve besin maddesi mevcudiyetini önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir.

You vd. (2019), 2015–2016 yılları arasında Çin’in Jiangxi eyaletine bağlı Wannian bölgesinde, *Camellia oleifera* yetiştiriciliğinde biyogaz bulamacı uygulamasının meyve ekonomik özellikleri ve toprak besin maddeleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Biyogaz

bulamacı uygulamasının toprak organik madde ile yarayışlı azot ve fosfor içeriklerini önemli ölçüde artırdığını; aynı zamanda meyve kalitesi ve yağ verimini de iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Niyungeko vd. (2020), 91 günlük inkübasyon deneyiyle silt toprak üzerinde yaptıkları çalışmada, 120 ve 240 kg N/ha (38 ve 76 kg P/ha eşdeğeri) biyogaz bulamacı uygulamalarının pH'ı, katyon değişim kapasitesini (CEC), NH_4 -N, NO_3 -N ve Olsen fosforunu artırdığını; asidik fosfomonoesteraz aktivitelerini inhibe ederken alkalın fosfomonoesteraz aktivitelerini artırdığını; ALP aktivitesi ile ortofosfatlar arasında pozitif korelasyon olduğunu saptamışlardır.

Liu vd. (2020), 4 yıl süren saha denemesinde biyogaz bulamacı uygulamasının toprak organik karbonunu artırdığını, toprak enzim aktiviteleri ve mikrobiyal çeşitlilik üzerinde olumlu etkiler sağladığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, uygulamanın toprak besin elementi içeriğini geliştirdiğini ve ürün verimini artırdığını belirtmişlerdir.

Mdlambuzi vd. (2021), 2016-2018 yıllarında, Güney Afrika'da üç yıl süren mısır denemelerinde 40 m³/ha biyogaz bulamacı uygulamasının mısır verimi ve bitkinin besin alımını artırdığını; biyogaz bulamacının kimyasal gübre alternatifi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Xu vd. (2021), 2016 ve 2017 yıllarında Çin'de, kimyasal sentetik gübrenin (CSF) yerine biyogaz bulamacı uygulanmasının bitki büyümesi ve yem kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla saha denemeleri yürütmüşlerdir. Çalışma sonuçları, biyogaz bulamacının kimyasal sentetik gübre ile kombinasyonunun T2 uygulamasında İtalyan çavdarının büyümesini önemli düzeyde ($p<0,05$) artırdığını ve kuru madde miktarını %9'dan fazla yükselttiğini göstermiştir. Aynı uygulamada, yalnızca kimyasal sentetik gübre kullanılan gruba kıyasla gövde-yaprak oranının (ikinci biçimde) %12'den fazla azaldığı belirlenmiştir. Yem kalitesi bakımından ham protein (CP) ve ham lif (CF) içerikleri açısından T0 ve T2 uygulamaları arasında önemli farklılıklar saptanmıştır. Kimyasal sentetik gübre grubuna kıyasla CP içeriğinin %10,35 arttığı, CF içeriğinin ise yaklaşık %10 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca 37,5 kg/ha CSF + 100,5 t/ha BS uygulamasının İtalyan çavdarında biyokütle üretimini ve yem kalitesini iyileştirebileceği belirtilmiştir.

Wu vd. (2021), farklı çiftliklerden elde edilen biyogaz bulamacının 5–27 yıl süreyle uzun vadeli uygulanmasının toprak özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, organik madde, toplam azot, toplam fosfor ve toplam potasyum içeriklerinde önemli artışlar meydana geldiğini göstermiştir. Özellikle 21 yıllık uygulamalarda organik madde (OM) %367, toplam azot (TN) %600, toplam fosfor (TP) %663 ve kullanılabilir fosfor (AP) %594 oranında artış göstermiştir. Ayrıca proteaz, ureaz, dehidrogenaz ile nitrat ve nitrit redüktaz gibi toprak enzim aktivitelerinde %5–60 arasında artış olduğu belirlenmiştir. Toprak besin elementleri ile enzim aktiviteleri arasında güçlü pozitif korelasyonların bulunduğu da rapor edilmiştir.

Lee vd. (2021), 2018 yılında, ABD'nin Boiling Springs bölgesinde, biyogaz reaktörlerinden elde edilen sindirim artığının (digestate) tek başına veya besin tutucu özelliklere sahip olduğu düşünülen biyokömür (biochar) ile birlikte kullanımının bitki yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sera koşullarında yürütülen çalışmada, çeşitli bitki türlerinde sindirim artığı gübrelemesinin bitki büyümesi, fotosentetik verim, sebze üretimi ve besin elementi içerikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sindirim artığı uygulama dozunun artmasıyla bazı bitkilerde büyüme ve meyve veriminin arttığını, ancak bu etkinin kimyasal gübre uygulamalarına kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir. Daha yüksek dozda sindirim artığı uygulaması, kontrol kimyasal gübre grubuna kıyasla kara lahana bitkisinde antioksidan kapasite, toplam fenolik bileşikler ve askorbik asit içeriklerini artırmıştır. Buna karşılık, baklagillerde besin elementleri içerikleri üzerinde farklı ve bazı durumlarda çelişkili etkiler gözlenmiştir. Ayrıca biyokömür ve sindirim artığının kompost ile birlikte saksı yetiştirme ortamına eklenmesinin bitki çimlenmesini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Çalışma, hayvansal ve gıda atıklarının hem enerji üretimi hem de yenilenebilir gübre kaynağı olarak değerlendirilerek tarımsal üretime kazandırılabilirliğini ortaya koymuştur.

Zhang vd. (2022), 2019 yılında, Çin'in Hebei eyaletine bağlı Baoding şehrinde, elma bahçelerinde biyogaz bulamacının kimyasal gübre yerine farklı oranlarda kullanımının (%0, %100 kimyasal, %50 kimyasal + %50 biyogaz bulamacı, %100 biyogaz bulamacı) toprak bakteri topluluk yapısı, fonksiyonel gruplar ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Bulgular, %50 kimyasal + %50 biyogaz bulamacı uygulamasının (CBS) toprak organik madde, alkali azot ve alınabilir potasyum içeriğini sırasıyla %49,8, %40,7 ve %27,9 artırdığını; ayrıca elma meyvesinin tek meyve ağırlığını, yaş ağırlığını ve kuru ağırlığını sırasıyla %15,6, %18,8 ve %17,8 oranında artırdığını göstermiştir. Biyogaz bulamacı uygulaması, karbon ve azot döngüsü ile ilgili yararlı bakteri türlerinin (*Acidobacteria* Gp5, Gp7, *Parasegetibacter*) ve fonksiyonel grupların (kemoheterotrofi, selüloz yıkımı, azot fiksasyonu) bolluğunu artırmıştır. Çalışma, doğru oranlı kullanımın (50:50) toprak mikrobiyal yapıyı düzenleyerek elma yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliği destekleyebileceğini ortaya koymuştur.

Tang vd. (2022), 2015–2020 yılları arasında, Çin'in Henan eyaletindeki fluvo-aquic topraklarda yürüttükleri çalışmada, biyogaz bulamacı uygulamasının toprak yoğunluğunu azalttığını ve su tutma kapasitesini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca bu uygulamanın, organik karbon ile kullanılabilir fosfor, potasyum ve azot içeriklerini kimyasal gübre uygulamasına kıyasla daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, kimyasal gübrenin yarı oranında biyogaz bulamacı ile ikame edildiği uygulamanın (BSCF) mikrobiyal çeşitlilik ve denge açısından en iyi sonuçları verdiği de rapor edilmiştir. Bakteri çeşitliliğinin özellikle toplam azot, pH ve potasyum ile; mantar topluluğunun ise potasyum ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Kumar vd. (2023), Hindistan'daki çeşitli tarım sistemlerinde biyogaz bulamacının potansiyelini kapsamlı olarak değerlendirmişlerdir ve biyogaz bulamacının hem besin maddesi kaynağı hem de bioaktif bileşen açısından zengin olduğunu, çeşitli mikrobiyal toplulukların oluşumunda önemli rol oynadığını ve besin maddesi kullanım verimliliğini artırdığını göstermişlerdir. Çalışma, tropikal ve subtropikal koşullarda biyogaz bulamacının etkinliğini ortaya koymuştur.

Mayerová vd. (2023), 2011-2021 yılları arasında, Çekya'nın üç farklı bölgesinde yürüttükleri 10 yılı aşkın uzun dönemli tarla denemesinde, biyogaz sindirimi sonucu elde edilen iki farklı bulamaç tipinin (bulamaç I: mısır silajı + sığır gübresi; bulamaç II: mısır silajı + domuz gübresi + çiftlik gübresi + kuru ot) toprak fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri üzerindeki etkilerini mineral gübre ve kompost uygulamalarıyla

karşılaştırmışlardır. Geleneksel toprak işleme ve 6 yıllık ürün rotasyonu altında yürütülen çalışmada, beş farklı uygulama (kontrol, mineral gübre, bulamaç I, bulamaç II, kompost) üç lokasyonda dört tekerrürlü olarak uygulanmış ve 2018–2021 yılları arasında yılda iki kez toprak örnekleri alınmıştır. Sonuçlar, agregat stabilitesinin toplam organik karbon ($r = 0,37$), toplam organik azot ($r = 0,45$), porozite ($r = 0,57$) ve su infiltrasyonu ($r = 0,38$) ile pozitif; hacim yoğunluğu ile ($r = -0,54$) ise negatif ilişkili olduğunu göstermiştir. Bulamaç II uygulaması en yüksek agregat stabilitesini (%36,47) sağlamış, kontrol (%26,22) ve mineral gübre (%26,1) uygulamaları ise en düşük seviyede kalmıştır. Kompost organik madde artışında daha etkili olsa da, bulamacın uzun süreli kullanımı toprak fiziksel özelliklerini ve su geçirgenliğini iyileştirmiştir.

Yadav vd. (2023), Hindistan'ın üç farklı bölgesinde (IARI-Yeni Delhi, Daryapur Kalan-Delhi, Madanpur-Uttar Pradesh) süt çiftliklerinden elde edilen biyogaz bulamacının mevsimsel karakterizasyonunu incelemişlerdir. Üç farklı mevsimde (muson öncesi, muson ve muson sonrası) alınan örneklerde; toplam azot içeriğinin %2,13, toplam fosforun %0,98 ve toplam potasyumun %0,38 olduğunu; mevsimsel varyasyonların azot içeriğinde %6'ya varan farklılıklar gösterdiğini; biyogaz bulamacı kullanımının sentetik gübre tüketimini azot için %8,78, fosfor için %11,01 ve potasyum için %14,33 oranında azaltabileceğini bulmuşlardır. Çalışmada dilüsyon oranı 1:1 ile 1:2 arasında uygulanmış, fermantasyon süresi ise 45–55 gün olarak belirlenmiştir.

Li vd. (2025), 2020–2021 yılları arasında Çin'in Kuzeydoğusunda yürüttükleri çalışmada, biyogaz bulamacını siyah toprakta iki kez ve rüzgârla taşınmış kumlu toprakta bir kez uygulamışlar; siyah toprakta organik karbon, toplam azot ve toplam fosforun arttığını, C ve P döngüsü enzim aktivitelerinin yükseldiğini; mantar/bakteri oranının her iki toprak tipinde arttığını; ancak siyah topraktaki ağır metal seviyelerinde artış riskinin çevresel bir sorun oluşturabileceğini belirtmişlerdir.

2.3. Kimyasal Gübre Konuları İle İlgili Önceki Çalışmalar

Perumal (1999), 1995-1996 yıllarında yürütülen bir çalışmada, farklı azot düzeylerinin (0, 30, 60 ve 120 kg/N/ha) dört pamuk çeşidinde (AKH 081, Bikaneri Narma, LRA 5166 ve LRK 516) etkilerini incelediği çalışmasında, artan azot seviyelerinin bitki boyu, biyokütle,

ana gövde boğum sayısı, yaprak sayısı, yaprak alanı, yaprak alan indeksi, tarak oluşumu ve kütlü pamuk veriminde artış sağladığını rapor etmiştir. Ayrıca, azot miktarının yükselmesine bağlı olarak transpirasyon oranında azalma ile birlikte stoma iletkenliğinde artış meydana geldiğini belirtmiştir.

Karademir vd. (2006), 2002–2003 yıllarında Diyarbakır koşullarında yürüttükleri denemede, farklı azot ve fosfor dozlarının pamukta verim, verim unsurları ve bazı erkencilik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Güneydoğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü deneme alanında, bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülen çalışmada materyal olarak Maraş 92 pamuk çeşidi (*Gossypium hirsutum* L.) kullanılmıştır. Araştırmada azot beş farklı dozda (0, 6, 12, 18, 24 kg/da), fosfor ise dört farklı dozda (0, 4, 8, 12 kg/da) uygulanmıştır. Sonuçlara göre; azot uygulamaları ilk koza açma süresi ve meyve dalı sayısında, NxP interaksyonu ise bitki boyunda önemli etki göstermiştir. Lif verimi ile kütlü pamuk veriminde hem azot uygulamaları hem de NxP etkileşimi anlamlı bulunmuştur. Buna karşılık, ilk çiçeklenme süresi, ilk el kütlü oranı, ilk meyve dalı boğum sayısı, odun dalı sayısı, koza sayısı ve çırçır randımanı açısından uygulamaların istatistiksel olarak önemli bir etkisi görülmemiştir.

Porter (2010), 2007–2010 yılları arasında ABD'nin Güney Carolina eyaletinde yürütülen çalışmada, bitki çıkışından sonraki 40–60 günlük dönemde NDVI değerleri ile pamuk bitkisinin azot ihtiyacı arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu belirtmiştir. Ayrıca, sensörlerin biyokütle belirlemede etkili olduğunu; daha fazla yaprak alanına ve klorofil içeriğine sahip sağlıklı bitkileri tespit edebildiğini ve bu bitkilerin sağlıklı olmayanlara kıyasla kırmızı ışığı daha yüksek oranda absorbe ettiğini ifade etmiştir.

Rosolem ve Mellis (2010), 2007–2008 yılları arasında Brezilya'nın São Paulo eyaletinde yürütülen çalışmada, pamukta hem azot eksikliğinin hem de aşırı azot uygulamasının verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilediğini bildirmiştir. Çiçeklenmeden bir hafta önce ana gövdedeki en üst 4. veya 5. yaprakta ölçülen azot konsantrasyonunun, geleneksel azot teşhisi için güvenilir bir referans değeri olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bibi vd. (2011), 2010 yılında Pakistan'ın Peshawar kentinde yürütülen çalışmada, 6 farklı orta elyafli pamuk genotipinde uygulanan azot dozlarının (0, 50, 100, 150 kg/N/ha)

etkilerini araştırmışlardır. Bulgular, artan azot seviyelerinin bitki ağırlığını, bitki başına yanal dal sayısını, koza sayısını, koza ağırlığını ve kütü pamuk verimini artırdığını göstermiştir.

Gutierrez vd. (2012), 2009–2010 yıllarında ABD'nin Arizona eyaletinde yürütülen çalışmada, pamukta lif verimi ile NDVI yansıma değerleri arasında erken büyüme evresinde anlamlı bir ilişki tespit etmemişler; ancak pik çiçeklenme döneminde önemli korelasyonlar belirlemiş ve gerçek verim tahminlerinde bu dönemin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Muharam vd. (2014), 2010–2011 yıllarında ABD'nin Texas eyaletinde yürütülen çalışmada, yapraklardaki azot içeriği ile SPAD (klorofil içerik) değerlerinin bitki boyu ve kanopi genişliği ile pozitif ilişki gösterdiğini rapor etmişlerdir. Araştırma, yaprak azot içeriği ile SPAD değerlerinin bitkide azot durumunu belirlemede güvenilir göstergeler olabileceğini ortaya koymuştur.

Hernandez-Cruz vd. (2015), 2011 yılında Meksika'nın Coahuila eyaletinde yürütülen çalışmada, %45 N içeren üre kullanarak 0, 50, 100 ve 150 kg/N/ha dozlarında yürüttükleri denemede, en yüksek verimin 150 kg/N/ha dozunda elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmada, farklı azot seviyelerinin pamuk lif kalitesi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Gormus vd. (2016), farklı azot (0, 60, 120, 180, 240 kg/ha) ve potasyum (0, 50, 100, 150, 200 kg/ha) dozlarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, en iyi sonuçların 180 kg/N/ha ve 150 kg/K/ha kombinasyonu ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu uygulama, en yüksek kütü pamuk verimi ve çırçır randımanı değerlerini sağlamıştır. Öte yandan, en yüksek lif kopma dayanıklılığı 240 kg/N/ha ve 50 kg/K/ha uygulaması ile tespit edilmiştir. Araştırmada, pamuk üretimi için en uygun kombinasyonun 180 kg/N/ha ve 100 kg/K/ha olduğu ifade edilmiştir.

Macdonald vd. (2018), 2017 yılında Avustralya'nın Queensland ve New South Wales eyaletlerini kapsayan pamuk üretim bölgelerinde, pamuk endüstrisinde azot gübresi kullanım verimliliğinin mevcut durumu ve gelecekteki araştırma yönlerini değerlendirdikleri çalışmada, tüm yetiştirme bölgelerinde 200–240 kg/ha'dan fazla uygulama oranlarında gübre azotunun lifte dönüşümünün eşit şekilde gerçekleşmediğini ortaya koymuşlardır. Elli yıllık

sürekli araştırma ve geliştirme yatırımı sonucunda, Avustralya pamuk endüstrisinin ortalama üretiminin hektarda iki tonun üzerinde lif verimine ulaştığı, ancak bu verimin kullanılan azot gübresi miktarından beklenen düzeyin altında kaldığı belirlenmiştir.

Zhou ve Yin (2018), bitkide verimi tahmin etmek ve azot durumunu izlemek için NDVI, SPAD klorofil içeriği ve yaprak sapındaki azot konsantrasyonunun hızlı ve güvenilir ölçümler sağladığını belirtmişlerdir. Bu üç yöntemin giderek artan öneme sahip olduğunu vurgulamış, ancak yöntemlerin karşılaştırılmasıyla ilgili literatürde yeterli bilginin bulunmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmada, dört azot dozu (0, 34, 67 ve 101 kg/N/ha) uzun yıllar boyunca incelenmiş; NDVI ve SPAD ölçümlerinin tek başına daha az hassas olduğu, fakat üç gözlem arasında anlamlı ve pozitif korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Çalışma, NDVI'nın çiçeklenmenin ortasından geç çiçeklenme dönemine kadar, SPAD ölçümlerinin ise erken çiçeklenmeden geç çiçeklenme dönemine kadar azot durumunu belirlemede en etkili yöntemler olduğunu göstermiştir. Verim tahmininde ise NDVI değerinin erken taraklanma döneminde, SPAD değerinin ise erken taraklanma ile çiçeklenme ortası dönemine kadar alınmasının en uygun strateji olduğu rapor edilmiştir.

Luo vd. (2020), 2012–2013 yıllarında Çin'in Wuhan kentinde yürütülen çalışmada, pamuk üretiminde ilk çiçek görünümünde minimum gübrelemenin azot, fosfor ve potasyum besin maddesi kullanımına fayda sağladığını ortaya koydukları çalışmalarında, 225 kg/N/ha, 67,5 kg/ P₂O₅/ha ve 225 kg/ K₂O/ha dozunda gübre uygulamasının pamuk besin maddesi birikimini desteklediğini belirtmişlerdir.

Otto vd. (2023), Brezilya'da killi ve tınlı-kumlu topraklarda 4 sezon süren tarla denemelerinde üre ve kalsiyum amonyum nitratın (48–192 kg/N/ha) pamuk verimi, lif kalitesi ve azot verimliliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Killi toprakta N uygulamasının verimi %50'ye kadar artırdığı, tınlı-kumlu toprakta ise etkisiz bulunduğu belirtilmiştir.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme alanına ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deneme alanı, toprak pH'sı 7,85 olup toprak örneğinin organik madde kapsamı ise %1,31 civarındadır. Deneme yerinden alınan toprak örneklerinden elde edilen analiz sonucu ve bu topraklara ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme alanına ait toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	EC (dS/m)	Organik Madde (%)	CaCO ₃ (%)	N (%)	Besin elementleri (mg/kg)						
					P	K	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
7,85	0,67	1,31	28,47	0,095	1,51	138,9	303	3,46	0,72	4,64	0,44

3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri

2024 ve 2025 yıllarına ait iklim verileri değerlendirildiğinde, Şanlıurfa ilinde her iki üretim sezonunun da tipik yarı kurak iklim karakteri gösterdiği; yaz aylarında yüksek sıcaklık, düşük nispi nem ve yok denecek kadar az yağış koşullarının hâkim olduğu görülmektedir. Ancak 2025 yılı özellikle Nisan–Mayıs döneminde 2024'e kıyasla daha düşük yağış ve daha düşük nispi nem değerlerine sahip olup, erken gelişim döneminde daha kurak bir başlangıç sergilemiştir. Buna karşılık Temmuz 2025'te sıcaklığın daha yüksek olması, yaz ortasında ısı ve su stresinin daha belirgin yaşanmış olabileceğini düşündürmektedir. 2024 yılı ise özellikle ilkbahar döneminde daha yüksek yağış ve nispi nem değerleri ile nispeten daha elverişli başlangıç koşulları sunmuştur.

Çizelge 3.2. Şanlıurfa iline ait 2024 ve 2025 yılları iklim verileri

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık (°C)		Ortalama nispi nem (%)		Yağış (mm)	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Nisan	21,7	17,6	44,2	45,2	40,1	19,2
Mayıs	22,8	25,4	42,3	32,1	31,9	5,2
Haziran	33,2	30,9	20,3	19,0	0,1	-
Temmuz	33,8	34,5	25,9	23,7	-	-
Ağustos	33,6	32,7	28,3	33,2	2,1	-
Eylül	27,6	27,8	41,0	29,9	8,0	-
Ekim	21,3	21,6	31,2	40,6	-	2,1

Kaynak: Şanlıurfa Meteoroloji İl Müdürlüğü, 2025

3.1.3. Çalışmada kullanılan pamuk tohum çeşidi ve özellikleri

Bu çalışmada kullanılan pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) tohumu, bölgede tarım ile uğraşan çiftçiler tarafından sık olarak kullanılan ve verim potansiyeli yüksek Fiona tohum çeşididir.

1. Verim potansiyeli çok yüksektir.
2. Vejetasyon süresi orta – geç sınıftadır.
3. Kısa meyve dalları ve kloster yapıda koza bağlama özelliği sebebiyle sık ekim ve makinalı hasada son derece uygundur.
4. Çırcır randımanı % 44–46’dır. Bu nedenle çırcır işletmelerince aranılan çeşitlerdendir.
5. Kozası orta büyüklüktedir ve koza açımı kuvvetlidir.
6. 1 kg’da yaklaşık 12,000 adet tohum bulunur (Agro-Basf, 2018).

3.1.4. Çalışmada kullanılan gübre miktarları ve gübrelerin uygulanması

Çalışmada dekara 10 ton biyogaz bulamacı ve taban gübresi olarak 20 kg DAP (%18-46)+üst gübre 35 kg üre kullanılmıştır. Namet Şanlıurfa Entegre Besi ve Et tesisinden temin edilen biyogaz bulamacı deneme alanına getirilmesi sağlanmıştır. Deneme alanına getirilen biyogaz bulamacı, traktörle çekilen kuyruk milinde hareketle çalışan her traktöre uyumlu 1 ton kapasiteli tanklara boşaltılmıştır. Tanklara doldurulan biyogaz bulamacı ekimden önce standart tankın arkadan bağlı dağıtma sistemi ile homojen ve eşit olarak dekara 10 ton gelecek şekilde araziye tahliyesi yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan biyogaz bulamacının bazı kimyasal özellikleri

pH	EC dS/m	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Organik karbon (%)
8,13	28,99	0,2	0,36	0,509	0,322	0,116	25,6

3.1.5. Sulama konuları

Deneme konularının sulama suyu ihtiyacı, araştırma alanının yanından geçen 204 m/s debiye sahip Mardin-Ceylanpınar iletim kanalından karşılanmıştır. Mardin-Ceylanpınar iletim kanalından alınan sulama suyu, öncelikle araştırma alanında bulunan 500 ton

kapasiteli su deposuna aktarılmış, daha sonra damla sulama sistemi kontrol ünitesinde filtre edildikten sonra Ø75'lik PE boru hattı ile deneme parsellerine iletilmiştir. Kontrol biriminde sırasıyla kum-çakıl filtre tankı, 60 L kapasiteli gübre tankı ile 120 mesh'lik elek filtre yer almıştır. Araştırmada kullanılan sulama suyunun sınıfı C_2S_1 olup, sulama suyunun kalite parametreleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Araştırma alanında kullanılacak olan sulama suyunun kalite analiz sonuçları

Parametre	Birim	Sonuç	Parametre	Birim	Sonuç	Parametre	Birim	Sonuç
pH		8,7	Bi Karbonat	mg/l	139,71	Kalsiyum	mg/l	34,77
EC	$\mu S/cm$	408	Bor	mg/l	-	Magnezyum	mg/l	17,54
Renk		3	Toplam Alkanite	mg/l	132,5	Klorür	mg/l	2,77
Bulanıklık		19,7	Sodyum	mg/l	26,76	Florür	mg/l	0,27
Organik Madde	mg/l	1,362	Amonyum	mg/l	-	Nitrat	mg/l	4,57
Karbonat	mg/l	10,8	Potasyum	mg/l	2,31	Sülfat	mg/l	54,93
Na	%	26,43	SAR		0,92	Suyun Sınıfı		C_2S_1

Pamuk ekiminden hemen sonra bitkiler uniform düzeye ulaşınca kadar (20-25 cm) bir defa çıkış suyu olmak üzere toplamda 2 defa yağmurlama suyu yöntemi ile sulama yapılmıştır. Bitkiler uniform seviye ulaştıktan sonra konulu sulamalara başlanmıştır. Konulu sulama uygulamalarında damla sulama yöntemi ile sulamalar yapılmıştır. Damla sulama sisteminde her parsel için ayrı ayrı Ø40'lık PE borudan oluşmuş manifold olacak ve parsel içerisinde her sıraya (75 cm aralıklı) bir lateral hattı döşenmiştir. Damla sulama lateralleri Ø16 PE boru olup 0,30 m damlatıcı aralığında ve damlatıcılar 1 atm işletme basıncı altında 2,4 l/h debiye sahiptir.

Çalışmada konulara göre uygulanan sulama suyunun miktarının belirlenmesinde araştırma alanının ortasında konumlandırılan buharlaşma kabında (class A pan) gerçekleşen buharlaşma miktarına göre hesaplanmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan sulama materyali (class A pan)

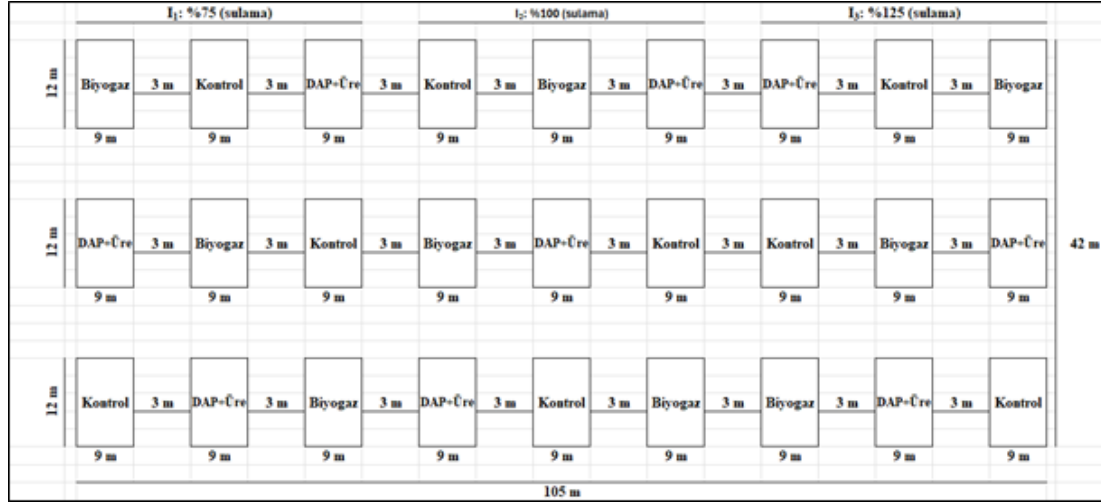
Araştırmada tohum ekimi sonrasında iki defa sulama suyu ile bitkiler uniform seviyeye ulaştıktan sonra da konulu sulamalara başlanmıştır. Araştırmada konulu sulamalar 7 gün sulama aralığında yapılmıştır. Sulama suyunun hacimsel içerikleri, 7 günlük class A pan'dan buharlaşan suyun derinlikleri konulara ait bitki pan katsayısı değerleri ile çarpıldıktan ve parsel alanı ile düzelttikten sonra su sayaçlarında denetlenerek parsellere uygulanmıştır. Sulama suyu miktarının hesaplanmasında James vd. (1982) tarafından verilen eşitlik 3.1. kullanılmıştır. Konulu sulamalara başladıktan sonra her sulama öncesine kadar her konudan ölçümler yapılmıştır. Örtü yüzdesi 1 olana kadar ölçümler her sulama öncesinde yapılmıştır. Örtü yüzdesi değerleri uygulanan sulama suyu miktarı hesaplanmasında kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni

Çalışma, Şanlıurfa-Harran ovası koşullarında tesadüf blokları bölünmüş parselleri deneme desenine göre Fiona pamuk çeşidi kullanılarak, 3 tekrarlamalı ve 2 yıl çakılı deneme olarak yürütülmüştür. Sulama konuları (I_1 :%75, I_2 :%100 ve I_3 :%125) ana parselleri, gübre (C: kontrol, N: DAP+üre, B: biyogaz bulamacı) uygulamaları ise alt parselleri oluşturmuştur.

Her parsel 12 sıradan meydana gelecek şekilde, parsel uzunluğu 12 m, sıra arası 75 cm ve sıra üzeri mesafe ise 8-10 cm bırakılmıştır. Her parsel 12 m x 9 m (108 m²) olacak şekilde, çalışmada bloklar arasında 3 m ve parseller arasında 3 m boşluk bırakılmıştır. Deneme toplam 27 parselden meydana gelmiştir.



Şekil 3.2. Uygulamaların parseller içindeki dağılımını gösteren şematik deneme planı

3.2.2. Kültürel uygulamalar

3.2.2.1. Toprak hazırlığı

Tarlanın pamuk ekimine hazırlanması sürecinde ilk yapılan işlem tarla temizliği ile başlanmıştır. Deneme alanı sonbaharda pulluk ile sürüm yapılmıştır. Erken ilkbaharda kültivatör ile orta derinlikte toprak işleme yapılmıştır. Daha sonra diskharow ile toprak karıştırılıp ardından tesviye amaçlı tapan çekilerek tarla ekime hazır hale getirilmiştir. Parseller hazırlandıktan sonra belirlenmiş gübre miktarları tırmıkla toprağa karıştırılıp ekime hazır hale getirilmiştir.

3.2.2.2. Ekim işlemi

Yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmek için genetik saflığı yüksek tohum kullanımı çok önemlidir. Bu nedenle verim potansiyeli yüksek Fiona pamuk çeşidi tercih edilmiştir. Pamuğun ekim zamanı iklim koşullarına göre belirlenir. Tarla hazırlığı yapıldıktan sonra uygun hava koşulları dikkate alınarak ekim işlemi yapılmıştır. Ekim için toprak sıcaklığının 15°C'nin üstünde olması gereklidir. Bölgelere göre ve yıldan yıla ekim zamanı değişiklik

göstermekle birlikte, Şanlıurfa'da tüm bölgelerde pamuk ekim zamanı 20 Nisan ile 20 Mayıs tarihleri arasında yapılmaktadır. Çalışmanın birinci yılında 12 Mayıs, ikinci yılında ise 2 Mayıs tarihlerinde ekim işlemi yapılmıştır. Ekim işlemi mibzerle sıraya yapılmıştır.

3.2.2.3. Bakım işlemi

Şanlıurfa ilinde pamuk yetiştiriciliğinde özellikle Kanyaş (*Setaria spp.*) ve domuz pıtrağı (*Xanthium strumarium L.*) gibi yabancı ot türleri önemli sorunlara neden olmaktadır. Ekimden sonra ortaya çıkan yabancı otlar, elle yolma veya kazayağı ile çapalama yöntemleri kullanılarak kontrol altına alınmıştır. Çapalama sayısı tarladaki yabancı ot yoğunluğuna bağlı olarak değiştiğinden, parseller haftalık olarak kontrol edilmiş ve gerekli görülen durumlarda yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Yabancı ot popülasyonunun düşük olduğu durumlarda, toprak sağlığını korumak amacıyla herbisit kullanılmamış; bunun yerine yabancı otlar düzenli olarak izlenerek mekanik ve elle mücadele yöntemleri uygulanmıştır.

Zararlı mücadelesinde ekonomik zarar eşiği dikkate alınarak Tütün tripsi (*Thrips tabaci*), Pamuk yaprak biti (*Aphis gossypii* Glover), Kırmızı örümcek (*Tetranychus urticae*), Yeşilkurt (*Helicoverpa armigera*), Tütün beyazsineği (*Bemisia tabaci*) ve Tahtakuruları (*Creontiades pallidus*) gibi zararlı türlere karşı gerekli durumlarda kimyasal mücadele uygulanmış ve popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak etkin bir şekilde kontrol altına alınmıştır.

3.2.3. Sulama hesaplamaları

$$I = A * E_p * k_{cp} * P(3.1) \quad (1)$$

Eşitlik 3.1.'de

I: Parsele uygulanan sulama suyu (L)

A: Parsel alanı (m²)

E_p: 7 günlük birikimli class A pandaki buharlaşma miktarı (mm)

k_p: Pan katsayısı

P: Örtü yüzdesi (%)

Araştırmada pamuk bitkisinin mevsimlik bitki su tüketimin hesaplamasında James vd. (1982)'nin bildirdiği eşitlik 3.2. kullanılmıştır. Çalışma alanında derin drenaj ve tuzluluk problem olmadığından kapılar su yükselmesi (C_r) ve sulama uygulamalarının damla sulama yöntemi ile yapılmasından dolayı yüzey akış (R_f) ve derine sızma (D_p) kayıpları olmayacağından bu değerler mevsimlik bitki su tüketiminin hesaplanmasında dikkate alınmamıştır. Mevsimlik bitki su tüketimi hesaplamasında kullanılan toprak nem değişimleri gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, pamuk ekimi öncesi ve pamuk hasadı sonrası pamuk etkili kök derinliği olan 0-90 cm'den 3 farklı derinlikte (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm) toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri, Benami ve Diskin (1965) tarafından önerilen yönteme göre, önceden seçilmiş toprak profilleri üzerinden 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerinden alınmıştır. Gravimetrik nem içeriğini belirlemek amacıyla toprak örnekleri, damlaticının ve bitki sıra arasının tam ortasına gelen yerlerden alınmıştır. Toprak numuneleri, 105 °C bir fırında 24 saat süreyle kurutulduktan sonra, toprağın nem miktarı tespit edilmiştir.

$$ET_a = I + P + C_r - D_p - R_f \pm S(3.2) \quad (2)$$

Eşitlik 3.2.'de

ET: Bitki su tüketimi (mm)

I: Sulama suyu miktarı (mm)

P: Etkili yağış (mm)

C_r : Kapılar yükselme (mm)

D_p : Derine sızma (mm)

R_f : Yüzey akış (mm)

E_p : 7 günlük birikimli class A pandaki buharlaşma miktarı (mm)

k_p : Pan katsayısı

P: Örtü yüzdesi (%)

DS: Toprak profilindeki nem değişimi (mm)

3.2.4. Su ve sulama suyu kullanım etkinliği

Araştırmada her konunun su kullanım etkinliği (WUE) Eşitlik 3.3'e göre, sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ise Eşitlik 3.4.'e göre belirlenmiştir (Howell vd., 1990).

Buna göre;

$$WUE = Y/ET \text{ dir. (3.3.)}$$

Eşitlik 3.3'te;

WUE : Toplam su kullanım etkinliği (kg/m)

Y : Pamuk verimi (kg/da)

ET : Mevsimlik bitki su tüketimi (mm)

Diğer taraftan deneme konularına uygulanan sulama suyu ve elde edilen verimlerine göre de sulama suyu kullanım etkinliği değerleri Eşitlik 3.4 ile elde edilmiştir (Howell vd., 1990).

$$IWUE = Y/I \text{ dir. (3.4.)}$$

Eşitlik 3.4'te;

IWUE : Sulama suyu kullanım etkinliği (kg/m)

Y : Pamuk verimi (kg/da)

I : Uygulanan sulama suyu miktarı (mm)

3.2.5. İncelenen toprak parametreleri

3.2.5.1. Toprak reaksiyonu (pH)

2 mm'lik elekten geçirilen toprak örneklerinden, 100 g tartılarak saturasyon çamuru hazırlanmıştır. Sature hale gelen toprak örneği bir gece ağzı kapalı olacak şekilde bekletilerek, pH metre ile pH'ları ölçülmüştür (Black, 1965).

3.2.5.2. Elektriksel iletkenlik (EC, dS/m)

Sature toprak örneklerinin total tuz içeriğini belirlemek için, toprak örnekleri elektriki

kondaktivite aletinin çamur hücresine bir spatül yardımıyla aktarılmıştır. Hücre düz bir yüzeye hafifçe vurularak ve ağzına kadar doldurulduktan sonra elektriki kondaktivite aletinde iletkenlikleri ölçülmüştür (Richards, 1954).

3.2.5.3. Kireç (CaCO_3 , %)

2 mm'lik elekten geçirilmiş hava kurusu toprak örneklerinden 1 gr alınarak, %10' luk HCl ile Scheibler kalsimetresinde işleme tabi tutulmuştur. Kalsimetrede okunan değerler hesaplanarak topraktaki kireç miktarı tayin edilmiştir (Gülçur, 1974).

3.2.5.4. Amonyum (NH_4^+) tayini (mg/N/kg/toprak)

Arazi çalışmalarında toprak NH_4^+ içerikleri (Baethgen ve Alley, 1989)'da belirtildiği gibi yapılmıştır. Arazi denemesinde, her bozulmamış örnek alımında örnek noktasına yakın noktadan toprak örnekleme yapılmıştır. Kısaca, toprak örnekleri 2M KCl çözeltisi ile (1/4 g/g) bir saat çalkalandıktan sonra Whatman No:1 filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Daha sonra 1 ml süzüğe 5,5 ml tanpon çözelti (Baethgen ve Alley, 1989) eklenerek ve örnekler karıştırıldıktan sonra 4 ml salicylate/nitroprusside solüsyonu eklenmiştir. Daha sonra örneğe 2 ml hypochlorite solüsyonu eklenip karıştırıldıktan sonra 45 dakika oda sıcaklığında bekletilmiş ve absorbans değerleri spektrofotometrede 650 nm'de ölçüldükten sonra toprak NH_4^+ miktarı (2M KCl ile çözülebilir NH_4^+) hesaplanmıştır.

3.2.5.5. Nitrat (NO_3^-) tayini (mg/N/kg/toprak)

Arazi çalışmalarında toprak NO_3^- içerikleri (Yang vd., 1998)'ta belirtildiği gibi yapılmıştır. Arazi denemesinde, her bozulmamış örnek alımında örnek noktasına yakın noktadan toprak örnekleme yapılmıştır. Kısaca, toprak örnekleri 2M KCl çözeltisi ile (1/4 g/g) bir saat çalkalandıktan sonra Whatman No:1 filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Daha sonra 1 ml süzüğe 0,5 ml TRI çözeltisi eklenerek ve çalkaladıktan sonra sıcak yüzeyde örneklerin tamamen kuruması sağlanmıştır. Daha sonra örnekler 1 ml konsantre H_2SO_4 ile çözdürüldükten sonra, örneklerin soğuması için beş dakika beklenmiş ve örneklerin üzerine 5 ml saf su eklenmiştir. Örnekler çalkalanıp soğuması beklenmiş ve daha sonra örneklerin üzerine 5 ml %40'lık NaOH eklenmiştir. Elde edilen çözelti içerisindeki NO_3^- miktarı spektrofotometrede 410 nm dalga boyundaki absorpsiyon okutularak hesaplanmıştır.

3.2.5.6. CO₂ emisyonu (g/m²/hafta)

Kapalı bir sistem içerisinde inkübasyon boyunca topraktan yayılan CO₂'in tahmin edilmesidir. CO₂ sodyum hidroksit çözeltisi tarafından yakalanır, daha sonra hidroksit çözeltisi hidroklorik asit ile titre edilir (Alef, 1995; Rowell, 1994).

SW = Fırın kurusu toprak ağırlığı (gr)

t = İnkübasyon süresi (saat = h)

V_o = Titrasyonda kör için harcanan hidroklorik asitin (HCl) hacmi (ml)

V = Titrasyonda örnek için harcanan hidroklorik asitin (HCl) hacmi (ml)

d_{wt} = 1 gram nemli toprağın kuru ağırlığı

2,2 = Çevirme katsayısı (1 ml 0,1 M NaOH = 2,2 mg CO₂)

$$CO_2(g)/SW/t = ((V_0 - V) \times N \times 2.2 \times 1000) / (d_w t x h) \quad (3)$$

3.2.5.7. Katalaz enzim aktivitesi (ml O₂/g kuru toprak/dk)

Hidrojen peroksit kullanılarak gaz volumetrik metotla belirlenmiştir (Beck, 1971).

3.2.5.8. Üreaz enzim aktivitesi (µg N/g kuru toprak/saat)

Toprak örnekleri %10'luk üre ve sodyum fenolat çözeltisi ile 37°C'de inkübasyona tabi tutularak elde edilen süzükte renk intesitesine göre belirlenmiştir (Hoffman ve Teicher, 1961).

3.2.5.9. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (µg TPF/g kuru toprak/24 saat)

Toprakların dehidrogenaz enzim aktivitesi TTC (trifenil tetrasolium klorür) çözeltisi ilave edilen toprak örneklerinin 24 h 25°C'de inkübasyonundan sonra oluşan rengin TPF (trifenil formazan)'nin 485 nm'de spektrofotometrik ölçümü ile belirlenmiştir (Tabataba, 1982).

3.2.6. İncelenen bitki parametreleri**3.2.6.1. Bitki boyu (cm)**

Kotiledon yaprakların başladığı yerden itibaren bitkinin en üst kısmına kadar olan kısım 10 bitki üzerinden ölçülerek ve daha sonra ortalamaları alınarak belirlenmiştir

3.2.6.2. Boğum sayısı (adet/bitki)

Parsellerde bitkiler homojen olarak seçilen 10 bitkiden bitki başına düşen boğum sayısı sayılarak ortalamaları alınmıştır.

3.2.6.3. SPAD değeri

Minolta SPAD 502 aleti yardımı ile ekimden sonra bitkinin büyüme dönemlerinde her parselden bitki örnekleri tesadüfi seçilen 10 bitkide tespit edilmiştir. Gözlem ve ölçümlerde bitkinin en üst 5. yeni açmış ve tam gelişmiş - büyümüş yaprağı kullanılmıştır (Johnson ve Sounders, 2002).

3.2.6.4. Yaş ve kuru madde birikimi parametrelerinin incelenmesi

Ekimden sonra bitkinin büyüme dönemlerinde her parselden 10 bitki üzerinden fizyolojik parametrelere bakılmıştır. Kuru madde birikimi için parsellerden alınan 10 bitki örnekleri etüvde 65-70°C'de 72 saat kurutulduktan sonra tartılmıştır (Peñuelas vd.,1994).

3.2.6.5. Yaprakta makro ve mikro besin elementlerinin tayini

Her bir parselde bitki örneklerinin gözlemleri ve analizleri için rastgele 10 bitki seçilmiştir. Bitki yaprakları Jr ve Case (1990) tarafından tanımlanan yöntem izlenerek yakılıp, makro ve mikro element analizleri ICP-MC cihazında yapılmıştır. Yaprak dokularındaki toplam azot Bremner ve Mulvaney (1982) tarafından bildirilen Kjeldahl yöntemine göre yapılmıştır. Yaprakların besin maddesi element içerikleri yaş yakma yöntemi kullanılarak ekstrakte edilmiştir (Kacar, 1994) ve süzükteki elementler ICP-MC cihazında okutulmuştur.

3.2.7. Hasat döneminde incelenen özellikler**3.2.7.1. Kütlü pamuk verimi (kg/da)**

Her parselde parselin baş ve sonundan 1 m'lik kısım çıkarılarak, ortadaki dört sıradan tüm bitkilerden toplanan kütlü pamuk tartılıp, dekara kütlü olarak belirlenmiştir.

3.2.7.2. Koza sayısı (adet/bitki)

Her parselden rast gele seçilen 10 bitkide koza sayıları alınıp ortalaması alınmıştır.

3.2.7.3. Koza ağırlığı (g)

Her parselden rast gele seçilen 10 bitkide koza ağırlığı tartılıp ortalaması alınmıştır.

3.2.7.4. Koza kütlü ağırlığı (g)

Her parselden rast gele seçilen 10 bitkide koza kütlü ağırlığı tartılıp ortalaması alınmıştır.

3.2.7.5. Çırçır randımanı (%)

Çırçır randımanı (%)=Toplam lif miktarı (g)/Toplam kütlü miktarı (g)X100 olarak belirlenmiştir.

3.2.7.6. 100 Tohum ağırlığı (g)

Her parselde alınan kütlü örneklerinin çırçırlanması ile elde edilen tohumlardan 4 tane 100 adet çiğit 0,01 g duyarlı terazide tartılıp ortalaması alınarak belirlenmiştir.

3.2.7.7. Lif kopma dayanıklılığı (g/tex)

HVI 1000A aleti ile belirlenmiştir.

3.2.7.8. Lif inceliği (micronaire)

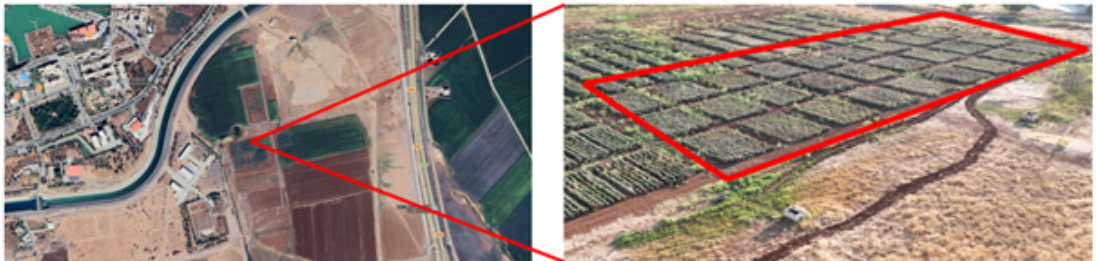
HVI 1000A aleti ile belirlenmiştir.

3.2.7.9. Lif uzunluğu (mm)

HVI 1000A aleti ile belirlenmiştir.

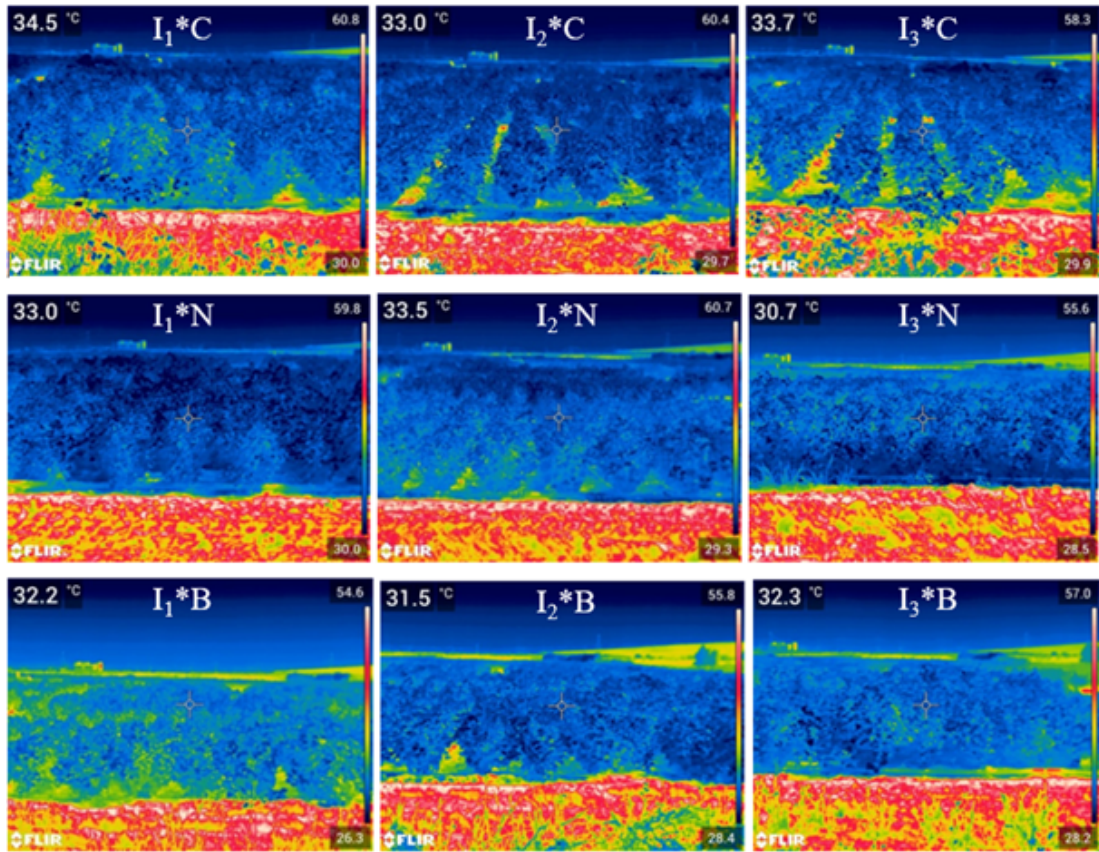
3.2.8. Verilerin değerlendirilmesi

Deneme sonucunda elde edilen veriler JMP 13.2 istatistik paket programı ile tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme deseni göre varyans analizleri yapıp ve LSD (0.05) testine göre ortalamalar gruplandırılmıştır.

3.2.9. Deneme sürecinde elde edilen görüntüleme sonuçlarına ilişkin görseller**Şekil 3.3.** Biyogaz bulamacı merkezi ve takviye işlemine ait görseller**Şekil 3.4.** Biyogaz bulamacının deneme alanına taşınması ve uygulanmasına ait görseller**Şekil 3.5.** Pamuk denemesine ait konum bilgisi ve parsellerin drone ile yukarıdan görünümü



Şekil 3.6. Çalışmada sulama ve gübre uygulamalarının bitki üzerindeki etkisi



Şekil 3.7. Deneme parsellerinde yüzey sıcaklığı dağılımını gösteren termal kamera görüntüleri

4. BULGULAR

4.1. Araştırma Bulguları

4.1.1. Sulama konularına ilişkin bulgular

Çizelge 4.1. Araştırmada pamuk bitkisinin sulama suyu, bitki su tüketim ve su verimliliği sonuçları

Sulama konuları	Uygulamalar	I		ET _c		IWUE		WUE	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
I ₁	C	762	785	789	805	0,40	0,45	0,39	0,44
	N	762	785	797	812	0,55	0,56	0,53	0,54
	B	762	785	796	816	0,61	0,55	0,59	0,53
I ₂	C	990	1016	1012	1021	0,37	0,38	0,36	0,38
	N	990	1016	1011	1030	0,55	0,56	0,54	0,56
	B	990	1016	1009	1036	0,51	0,50	0,50	0,49
I ₃	C	1217	1248	1201	1215	0,30	0,30	0,30	0,30
	N	1217	1248	1210	1219	0,39	0,39	0,40	0,40
	B	1217	1248	1213	1224	0,35	0,34	0,36	0,34

I: sulama suyu (mm), ET_c: Bitki su tüketimi (mm); IWUE: sulama suyu kullanım etkinliği (kg/m³); WUE: su kullanım etkinliği (kg/m³); C: Uygulama yapılmamış; N: Kimyasal gübre uygulaması; B: Biyogaz bulamacı uygulaması; I₁: %75 sulama suyu seviyesi; I₂: %100 sulama suyu seviyesi; I₃: %125 sulama suyu seviyesi.

Araştırmada, ekim sonrası homojen çıkışın sağlanabilmesi amacıyla alana yağmurlama yöntemiyle 2024 yetiştirme sezonunda toplam 80 mm, 2025 yetiştirme sezonunda ise 90 mm çıkış sulama suyu uygulanmıştır. Bitki çıkışlarının tamamlanmasının ardından ise sulama uygulamaları damla sulama yöntemiyle sürdürülmüştür.

Pamuk bitkisinde 2024 yetiştirme sezonu boyunca uygulanan sulama suyu miktarları 762–1217 mm, 2025 yetiştirme sezonunda ise 785–1248 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek sulama suyu uygulaması I₃ konularında, en düşük ise I₁ konularında gerçekleşmiştir. Benzer şekilde, 2024 sezonu bitki su tüketimi (ET_c) değerleri 789–1213 mm, 2025 sezonunda ise bu değer 805–1224 aralığında belirlenmiş olup, en yüksek ET_c I₃ konularında, en düşük ET_c ise I₁ konularında tespit edilmiştir.

Sulama suyu miktarındaki değişim, IWUE (sulama suyu kullanım etkinliği) ve WUE (su kullanım etkinliği) değerlerinde de benzer bir eğilim göstermiştir. 2024 sezonunda pamuk bitkisi için sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) değerleri 0,30–0,61 kg/m³ arasında kaydedilirken 2025 sezonunda bu değerler 0,30–0,56 kg/m³ arasında belirlenmiştir. Su kullanım etkinliği (WUE) değerleri ise 2024 sezonunda 0,30–0,59 kg/m³ arasında

görüldürken, 2025 sezonunda 0,30-0,56 kg/m³ arasında izlenmiştir. Özellikle kısıntılı sulama uygulanan parsellerde, tam sulama uygulananlara kıyasla daha düşük sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve su kullanım etkinliği (WUE) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.1)

4.1.2. Toprak kimyasal özellikleri, enzim aktiviteleri, azot formları ve CO₂ emisyonuna ilişkin bulgular

4.1.2.1. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprak pH değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2’de, pH değerlerine ait ortalama değerler ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprakta pH değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,00556	0,00278	0,2535	0,7876
Sulama (A)	2	0,10810	0,05405	4,9267	0,0834 ^{8d}
Hata (A)	4	0,04388	0,01097	-	-
Gübreleme (B)	2	0,01425	0,00713	0,7113	0,5106 ^{8d}
Hata (B)	12	0,12022	0,01002	-	-
A*B	4	0,01246	0,00311	0,3109	0,8652 ^{8d}
Toplam	26	0,30447	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,04903	0,02451	1,9623	0,2548
Sulama (A)	2	0,08756	0,04378	3,5046	0,1320 ^{8d}
Hata (A)	4	0,04997	0,01249	-	-
Gübreleme (B)	2	0,01903	0,00951	1,4714	0,2682 ^{8d}
Hata (B)	12	0,07760	0,00647	-	-
A*B	4	0,02324	0,00581	0,8983	0,4949 ^{8d}
Toplam	26	0,30643	-	-	-

Çizelge 4.2’de, pH değerlerine ilişkin verilen sonuçlara göre, çalışmanın birinci ve ikinci yılında sulama düzeyleri (I₁, I₂, I₃), gübre uygulamaları (C, N, B) ve bunların interaksiyonları arasında toprak pH değerleri bakımından sayısal farklılıklar gözlenmiş olmakla birlikte, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.3. Toprakta pH değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	8,07	8,12
I ₂	8,04	8,07
I ₃	8,19	8,21
P (Factor A)	öd	öd
C	8,09	8,17
N	8,11	8,12
B	8,06	8,11
P (Factor B)	öd	öd
I ₁ *C	8,09	8,18
I ₁ *N	8,08	8,12
I ₁ *B	8,05	8,06
I ₂ *C	8,07	8,11
I ₂ *N	8,04	8,07
I ₂ *B	8,03	8,03
I ₃ *C	8,12	8,22
I ₃ *N	8,22	8,16
I ₃ *B	8,12	8,24
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	1,24	0,99
LSD	0,18	0,08

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.3'te uygulamaların toprak pH'sı üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığını, pH değerlerinin her iki yılda da benzer bir aralıkta seyrettiğini göstermektedir. Sulama konuları bakımından değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek ve en düşük pH değerlerinin sırasıyla %125 sulama düzeyine sahip I₃ ve %100 sulama düzeyine sahip I₂ uygulamalarında belirlenmiş olması, sulama düzeylerinin pH üzerindeki etkisinin yıllar arasında tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Birinci yılda pH değeri I₃ uygulamasında 8,19 ile en yüksek, I₂ uygulamasında ise 8,04 ile en düşük düzeyde saptanmıştır. Benzer şekilde ikinci yılda da en yüksek pH değeri I₃ uygulamasında 8,21, en düşük değer ise I₂ uygulamasında 8,07 olarak belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, birinci yılda en yüksek pH değeri kimyasal gübre uygulamasında (N) 8,11 olarak belirlenirken, en düşük değer biyogaz bulamacı (B) uygulamasında 8,06 olarak saptanmıştır. İkinci yılda ise en yüksek değer kontrol uygulamasında 8,17 görülürken en düşük değer ise 8,11 ile biyogaz bulamacı uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksyonuna ait bulgular incelendiğinde, birinci yılda en yüksek pH değeri %125 sulama ile kimyasal gübre uygulamasının birlikte uygulandığı I₃*N interaksyonunda 8,22 olarak belirlenirken, en düşük değer %100 sulama ile biyogaz bulamacının birlikte uygulandığı I₂*B interaksyonunda 8,03 olarak saptanmıştır. İkinci yılda ise en yüksek pH değeri %125 sulama ile biyogaz bulamacı uygulamasının birlikte yer aldığı I₃*B interaksyonunda 8,24 olarak belirlenmiş, en düşük değer yine I₂*B interaksyonunda 8,03 olarak gözlenmiştir.

4.1.2.2. Elektriksel iletkenlik (dS/m)

Toprak elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Toprakta elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,01581	0,00790	1,4651	0,3331
Sulama (A)	2	0,07390	0,03695	6,8499	0,0511 ^{öd}
Hata (A)	4	0,02158	0,00539	—	—
Gübreleme (B)	2	0,03639	0,01819	8,6783	0,0047**
Hata (B)	12	0,02516	0,00210	—	—
A*B	4	0,04558	0,01139	5,4355	0,0098**
Toplam	26	0,21841	—	—	—
2025					
Tekerrür	2	0,00185	0,00093	0,6531	0,5683
Sulama (A)	2	0,00840	0,00420	2,9637	0,1623 ^{öd}
Hata (A)	4	0,00567	0,00142	—	—
Gübreleme (B)	2	0,00233	0,00117	0,5115	0,6121 ^{öd}
Hata (B)	12	0,02736	0,00228	—	—
A*B	4	0,01313	0,00328	1,4394	0,2805 ^{öd}
Toplam	26	0,05875	—	—	—

Çizelge 4.4'te, çalışmanın birinci yılında sulama düzeylerinin (I₁, I₂, I₃) toprak elektriksel iletkenliği (EC) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık, gübre uygulamalarının (C, N, B) ve sulama*gübre interaksyonunun elektriksel iletkenlik (EC) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01). Çalışmanın ikinci yılında ise sulama düzeyleri, gübre uygulamaları ve bunların interaksyonlarının toprakta elektriksel iletkenlik (EC) üzerine etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.5. Toprakta elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	0,381	0,337
I ₂	0,351	0,325
I ₃	0,258	0,296
P (Factor A)	öd	öd
C	0,278 b	0,315
N	0,360 a	0,333
B	0,352 a	0,311
P (Factor B)	**	öd
I ₁ *C	0,316 bc	0,326
I ₁ *N	0,445 a	0,367
I ₁ *B	0,381 ab	0,321
I ₂ *C	0,246 c	0,289
I ₂ *N	0,373 ab	0,346
I ₂ *B	0,435 a	0,342
I ₃ *C	0,272 c	0,330
I ₃ *N	0,262 c	0,285
I ₃ *B	0,240 c	0,272
P (Faktör A*B)	**	öd
%CV	13,88	14,92
LSD	0,08	0,05

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama konuları açısından değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek EC değeri I₁ uygulamasında (birinci yıl 0,381 dS/m, ikinci yıl 0,337 dS/m) belirlenirken, en düşük EC değeri I₃ uygulamasında (birinci yıl 0,285 dS/m, ikinci yıl 0,296 dS/m) saptanmıştır. I₂ uygulamasına ait EC değerleri ise birinci yılda 0,351 dS/m, ikinci yılda ise 0,325 dS/m olarak belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları bakımından her iki yılda da en yüksek EC değerinin kimyasal gübre (N) uygulamasında (birinci yıl 0,360 dS/m, ikinci yıl 0,333 dS/m) olduğu görülmüştür. En düşük EC değeri birinci yılda kontrol (C) uygulamasında (0,278 dS/m), ikinci yılda ise biyogaz bulamacı (B) uygulamasında (0,311 dS/m) belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksyonuna ait bulgular incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek EC değerinin %75 sulama ile birlikte kimyasal gübre (N) uygulamasının yapıldığı I₁*N interaksyonunda (birinci yıl 0,445 dS/m, ikinci yıl 0,367 dS/m) ortaya çıktığı görülmüştür. En düşük EC değeri ise çalışmanın iki yılında da %125 sulama ile birlikte biyogaz bulamacı (B) uygulanan I₃*B interaksyonunda (birinci yıl 0,240 dS/m, ikinci yıl

0,272 dS/m) belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

4.1.2.3. Kireç (CaCO₃) içeriği (%)

Toprakta CaCO₃ değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.7'de verilmiştir

Çizelge 4.6. Toprakta CaCO₃ değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,34219	0,17109	0,2872	0,7647
Sulama (A)	2	0,75623	0,37811	0,6346	0,5763 ^ö
Hata (A)	4	2,38321	0,59580	-	-
Gübreleme (B)	2	5,37895	2,68948	6,7000	0,0111*
Hata (B)	12	4,81694	0,40141	-	-
A*B	4	3,09605	0,77401	1,9282	0,1703 ^ö
Toplam	26	16,77356	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,89024	0,44512	1,7371	0,2864
Sulama (A)	2	4,01513	2,00757	7,8348	0,0414*
Hata (A)	4	1,02495	0,25624	-	-
Gübreleme (B)	2	9,71867	4,85934	8,6457	0,0047**
Hata (B)	12	6,74462	0,56205	-	-
A*B	4	1,10029	0,27507	0,4894	0,7437 ^ö
Toplam	26	23,49391	-	-	-

Çizelge 4.6'da, çalışmanın birinci yılında sulama düzeylerinin (I₁, I₂, I₃) ve sulama*gübre interaksiyonunun toprak CaCO₃ içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık, gübre uygulamalarının (C, N, B) CaCO₃ içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Çalışmanın ikinci yılında ise hem sulama düzeylerinin (p<0,05) hem de gübre uygulamalarının toprak CaCO₃ içeriği üzerine etkisi istatistiksel (p<0,01) olarak önemli bulunurken, sulama*gübre interaksiyonunun etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Toprakta CaCO₃ değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	13,74	14,44 b
I ₂	14,11	15,34 a
I ₃	13,77	14,63 b
P (Factor A)	öd	*
C	13,28 b	13,96 b
N	13,98 a	15,15 b
B	14,36 a	15,30 a
P (Factor B)	*	**
I ₁ *C	13,03	13,72
I ₁ *N	14,34	14,91
I ₁ *B	13,85	14,70
I ₂ *C	13,23	14,71
I ₂ *N	14,01	15,43
I ₂ *B	15,09	15,89
I ₃ *C	13,59	13,46
I ₃ *N	13,59	15,12
I ₃ *B	14,14	15,32
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	4,57	5,06
LSD	1,13	0,66

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.7’de yer alan bulgulara göre, farklı sulama uygulamaları bakımından toprak CaCO_3 içeriğinin en yüksek olduğu uygulama her iki yılda da %100 sulamanın yapıldığı I₂ konusu olmuştur. Birinci yılda en yüksek CaCO_3 değeri %14,11 ile I₂ uygulamasında belirlenirken, en düşük değer %13,74 ile %75 sulamanın uygulandığı I₁ konusunda saptanmıştır. İkinci yılda da benzer bir eğilim gözlenmiş; en yüksek değer %15,34 ile I₂ uygulamasında, en düşük değer ise %14,44 ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, toprak CaCO_3 içeriği bakımından birinci ve ikinci yıllarda en yüksek değerler sırasıyla %14,36 ve %15,30 ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük CaCO_3 değerleri ise her iki yılda da kontrol (C) uygulamasında elde edilmiş olup, bu değerler birinci yıl %13,28, ikinci yıl ise %13,96 olarak belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksyonu bakımından CaCO_3 içeriği incelendiğinde, birinci ve ikinci yıllarda en yüksek değerler sırasıyla %15,09 ve %15,89 ile I₂*B uygulamasında elde edilmiştir. En düşük CaCO_3 değerleri ise birinci yılda %13,03 ile I₁*C, ikinci yılda ise

%13,46 ile $I_3 \times C$ interaksiyonlarında belirlenmiştir.

4.1.2.4. Amonyum (NH_4^+) içeriği (mg N/kg/toprak)

Toprak amonyum (NH_4^+) değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Toprakta amonyum (NH_4^+) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,26196	0,13098	2,0908	0,2390
Sulama (A)	2	0,69743	0,34872	5,5664	0,0699 ^{8d}
Hata (A)	4	0,25058	0,06265	-	-
Gübreleme (B)	2	3,70937	1,85469	32,2607	<,0001**
Hata (B)	12	0,68988	0,05749	—	—
A*B	4	1,83921	0,45980	7,9979	0,0022**
Toplam	26	7,44844	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,02461	0,01231	0,1692	0,8501
Sulama (A)	2	0,12194	0,06097	0,8381	0,4966 ^{8d}
Hata (A)	4	0,29098	0,07275	-	-
Gübreleme (B)	2	0,13531	0,06766	1,3741	0,2902 ^{8d}
Hata (B)	12	0,5908504	0,049238	-	-
A*B	4	0,32749	0,08187	1,6628	0,2227 ^{8d}
Toplam	26	1,4911872	-	-	-

Çizelge 4.8’de toprak amonyum (NH_4^+) içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları incelendiğinde, çalışmanın birinci yılında sulama düzeylerinin NH_4^+ içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık, gübre uygulamalarının ve sulama*gübre interaksiyonunun NH_4^+ içeriği üzerine etkisi $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çalışmanın ikinci yılında ise sulama düzeyleri, gübre uygulamaları ve bunların interaksiyonlarının toprak NH_4^+ içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.9. Toprakta amonyum (NH_4^+) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	0,73	1,36
I ₂	1,11	1,47
I ₃	0,83	1,31
P (Factor A)	öd	öd
C	0,90 b	1,29
N	0,43 c	1,46
B	1,33 a	1,38
P (Factor B)	**	öd
I ₁ *C	0,26 c	1,15
I ₁ *N	0,60 c	1,46
I ₁ *B	1,35 ab	1,47
I ₂ *C	1,37 ab	1,30
I ₂ *N	0,39 c	1,58
I ₂ *B	1,58 a	1,52
I ₃ *C	1,10 b	1,42
I ₃ *N	0,30 c	1,36
I ₃ *B	1,08 b	1,14
P (Faktör A*B)	**	öd
%CV	26,94	16,08
LSD	0,43	0,4

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.9'da yer alan verilere göre, sulama düzeyleri bakımından her iki yılda da en yüksek amonyum (NH_4^+) içeriği %100 sulamanın uygulandığı I₂ konusunda belirlenmiştir. Buna göre, birinci ve ikinci yıllarda en yüksek NH_4^+ değerleri sırasıyla 1,11 mg N/kg/toprak ve 1,47 mg N/kg/toprak olarak tespit edilmiştir. En düşük NH_4^+ değeri birinci yılda 0,73 mg N/kg/toprak ile I₁ uygulamasında görülürken, ikinci yılda en düşük değer 1,31 mg N/kg/toprak ile I₃ uygulamasında belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, toprak amonyum (NH_4^+) içeriği birinci yılda en yüksek değerini biyogaz bulamacı (B) uygulamasında 1,33 mg N/kg/toprak olarak saptanmıştır. İkinci yılda ise en yüksek NH_4^+ değeri 1,46 mg N/kg/toprak ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük NH_4^+ değeri birinci yılda 0,43 mg N/kg/toprak ile kimyasal gübre (N) uygulamasında görülürken, ikinci yılda en düşük değer 1,29 mg N/kg/toprak ile kontrol (C) uygulamasında saptanmıştır.

Sulama*gübreleme interaksyonu bakımından incelendiğinde, en yüksek NH_4^+ içeriği 1,58 mg N/kg/toprak ile birinci yılda I₂*B, ikinci yılda ise I₂*N uygulamasında belirlenmiştir.

En düşük NH_4^+ değeri ise birinci yılda 0,26 mg N/kg/toprak ile $\text{I}_1 \times \text{C}$, ikinci yılda ise 1,14 mg N/kg/toprak ile $\text{I}_3 \times \text{B}$ uygulamasında saptanmıştır.

4.1.2.5. Nitrat (NO_3^-) içeriği (mg N/kg/toprak)

Toprak nitrat (NO_3^-) değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Toprakta nitrat (NO_3^-) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,85744	0,42872	0,3395	0,7308
Sulama (A)	2	16,3663	8,18313	6,4805	0,0556 ^{öd}
Hata (A)	4	5,05089	1,26272	-	-
Gübreleme (B)	2	614,529	307,264	640,1804	<,0001**
Hata (B)	12	5,75958	0,4800	-	-
A*B	4	9,81036	2,45259	5,1099	0,0122*
Toplam	26	652,37321	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,30103	0,15052	5,0741	0,0799
Sulama (A)	2	2,58391	1,29196	43,5536	0,0019**
Hata (A)	4	0,11865	0,02966	-	-
Gübreleme (B)	2	547,426	273,713	7944,865	<,0001**
Hata (B)	12	0,41342	0,03445	-	-
A*B	4	1,75607	0,43902	12,7430	0,0003**
Toplam	26	552,59883	-	-	-

Çizelge 4.10'da toprak nitrat (NO_3^-) içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Birinci yılda sulama düzeylerinin NO_3^- içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, ikinci yılda bu etki $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Gübre uygulamalarının NO_3^- içeriği üzerine etkisi ise her iki yılda da $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sulama*gübre interaksiyonunun etkisi birinci yılda $p < 0,05$, ikinci yılda ise istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Toprakta nitrat (NO_3^-) değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	5,83	6,48 c
I ₂	7,32	6,88 b
I ₃	7,60	7,25 a
P (Factor A)	öd	**
C	2,60 c	3,11 c
N	4,59 b	4,30 b
B	13,57 a	13,20 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	1,47 f	2,35 f
I ₁ *N	3,40 de	4,02 cd
I ₁ *B	12,62 b	13,12 a
I ₂ *C	2,95 e	3,05 e
I ₂ *N	4,19 d	4,34 bc
I ₂ *B	14,83 a	13,26 a
I ₃ *C	3,39 de	3,94 d
I ₃ *N	6,18 c	4,58 b
I ₃ *B	13,25 b	13,24 a
P (Faktör A*B)	*	**
%CV	10,01	2,70
LSD	1,23	0,33

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine bağlı olarak toprak nitrat (NO_3^-) içeriği her iki yılda da artış göstermiştir. Birinci ve ikinci yıllarda en yüksek nitrat değerlerinin sırasıyla 7,60 mg N/kg/toprak ve 7,25 mg N/kg/toprak ile I₃ uygulamasında belirlenirken, en düşük değerler I₁ uygulamasında (birinci yıl 5,83 mg N/kg/toprak, ikinci yıl 6,48 mg N/kg/toprak) elde edilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, biyogaz bulamacı (B) uygulamasında toprak nitrat içeriğinin her iki yılda da belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Bu uygulamada nitrat değerleri birinci yılda 13,57 mg N/kg/toprak, ikinci yılda ise 13,20 mg N/kg/toprak olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, kontrol (C) uygulamasında nitrat içeriğinin her iki yılda da oldukça düşük seviyelerde (sırasıyla 2,60 mg N/kg/toprak ve 3,11 mg N/kg/toprak) olduğu görülmüştür.

Sulama*gübreleme interaksyonları birlikte ele alındığında, I₂*B uygulamasında her iki yılda da en yüksek nitrat değerleri (birinci yıl 14,83 mg N/kg/toprak, ikinci yıl 13,26 mg N/kg/toprak) elde edilirken, en düşük değerleri ise (birinci yıl 1,47 mg N/kg/toprak, ikinci

yıl 2,35 mg N/kg/toprak) I₁*C interaksiyonunda elde edilmiştir (Çizelge 4.11)

4.1.2.6. Katalaz (CAT) enzim aktivitesi (ml O₂/g/kuru toprak/dk)

Toprakta katalaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları

Çizelge 4.12’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Toprakta katalaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	39,4074	19,7037	0,1876	0,8359
Sulama (A)	2	2615,41	1307,7	12,4499	0,0192*
Hata (A)	4	420,148	105,037	-	-
Gübreleme (B)	2	7751,41	3875,7	75,6098	<,0001**
Hata (B)	12	615,111	51,259	-	-
A*B	4	1769,48	442,37	8,6301	0,0016**
Toplam	26	13210,963	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	50,6667	25,3333	0,7355	0,5346
Sulama (A)	2	507,556	253,778	7,3677	0,0456*
Hata (A)	4	137,778	34,4444	-	-
Gübreleme (B)	2	578,667	289,333	13,2407	0,0009**
Hata (B)	12	262,2222	21,8518	-	-
A*B	4	289,778	72,4444	3,3153	0,0477*
Toplam	26	1826,6667	-	-	-

Çizelge 4.12’de toprakta katalaz enzim aktivitesine ait varyans analiz sonuçları verilmiştir. Sulama düzeyleri bakımından, çalışmanın birinci ve ikinci yılında istatistiksel olarak $p<0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Gübre uygulamaları açısından her iki yılda da istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Sulama*gübre interaksiyonu ise birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde, ikinci yılda $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Toprakta katalaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	62,66 b	55,33 b
I ₂	57,77 b	62,22 ab
I ₃	77,55 a	65,77 a
P (Factor A)	*	*
C	58,66 b	58,88 b
N	51,77 b	56,88 b
B	90,66 a	67,55 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	66,67 b	48,66 d
I ₁ *N	44,0 c	56,0 cd
I ₁ *B	77,33 b	61,33 bc
I ₂ *C	36,67 c	60,0 bc
I ₂ *N	42,67 c	58,66 c
I ₂ *B	94,0 a	68,0 ab
I ₃ *C	72,67 b	68,0 ab
I ₃ *N	68,67 b	56,0 cd
I ₃ *B	100,67 a	73,33 a
P (Faktör A*B)	**	*
%CV	10,68	7,65
LSD	12,73	8,31

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.13'te yer alan bulgulara göre, sulama düzeylerine bağlı olarak toprak katalaz enzim aktivitesi her iki yılda da en yüksek değerlerini I₃ uygulamasında göstermiştir. Buna göre, katalaz aktivitesi birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 77,55 ml O₂/g/kuru toprak/dk ve 65,77 ml O₂/g/kuru toprak/dk olarak belirlenmiştir. En düşük katalaz aktivitesi ise birinci yılda 57,77 ml O₂/g/kuru toprak/dk ile I₂ uygulamasında, ikinci yılda ise 55,33 ml O₂/g/kuru toprak/dk ile I₁ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, biyogaz bulamacı (B) uygulamasında katalaz enzim aktivitesinin her iki yılda da belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Bu uygulamada katalaz aktivitesi birinci yılda 90,66 ml O₂/g/kuru toprak/dk, ikinci yılda ise 67,55 ml O₂/g/kuru toprak/dk olarak saptanmıştır. Buna karşılık, kimyasal gübre (N) uygulamasında daha düşük katalaz aktivitesi değerleri elde edilmiş olup, bu değerler birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 51,77 ml O₂/g/kuru toprak/dk ve 56,88 ml O₂/g/kuru toprak/dk olarak belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksiyonları birlikte incelendiğinde, her iki yılda da en yüksek

katalaz enzim aktivitesi I_3 *B uygulamasında belirlenmiş olup, bu değerler birinci yılda 100,67 ml O_2 /g/kuru toprak/dk, ikinci yılda ise 73,33 ml O_2 /g/kuru toprak/dk olarak kaydedilmiştir. En düşük katalaz aktivitesi ise birinci yılda 36,67 ml O_2 /g/kuru toprak/dk ile I_2 *C, ikinci yılda ise 48,66 ml O_2 /g/kuru toprak/dk ile I_1 *C uygulamalarında görülmüştür.

4.1.2.7. Üreaz enzim aktivitesi (μ g N/g/kuru toprak/saat)

Toprakta üreaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları

Çizelge 4.14'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Toprakta üreaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,16228	0,08114	0,3774	0,7077
Sulama (A)	2	12,5904	6,29521	29,2828	0,0041**
Hata (A)	4	0,85992	0,21498	-	-
Gübreleme (B)	2	64,7886	32,3943	193,5491	<,0001**
Hata (B)	12	2,00844	0,16737	-	-
A*B	4	9,54884	2,38721	14,2631	0,0002**
Toplam	26	89,95851	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	2,52157	1,26078	1,2944	0,3686
Sulama (A)	2	100,741	50,3703	51,7113	0,0014 **
Hata (A)	4	3,89627	0,97407	-	-
Gübreleme (B)	2	10,3424	5,17119	4,0406	0,0455*
Hata (B)	12	15,35761	1,27980	-	-
A*B	4	6,64022	1,66006	1,2971	0,3255 ^{öd}
Toplam	26	139,49864	-	-	-

Çizelge 4.14'te toprakta üreaz aktivitesine ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre, sulama düzeyleri çalışmanın her iki yılında da üreaz aktivitesi üzerinde istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı etkiye sahip olmuştur. Gübre uygulamaları bakımından ise birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde anlamlı bulunurken, ikinci yılda $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre etkileşimi birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde anlamlı bulunurken, ikinci yılda istatistiksel olarak anlamlı bir etki saptanamamıştır.

Çizelge 4.15. Toprakta üreaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	5,63 b	4,36 c
I ₂	6,62 a	7,52 b
I ₃	4,96 c	8,99 a
P (Factor A)	**	**
C	5,11 b	6,09 b
N	4,23 c	7,31 a
B	7,87 a	7,48 a
P (Factor B)	**	*
I ₁ *C	5,30 d	3,33
I ₁ *N	4,69 de	5,15
I ₁ *B	6,92 c	4,62
I ₂ *C	6,56 c	6,69
I ₂ *N	4,42 e	8,34
I ₂ *B	8,91 a	7,52
I ₃ *C	3,49 f	8,25
I ₃ *N	3,61 f	8,44
I ₃ *B	7,79 b	10,29
P (Faktör A*B)	**	öd
%CV	7,13	16,25
LSD	0,73	2,01

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine bağlı olarak toprak üreaz enzim aktivitesi, çalışmanın birinci yılında en yüksek değer 6,62 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₂, ikinci yılda 8,99 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₃ uygulamasında görülürken, en düşük değerler ise birinci yılda I₃ uygulamasında 4,96 µg N/g/kuru toprak/saat, ikinci yılda 4,36 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₁ uygulamasında tespit edilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek üreaz enzim aktivitesinin biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Bu uygulamada üreaz aktivitesi birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 7,87 µg N/g/kuru toprak/saat ve 7,48 µg N/g/kuru toprak/saat olarak saptanmıştır. En düşük değerler ise birinci yılda (4,23 µg N/g/kuru toprak/saat) kimyasal gübre (N) uygulamasında, ikinci yılda (6,09 µg N/g/kuru toprak/saat) kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksiyonları birlikte incelendiğinde, çalışmanın birinci yılında en yüksek üreaz enzim aktivitesi 8,91 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₂*B uygulamasında, ikinci yılında ise 10,29 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₃*B uygulamasında belirlenmiştir. En

düşük üreaz aktivitesi değerleri birinci yılda 3,49 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₃*C, ikinci yılda ise 3,33 µg N/g/kuru toprak/saat ile I₁*C uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4,15).

4.1.2.8. Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi (µg TPF/g/kuru toprak/24 sa)

Toprak dehidrogenaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.16'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,02106	0,01053	0,9805	0,4503
Sulama (A)	2	0,06089	0,03044	2,8346	0,1711 ^{öd}
Hata (A)	4	0,04296	0,01074	-	-
Gübreleme (B)	2	0,10747	0,05374	5,1855	0,0238*
Hata (B)	12	0,12435	0,01036	-	-
A*B	4	0,98608	0,24652	23,7894	<,0001**
Toplam	26	1,34281	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	2,05916	1,02958	4,7063	0,0889
Sulama (A)	2	0,36289	0,18144	0,8294	0,4997 ^{öd}
Hata (A)	4	0,87506	0,21877	-	-
Gübreleme (B)	2	8,39894	4,19947	8,2202	0,0056**
Hata (B)	12	6,130489	0,510874	-	-
A*B	4	0,53121	0,1328	0,2600	0,8980 ^{öd}
Toplam	26	18,357751	-	-	-

Çizelge 4.16'da toprakta dehidrogenaz aktivitesine ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre, sulama düzeyleri çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunamamıştır. Gübre uygulamaları bakımından ise birinci yılda p<0,05 düzeyinde, ikinci yılda p<0,01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre interaksyonu çalışmanın birinci yılında p<0,01 düzeyinde anlamlı farklılık görülürken, çalışmanın ikinci yılında ise istatistiksel olarak anlamlı bir etki saptanamamıştır.

Çizelge 4.17. Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	9,27	11,53
I ₂	9,20	11,35
I ₃	9,15	11,25
P (Factor A)	öd	öd
C	9,15 b	11,12 b
N	9,18 b	10,86 b
B	9,29 a	12,15 a
P (Factor B)	*	**
I ₁ *C	8,96 d	11,43
I ₁ *N	9,60 a	10,78
I ₁ *B	9,25 bc	12,39
I ₂ *C	9,21 c	11,14
I ₂ *N	8,98 d	10,94
I ₂ *B	9,42 b	11,99
I ₃ *C	9,29 bc	10,80
I ₃ *N	8,96 d	10,87
I ₃ *B	9,22 c	12,08
P (Faktör A*B)	**	öd
%CV	1,10	6,28
LSD	0,18	1,27

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

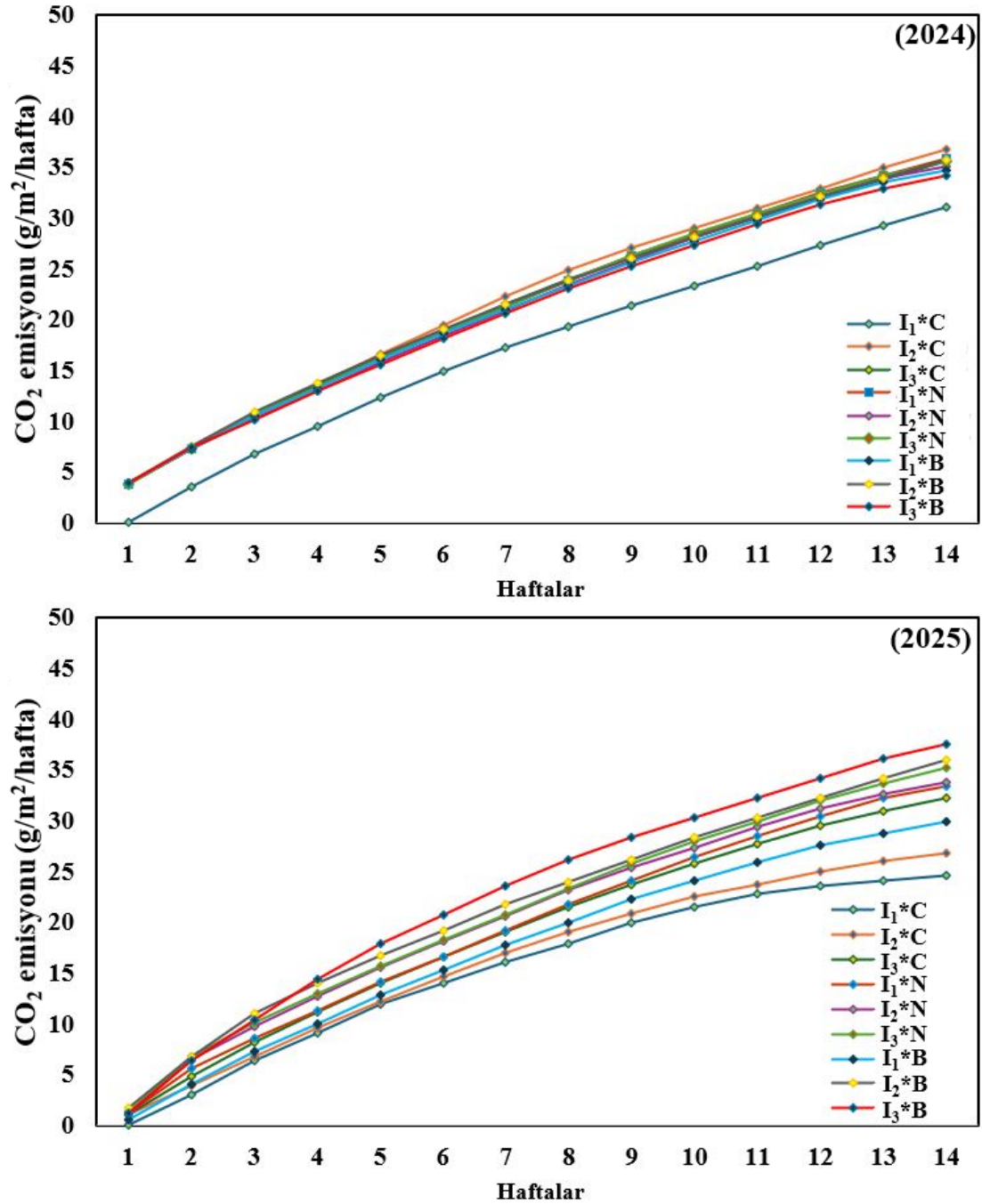
Çizelge 4,17’de, dehidrogenaz enzim aktivitesi sulama düzeylerine bağlı olarak incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek değerler sırasıyla 9,27 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ve 11,53 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I₁ sulama uygulamasında belirlenmiştir. En düşük dehidrogenaz aktivitesi değerleri ise her iki yılda da sırasıyla 9,15 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ve 11,25 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I₃ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek dehidrogenaz enzim aktivitesi biyogaz bulamacı uygulamasında belirlenmiş olup, bu değerler birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 9,29 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ve 12,15 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat olarak kaydedilmiştir. En düşük değer birinci yılda 9,15 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile kontrol uygulamasında, ikinci yılda ise 10,86 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksiyonları birlikte değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında en yüksek dehidrogenaz aktivitesi 9,60 µg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I₁*N

uygulamasında, ikinci yılında ise 12,39 μg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I_1*B uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler birinci yılda 8,96 μg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I_1*C ve I_3*N uygulamalarında, ikinci yılda ise 10,78 μg TPF/g/kuru toprak/24 saat ile I_1*N uygulamasında saptanmıştır.

4.1.2.9. Karbondioksit (CO_2) emisyonu ($\text{g/m}^2/\text{hafta}$)



Şekil 4.1. Sulama ve gübre uygulamalarının toprakta CO_2 emisyonuna etkisi

Çalışma, üç farklı sulama düzeyi (I_1 :%75, I_2 :%100 ve I_3 :%125) ile üç farklı gübre uygulamasının (C: kontrol, N: kimyasal gübre, B: biyogaz bulamacı) interaksyonları kullanılarak elde edilmiştir. En düşük CO₂ emisyonu: çalışmanın her iki yılında da I_1 *C (%75 sulama, kontrol) uygulamasında gözlenmiştir. Bu durum, su, besin maddesi eksikliği ve organik madde girişinin azlığı mikrobiyal aktiviteyi sınırladığını ve dolayısıyla karbon mineralizasyonunu azalttığını göstermektedir. En yüksek CO₂ emisyonu çalışmanın birinci yılında I_2 *C (%100 sulama, kontrol) uygulamasında görülürken, çalışmanın ikinci yılında I_3 *B (%125 sulama, biyogaz bulamacı) interaksyonunda görülmüştür. N (kimyasal gübre) ve B (biyogaz bulamacı) uygulamaları, genel olarak C (kontrol) uygulamasına göre daha yüksek CO₂ emisyonuna neden olmuştur.

4.1.3. Uygulamaların Bitki Gelişimi ve Büyüme Parametrelerine ilişkin Bulgular

4.1.3.1. Bitki boyu (cm)

Pamukta farklı gelişme dönemlerinde ölçülen bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve ortalama değerler yıllara göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın birinci yılına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.18’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.19’da sunulmuştur. İkinci yıla ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.20’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	1,51832	0,75916	0,1892	0,8346
Sulama (A)	2	280,207	140,104	34,9121	0,0029**
Hata (A)	4	16,0522	4,01305	-	-
Gübreleme (B)	2	67,8292	33,9146	17,6943	0,0003**
Hata (B)	12	23,00029	1,9167	-	-
A*B	4	32,7519	8,18799	4,2719	0,0223*
Toplam	26	421,35941	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	7,64892	3,82446	0,3479	0,7256
Sulama (A)	2	729,011	364,505	33,1589	0,0032**
Hata (A)	4	43,9707	10,9927	-	-
Gübreleme (B)	2	232,535	116,268	27,0317	<,0001**
Hata (B)	12	51,6140	4,3012	-	-
A*B	4	39,1725	9,79313	2,2769	0,1212 ^{öd}
Toplam	26	1103,9519	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	4,25825	2,12913	0,1226	0,8878
Sulama (A)	2	2344,61	1172,3	67,4904	0,0008**
Hata (A)	4	69,4797	17,3699	-	-
Gübreleme (B)	2	625,691	312,846	36,4627	<,0001**
Hata (B)	12	102,9586	8,580	-	-
A*B	4	111,007	27,7517	3,2345	0,0511 ^{öd}
Toplam	26	3258,0012	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	11,7281	5,86407	0,5501	0,6151
Sulama (A)	2	2237,44	1118,72	104,9435	0,0003**
Hata (A)	4	42,6409	10,6602	-	-
Gübreleme (B)	2	631,092	315,546	66,3181	<,0001**
Hata (B)	12	57,0968	4,758	-	-
A*B	4	138,095	34,5238	7,2559	0,0033**
Toplam	26	3118,0983	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	16,3119	8,15593	0,4133	0,6868
Sulama (A)	2	1992,65	996,325	50,4913	0,0015**
Hata (A)	4	78,9304	19,7326	-	-
Gübreleme (B)	2	807,352	403,676	39,8263	<,0001**
Hata (B)	12	121,6311	10,136	-	-
A*B	4	310,284	77,5709	7,6531	0,0026**
Toplam	26	3327,1585	-	-	-

Çalışmanın birinci yılında bitki boyunun taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sonuçlara göre, sulama düzeyleri ve farklı gübre uygulamaları bakımından bitki boyu, söz konusu tüm gelişme dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar

göstermiştir. Sulama*gübre uygulamaları interaksyonu açısından ise taraklanma döneminde $p < 0,05$ düzeyinde, koza tutma ve hasat dönemlerinde $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenirken, çiçeklenme başlangıcı ve çiçeklenme doruğu dönemlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.19. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki boyu					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	39,62 c	47,86 b	60,95 c	65,93 c	70,51 c
I ₂	44,30 b	57,96 a	73,29 b	78,81 b	81,83 b
I ₃	47,46 a	59,61 a	83,75 a	88,13 a	91,53 a
P (Factor A)	**	**	**	**	**
C	41,58 b	51,18 c	65,99 b	71,50 c	74,14 c
N	44,58 a	58,19 a	77,18 a	83,32 a	87,42 a
B	45,22 a	56,06 b	74,81 a	78,05 b	82,31 b
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	38,65 c	45,20	58,20	63,13 f	69,73 d
I ₁ *N	40,23 c	51,70	63,70	68,06 de	71,53 d
I ₁ *B	39,98 c	46,67	60,94	66,60 ef	70,27 d
I ₂ *C	40,89 c	52,37	64,07	71,0 d	72,0 d
I ₂ *N	46,67 b	60,97	78,43	84,70 b	90,0 b
I ₂ *B	45,33 b	60,53	77,37	80,73 c	83,50 c
I ₃ *C	45,20 b	55,97	75,71	80,37 c	80,70 c
I ₃ *N	46,83 b	61,90	89,40	97,20 a	100,73 a
I ₃ *B	50,34 a	60,97	86,13	86,83 b	93,17 b
P (Factor A*B)	*	öd	öd	**	**
%CV	3,16	3,76	4,03	2,81	3,92
LSD	2,46	3,69	5,21	3,88	5,66

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.19’da çalışmanın farklı dönemlerinde bitki boyuna ilişkin ölçümler taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci yılına ait bulgular incelendiğinde, tüm gelişme dönemlerinde en yüksek bitki boyu değerlerinin I₃ uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Buna göre bitki boyu değerleri taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde sırasıyla 47,46 cm, 59,61 cm, 83,75 cm, 88,13 cm ve 91,53 cm olarak belirlenmiştir. En düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde I₁ uygulamasında saptanmış olup, bu değerler sırasıyla 39,62 cm, 47,86 cm, 60,95 cm, 65,93 cm ve 70,51 cm olarak kaydedilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, taraklanma döneminde en yüksek bitki boyu değeri 45,22 cm ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında belirlenmiştir. Buna karşılık, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek bitki boyu değerleri kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiş olup, bu değerler sırasıyla 58,19 cm, 77,18 cm, 83,32 cm ve 87,42 cm olarak saptanmıştır. En düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde kontrol (C) uygulamasında görülmüş ve sırasıyla 41,58 cm, 51,18 cm, 65,99 cm, 71,50 cm ve 74,14 cm olarak kaydedilmiştir.

Sulama*gübre interaksiyonları birlikte incelendiğinde, taraklanma döneminde en yüksek bitki boyu değeri 50,34 cm ile I_3*B uygulamasında elde edilmiştir. Diğer tüm dönemlerde ise en yüksek değerlerin I_3*N uygulamasında belirlenmiş olduğu görülmüştür. Bu uygulamada bitki boyu değerleri çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde sırasıyla 61,90 cm, 89,40 cm, 97,20 cm ve 100,73 cm olarak saptanmıştır. En düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde I_1*C uygulamasında görülmüş ve sırasıyla 38,65 cm, 45,20 cm, 58,20 cm, 63,13 cm ve 69,73 cm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	4,0082	2,0041	0,7860	0,5154
Sulama (A)	2	523,906	261,953	102,7317	0,0004**
Hata (A)	4	10,1995	2,54988	-	-
Gübreleme (B)	2	225,042	112,521	44,7720	<,0001**
Hata (B)	12	30,15836	2,5132	-	-
A*B	4	34,0954	8,52384	3,3916	0,0447*
Toplam	26	827,40947	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	62,6504	31,3252	1,1816	0,3952
Sulama (A)	2	933,325	466,662	17,6021	0,0104*
Hata (A)	4	106,047	26,5117	-	-
Gübreleme (B)	2	769,754	384,877	39,9723	<,0001**
Hata (B)	12	115,5430	9,629	-	-
A*B	4	101,556	25,389	2,6368	0,0865 ^{öd}
Toplam	26	2088,8750	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	16,0657	8,03285	2,5145	0,1963
Sulama (A)	2	2138,31	1069,15	334,6785	<,0001**
Hata (A)	4	12,7783	3,19457	-	-
Gübreleme (B)	2	1566,88	783,438	110,4762	<,0001**
Hata (B)	12	85,0976	7,091	-	-
A*B	4	488,319	122,08	17,2150	<,0001**
Toplam	26	4307,4446	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	3,89459	1,94729	0,4644	0,6586
Sulama (A)	2	2343,39	1171,69	279,4173	<,0001**
Hata (A)	4	16,7734	4,19335	-	-
Gübreleme (B)	2	857,564	428,782	103,4637	<,0001**
Hata (B)	12	49,7313	4,144	-	-
A*B	4	214,739	53,6848	12,9540	0,0003**
Toplam	26	3486,0909	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	32,351	16,1755	0,8495	0,4926
Sulama (A)	2	4261,04	2130,52	111,8909	0,0003**
Hata (A)	4	76,1643	19,0411	-	-
Gübreleme (B)	2	2148,75	1074,38	39,3722	<,0001**
Hata (B)	12	327,4525	27,288	-	-
A*B	4	643,724	160,931	5,8976	0,0073**
Toplam	26	7489,4865	-	-	-

Çizelge 4.20’de, çalışmanın ikinci yılında bitki boyunun taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sonuçlara göre, sulama düzeyleri bakımından bitki boyu; taraklanma, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde,

çiçeklenme başlangıcında ise $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir. Farklı gübre uygulamaları bakımından bitki boyu, söz konusu tüm gelişme dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Sulama*gübre uygulamaları interaksyonu açısından ise çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde $p < 0,01$ düzeyinde, taraklanma döneminde $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenirken, çiçeklenme başlangıcı döneminde anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Çizelge 4.21. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boyu değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki boyu					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	40,53 c	49,48 b	57,15 c	63,82 c	71,56 c
I ₂	46,79 b	59,74 a	72,51 b	79,27 b	92,11 b
I ₃	51,28 a	63,37 a	78,22 a	86,09 a	101,67 a
P (Factor A)	**	*	**	**	**
C	42,31 c	50,15 b	59,26 c	69,29 c	76,85 c
N	49,22 a	62,60 a	77,70 a	83,07 a	98,54 a
B	47,07 b	59,85 a	70,92 b	76,81 b	89,95 b
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	38,61 f	45,22	54,89 f	61,47 f	68,49 d
I ₁ *N	42,0 e	52,01	59,33 def	66,06 de	73,67 d
I ₁ *B	41,0 ef	51,22	57,22 ef	63,93 ef	72,53 d
I ₂ *C	42,05 e	52,22	60,44 de	69,0 d	74,73 d
I ₂ *N	49,89 bc	66,22	83,22 b	89,80 ab	107,73 ab
I ₂ *B	48,44 cd	60,78	73,88 c	79,0 c	93,87 c
I ₃ *C	46,27 d	53,0	62,44 d	77,40 c	87,32 c
I ₃ *N	55,78 a	69,56	90,55 a	93,37 a	114,23 a
I ₃ *B	51,78 b	67,55	81,66 b	87,50 b	103,47 b
P (Factor A*B)	*	öd	**	**	**
%CV	3,43	5,39	3,84	6,84	5,91
LSD	2,82	5,52	4,74	9,29	9,29

Çalışmanın ikinci yılında bitki boyuna ilişkin ölçümler taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.21.'de bulgular incelendiğinde, sulama düzeyleri bakımından elde edilen bulgular birinci yıl ile benzerlik göstermektedir. Tüm gelişme dönemlerinde en yüksek bitki boyu değerlerinin I₃ uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Buna göre bitki boyu değerleri taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde sırasıyla 51,28 cm, 63,37 cm, 78,22 cm, 86,09 cm ve 101,67 cm olarak belirlenmiştir. En

düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde I_1 uygulamasında saptanmış olup, bu değerler sırasıyla 40,53 cm, 49,48 cm, 57,15 cm, 63,82 cm ve 71,56 cm olarak kaydedilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, söz konusu bütün dönemlerde en yüksek bitki boyu değerleri kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiş olup, bu değerler sırasıyla 49,22 cm, 62,60 cm, 77,70 cm, 83,07 cm ve 98,54 cm olarak saptanmıştır. En düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde kontrol (C) uygulamasında görülmüş ve sırasıyla 42,31 cm, 50,15 cm, 59,26 cm, 69,29 cm ve 76,85 cm olarak kaydedilmiştir.

Sulama*gübreleme interaksiyonları birlikte incelendiğinde, tüm dönemlerde en yüksek değerlerin I_3*N uygulamasında belirlenmiş olduğu görülmüştür. Bu uygulamada bitki boyu değerleri taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde sırasıyla 55,78 cm, 69,56 cm, 90,55 cm, 93,37 cm ve 114,23 cm olarak elde edilmiştir. En düşük bitki boyu değerleri ise tüm dönemlerde I_1*C uygulamasında görülmüş ve sırasıyla 38,61 cm, 45,22 cm, 54,89 cm, 61,47 cm ve 68,49 cm olarak belirlenmiştir.

4.1.3.2. Boğum Sayısı (adet/bitki)

Pamukta farklı gelişme dönemlerinde ölçülen bitki boğum sayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve ortalama değerler yıllara göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın birinci yılına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.22’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.23’te sunulmuştur. İkinci yıla ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.24’te, ortalama değerler ise Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.22. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,82889	0,41444	0,9131	0,4714
Sulama (A)	2	15,1822	7,59111	16,7246	0,0114*
Hata (A)	4	1,81556	0,45389	-	-
Gübreleme (B)	2	17,6067	8,80333	57,9732	<,0001**
Hata (B)	12	1,82222	0,15185	-	-
A*B	4	0,94444	0,23611	1,5549	0,2488 ^{öd}
Toplam	26	38,2000	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	0,9363	0,46815	4,9375	0,0831
Sulama (A)	2	14,9541	7,47704	78,8594	0,0006**
Hata (A)	4	0,37926	0,09481	-	-
Gübreleme (B)	2	9,10519	4,55259	8,9985	0,0041**
Hata (B)	12	6,071111	0,50593	-	-
A*B	4	0,77037	0,19259	0,3807	0,8182 ^{öd}
Toplam	26	32,216296	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	0,22519	0,11259	0,2804	0,7692
Sulama (A)	2	20,8385	10,4193	25,9520	0,0051**
Hata (A)	4	1,60593	0,40148	-	-
Gübreleme (B)	2	41,2652	20,6326	20,6173	0,0001**
Hata (B)	12	12,008889	1,00074	-	-
A*B	4	4,32593	1,08148	1,0807	0,4088 ^{öd}
Toplam	26	80,269630	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	0,10889	0,05444	0,0757	0,9284
Sulama (A)	2	21,3622	10,6811	14,8578	0,0141*
Hata (A)	4	2,87556	0,71889	-	-
Gübreleme (B)	2	10,4422	5,22111	11,9974	0,0014**
Hata (B)	12	5,222222	0,43519	-	-
A*B	4	4,71556	1,17889	2,7089	0,0810 ^{öd}
Toplam	26	44,726667	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	2,59556	1,29778	0,6324	0,5772
Sulama (A)	2	20,6422	10,3211	5,0292	0,0810 ^{öd}
Hata (A)	4	8,20889	2,05222	-	-
Gübreleme (B)	2	41,5089	20,7544	30,8914	<,0001**
Hata (B)	12	8,062222	0,67185	-	-
A*B	4	8,84889	2,21222	3,2927	0,0486*
Toplam	26	89,866667	-	-	-

Çalışmanın birinci yılında boğum sayısının taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları verilmiştir. Çalışmada, sulama düzeyleri bakımından boğum sayısı; çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, taraklanma ve koza tutma

dönemlerinde $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunurken, hasat döneminde ise istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunamamıştır. Farklı gübre uygulamaları bakımından boğum sayısı, söz konusu tüm gelişme dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Sulama*gübre uygulamaları interaksyonu açısından sadece hasat döneminde $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenirken, taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu ve koza tutma dönemlerinde ise anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.23. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Boğum sayısı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	10,34 b	12,24 c	15,35 b	16,27 b	18,35
I ₂	12,12 a	14,07 a	16,67 a	17,79 a	19,84
I ₃	11,63 a	13,20 b	17,49 a	18,38 a	20,43
P (Factor A)	*	**	**	*	öd
C	10,32 c	12,35 b	14,76 b	16,70 c	18,32 c
N	11,49 b	13,49 a	17,40 a	18,22 a	21,24 a
B	12,29 a	13,67 a	17,35 a	17,51 b	19,07 b
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	9,17	11,53	14,33	16,0	17,73 e
I ₁ *N	10,5	12,53	15,87	16,47	19,47 cd
I ₁ *B	11,37	12,67	15,87	16,33	17,87 e
I ₂ *C	10,87	13,26	14,73	16,30	18,87 cde
I ₂ *N	12,26	14,13	17,47	19,20	21,07 b
I ₂ *B	13,23	14,80	17,80	17,87	19,60 cd
I ₃ *C	10,93	12,27	15,20	17,80	18,37 de
I ₃ *N	11,70	13,80	18,87	19,0	23,20 a
I ₃ *B	12,26	13,53	18,40	18,33	19,73 c
P (Factor A*B)	öd	öd	öd	öd	*
%CV	3,43	5,40	6,04	3,77	4,19
LSD	0,69	1,26	1,78	1,17	1,46

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.23'te boğum sayısına ilişkin sonuçlar gelişme dönemlerine göre değerlendirildiğinde, sulama düzeylerine bağlı olarak farklı eğilimler ortaya çıkmıştır. Taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde en yüksek boğum sayıları sırasıyla 12,12 ve 14,07 adet/bitki ile I₂ uygulamasında belirlenmiştir. Buna karşılık, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek değerler sırasıyla 17,49 adet/bitki, 18,38 adet/bitki ve 20,43 adet/bitki ile I₃ uygulamasında tespit edilmiştir. En düşük boğum sayıları ise tüm

dönemlerde %75 sulamanın uygulandığı I_1 konusunda görülmüş ve bu değerler sırasıyla 10,34 adet/bitki, 12,24 adet/bitki, 15,35 adet/bitki, 16,27 adet/bitki ve 18,35 adet/bitki olarak kaydedilmiştir.

Gübre uygulamaları incelendiğinde, taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde en yüksek boğum sayılarının biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Bu dönemlerde boğum sayıları sırasıyla 12,29 ve 13,67 adet/bitki olarak belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise en yüksek boğum sayıları kimyasal gübre (N) uygulamasında saptanmış olup, bu değerler sırasıyla 17,40 adet/bitki, 18,22 ve 21,24 adet/bitki olarak kaydedilmiştir. En düşük boğum sayıları ise tüm dönemlerde sırasıyla 10,32 adet/bitki, 12,35 adet/bitki, 14,76 adet/bitki, 16,70 adet/bitki, 18,32 adet/bitki olarak belirlenmiştir.

Sulama*gübreleme interaksyonları birlikte değerlendirildiğinde, taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde en yüksek boğum sayıları sırasıyla 13,23 ve 14,80 adet/bitki ile I_2*B uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu ve hasat dönemlerinde ise en yüksek değerler sırasıyla 18,87 ve 23,20 adet/bitki ile I_3*N uygulamasında saptanmıştır. Koza tutma döneminde en yüksek boğum sayısı 19,20 adet/bitki ile I_2*N uygulamasında elde edilmiştir. En düşük boğum sayıları ise tüm dönemlerde I_1*C uygulamasında görülmüş olup, bu değerler sırasıyla 9,17 adet/bitki, 11,53 adet/bitki 14,33 adet/bitki 16,00 ve 17,73 adet/bitki olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.24. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,05727	0,02864	0,1835	0,8390
Sulama (A)	2	10,2257	5,11285	32,7611	0,0033 **
Hata (A)	4	0,62426	0,15606	-	-
Gübreleme (B)	2	2,09721	1,0486	2,6221	0,1136 ^{öd}
Hata (B)	12	4,798933	0,39991	-	-
A*B	4	1,63126	0,40781	1,0198	0,4358 ^{öd}
Toplam	26	19,434630	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	0,54709	0,27354	0,2402	0,7971
Sulama (A)	2	3,01749	1,50874	1,3247	0,3619 ^{öd}
Hata (A)	4	4,55589	1,13897	-	-
Gübreleme (B)	2	3,40167	1,70083	2,1998	0,1535 ^{öd}
Hata (B)	12	9,277956	0,773163	-	-
A*B	4	0,67838	0,16959	0,2194	0,9225 ^{öd}
Toplam	26	21,478467	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	1,41943	0,70971	0,9481	0,4602
Sulama (A)	2	17,4073	8,70367	11,6274	0,0215 *
Hata (A)	4	2,99419	0,74855	-	-
Gübreleme (B)	2	19,951	9,97551	18,3125	0,0002 **
Hata (B)	12	6,536844	0,54474	-	-
A*B	4	5,81819	1,45455	2,6702	0,0839 ^{öd}
Toplam	26	54,127030	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	4,27299	2,13649	1,2800	0,3718
Sulama (A)	2	27,8328	13,9164	8,3373	0,0374 *
Hata (A)	4	6,67666	1,66916	-	-
Gübreleme (B)	2	41,3215	20,6607	12,6606	0,0011 **
Hata (B)	12	19,58262	1,63189	-	-
A*B	4	10,0182	2,50455	1,5348	0,2541 ^{öd}
Toplam	26	109,70472	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	14,1943	7,09714	6,4358	0,0562
Sulama (A)	2	55,5526	27,7763	25,1881	0,0054 **
Hata (A)	4	4,41102	1,10276	-	-
Gübreleme (B)	2	35,1361	17,568	15,3121	0,0005 **
Hata (B)	12	13,76796	1,14733	-	-
A*B	4	2,19191	0,54798	0,4776	0,7518 ^{öd}
Toplam	26	125,25387	-	-	-

Çizelge 4.24'te çalışmanın ikinci yılında boğum sayısının taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri bakımından boğum sayısı; taraklanma ve hasat dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, çiçeklenme doruğu ve koza tutma dönemlerinde ise

$p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Buna karşılık, çiçeklenme başlangıcı döneminde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Farklı gübre uygulamaları açısından boğum sayısı; çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar gösterirken, taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Sulama*gübre uygulamaları interaksyonu bakımından ise incelenen tüm dönemlerde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Çizelge 4.25. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki boğum sayısı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Boğum sayısı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	11,80 b	14,59	16,59 b	17,58 b	21,26 b
I ₂	13,07 a	15,41	17,70 ab	19,34 a	23,94 a
I ₃	13,15 a	15,09	18,55 a	19,98 a	24,57 a
P (Factor A)	**	öd	*	*	**
C	12,29	14,52	16,44 c	17,33 b	21,76 b
N	12,95	15,18	18,48 a	20,32 a	24,53 a
B	12,77	15,22	17,92 a	19,25 a	23,47 a
P (Factor B)	öd	öd	**	**	**
I ₁ *C	11,55	13,89	16,11	16,78	19,68
I ₁ *N	12,20	14,89	16,77	18,07	22,97
I ₁ *B	11,66	15,0	16,89	17,90	21,13
I ₂ *C	12,44	14,89	16,55	17,08	22,74
I ₂ *N	13,11	14,45	18,55	21,73	24,73
I ₂ *B	13,66	15,89	17,99	19,20	24,33
I ₃ *C	12,89	14,78	16,66	18,13	22,87
I ₃ *N	13,55	15,22	20,11	21,15	25,90
I ₃ *B	13,0	15,11	18,89	20,67	24,93
P (Factor A*B)	öd	öd	öd	öd	öd
%CV	4,99	5,86	4,19	5,65	4,61
LSD	1,13	1,56	1,31	1,91	1,37

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çalışmanın ikinci yılında boğum sayısına ilişkin sonuçlar taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde değerlendirilmiştir (Çizelge 4.25). Sulama düzeylerine bağlı olarak, çiçeklenme başlangıcı döneminde en yüksek boğum sayısı 15,41 adet/bitki ile I₂ uygulamasında belirlenmiştir. Taraklanma, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise en yüksek boğum sayıları sırasıyla 13,15 adet/bitki, 18,55 adet/bitki, 19,98 adet/bitki ve 24,57 adet/bitki ile I₃ uygulamasında

saptanmıştır. En düşük boğum sayıları tüm dönemlerde I_1 uygulamasında görülmüş olup, bu değerler sırasıyla 11,80 adet/bitki, 14,59 adet/bitki, 16,59 adet/bitki, 17,58 adet/bitki ve 21,26 adet/bitki olarak kaydedilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, taraklanma, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek boğum sayıları kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiş ve bu dönemlerdeki değerler sırasıyla 12,95 adet/bitki, 18,48 adet/bitki, 20,32 adet/bitki ve 24,53 adet/bitki olarak belirlenmiştir. Çiçeklenme başlangıcı döneminde ise en yüksek boğum sayısı 15,22 adet/bitki ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında saptanmıştır. En düşük değerler ise sırasıyla 12,29 adet/bitki, 14,52 adet/bitki, 16,44 adet/bitki, 17,33 adet/bitki, 21,76 adet/bitki ile kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübreleme interaksiyonları birlikte incelendiğinde, taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde en yüksek boğum sayıları sırasıyla 13,66 ve 15,89 adet/bitki ile I_2*B uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu ve hasat dönemlerinde en yüksek değerler sırasıyla 20,11 ve 25,90 adet/bitki ile I_3*N uygulamasında saptanırken, koza tutma döneminde en yüksek boğum sayısı 21,73 adet/bitki ile I_2*N uygulamasında elde edilmiştir. En düşük boğum sayıları ise tüm dönemlerde I_1*C uygulamasında görülmüş ve sırasıyla 11,55 adet/bitki, 13,89 adet/bitki, 16,11 adet/bitki, 16,78 adet/bitki ve 19,68 adet/bitki olarak kaydedilmiştir.

4.1.3.3. Bitki Yaş Ağırlığı (g)

Pamukta farklı gelişme dönemlerinde ölçülen bitki yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve ortalama değerler yıllara göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın birinci yılına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.26'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.27'de sunulmuştur. İkinci yıla ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.28'de, ortalama değerler ise Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki bitki yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,53282	0,26641	0,0775	0,9268
Sulama (A)	2	8230,32	4115,16	1197,071	<,0001**
Hata (A)	4	13,7508	3,43769	-	-
Gübreleme (B)	2	2515,26	1257,63	31,6955	<,0001**
Hata (B)	12	476,142	39,6785	-	-
A*B	4	962,3	240,575	6,0631	0,0066**
Toplam	26	12198,303	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	0,77581	0,38791	0,0327	0,9681
Sulama (A)	2	9726,31	4863,15	409,6824	<,0001**
Hata (A)	4	47,4822	11,8705	-	-
Gübreleme (B)	2	10093,8	5046,92	1151,746	<,0001**
Hata (B)	12	52,584	4,38	-	-
A*B	4	2402,27	600,567	137,0541	<,0001**
Toplam	26	22323,250	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	669,612	334,806	1,5366	0,3198
Sulama (A)	2	55178,6	27589,3	126,6178	0,0002**
Hata (A)	4	871,577	217,894	-	-
Gübreleme (B)	2	83633,4	41816,7	297,4328	<,0001**
Hata (B)	12	1687,11	140,592	-	-
A*B	4	16740,8	4185,2	29,7684	<,0001**
Toplam	26	158781,09	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	425,859	212,93	2,9303	0,1646
Sulama (A)	2	122328	61163,8	841,7245	<,0001**
Hata (A)	4	290,66	72,6649	-	-
Gübreleme (B)	2	73729,5	36864,7	251,7989	<,0001**
Hata (B)	12	1756,87	146,4	-	-
A*B	4	29994,2	7498,56	51,2177	<,0001**
Toplam	26	228524,74	-	-	—
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	1046,86	523,429	0,4318	0,6764
Sulama (A)	2	54901,3	27450,6	22,6431	0,0066**
Hata (A)	4	4849,27	1212,32	-	-
Gübreleme (B)	2	66850,8	33425,4	44,9929	<,0001**
Hata (B)	12	8914,84	742,9	-	-
A*B	4	34754,8	8688,7	11,6956	0,0004**
Toplam	26	171317,81	-	-	-

Çizelge 4.26'da çalışmanın birinci yılında bitki yaş ağırlığının taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksiyonları, bitki yaş ağırlığı bakımından söz konusu tüm dönemlerde istatistiksel

olarak anlamlı ($p < 0,01$) farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.27. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki yaş ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki yaş ağırlığı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	40,34 c	74,14 c	144,27 b	273,86 c	166,44 c
I ₂	80,47 a	108,34 b	241,93 a	370,39 b	220,03 b
I ₃	47,60 b	118,52 a	238,30 a	437,88 a	276,88 a
P (Factor A)	**	**	**	**	**
C	43,68 c	78,85 c	129,72 b	296,65 c	150,84 b
N	67,21 a	96,44 b	252,89 a	424,65 a	259,42 a
B	57,51 b	125,72 a	241,90 a	360,83 b	253,09 a
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	31,86 f	63,07 f	91,23 f	254,56 f	148,40 d
I ₁ *N	51,15 cd	72,44 e	141,20 e	288,74 e	168,55 d
I ₁ *B	38,0 ef	86,93 d	200,39 d	278,29 e	182,37 d
I ₂ *C	56,90 c	87,07 d	142,26 e	299,29 e	151,16 d
I ₂ *N	98,79 a	109,35 c	322,17 a	425,46 b	235,89 c
I ₂ *B	85,71 b	128,60 b	261,38 c	386,41 c	273,06 bc
I ₃ *C	42,30 def	86,40 d	155,66 e	336,11 d	152,97 d
I ₃ *N	51,68 cd	107,51 c	295,30 b	559,76 a	373,82 a
I ₃ *B	48,83 cde	161,64 a	263,94 c	417,78 b	303,85 b
P (Factor A*B)	**	**	**	**	**
%CV	11,22	2,08	5,70	3,35	12,33
LSD	11,21	3,72	21,10	21,53	48,49

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Bitki yaş ağırlığı sulama düzeylerine göre değerlendirildiğinde, taraklanma döneminde 80,47 g ve çiçeklenme doruğu döneminde 241,93 g ile en yüksek değerler I₂ uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme başlangıcı (118,52 g), koza tutma (437,88 g) ve hasat döneminde (276,88 g) ise en yüksek yaş ağırlıkları I₃ uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler tüm dönemlerde, taraklanma 40,34 g, çiçeklenme başlangıcı 74,14 g, çiçeklenme doruğu 144,27 g, koza tutma 273,86 g ve hasat döneminde 166,44 g ile I₁ uygulamasında görülmüştür.

Gübre uygulamalarına göre incelendiğinde, çiçeklenme başlangıcında en yüksek değer 125,72 g ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. Taraklanma, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise sırasıyla 67,21 g, 252,89 g, 424,65 g ve 259,42 g ile kimyasal gübre (N) uygulaması öne çıkmıştır. En düşük yaş ağırlıkları tüm dönemlerde

kontrol (C) uygulamasında sırasıyla (taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma, hasat dönemi) 43,68 g, 78,85 g, 129,72 g, 296,65 g ve 150,84 g olarak belirlenmiştir.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, taraklanma ve çiçeklenme doruğu dönemlerinde en yüksek yaş ağırlıkları sırasıyla 98,79 g ve 322,17 g ile I_2*N uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme başlangıcında en yüksek değer 161,64 g ile I_3*B , koza tutma ve hasat dönemlerinde ise sırasıyla 559,76 g ve 373,82 g ile I_3*N uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük değerler tüm dönemlerde I_1*C uygulamasında belirlenmiş olup, söz konusu tüm dönemlerde sırasıyla 31,86 g, 63,07 g, 91,23 g, 254,56 g ve 148,40 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.28. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki bitki yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	26,9727	13,4863	2,6351	0,1862
Sulama (A)	2	433,87	216,935	42,3871	0,0020**
Hata (A)	4	20,4718	5,11796	-	-
Gübreleme (B)	2	410,676	205,338	57,6952	<,0001**
Hata (B)	12	42,7082	3,5590	-	-
A*B	4	105,142	26,2856	7,3856	0,0031**
Toplam	26	1039,8414	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	96,6685	48,3342	0,9756	0,4518
Sulama (A)	2	6293,56	3146,78	63,5184	0,0009**
Hata (A)	4	198,165	49,5412	-	-
Gübreleme (B)	2	8386,09	4193,04	140,3698	<,0001**
Hata (B)	12	358,457	29,87	-	-
A*B	4	6116,34	1529,09	51,1889	<,0001**
Toplam	26	21449,275	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	75,917	37,9585	0,9789	0,4508
Sulama (A)	2	55110,8	27555,4	710,6072	<,0001**
Hata (A)	4	155,109	38,7772	-	-
Gübreleme (B)	2	49083,5	24541,7	77,7350	<,0001**
Hata (B)	12	3788,52	315,71	-	-
A*B	4	31762,2	7940,54	25,1514	<,0001**
Toplam	26	139975,97	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	626,024	313,012	1,9940	0,2508
Sulama (A)	2	125396	62698,1	399,4120	<,0001**
Hata (A)	4	627,904	156,976	-	-
Gübreleme (B)	2	162952	81475,9	210,3190	<,0001**
Hata (B)	12	4648,70	387,4	-	-
A*B	4	67921,1	16980,3	43,8323	<,0001**
Toplam	26	362171,81	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	657,997	328,999	0,1924	0,8322
Sulama (A)	2	63917,2	31958,6	18,6904	0,0093**
Hata (A)	4	6839,59	1709,9	-	-
Gübreleme (B)	2	43804,7	21902,3	27,7036	<,0001**
Hata (B)	12	9487,15	790,60	-	-
A*B	4	23041,5	5760,36	7,2861	0,0032**
Toplam	26	147748,09	-	-	-

Çizelge 4.28’de çalışmanın ikinci yılında bitki yaş ağırlığının taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre uygulamaları interaksiyonlarının bitki yaş ağırlığı bakımından söz konusu tüm dönemlerde

istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,01$) farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.29. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki yaş ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki yaş ağırlığı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	47,20 c	76,45 b	160,69 c	191,70 b	168,80 b
I ₂	57,02 a	109,97 a	206,57 b	335,04 a	217,74 b
I ₃	52,17 b	107,58 a	270,85 a	337,45 a	287,38 a
P (Factor A)	**	**	**	**	*
C	47,61 c	76,52 c	154,06 c	183,42 c	168,49 b
N	57,13 a	119,68 a	254,16 a	369,38 a	261,02 a
B	51,62 b	97,80 b	229,90 b	311,39 b	244,43 a
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	43,53 e	71,54 e	145,10 f	167,96 e	158,82 d
I ₁ *N	50,03 cd	72,53 e	177,83 e	183,65 de	170,52 d
I ₁ *B	48,05 d	85,30 d	159,15 ef	223,47 c	177,07 cd
I ₂ *C	50,35 cd	84,53 d	156,48 ef	174,74 de	166,73 d
I ₂ *N	65,93 a	153,08 a	214,82 d	465,37 a	262,18 b
I ₂ *B	54,79 b	92,31 d	248,42 c	365,02 b	224,33 bc
I ₃ *C	48,97 cd	73,48 e	160,59 ef	207,56 cd	179,93 cd
I ₃ *N	55,44 b	133,45 b	369,82 a	459,11 a	350,34 a
I ₃ *B	52,12 bc	115,80 c	282,14 b	345,68 b	331,88 a
P (Factor A*B)	**	**	**	**	*
%CV	3,62	5,58	8,35	9,76	12,52
LSD	3,36	9,72	31,61	50,03	50,01

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.29'a göre çalışmanın ikinci yılında, sulama düzeylerine bağlı olarak taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemlerinde en yüksek bitki yaş ağırlığı değerleri sırasıyla 57,02 g ve 109,97 g ile I₂ uygulamasında elde edilmiştir. Çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise en yüksek değerler sırasıyla 270,85 g, 337,45 g ve 287,38 g ile I₃ uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler tüm dönemlerde, taraklanma 47,20 g, çiçeklenme başlangıcı 76,45 g, çiçeklenme doruğu 160,69 g, koza tutma 191,70 g ve hasat döneminde 168,80 g ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir.

Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek bitki yaş ağırlıkları sırasıyla 57,13 g, 119,68 g, 254,16 g, 369,38 g ve 261,02 g ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise tüm dönemlerde sırasıyla 47,61 g, 76,52 g, 154,06 g,

183,42 g ve 168,49 g ile kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, taraklanma, çiçeklenme başlangıcı ve koza tutma dönemlerinde en yüksek bitki yaş ağırlıkları sırasıyla 65,93 g, 153,08 g ve 465,37 g ile I₂*N uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu ve hasat dönemlerinde ise en yüksek değerler sırasıyla 369,82 g ve 350,34 g ile I₃*N uygulamasında elde edilmiştir. En düşük bitki yaş ağırlıkları ise taraklanma 43,53 g, çiçeklenme başlangıcı 71,54 g, çiçeklenme doruğu 145,10 g, koza tutma 167,96 g ve hasat döneminde 158,82 g ile I₁*C uygulamasında görülmüştür.

4.1.3.4. Bitki Kuru Ağırlığı (g)

Pamukta farklı gelişme dönemlerinde ölçülen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve ortalama değerler yıllara göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın birinci yılına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.30'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.31'de sunulmuştur. İkinci yıla ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.32'de, ortalama değerler ise Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.30. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Tarakanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	3,06634	1,53317	1,0623	0,4265
Sulama (A)	2	604,252	302,126	209,3409	<,0001**
Hata (A)	4	5,7729	1,44323	-	-
Gübreleme (B)	2	111,08	55,5402	8,1047	0,0059**
Hata (B)	12	82,23382	6,8528	-	-
A*B	4	112,123	28,0307	4,0904	0,0256*
Toplam	26	918,52867	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	0,33171	0,16585	0,0620	0,9407
Sulama (A)	2	424,385	212,193	79,3754	0,0006**
Hata (A)	4	10,6931	2,67328	-	-
Gübreleme (B)	2	438,734	219,367	142,2398	<,0001**
Hata (B)	12	18,50681	1,5422	-	-
A*B	4	97,3839	24,346	15,7862	0,0001**
Toplam	26	990,03507	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	20,1323	10,0661	1,8214	0,2739
Sulama (A)	2	3768,23	1884,12	340,9134	<,0001**
Hata (A)	4	22,1067	5,52667	-	-
Gübreleme (B)	2	3957,21	1978,61	100,8937	<,0001**
Hata (B)	12	235,3294	19,611	-	-
A*B	4	519,839	129,96	6,6270	0,0047**
Toplam	26	8522,8512	—	—	—
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	15,8625	7,93123	0,1376	0,8754
Sulama (A)	2	8887,23	4443,61	77,0917	0,0006**
Hata (A)	4	230,563	57,6406	-	-
Gübreleme (B)	2	4636,35	2318,17	73,8828	<,0001**
Hata (B)	12	376,517	31,38	-	-
A*B	4	4166,4	1041,6	33,1970	<,0001**
Toplam	26	18312,922	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	237,151	118,576	2,7667	0,1760
Sulama (A)	2	9307,76	4653,88	108,5891	0,0003**
Hata (A)	4	171,431	42,8577	-	-
Gübreleme (B)	2	12523	6261,5	58,6626	<,0001**
Hata (B)	12	1280,851	106,74	-	-
A*B	4	7544,51	1886,13	17,6707	<,0001**
Toplam	26	31064,715	-	-	-

Çizelge 4.30'da çalışmanın birinci yılında bitki kuru ağırlığının tarakanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada sulama düzeyleri ve farklı gübre uygulamaları bitki kuru ağırlığı bakımından tüm dönemlerde (tarakanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doru-

ğu, koza tutma, hasat dönemi) istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,01$) farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre uygulamaları interaksyonları bakımından çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, taraklanma döneminde ise $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.31. 2024 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki kuru ağırlığı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	11,77 c	19,38 b	37,15 c	84,52 c	76,55 c
I ₂	22,80 a	27,13 a	63,74 a	112,13 b	94,52 b
I ₃	14,19 b	28,32 a	60,34 b	128,48 a	121,72 a
P (Factor A)	**	**	**	**	**
C	13,39 b	20,90 c	36,69 b	91,26 c	69,92 c
N	17,49 a	23,50 b	63,63 a	123,08 a	122,44 a
B	17,88 a	30,45 a	60,91 a	110,79 b	100,44 b
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	9,60 f	17,55 e	24,26 e	80,07 d	62,35 e
I ₁ *N	14,94	19,11 e	39,26 d	80,36 d	86,63 cd
I ₁ *B	10,78 ef	21,48 d	47,94 c	93,14 c	80,69 de
I ₂ *C	18,35 bc	22,53 d	42,53 cd	94,90 c	72,64 de
I ₂ *N	21,68 b	25,91 c	81,0 a	122,67 b	101,50 bc
I ₂ *B	28,36 a	32,97 b	67,69 b	118,83 b	109,44 b
I ₃ *C	12,23 def	22,60 d	43,29 cd	98,81 c	74,77 de
I ₃ *N	15,86 cd	25,48 c	70,62 b	166,22 a	179,20 a
I ₃ *B	14,50 cde	36,89 a	67,10 b	120,41 b	111,19 b
P (Factor A*B)	*	**	**	**	**
%CV	16,11	4,98	8,23	5,17	10,59
LSD	4,66	2,21	7,88	9,96	18,38

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.31’de, sulama düzeylerine göre bitki kuru ağırlığı değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında taraklanma döneminde en yüksek değer 22,80 g, çiçeklenme doruğu döneminde ise 63,74 g ile I₂ uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme başlangıcı, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek kuru ağırlık değerleri sırasıyla 28,32 g, 128,48 g ve 121,72 g ile I₃ uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler tüm dönemlerde, taraklanma 11,77 g, çiçeklenme başlangıcı 19,38 g, çiçeklenme doruğu 37,15 g, koza tutma 84,52 g ve hasat döneminde 76,55 g ile I₁ uygulamasında elde edilmiştir.

Gübre uygulamalarına göre incelendiğinde, taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı

dönemlerinde en yüksek bitki kuru ağırlığı değerleri sırasıyla 17,88 g ve 30,45 g ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise en yüksek değerler sırasıyla 63,63 g, 123,08 g ve 122,44 g ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler tüm dönemlerde, sırasıyla 13,39 g, 20,90 g, 36,69 g, 91,26 g ve 69,92 g ile kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi değerlendirildiğinde, taraklanma döneminde en yüksek değer 28,36 g ile I_2*B uygulamasında, çiçeklenme başlangıcı döneminde 36,89 g ile I_3*B uygulamasında belirlenmiştir. Çiçeklenme doruğu döneminde en yüksek bitki kuru ağırlığı 81,0 g ile I_2*N uygulamasında görülürken, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek değerler sırasıyla 166,22 ve 179,20 g ile I_3*N uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise sırasıyla taraklanma 9,60 g, çiçeklenme başlangıcı 17,55 g, çiçeklenme doruğu 24,26 g, koza tutma 80,07 g ve hasat döneminde 62,35 g ile I_1*C uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 4.32. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Taraklanma dönemi					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	4,32956	2,16478	2,0913	0,2390
Sulama (A)	2	16,5023	8,25114	7,9710	0,0402*
Hata (A)	4	4,14057	1,03514	-	-
Gübreleme (B)	2	14,8025	7,40127	13,8035	0,0008**
Hata (B)	12	6,434267	0,53619	-	-
A*B	4	18,2145	4,55363	8,4926	0,0017**
Toplam	26	64,423741	-	-	-
Çiçeklenme başlangıcı					
Tekerrür	2	0,40496	0,20248	0,0153	0,9848
Sulama (A)	2	248,029	124,014	9,3933	0,0308*
Hata (A)	4	52,8096	13,2024	-	-
Gübreleme (B)	2	347,854	173,927	12,2383	0,0013**
Hata (B)	12	170,5400	14,2117	-	-
A*B	4	210,018	52,5046	3,6945	0,0349*
Toplam	26	1029,6560	-	-	-
Çiçeklenme doruğu					
Tekerrür	2	92,873	46,4365	1,9989	0,2501
Sulama (A)	2	3635,63	1817,81	78,2484	0,0006**
Hata (A)	4	92,9253	23,2313	-	-
Gübreleme (B)	2	2397,37	1198,69	44,3988	<,0001**
Hata (B)	12	323,9780	26,998	-	-
A*B	4	1324,1	331,024	12,2610	0,0003**
Toplam	26	7866,8736	-	-	-
Koza tutma dönemi					
Tekerrür	2	156,072	78,0359	2,1223	0,2354
Sulama (A)	2	44812,3	22406,1	609,3651	<,0001**
Hata (A)	4	147,079	36,7697	-	-
Gübreleme (B)	2	40811,2	20405,6	86,5849	<,0001**
Hata (B)	12	2828,06	235,67	-	-
A*B	4	17409,6	4352,39	18,4680	<,0001**
Toplam	26	106164,28	-	-	-
Hasat dönemi					
Tekerrür	2	32,256	16,128	0,4112	0,6880
Sulama (A)	2	15304,3	7652,16	195,1108	0,0001**
Hata (A)	4	156,878	39,2195	-	-
Gübreleme (B)	2	9896,01	4948,0	79,0435	<,0001**
Hata (B)	12	751,182	62,5985	-	-
A*B	4	5568,39	1392,1	22,2385	<,0001**
Toplam	26	31709,025	-	-	-

Çizelge 4.32’de çalışmanın ikinci yılında bitki kuru ağırlığının taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada sulama düzeylerinin bitki kuru ağırlığı bakımından taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı dönemleri istatistiksel olarak $p<0,05$ düzeyinde,

çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde ise $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklı gübre uygulamaları bakımından tüm dönemlerde (taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma, hasat dönemi) istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,01$) farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre interaksyonları bakımından taraklanma, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, çiçeklenme başlangıcı döneminde ise $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.33. 2025 yılında pamukta farklı gelişme dönemlerinde belirlenen bitki kuru ağırlığı değerlerine ait ortalama, %CV ve LSD değerleri

Bitki kuru ağırlığı					
Uygulamalar	Taraklanma	Çiçeklenme başlangıcı	Çiçeklenme doruğu	Koza tutma	Hasat dönemi
I ₁	15,00 b	21,82 b	42,37 c	62,53 c	53,76 c
I ₂	16,92 a	28,60 a	54,36 b	113,43 b	84,96 b
I ₃	15,92 ab	27,83 a	70,68 a	162,32 a	112,03 a
P (Factor A)	*	*	**	**	**
C	15,18 b	21,41 b	42,49 b	59,44 b	56,63 b
N	16,95 a	30,14 a	62,91 a	151,04 a	99,23 a
B	15,71 b	26,71 a	62,01 a	127,81 b	94,90 a
P (Factor B)	**	**	**	**	**
I ₁ *C	14,87 c	20,85 b	37,60 c	53,22 e	52,42 c
I ₁ *N	14,99 c	21,14 d	46,32 c	65,47 e	55,04 c
I ₁ *B	15,16 bc	23,49 cd	43,20 c	68,92 e	53,82 c
I ₂ *C	15,43 bc	21,73 d	45,99 c	55,52 e	56,15 c
I ₂ *N	19,53 a	37,06 a	56,29 b	161,61 c	104,04 b
I ₂ *B	15,80 bc	27,02 bcd	60,70 b	123,18 d	94,69 b
I ₃ *C	15,26 bc	21,66 d	43,88 c	69,59 e	61,30 c
I ₃ *N	16,34 b	32,22 ab	86,13 a	226,04 a	138,61 a
I ₃ *B	16,17 bc	29,62 bc	82,04 a	191,32 b	136,18 a
P (Factor A*B)	**	*	**	**	**
%CV	4,59	14,45	9,31	7,02	9,47
LSD	1,30	6,71	9,24	14,08	14,08

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine göre çalışmanın ikinci yılında bitki kuru ağırlığı değerlendirildiğinde, taraklanma (16,92 g) ve çiçeklenme başlangıcı (28,60 g) dönemlerinde en yüksek değerler I₂ uygulamasında elde edilmiştir. Buna karşılık, çiçeklenme doruğu (70,68 g), koza tutma (162,32 g) ve hasat (112,03 g) dönemlerinde en yüksek kuru ağırlık değerleri I₃ uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler tüm dönemlerde, sırasıyla 15,00 g, 21,82 g, 42,37 g, 62,53 g ve 53,76 g ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir.

Gübre uygulamalarına göre bitki kuru ağırlığı incelendiğinde, tüm gelişme dönemlerinde en yüksek değerler kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. Söz konusu değerler taraklanma, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde sırasıyla 16,95 g, 30,14 g, 62,91 g, 151,04 g ve 99,23 g olarak belirlenmiştir. En düşük değerler ise sırasıyla 15,18 g, 21,41 g, 42,49 g, 59,44 g ve 56,63 g ile kontrol (C) uygulamasında saptanmıştır.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi değerlendirildiğinde, taraklanma (19,53 g) ve çiçeklenme başlangıcı (37,06 g) dönemlerinde en yüksek değerler I_2*N interaksiyonunda elde edilmiştir. Çiçeklenme doruğu (86,13 g), koza tutma (226,04 g) ve hasat (138,61 g) dönemlerinde ise en yüksek kuru ağırlık değerleri I_3*N uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler tüm dönemlerde, sırasıyla 14,87 g, 20,85 g, 37,60 g, 53,22 g ve 52,42 g ile I_1*C interaksiyonunda belirlenmiştir (Çizelge 4.33).

4.1.3.5. SPAD Değeri

Bitki SPAD değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.34'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.34. Pamuk bitkisi SPAD değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	3,5867	1,79335	0,6906	0,5526
Sulama (A)	2	209,695	104,848	40,3729	0,0022**
Hata (A)	4	10,3879	2,59698	-	-
Gübreleme (B)	2	356,604	178,302	48,2517	<,0001**
Hata (B)	12	44,34304	3,6953	-	-
A*B	4	113,842	28,4605	7,7019	0,0026**
Toplam	26	738,45943	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	5,74741	2,8737	5,0879	0,0796
Sulama (A)	2	54,983	27,4915	48,6734	0,0016**
Hata (A)	4	2,25926	0,56481	-	-
Gübreleme (B)	2	148,35	74,1748	49,8003	<,0001**
Hata (B)	12	17,87333	1,4894	-	-
A*B	4	31,9704	7,99259	5,3662	0,0103*
Toplam	26	261,18296	-	-	-

Çizelge 4.34'te SPAD değerine ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri ve farklı gübre uygulamalarının SPAD değerleri bakımından, çalışmanın her

iki yılında da istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre etkileşimini açısından ise birinci yılda $p < 0,01$ düzeyinde, ikinci yılda $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 4.35. Bitki SPAD değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	32,55 c	38.81 c
I ₂	39,33 a	42.22 a
I ₃	35,26 b	41.18 b
P (Factor A)	**	**
C	38,67 a	37.61 c
N	37,88 a	43.26 a
B	30,60 b	41.34 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	33,26 cd	33,90 e
I ₁ *N	35,23 c	41,63 bc
I ₁ *B	29,17 e	40,90 bcd
I ₂ *C	42,80 ab	39,37 d
I ₂ *N	44,02 a	45,47 a
I ₂ *B	31,18 de	41,83 b
I ₃ *C	39,95 b	39,57 cd
I ₃ *N	34,41 c	42,67 b
I ₃ *B	31,43 de	41,30 bcd
P (Faktör A*B)	**	*
%CV	5,38	3,0
LSD	3,42	2,17

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.35'te, sulama düzeylerine göre SPAD değerleri incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek değerler sırasıyla 39,33 ve 42,22 ile I₂ sulama uygulamasında belirlenmiştir. En düşük SPAD değerleri ise birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 32,55 ve 38,81 ile I₁ uygulamasında elde edilmiştir.

Farklı gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında 38,67 ile kontrol (C) uygulamasında görülürken, ikinci yılda 43,26 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında saptanmıştır. En düşük SPAD değeri birinci yılda 30,60 ile biyogaz bulamacı uygulamasında, ikinci yılda ise 37,61 ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübre etkileşimleri incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek SPAD değerleri sırasıyla 44,02 ve 45,47 ile I₂*N etkileşiminde elde edilmiştir. Buna

karşılık, en düşük değerler birinci yılda 29,17 ile I_1*B , ikinci yılda ise 33,90 ile I_1*C interaksiyonlarında belirlenmiştir.

4.1.4. Yaprakta Makro ve Mikro Besin Elementlerinin Uygulamalara Bağlı Değişimine İlişkin Bulgular

4.1.4.1. Yaprakta azot (N) içeriği (%)

Bitkide yaprak azot (%N) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.36'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.36. Pamuk bitkisinde yaprak azot (%N) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,28712	0,14356	4,7068	0,0889
Sulama (A)	2	1,41823	0,70912	23,2489	0,0063**
Hata (A)	4	0,12200	0,03050	-	-
Gübreleme (B)	2	10,4016	5,20082	64,8479	< 0,0001**
Hata (B)	12	0,96240	0,08020	-	-
A*B	4	1,09545	0,27386	3,4147	0,0439*
Toplam	26	14,28685	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,01904	0,00952	0,3354	0,7334
Sulama (A)	2	1,23253	0,61627	21,7157	0,0071**
Hata (A)	4	0,11352	0,02838	-	-
Gübreleme (B)	2	8,11541	4,0577	271,5342	<,0001**
Hata (B)	12	0,179323	0,014944	-	-
A*B	4	0,9659	0,24147	16,1590	<,0001**
Toplam	26	10,625713	-	-	-

Çizelge 4.36'da yaprak azot (N) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri ve farklı gübre uygulamalarının yaprak azot (%N) içeriği bakımından, çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre interaksiyonu açısından ise birinci yılda $p<0,05$ düzeyinde, ikinci yılda $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

Çizelge 4.37. Pamuk bitkisinde yaprakta azot (%N) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	4,34 c	3,54 b
I ₂	4,64 b	4,02 a
I ₃	4,91 a	3,96 a
P (Factor A)	**	**
C	3,84 c	3,17 c
N	5,35 a	4,51 a
B	4,71 b	3,84 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	3,40 e	3,04 e
I ₁ *N	5,01 bc	3,86 bc
I ₁ *B	4,63 cd	3,72 c
I ₂ *C	3,62 e	3,16 de
I ₂ *N	5,58 a	4,91 a
I ₂ *B	4,74 cd	4,0 b
I ₃ *C	4,48 d	3,31 d
I ₃ *N	5,47 ab	4,77 a
I ₃ *B	4,78 cd	3,80 bc
P (Faktör A*B)	*	**
%CV	6,11	3,18
LSD	0,5	0,22

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine göre yaprak azot (N) konsantrasyonu değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında en yüksek değer %4,91 ile I₃ sulama uygulamasında, ikinci yılında ise %4,02 ile I₂ sulama uygulamasında belirlenmiştir. En düşük yaprak azot konsantrasyonları ise her iki yılda da sırasıyla %4,34 ve %3,54 ile I₁ sulama uygulamasında saptanmıştır.

Farklı gübre uygulamaları bakımından incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek yaprak azot konsantrasyonu değerleri sırasıyla %5,35 ve %4,51 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise 3,84 ve 3,17 ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir. Sulama*gübre interaksyonları değerlendirildiğinde, en yüksek yaprak azot konsantrasyonu değerleri her iki yılda da sırasıyla %5,58 ve %4,91 ile I₂*N interaksiyonunda saptanmıştır. Buna karşılık, en düşük değerler %3,40 ve %3,04 ile I₁*C interaksiyonunda elde edilmiştir (Çizelge 4.37).

4.1.4.2. Alüminyum (Al) içeriği (mg/kg)

Bitki yapraklarında alüminyum (Al) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.38’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.38. Pamuk bitkisi yapraklarında alüminyum (Al) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,01156	0,00578	0,9503	0,4596
Sulama (A)	2	6,31557	3,15779	518,9383	< 0,0001**
Hata (A)	4	0,02434	0,00609	-	-
Gübreleme (B)	2	25,2865	12,6432	1758,528	< 0,0001**
Hata (B)	12	0,08627	0,00719	-	-
A*B	4	10,6149	2,65373	369,1027	< 0,0001**
Toplam	26	42,33912	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,10943	0,05471	0,4485	0,6672
Sulama (A)	2	3,64999	1,825	14,9616	0,0139*
Hata (A)	4	0,48792	0,12198	-	-
Gübreleme (B)	2	3,10989	1,55495	35,4399	<,0001**
Hata (B)	12	0,526507	0,043876	-	-
A*B	4	3,04148	0,76037	17,3301	<,0001**
Toplam	26	10,925216	-	-	-

Çizelge 4.38’de yaprak dokusunda belirlenen alüminyum (Al) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri bakımından yaprakta Al içeriği, çalışmanın birinci yılında istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde, ikinci yılında ise $p<0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Farklı gübre uygulamaları ile sulama*gübre uygulamaları interaksyonu açısından ise çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.39. Pamuk bitkisi yapraklarında alüminyum (Al) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	3,61 b	3,95 b
I ₂	3,70 b	3,66 b
I ₃	4,67 a	4,55 a
P (Factor A)	**	*
C	2,75 c	3,57 b
N	4,12 b	4,32 a
B	5,11 a	4,27 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	2,59 g	3,55 c
I ₁ *N	4,45 c	4,52 b
I ₁ *B	3,77 d	3,78 c
I ₂ *C	2,95 f	3,60 c
I ₂ *N	3,38 e	3,63 c
I ₂ *B	4,76 b	3,76 c
I ₃ *C	2,70 g	3,57 c
I ₃ *N	4,52 c	4,81 b
I ₃ *B	6,80 a	5,26 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	2,12	5,17
LSD	0,15	0,37

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.39’da verilen sonuçlara göre, yaprak dokusunda belirlenen alüminyum (Al) konsantrasyonu sulama düzeylerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Çalışmanın birinci (4,67 mg/kg) ve ikinci yılında (4,55 mg/kg) en yüksek Al konsantrasyonu I₃ sulama düzeyinde belirlenirken, en düşük değerler sırasıyla 3,61 mg/kg I₁ ve 3,66 mg/kg ile I₂ sulama düzeylerinde tespit edilmiştir.

Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, birinci yılda en yüksek Al konsantrasyonu 5,11 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında görülürken, ikinci yılda en yüksek değer 4,32 mg/kg ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük Al konsantrasyonları ise her iki yılda da kontrol (C) uygulamasında sırasıyla 2,75 mg/kg ve 3,57 mg/kg olarak saptanmıştır. Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, en yüksek Al konsantrasyonu birinci yılda 6,80 mg/kg, ikinci yılda ise 5,26 mg/kg ile I₃*B interaksiyonunda belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değerler sırasıyla 2,59 mg/kg ve 3,55 mg/kg ile I₁*C interaksiyonunda gözlemlenmiştir.

4.1.4.3. Bor (B) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında bor (B) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.40'ta, ortalama değerler ise Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.40. Pamuk bitkisinde yaprak bor (B) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,28442	0,14221	0,9670	0,4544
Sulama (A)	2	0,22160	0,11080	0,7534	0,5276 ^{öd}
Hata (A)	4	0,58827	0,14707	-	-
Gübreleme (B)	2	0,33961	0,16981	1,1599	0,3463 ^{öd}
Hata (B)	12	1,75674	0,14639	-	-
A*B	4	0,67125	0,16781	1,1463	0,3815 ^{öd}
Toplam	26	3,86190	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,00097	0,00048	2,8465	0,1703
Sulama (A)	2	0,05589	0,02795	164,5749	0,0001**
Hata (A)	4	0,00068	0,00017	-	-
Gübreleme (B)	2	0,13715	0,06858	910,3132	<,0001**
Hata (B)	12	0,000904	0,000075	-	-
A*B	4	0,15119	0,0378	501,7416	<,0001**
Toplam	26	0,346789	-	-	-

Çizelge 4.40'ta yaprak dokusunda belirlenen bor (B) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın birinci yılında sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksyonunun yaprak bor (B) içeriği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmezken, ikinci yılda söz konusu faktörlerin tamamı için $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

Çizelge 4.41. Pamuk bitkisi yapraklarında bor (B) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	0,24	0,27 b
I ₂	0,44	0,37 a
I ₃	0,26	0,29 b
P (Factor A)	öd	**
C	0,19	0,24 c
N	0,46	0,41 a
B	0,29	0,29 b
P (Factor B)	öd	**
I ₁ *C	0,18	0,24 e
I ₁ *N	0,25	0,31 c
I ₁ *B	0,22	0,27 d
I ₂ *C	0,21	0,25 d
I ₂ *N	0,90	0,61 a
I ₂ *B	0,31	0,25 d
I ₃ *C	0,18	0,22 f
I ₃ *N	0,24	0,30 c
I ₃ *B	0,35	0,34 b
P (Faktör A*B)	öd	**
%CV	18,86	2,79
LSD	0,68	0,02

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.41’de sulama düzeylerine göre değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek B konsantrasyonu sırasıyla 0,44 mg/kg ve 0,37 mg/kg ile I₂ uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise birinci ve ikinci yılda sırasıyla 0,24 ve 0,27 mg/kg ile I₁ uygulamasında tespit edilmiştir. Gübre uygulamalarına göre, çalışmanın her iki yılında da en yüksek yaprak B konsantrasyonu sırasıyla 0,46 mg/kg ve 0,41 mg/kg ile kimyasal gübre (N) uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler ise sırasıyla 0,19 ve 0,24 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, her iki yılda da en yüksek B konsantrasyonu sırasıyla 0,90 mg/kg ve 0,61 ile I₂*N interaksiyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler birinci yılda 0,18 mg/kg ile I₁*C ve I₃*C interaksiyonlarında, ikinci yılda ise 0,22 mg/kg ile I₃*C interaksiyonunda saptanmıştır.

4.1.4.4. Kalsiyum (Ca) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında kalsiyum (Ca) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.42’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.43’te verilmiştir.

Çizelge 4.42. Pamuk bitkisinde yaprak kalsiyum (Ca) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	749,609	374,804	1,1545	0,4020
Sulama (A)	2	131090	65544,8	201,8945	< 0,0001**
Hata (A)	4	1298,6	324,649	-	-
Gübreleme (B)	2	1102433	551216	2410,238	< 0,0001**
Hata (B)	12	2744,4	228,698	-	-
A*B	4	64068,6	16017,2	70,0363	< 0,0001**
Toplam	26	1302383,7	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	519,79	259,895	0,4431	0,6702
Sulama (A)	2	14458,4	7229,21	12,3249	0,0195*
Hata (A)	4	2346,21	586,551	-	-
Gübreleme (B)	2	205445	102722	144,2669	< 0,0001**
Hata (B)	12	8544,36	712,0	-	-
A*B	4	25806,2	6451,55	9,0608	0,0013**
Toplam	26	257119,73	-	-	-

Çizelge 4.42’de yaprak dokusunda belirlenen kalsiyum (Ca) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sulama düzeyleri bakımından, çalışmanın birinci yılında istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, ikinci yılında ise $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Farklı gübre uygulamaları ile sulama*gübre interaksyonu açısından ise her iki yılda da istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

Çizelge 4.43. Pamuk bitkisi yapraklarında kalsiyum (Ca) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	780,25 c	839,63 b
I ₂	943,10 a	890,96 a
I ₃	905,94 b	886,13 a
P (Factor A)	**	*
C	617,48 c	758,57 c
N	901,25 b	887,58 b
B	1110,57 a	970,58 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	560,03 g	728,87 d
I ₁ *N	770,73 e	836,90 bc
I ₁ *B	1010,0 c	953,13 a
I ₂ *C	740,0 f	823,67 c
I ₂ *N	956,60 d	876,50 b
I ₂ *B	1132,70 b	972,70 a
I ₃ *C	552,40 g	723,17 d
I ₃ *N	976,43 d	949,33 a
I ₃ *B	1189,0 a	985,90 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	1,73	3,06
LSD	26,90	47,47

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.43'te, sulama düzeylerine bağlı olarak yaprak dokusunda belirlenen kalsiyum (Ca) konsantrasyonu, çalışmanın her iki yılında da benzer bir eğilim göstermiştir. En yüksek Ca değerleri birinci ve ikinci yılda sırasıyla 943,10 mg/kg ve 890,96 mg/kg ile I₂ sulama düzeyinde belirlenirken, en düşük değerler 780,25 mg/kg ve 839,63 mg/kg ile I₁ uygulamasında tespit edilmiştir.

Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek yaprak Ca konsantrasyonları sırasıyla 1110,57 mg/kg ve 970,58 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise birinci ve ikinci yılda sırasıyla 617,48 mg/kg ve 758,57 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek Ca konsantrasyonları sırasıyla 1189,00 mg/kg ve 985,90 mg/kg ile I₃*B uygulamasında saptanmıştır. Buna karşılık, en düşük değerler 552,40 mg/kg ve 723,17 mg/kg ile I₃*C uygulamasında elde edilmiştir.

4.1.4.5. Bakır (Cu) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında bakır (Cu) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.44'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.45'te verilmiştir.

Çizelge 4.44. Pamuk bitkisi yapraklarında bakır (Cu) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,00016	0,0000785	1,2171	0,3865
Sulama (A)	2	0,03432	0,01716	266,1407	<,0001 **
Hata (A)	4	0,00026	0,0000645	-	-
Gübreleme (B)	2	0,22077	0,11039	1866,282	<,0001 **
Hata (B)	12	0,00070978	0,000059	-	-
A*B	4	0,14478	0,036195	611,9377	<,0001 **
Toplam	26	0,40100119	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,0004	0,0002	1,0423	0,4322
Sulama (A)	2	0,02841	0,01421	73,5346	0,0007 **
Hata (A)	4	0,00077	0,00019	-	-
Gübreleme (B)	2	0,19596	0,09798	284,6986	<,0001 **
Hata (B)	12	0,00412978	0,000344	-	-
A*B	4	0,04398	0,01099	31,9460	<,0001 **
Toplam	26	0,27365319	-	-	-

Çizelge 4.44'te incelendiğinde, yaprak dokusundaki bakır (Cu) konsantrasyonu üzerine sulama düzeyleri, gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksiyonunun her iki yılda da $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı etki gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.45. Pamuk bitkisi yapraklarında bakır (Cu) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	0,39 c	0,36 b
I ₂	0,42 b	0,43 a
I ₃	0,47 a	0,44 a
P (Factor A)	**	**
C	0,30 c	0,29 c
N	0,45 b	0,46 b
B	0,52 a	0,49 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	0,29 f	0,30 fg
I ₁ *N	0,39 d	0,37 e
I ₁ *B	0,47 c	0,43 d
I ₂ *C	0,36 e	0,31 f
I ₂ *N	0,50 b	0,53 b
I ₂ *B	0,39 d	0,46 c
I ₃ *C	0,25 g	0,27 g
I ₃ *N	0,47 c	0,48 c
I ₃ *B	0,69 a	0,57 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	1,81	4,52
LSD	0,01	0,03

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.45'te, sulama düzeylerine göre yaprak dokusunda belirlenen bakır (Cu) konsantrasyonu, çalışmanın her iki yılında da benzer bir eğilim göstermiştir. Birinci yılda en yüksek Cu değeri 0,47 mg/kg, ikinci yılda ise 0,44 mg/kg ile yine I₃ uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise sırasıyla 0,39 ve 0,36 mg/kg ile I₁ uygulamasında tespit edilmiştir. Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek Cu konsantrasyonları sırasıyla 0,52 ve 0,49 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise 0,30 mg/kg ve 0,29 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama ve gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek Cu konsantrasyonları sırasıyla 0,69 ve 0,57 mg/kg ile I₃*B interaksiyonunda saptanmıştır. Buna karşılık, en düşük değerler sırasıyla 0,25 mg/kg ve 0,27 mg/kg ile I₃*C uygulamasında belirlenmiştir.

4.1.4.6. Demir (Fe) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında demir (Fe) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans

analiz sonuçları Çizelge 4.46'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.47'de verilmiştir.

Çizelge 4.46. Pamuk bitkisi yapraklarında demir (Fe) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,03223	0,01611	2,4048	0,2062
Sulama (A)	2	1,28756	0,64378	96,0689	0,0004**
Hata (A)	4	0,0268	0,0067	-	-
Gübreleme (B)	2	5,60319	2,8016	1084,225	<,0001**
Hata (B)	12	0,0310076	0,002584	-	-
A*B	4	3,00694	0,75174	290,9236	<,0001**
Toplam	26	9,9877387	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,01257	0,00628	1,9935	0,2508
Sulama (A)	2	0,94073	0,47037	149,2209	0,0002**
Hata (A)	4	0,01261	0,00315	-	-
Gübreleme (B)	2	4,12858	2,06429	1174,721	<,0001**
Hata (B)	12	0,021087	0,001757	-	-
A*B	4	1,89363	0,47341	269,4009	<,0001**
Toplam	26	7,009204	-	-	-

Çizelge 4.46'da yaprak dokusunda demir (Fe) konsantrasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçlarına göre, sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksiyonunun demir içeriği üzerine etkisi, çalışmanın her iki yılında da $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.47. Pamuk bitkisi yapraklarında demir (Fe) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	2,06 c	1,96 c
I ₂	2,22 b	2,26 b
I ₃	2,58 a	2,41 a
P (Factor A)	**	**
C	1,65 c	1,66 c
N	2,53 b	2,51 a
B	2,68 a	2,46 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	1,47 f	1,44 e
I ₁ *N	2,45 c	2,25 c
I ₁ *B	2,27 d	2,19 c
I ₂ *C	1,96 e	2,06 d
I ₂ *N	2,53 c	2,60 b
I ₂ *B	2,18 d	2,11 d
I ₃ *C	1,52 f	1,47 e
I ₃ *N	2,62 b	2,68 b
I ₃ *B	3,60 a	3,09 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	2,22	1,90
LSD	0,09	0,08

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine bağlı olarak yaprak dokusunda belirlenen demir (Fe) konsantrasyonu, çalışmanın her iki yılında da artan sulama miktarıyla birlikte yükselmiştir. Birinci ve ikinci yıllarda en yüksek Fe değerleri sırasıyla 2,58 ve 2,41 mg/kg ile I₃ sulama uygulamasında belirlenirken, en düşük değerler 2,06 ve 1,96 mg/kg ile I₁ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında en yüksek Fe konsantrasyonu 2,68 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında, ikinci yılında ise 2,51 mg/kg ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise her iki yılda da sırasıyla 1,65 mg/kg ve 1,66 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında elde edilmiştir. Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, her iki yılda da en yüksek Fe konsantrasyonları sırasıyla 3,60 ve 3,09 mg/kg ile I₃*B uygulamasında saptanmıştır. Buna karşılık, en düşük değerler 1,47 ve 1,44 mg/kg ile I₁*C interaksyonunda belirlenmiştir (Çizelge 4.47).

4.1.4.7. Potasyum (K) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında potasyum (K) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.48’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.49’da verilmiştir

Çizelge 4.48. Pamuk bitkisi yapraklarında potasyum (K) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	576,272	288,136	0,7529	0,5278
Sulama (A)	2	25533,7	12766,8	33,3578	0,0032**
Hata (A)	4	1530,9	382,725	-	-
Gübreleme (B)	2	429553	214777	315,4180	<,0001**
Hata (B)	12	8171,12	680,9	-	-
A*B	4	16258,3	4064,58	5,9692	0,0070**
Toplam	26	481623,51	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	106,459	53,2293	0,0762	0,9279
Sulama (A)	2	16218,6	8109,32	11,6149	0,0216*
Hata (A)	4	2792,73	698,181	-	-
Gübreleme (B)	2	186891	93445,5	38,9395	<,0001**
Hata (B)	12	28797,11	2399,8	-	-
A*B	4	32847,9	8211,98	3,4220	0,0436*
Toplam	26	267653,93	-	-	-

Çizelge 4.48’de yaprak dokusunda belirlenen potasyum (K) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeylerinin yaprak K içeriği bakımından, çalışmanın birinci yılında istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde, ikinci yılında ise $p<0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Farklı gübre uygulamaları açısından çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Sulama*gübre interaksiyonu açısından ise birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde, ikinci yılda $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 4.49. Pamuk bitkisi yapraklarında potasyum (K) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	597,11 b	547,62 b
I ₂	656,97 a	607,66 a
I ₃	666,64 a	577,97 ab
P (Factor A)	**	*
C	476,73 c	466,07 c
N	660,24 b	601,52 b
B	783,74 a	665,66 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	428,30 f	408,20 d
I ₁ *N	615,40 d	576,97 bc
I ₁ *B	747,63 b	657,70 ab
I ₂ *C	534,80 e	564,50 c
I ₂ *N	672,70 c	597,80 abc
I ₂ *B	763,40 b	660,67 ab
I ₃ *C	467,10 f	425,50 d
I ₃ *N	692,63 c	629,80 abc
I ₃ *B	840,20 a	678,60 a
P (Faktör A*B)	**	*
%CV	4,08	8,48
LSD	46,46	87,16

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.49'da, sulama düzeylerine bağlı olarak yaprak dokusunda belirlenen potasyum (K) konsantrasyonu, yıllara göre farklı bir dağılım göstermiştir. Çalışmanın birinci yılında en yüksek K değeri 666,64 mg/kg ile I₃ uygulamasında belirlenirken, ikinci yılda en yüksek değer 607,66 mg/kg ile I₂ uygulamasında tespit edilmiştir. En düşük K konsantrasyonları ise her iki yılda da sırasıyla 597,11 ve 547,62 mg/kg ile I₁ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek yaprak K konsantrasyonları sırasıyla 783,74 ve 665,66 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük değerler birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 476,73 ve 466,07 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında belirlenmiştir.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, en yüksek K konsantrasyonları birinci yılda 840,20 mg/kg, ikinci yılda ise 678,60 mg/kg ile I₃*B interaksyonunda saptanmıştır. En düşük değerler ise sırasıyla 428,30 mg/kg ve 408,20 mg/kg ile I₁*C interaksyonunda belirlenmiştir.

4.1.4.8. Magnezyum (Mg) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında magnezyum (Mg) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.50’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.51’de verilmiştir

Çizelge 4.50. Pamuk bitkisi yapraklarında magnezyum (Mg) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	151,247	75,6233	0,3779	0,7074
Sulama (A)	2	2742,87	1371,43	6,8535	0,0510 ^{8d}
Hata (A)	4	800,424	200,106	-	-
Gübreleme (B)	2	39094,2	19547,1	203,2516	<,0001**
Hata (B)	12	1154,062	96,17	-	-
A*B	4	3275,74	818,936	8,5153	0,0017**
Toplam	26	47218,507	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	257,609	128,804	0,3832	0,7043
Sulama (A)	2	379,849	189,924	0,5650	0,6080 ^{8d}
Hata (A)	4	1344,54	336,134	-	-
Gübreleme (B)	2	5512,1	2756,05	13,4804	0,0009**
Hata (B)	12	2453,382	204,449	-	-
A*B	4	1743,39	435,847	2,1318	0,1394 ^{8d}
Toplam	26	11690,860	-	-	-

Çizelge 4.50’de yaprak dokusunda belirlenen magnezyum (Mg) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri Mg içeriği bakımından, çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Buna karşılık, farklı gübre uygulamalarının Mg içeriği, çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sulama*gübre interaksyonu bakımından ise birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülürken, ikinci yılda anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Çizelge 4.51. Pamuk bitkisi yapraklarında magnezyum (Mg) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	164,68	234,19
I ₂	173,35	235,57
I ₃	189,03	242,74
P (Factor A)	öd	öd
C	121,89 b	217,30 b
N	203,62 a	248,04 a
B	201,55 a	247,16 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	121,40 e	216,30
I ₁ *N	176,33 d	243,30
I ₁ *B	196,30 bc	242,97
I ₂ *C	122,90 e	226,07
I ₂ *N	213,13 ab	246,97
I ₂ *B	184,03 cd	233,67
I ₃ *C	121,36 e	209,53
I ₃ *N	221,40 a	253,87
I ₃ *B	224,33 a	264,83
P (Faktör A*B)	**	öd
%CV	5,58	6,02
LSD	17,45	25,44

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.51’de, sulama düzeylerine bağlı olarak yaprak dokusunda belirlenen magnezyum (Mg) konsantrasyonu, çalışmanın her iki yılında da artan sulama miktarıyla birlikte yükselmiştir. Birinci ve ikinci yıllarda en yüksek Mg değerleri sırasıyla 189,03 ve 242,74 mg/kg ile I₃ uygulamasında belirlenirken, en düşük değerler 164,68 mg/kg ve 234,19 mg/kg ile I₁ uygulamasında saptanmıştır. Gübre uygulamalarına göre değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek Mg konsantrasyonları birinci yılda 203,62 mg/kg, ikinci yılda ise 248,04 mg/kg ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise sırasıyla 121,89 ve 217,30 mg/kg ile kontrol (C) uygulamasında tespit edilmiştir.

Sulama*gübre uygulamalarının birlikte etkisi incelendiğinde, en yüksek Mg konsantrasyonları birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 224,33 ve 264,83 mg/kg ile I₃*B interaksyonunda saptanmıştır. Buna karşılık, en düşük değerler 121,36 ve 209,53 mg/kg ile I₃*C uygulamasında belirlenmiştir.

4.1.4.9. Mangan (Mn) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında mangan (Mn) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans

analiz sonuçları Çizelge 4.52’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.53’te verilmiştir

Çizelge 4.52. Pamuk bitkisi yapraklarında mangan (Mn) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,0631	0,03155	6,8564	0,0510
Sulama (A)	2	6,59468	3,29734	716,6141	<,0001**
Hata (A)	4	0,01841	0,0046	-	-
Gübreleme (B)	2	42,5924	21,2962	6350,230	<,0001**
Hata (B)	12	0,040243	0,00335	-	-
A*B	4	42,6057	10,6514	3176,103	<,0001**
Toplam	26	91,914487	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,02245	0,01123	3,1752	0,1494
Sulama (A)	2	1,4623	0,73115	206,7875	<,0001**
Hata (A)	4	0,01414	0,00354	-	-
Gübreleme (B)	2	21,4731	10,7365	2775,558	<,0001**
Hata (B)	12	0,046419	0,00387	-	-
A*B	4	6,97036	1,74259	450,4864	<,0001**
Toplam	26	29,988734	-	-	-

Çizelge 4.52’de yaprak dokusunda mangan (Mn) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksyonu yaprakta Mn içeriği bakımından çalışmanın her iki yılında da faktörlerin tamamı için istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

Çizelge 4.53. Pamuk bitkisi yapraklarında mangan (Mn) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	2,88 c	3,54 c
I ₂	4,01 a	4,10 a
I ₃	3,82 b	3,91 b
P (Factor A)	**	**
C	1,79 c	2,59 b
N	4,54 a	4,48 a
B	4,37 b	4,49 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	1,66 g	2,39 ı
I ₁ *N	2,77 e	3,58 f
I ₁ *B	4,21 c	4,66 c
I ₂ *C	1,97 f	2,82 g
I ₂ *N	7,21 a	5,60 a
I ₂ *B	2,84 e	3,89 e
I ₃ *C	1,76 g	2,56 h
I ₃ *N	3,64 d	4,26 d
I ₃ *B	6,07 b	4,92 b
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	1,62	1,63
LSD	0,10	0,11

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.53'te, sulama düzeyleri incelendiğinde, her iki yılda da Mn konsantrasyonunun tam sulama (I₂) koşullarında en yüksek değerlere ulaştığı (4,01 ve 4,10 mg/kg), düşük sulama (I₁) koşullarında ise belirgin şekilde azaldığı (2,88 ve 3,54 mg/kg) görülmüştür.

Gübre uygulamaları açısından, kimyasal gübre (N) birinci yılda (4,54 mg/kg), biyogaz bulamacı (B) ise ikinci yılda (4,49 mg/kg) Mn konsantrasyonunu artırmıştır. Kontrol uygulaması (C) her iki yılda da sırasıyla 1,79 ve 2,59 mg/kg ile en düşük değerler görülmüştür. Sulama*gübre interaksiyonlarında, I₂*N interaksiyonu her iki yılda da en yüksek Mn konsantrasyonunu (7,21 ve 5,60 mg/kg) sağlamıştır. Buna karşılık ise en düşük değerler çalışmanın her iki yılında da (1,66 ve 2,39 mg/kg) I₁*C interaksiyonunda elde edilmiştir.

4.1.4.10. Sodyum (Na) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında sodyum (Na) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.54'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.55'te verilmiştir.

Çizelge 4.54. Pamuk bitkisi yapraklarında sodyum (Na) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	10,7876	5,39381	1,1620	0,4001
Sulama (A)	2	54,4156	27,2078	5,8617	0,0647 ^{8d}
Hata (A)	4	18,5666	4,64166	-	-
Gübreleme (B)	2	1627,36	813,68	188,2142	<,0001**
Hata (B)	12	51,8779	4,323	-	-
A*B	4	1355,7	338,925	78,3974	<,0001**
Toplam	26	3118,70	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	1,32392	0,66196	1,3660	0,3531
Sulama (A)	2	39,5852	19,7926	40,8424	0,0022**
Hata (A)	4	1,93844	0,48461	-	-
Gübreleme (B)	2	585,468	292,734	137,4461	<,0001**
Hata (B)	12	25,55771	2,1298	-	-
A*B	4	222,517	55,6292	26,1193	<,0001**
Toplam	26	876,39	-	-	-

Çizelge 4.54'te yaprak dokusunda belirlenen sodyum (Na) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeylerinin Na içeriği bakımından, çalışmanın birinci yılında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmezken, ikinci yılında $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Farklı gübre uygulamaları ile sulama*gübre interaksiyonunun Na içeriği ise çalışmanın her iki yılında da faktörlerin tamamı için $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.55. Pamuk bitkisi yapraklarında sodyum (Na) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	22,47	22,91 a
I ₂	25,33	23,38 a
I ₃	22,19	20,61 b
P (Factor A)	öd	**
C	12,55 c	15,91 c
N	30,50 a	26,89 a
B	26,95 b	24,08 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	15,41 e	16,93 e
I ₁ *N	25,64 c	24,62 bc
I ₁ *B	26,37 c	27,16 b
I ₂ *C	11,59 f	15,80 e
I ₂ *N	45,09 a	33,42 a
I ₂ *B	19,32 d	20,91 d
I ₃ *C	10,64 f	15,01 e
I ₃ *N	20,77 d	22,63 cd
I ₃ *B	35,17 b	24,18 c
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	8,91	6,55
LSD	3,69	2,60

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeyleri açısından değerlendirildiğinde, her iki yılda da Na konsantrasyonunun tam sulama (I₂) koşullarında en yüksek değerlere ulaştığı (25,33 ve 23,38 mg/kg), yüksek sulama (I₃) koşullarında ise en düşük seviyelere düştüğü (22,19 ve 20,61 mg/kg) belirlenmiştir. Gübre uygulamaları bakımından, kimyasal gübre (N) her iki yılda da Na konsantrasyonunu en fazla artıran uygulama olmuş (30,50 ve 26,89 mg/kg), kontrol (C) uygulaması ise en düşük değerlerle (12,55 ve 15,91 mg/kg) sınırlı Na alımını ortaya koymuştur.

Sulama*gübre interaksiyonlarında, I₂*N kombinasyonu her iki yılda da en yüksek Na konsantrasyonunu (45,09 ve 33,42 mg/kg) sağlayarak su ve gübre etkileşiminin Na birikimi üzerinde belirgin bir sinerji oluşturduğunu göstermiştir. Buna karşılık, I₃*C interaksiyonunda çalışmanın her iki yılında da en düşük değerler (10,64 ve 15,01 mg/kg) elde edilmiştir Çizelge 4.55).

4.1.4.11. Silisyum (Si) içeriği (mg/kg)

Pamuk bitkisi yapraklarında silisyum (Si) içeriği değerlerine ilişkin verilerin varyans

analiz sonuçları Çizelge 4.56'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.56. Pamuk bitkisi yapraklarında silisyum (Si) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,0321	0,01605	1,8431	0,2708
Sulama (A)	2	6,56908	3,28454	377,1296	<,0001**
Hata (A)	4	0,03484	0,00871	-	-
Gübreleme (B)	2	64,4284	32,2142	2781,188	<,0001**
Hata (B)	12	0,13899	0,01158	-	-
A*B	4	38,8092	9,70231	837,6417	<,0001**
Toplam	26	110,01264	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,00072	0,00036	0,0980	0,9088
Sulama (A)	2	2,6423	1,32115	357,6389	<,0001**
Hata (A)	4	0,01478	0,00369	-	-
Gübreleme (B)	2	70,8306	35,4153	434,8123	<,0001**
Hata (B)	12	0,977395	0,08145	-	-
A*B	4	15,4513	3,86283	47,4260	<,0001**
Toplam	26	89,917072	-	-	-

Çizelge 4.56'da yaprak dokusunda silisyum (Si) konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksiyonunun Si içeriği bakımından çalışmanın her iki yılında da faktörlerin tamamı için istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

Çizelge 4.57. Pamuk bitkisi yapraklarında silisyum (Si) içeriği değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	6,83 b	6,52 c
I ₂	6,68 c	6,61 b
I ₃	7,79 a	7,22 a
P (Factor A)	**	**
C	4,92 c	4,64 c
N	8,11 b	8,56 a
B	8,27 a	7,14 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	4,66 f	4,15 f
I ₁ *N	8,50 b	8,87 a
I ₁ *B	7,33 c	6,53 c
I ₂ *C	5,44 e	5,37 e
I ₂ *N	8,37 b	8,50 ab
I ₂ *B	6,22 d	5,95 d
I ₃ *C	4,65 f	4,41 f
I ₃ *N	7,45 c	8,31 b
I ₃ *B	11,27 a	8,94 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	1,52	4,21
LSD	0,19	0,51

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.57’de, sulama düzeylerine göre yaprak dokusunda belirlenen silisyum (Si) konsantrasyonu, her iki yılda da artan sulama seviyesiyle birlikte yükselmiş; en yüksek değerler birinci ve ikinci yılda sırasıyla 7,79 ve 7,22 mg/kg ile I₃ uygulamasında, en düşük değerler ise sırasıyla 6,83 ve 6,52 mg/kg ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir.

Gübre uygulamaları değerlendirildiğinde, birinci yılda en yüksek Si konsantrasyonu 8,27 mg/kg ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında, ikinci yılda ise 8,56 mg/kg ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. Her iki yılda da en düşük değerlerin kontrol (C) uygulamasında (4,92 ve 4,64 mg/kg) görülmesi, gübre uygulamalarının Si birikimi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, her iki yılda da en yüksek Si konsantrasyonu I₃*B kombinasyonunda (birinci yıl 11,27 mg/kg, ikinci yıl 8,94 mg/kg) belirlenmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda I₃*C (4,65 mg/kg), ikinci yılda I₁*C (4,15 mg/kg) interaksyonlarında elde edilmiştir.

4.1.5. Farklı Uygulamaların Pamuk Verim Bileşenleri Üzerine Bulguların Değerlendirilmesi

4.1.5.1. Koza sayısı (adet/bitki)

Pamuk bitkisinde koza sayısı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.58’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.59’da verilmiştir.

Çizelge 4.58. Pamuk bitkisinde koza sayısı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,58074	0,29037	0,5172	0,6313
Sulama (A)	2	63,5941	31,797	56,6306	0,0012**
Hata (A)	4	2,24593	0,56148	-	-
Gübreleme (B)	2	38,8941	19,447	20,9860	0,0001**
Hata (B)	12	11,12000	0,92667	-	-
A*B	4	64,8859	16,2215	17,5052	<,0001**
Toplam	26	181,32074	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	5,93932	2,96966	2,1827	0,2286
Sulama (A)	2	45,1763	22,5881	16,6020	0,0116*
Hata (A)	4	5,44226	1,36056	-	-
Gübreleme (B)	2	36,0441	18,0221	10,4530	0,0024**
Hata (B)	12	20,68929	1,72411	-	-
A*B	4	40,9246	10,2312	5,9342	0,0071**
Toplam	26	154,21594	-	-	-

Çizelge 4.58’de koza sayısına ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sulama düzeyleri koza sayısı üzerinde birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde, ikinci yılda ise $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmıştır. Buna ek olarak, farklı gübre uygulamaları ile sulama*gübre interaksyonu koza sayısı bakımından her iki yılda da $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.59. Pamuk bitkisinde koza sayısı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	13,15 c	11,66 b
I ₂	15,92 a	13,89 a
I ₃	14,23 b	14,75 a
P (Factor A)	**	*
C	12,53 c	11,99 c
N	14,57 b	14,82 a
B	16,20 a	13,43 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	12,26 d	10,57 d
I ₁ *N	13,13 cd	12,48 cd
I ₁ *B	14,06 bcd	11,94 cd
I ₂ *C	12,53 d	12,68 cd
I ₂ *N	14,73 bc	13,54 bc
I ₂ *B	20,50 a	15,23 b
I ₃ *C	12,80 cd	12,72 cd
I ₃ *N	15,86 b	18,43 a
I ₃ *B	14,03 bcd	13,11 bc
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	6,65	9,79
LSD	1,71	2,34

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.59’da, sulama düzeylerine göre koza sayısı, çalışmanın birinci yılında en yüksek değer 15,92 adet/bitki ile I₂, ikinci yılda 14,75 adet/bitki ile I₃ uygulamasında, en düşük değerler ise sırasıyla 13,15 ve 11,66 adet/bitki ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir. Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın birinci yılında en yüksek değer 16,20 ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında görülürken, ikinci yılda 14,82 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük değerler her iki yılda da kontrol (C) uygulamasında (12,53 ve 11,99 adet/bitki) elde edilmiştir. Sulama*gübre interaksiyonları incelendiğinde, koza sayısı bakımından birinci yılda 20,50 adet/bitki ile I₂*B, ikinci yılda ise 18,43 adet/bitki ile I₃*N interaksiyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler ise I₁*C interaksiyonunda (birinci yıl 12,26 adet/bitki, ikinci yıl 10,57 adet/bitki) elde edilmiştir.

4.1.5.2. Koza ağırlığı (g)

Pamuk bitkisinde koza ağırlığı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.60’ta, ortalama değerler ise Çizelge 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.60. Pamuk bitkisinde koza ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,01207	0,00603	0,1911	0,8332
Sulama (A)	2	1,11802	0,55901	17,7027	0,0046**
Hata (A)	4	0,12631	0,03158	-	-
Gübreleme (B)	2	1,95129	0,97564	79,3087	<,0001**
Hata (B)	12	0,14762	0,01230	-	-
A*B	4	0,32756	0,08189	6,6566	0,0103*
Toplam	26	3,68286	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,9632	0,4816	1,5943	0,3096
Sulama (A)	2	0,8682	0,4341	1,4370	0,3386 ^{8d}
Hata (A)	4	1,20833	0,30208	-	-
Gübreleme (B)	2	17,3947	8,69734	84,9258	<,0001**
Hata (B)	12	1,22893	0,10241	-	-
A*B	4	0,41611	0,10403	1,0158	0,4376 ^{8d}
Toplam	26	22,07947	-	-	-

Çizelge 4.60'da koza ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre, sulama düzeyleri koza ağırlığı üzerinde birinci yılda $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmuş, ancak ikinci yılda anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Farklı gübre uygulamaları ise her iki yılda da koza ağırlığı bakımından $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sulama*gübre etkileşimini incelendiğinde, birinci yılda $p<0,05$ düzeyinde anlamlı farklılık saptanırken, ikinci yılda istatistiksel olarak anlamlı bir etki tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.61. Pamuk bitkisinde koza ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	4,91 c	5,63
I ₂	5,18 b	6,02
I ₃	5,54 a	6,0
P (Factor A)	**	öd
C	4,77 b	4,75 b
N	5,44 a	6,42 a
B	5,43 a	6,49 a
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	4,50 e	4,56
I ₁ *N	5,05 d	6,32
I ₁ *B	5,19 cd	6,02
I ₂ *C	4,58 e	4,84
I ₂ *N	5,60 ab	6,56
I ₂ *B	5,35 bc	6,66
I ₃ *C	5,22 cd	4,85
I ₃ *N	5,65 a	6,37
I ₃ *B	5,75 a	6,78
P (Faktör A*B)	*	öd
%CV	2,10	5,44
LSD	0,20	0,57

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.61’de, sulama düzeylerine göre koza ağırlığı, her iki yılda da sulama uygulamalarına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek değerler birinci yılda 5,54 g ile I₃, ikinci yılda 6,02 g ile I₂ sulama uygulamasında belirlenirken, en düşük değerler ise sırasıyla 4,91 g ve 5,63 g ile I₁ uygulamasında elde edilmiştir. Gübre uygulamalarına göre koza ağırlığı bakımından en yüksek değerler birinci yılda 5,44 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında, ikinci yılda ise 6,49 g ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük değerler çalışmanın her iki yılında da (1. yıl: 4,77 g, ikinci yıl: 4,75) kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübre interaksyonu değerlendirildiğinde, koza ağırlığı bakımından en yüksek değerler her iki yılda da I₃*B kombinasyonunda (birinci yıl 5,75 g, ikinci yıl 6,78 g) elde edilmiştir. En düşük değerler ise I₁*C interaksyonunda (birinci yıl 4,50 g, ikinci yıl 4,56 g) belirlenmiştir.

4.1.5.3. Koza kütlü ağırlığı (g)

Pamuk bitkisinde koza kütlü ağırlığı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz

sonuçları Çizelge 4.62’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.63’te verilmiştir.

Çizelge 4.62. Pamuk bitkisinde koza kütlü ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,03054	0,01527	0,9639	0,4553
Sulama (A)	2	0,89647	0,44824	28,2932	0,0044**
Hata (A)	4	0,06337	0,01584	-	-
Gübreleme (B)	2	2,39150	1,19575	149,2267	<,0001**
Hata (B)	12	0,09616	0,00801	-	-
A*B	4	0,66815	0,16704	20,8459	<,0001**
Toplam	26	4,14619	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,15882	0,07941	2,9754	0,1616
Sulama (A)	2	0,32842	0,16421	6,1528	0,0602 ^{öd}
Hata (A)	4	0,10676	0,02669	-	-
Gübreleme (B)	2	7,25076	3,62538	229,1052	<,0001**
Hata (B)	12	0,1898889	0,015824	-	-
A*B	4	0,76662	0,19166	12,1116	0,0004**
Toplam	26	8,8012667	-	-	-

Çizelge 4.62’de koza kütlü ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Sulama düzeyleri koza kütlü ağırlığı bakımından, birinci yılda istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanırken, ikinci yılda istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Farklı gübre uygulamaları ile sulama*gübre interaksyonunun koza kütlü ağırlığı açısından ise çalışmanın her iki yılında da istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.63. Pamuk bitkisinde koza kütlü ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	3,58 c	4,04
I ₂	4,02 a	4,09
I ₃	3,83 b	4,29
P (Factor A)	**	öd
C	3,45 c	3,42 c
N	4,18 a	4,61 a
B	3,80 b	4,40 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	3,27 e	3,28 f
I ₁ *N	3,68 cd	4,52 cd
I ₁ *B	3,78 c	4,30 d
I ₂ *C	3,56 d	3,47 f
I ₂ *N	4,48 a	4,76 ab
I ₂ *B	4,02 b	4,06 e
I ₃ *C	3,52 d	3,51 f
I ₃ *N	4,38 a	4,55 bc
I ₃ *B	3,60 d	4,82 a
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	2,35	3,04
LSD	0,16	0,22

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine göre koza kütlü ağırlığı, çalışmanın her iki yılında da sulama uygulamalarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Birinci yılda en yüksek değer 4,02 g ile I₂ sulama uygulamasında, ikinci yılda ise 4,29 g ile I₃ sulama uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler her iki yılda da I₁ uygulamasında görülmüş olup, sırasıyla 3,58 g ve 4,04 g olarak tespit edilmiştir.

Gübre uygulamaları değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek koza kütlü ağırlığı kimyasal gübre (N) uygulamasında (birinci yıl 4,18 g, ikinci yıl 4,61 g) elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük değerler çalışmanın her iki yılında da kontrol (C) uygulamasında (birinci yıl 3,45 g, ikinci yıl 3,42 g) belirlenmiştir.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, birinci yılda en yüksek değer 4,48 g ile I₂*N kombinasyonunda, ikinci yılda ise 4,82 g ile I₃*B interaksyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler her iki yılda da I₁*C uygulamasında (sırasıyla 3,27 g ve 3,28 g) elde edilmiştir (Çizelge 4.63).

4.1.5.4. Çırçır randımanı (%)

Pamuk bitkisinde çırçır randımanı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları

Çizelge 4.64'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.65'te verilmiştir.

Çizelge 4.64. Pamuk bitkisinde çırçır randımanı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,13992	0,06996	0,0772	0,9271
Sulama (A)	2	19,4393	9,71963	10,7245	0,0247*
Hata (A)	4	3,62521	0,90630	-	-
Gübreleme (B)	2	1,75490	0,87745	1,8068	0,2061 ^{öd}
Hata (B)	12	5,82773	0,48564	-	-
A*B	4	7,69050	1,92263	3,9589	0,0283*
Toplam	26	38,47752	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,02294	0,01147	0,0190	0,9812
Sulama (A)	2	5,69518	2,84759	4,7227	0,0885 ^{öd}
Hata (A)	4	2,41184	0,60296	-	-
Gübreleme (B)	2	4,59018	2,29509	3,6125	0,0591 ^{öd}
Hata (B)	12	7,623834	0,63532	-	-
A*B	4	1,71109	0,42777	0,6733	0,6231 ^{öd}
Toplam	26	22,055073	-	-	-

Çizelge 4.64'te çırçır randımanına ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur.

Çalışmanın birinci yılında, sulama düzeyleri ile sulama*gübre interaksyonu çırçır randımanı bakımından $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, farklı gübre uygulamalarının etkisi anlamlı olmamıştır. Çalışmanın ikinci yılında ise sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre interaksyonu bakımından çırçır randımanı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir.

Çizelge 4.65. Pamuk bitkisinde çırçır randımanı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	46,27 b	44,81
I ₂	47,97 a	45,92
I ₃	48,16 a	45,53
P (Factor A)	*	öd
C	47,80	44,94
N	47,19	45,94
B	47,40	45,38
P (Factor B)	öd	öd
I ₁ *C	47,47 ab	44,77
I ₁ *N	45,03 c	44,95
I ₁ *B	46,31 b	44,72
I ₂ *C	47,82 a	45,29
I ₂ *N	48,14 a	46,52
I ₂ *B	47,96 a	45,96
I ₃ *C	48,12 a	44,74
I ₃ *N	48,40 a	46,36
I ₃ *B	47,95 a	45,47
P (Faktör A*B)	*	öd
%CV	1,47	1,75
LSD	1,24	1,42

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.65'te, sulama düzeylerine göre, birinci yılda en yüksek çırçır randımanı %48,16 ile I₃ sulama düzeyinde, ikinci yılda ise %45,92 ile I₂ sulama düzeyinde belirlenmiştir. En düşük değerler her iki yılda da I₁ uygulamasında saptanmış olup, sırasıyla %46,27 ve %44,81 olarak kaydedilmiştir.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, birinci yılda en yüksek çırçır randımanı %47,80 ile kontrol (C) uygulamasında elde edilirken, ikinci yılda %45,94 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda %47,19 ile kimyasal gübre (N) uygulamasında, ikinci yılda ise %44,94 ile kontrol (C) uygulamasında tespit edilmiştir.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, birinci yılda en yüksek çırçır randımanı %48,40 ile I₃*N interaksyonunda, ikinci yılda ise %46,52 ile I₂*N interaksyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda %45,03 ile I₁*N, ikinci yılda %44,72 ile I₁*B interaksyonlarında elde edilmiştir.

4.1.5.5. 100 tohum ağırlığı (g)

Pamuk bitkisinde 100 tohum ağırlığı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.66'da, ortalama değerler ise Çizelge 4.67'de verilmiştir.

Çizelge 4.66. Pamuk bitkisinde 100 tohum ağırlığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,0806	0,0403	0,4144	0,6862
Sulama (A)	2	2,27269	1,13634	11,6854	0,0214*
Hata (A)	4	0,38898	0,09724	-	-
Gübreleme (B)	2	0,36509	0,18254	2,2585	0,1471 ^{öd}
Hata (B)	12	0,96988	0,08082	-	-
A*B	4	0,66542	0,16636	2,0582	0,1498 ^{öd}
Toplam	26	4,74266	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,18534	0,09267	3,2730	0,1439
Sulama (A)	2	0,26823	0,13411	4,7367	0,0881 ^{öd}
Hata (A)	4	0,11326	0,02831	-	-
Gübreleme (B)	2	6,45352	3,22676	44,2942	<,0001**
Hata (B)	12	0,87418	0,07285	-	-
A*B	4	0,14741	0,03685	0,5059	0,7325 ^{öd}
Toplam	26	8,04194	-	-	-

Çizelge 4.66'da 100 tohum ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları verilmiştir. Bulgulara göre, sulama düzeyleri birinci yılda 100 tohum ağırlığı üzerinde $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı etki gösterirken, ikinci yılda istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır. Gübre uygulamalarına bakıldığında, birinci yılda anlamlı bir farklılık belirlenmezken, ikinci yılda $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılık saptanmıştır. Sulama*gübre etkileşimi ise her iki yılda da 100 tohum ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.67. Pamuk bitkisinde 100 tohum ağırlığı değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	8,86 a	9,25
I ₂	8,63 a	9,11
I ₃	8,16 b	9,01
P (Factor A)	*	öd
C	8,39	8,44 b
N	8,63	9,41 a
B	8,63	9,53 a
P (Factor B)	öd	**
I ₁ *C	8,45	8,44
I ₁ *N	9,19	9,64
I ₁ *B	8,94	9,68
I ₂ *C	8,57	8,48
I ₂ *N	8,69	9,31
I ₂ *B	8,63	9,55
I ₃ *C	8,14	8,40
I ₃ *N	8,02	9,27
I ₃ *B	8,34	9,36
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	3,33	2,96
LSD	0,41	0,28

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.67’de, sulama düzeylerine göre 100 tohum ağırlığı, çalışmanın her iki yılında da en yüksek değerler sırasıyla 8,86 g ve 9,25 g ile I₁ sulama düzeyinde belirlenirken, en düşük değerler 8,16 g ve 9,01 g ile I₃ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, birinci yılda en yüksek 100 tohum ağırlığı 8,63 g ile kimyasal gübre (N) ve biyogaz bulamacı (B) uygulamalarında elde edilirken, ikinci yılda en yüksek değer 9,53 g ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında belirlenmiştir. Her iki yılda da en düşük değerler sırasıyla 8,39 g ve 8,44 g ile kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, birinci yılda en yüksek 100 tohum ağırlığı 9,19 g ile I₁*N, ikinci yılda ise 9,68 g ile I₁*B interaksiyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda 8,02 g ile I₃*N, ikinci yılda 8,40 g ile I₃*C interaksiyonlarında elde edilmiştir.

4.1.5.6. Kütlü pamuk verimi (kg/da)

Pamuk bitkisinde kütlü pamuk verimi değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz

sonuçları Çizelge 4.68’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.69’da verilmiştir.

Çizelge 4.68. Pamuk bitkisinde kütlü pamuk verimi değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	74,7785	37,3893	0,1682	0,8509
Sulama (A)	2	26463,2	13231,6	59,5304	0,0011**
Hata (A)	4	889,064	222,266	-	-
Gübreleme (B)	2	102637	51318,7	199,5718	<,0001**
Hata (B)	12	3085,73	257,1	-	-
A*B	4	12141,9	3035,46	11,8045	0,0004**
Toplam	26	145292,10	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	1334,78	667,388	4,8680	0,0848
Sulama (A)	2	31978,8	15989,4	116,6295	0,0003**
Hata (A)	4	548,383	137,096	-	-
Gübreleme (B)	2	80519,8	40259,9	349,9094	<,0001**
Hata (B)	12	1380,70	115,06	-	-
A*B	4	10810,7	2702,67	23,4896	<,0001**
Toplam	26	126573,12	-	-	-

Çizelge 4.68’de kütlü pamuk verimine ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Buna göre, çalışmanın her iki yılında da sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre uygulamalarının kütlü pamuk verimi üzerine istatistiksel olarak $p<0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.69. Pamuk bitkisinde kütlü pamuk verimi değerlerine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	397,34 c	410,84 b
I ₂	472,97 a	489,93 a
I ₃	424,13 b	425,12 b
P (Factor A)	**	**
C	344,59 b	369,44 c
N	481,20 a	501,22 a
B	468,66 a	455,23 b
P (Factor B)	**	**
I ₁ *C	305,57 f	356,07 g
I ₁ *N	419,93 d	442,33 d
I ₁ *B	466,53 c	434,13 de
I ₂ *C	367,40 e	383,93 f
I ₂ *N	543,97 a	574,0 a
I ₂ *B	507,53 b	511,87 b
I ₃ *C	360,80 e	368,33 fg
I ₃ *N	479,70 bc	487,33 c
I ₃ *B	431,90 d	419,69 e
P (Faktör A*B)	**	**
%CV	3,72	2,43
LSD	28,53	19,09

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.69’da, sulama düzeylerine göre pamukta kütlü verim bakımından uygulamalar arasında belirgin farklılıklar saptanmıştır. Çalışmanın her iki yılında da en yüksek kütlü verim değerleri sırasıyla 472,97 ve 489,93 kg/da ile I₂ sulama uygulamasında elde edilirken, en düşük değerler 397,34 kg/da ve 410,84 kg/da ile I₁ sulama uygulamasında belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek kütlü verim değerleri sırasıyla 481,20 ve 501,22 kg/da ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük verim değerleri ise 344,59 ve 369,44 kg/da ile kontrol (C) uygulamasında saptanmıştır.

Sulama*gübre interaksiyonları incelendiğinde, en yüksek kütlü verim değerleri her iki yılda da sırasıyla 543,97 ve 574,00 kg/da ile I₂*N interaksiyonunda belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değerler 305,57 kg/da ve 356,07 kg/da ile I₁*C interaksiyonunda elde edilmiştir.

4.1.6. Pamuk Lifine Ait Fiziksel Kalite Özelliklerine İlişkin Bulgular

4.1.6.1. Lif kopma dayanıklılığı (g/tex)

Pamuk bitkisinde lif kopma dayanıklılığı değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.70’te, ortalama değerler ise Çizelge 4.71’de verilmiştir.

Çizelge 4.70. Pamuk bitkisinde lif kopma dayanıklılığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	13,1789	6,58945	0,8037	0,5089
Sulama (A)	2	29,2632	14,6316	1,7846	0,2793 ^{öd}
Hata (A)	4	32,7949	8,19872	-	-
Gübreleme (B)	2	11,4979	5,74896	0,4785	0,6310 ^{öd}
Hata (B)	12	144,1669	12,0139	-	-
A*B	4	28,6673	7,16682	0,5965	0,6720 ^{öd}
Toplam	26	259,5691	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	1,67457	0,83729	0,3429	0,7287
Sulama (A)	2	1,68126	0,84063	0,3442	0,7279 ^{öd}
Hata (A)	4	9,76803	2,44201	-	-
Gübreleme (B)	2	0,31133	0,15566	0,1069	0,8995 ^{öd}
Hata (B)	12	17,47926	1,45661	-	-
A*B	4	3,62996	0,90749	0,6230	0,6549 ^{öd}
Toplam	26	34,54441	-	-	-

Çizelge 4.70’de lif kopma dayanıklılığı ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Buna göre, çalışmanın her iki yılında da sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre uygulamalarının lif kopma dayanıklılığı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunamamıştır.

Çizelge 4.71. Pamuk bitkisinde lif kopma dayanıklılığına ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	31,15	29,78
I ₂	33,08	30,38
I ₃	30,67	29,97
P (Factor A)	öd	öd
C	31,26	29,90
N	32,55	30,15
B	31,09	30,08
P (Factor B)	öd	öd
I ₁ *C	29,38	29,04
I ₁ *N	33,45	30,24
I ₁ *B	30,62	30,07
I ₂ *C	34,52	30,90
I ₂ *N	32,77	30,14
I ₂ *B	31,94	30,11
I ₃ *C	29,88	29,76
I ₃ *N	31,42	30,09
I ₃ *B	30,70	30,07
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	10,96	4,02
LSD	6,17	2,15

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Çizelge 4.71’de, sulama düzeylerine göre pamukta lif kopma dayanıklılığı bakımından en yüksek değerler birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 33,08 ve 30,38 g/tex ile I₂ sulama düzeyinde belirlenirken, en düşük değerler birinci yılda 30,67 g/tex ile I₃, ikinci yılda ise 29,78 g/tex ile I₁ uygulamasında saptanmıştır.

Gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, her iki yılda da en yüksek lif kopma dayanıklılığı değerleri sırasıyla 32,55 g/tex ve 30,15 g/tex ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda 31,09 g/tex ile biyogaz bulamacı (B), ikinci yılda ise 29,90 g/tex ile kontrol (C) uygulamasında görülmüştür.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, her iki yılda da en yüksek lif kopma dayanıklılığı değerleri sırasıyla 34,52 g/tex ve 30,90 g/tex ile I₂*C interaksyonunda belirlenmiştir. En düşük değerler ise her iki yılda da sırasıyla 29,38 ve 29,04 g/tex ile I₁*C interaksyonunda elde edilmiştir.

4.1.6.2. Lif inceliği (Micronaire)

Pamuk bitkisinde lif inceliği değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları

Çizelge 4.72’de, ortalama değerler ise Çizelge 4.73’te verilmiştir.

Çizelge 4.72. Pamuk bitkisinde lif inceliği değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	0,21399	0,107	4,6793	0,0897
Sulama (A)	2	0,21239	0,10619	4,6443	0,0906 ^{öd}
Hata (A)	4	0,09146	0,02287	-	-
Gübreleme (B)	2	0,53749	0,26874	3,7310	0,0549 ^{öd}
Hata (B)	12	0,86435	0,07203	-	-
A*B	4	0,55322	0,1383	1,9201	0,1717 ^{öd}
Toplam	26	2,47290	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,13948	0,06974	6,8323	0,0513
Sulama (A)	2	0,05207	0,02603	2,5506	0,1932 ^{öd}
Hata (A)	4	0,04083	0,01021	-	-
Gübreleme (B)	2	1,08317	0,54158	15,3493	0,0005 **
Hata (B)	12	0,42340	0,03528	-	-
A*B	4	0,26092	0,06523	1,8487	0,1844 ^{öd}
Toplam	26	1,99986	-	-	-

Çizelge 4.72’de lif inceliğine ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Buna göre, çalışmanın her iki yılında da sulama düzeyleri ile sulama*gübre uygulamalarının lif inceliği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Farklı gübre uygulamaları açısından ise birinci yılda istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmezken, ikinci yılda $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Çizelge 4.73. Pamuk bitkisinde lif inceliğine ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	5,13	4,91
I ₂	4,93	4,80
I ₃	4,95	4,88
P (Factor A)	öd	öd
C	5,10	4,75 b
N	4,80	4,69 b
B	5,11	5,15 a
P (Factor B)	öd	**
I ₁ *C	5,14	4,74
I ₁ *N	5,20	4,86
I ₁ *B	5,05	5,12
I ₂ *C	5,02	4,80
I ₂ *N	4,58	4,44
I ₂ *B	5,20	5,17
I ₃ *C	5,13	4,72
I ₃ *N	4,64	4,78
I ₃ *B	5,08	5,15
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	5,36	3,86
LSD	0,48	0,33

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine göre pamukta lif inceliği bakımından çalışmanın her iki yılında da en yüksek lif inceliği değerleri sırasıyla 5,13 ve 4,91 mic ile I₁ sulama uygulamasında görülürken, en düşük değerler sırasıyla 4,93 ve 4,80 mic ile I₂ uygulamasında elde edilmiştir.

Farklı gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek lif inceliği değerleri sırasıyla 5,11 ve 5,15 mic ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük değerler ise her iki yılda da sırasıyla 4,80 mic ve 4,69 mic ile kimyasal gübre (N) uygulamasında elde edilmiştir.

Sulama*gübre interaksiyonları incelendiğinde, birinci yılda en yüksek lif inceliği değeri 5,20 mic ile I₁*N ve I₂*B interaksiyonlarında görülürken, ikinci yılda en yüksek değer 5,17 mic ile I₂*B interaksiyonunda belirlenmiştir. En düşük lif inceliği değerleri ise her iki yılda da sırasıyla 4,58 mic ve 4,44 mic ile I₂*N interaksiyonunda saptanmıştır (Çizelge 4.73).

4.1.6.3. Lif uzunluğu (mm)

Pamuk bitkisinde lif uzunluğu değerlerine ilişkin verilerin varyans analiz sonuçları

Çizelge 4.74'te, ortalama değerler ise Çizelge 4.75'te verilmiştir.

Çizelge 4.74. Pamuk bitkisinde lif uzunluğu değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

2024					
Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Tekerrür	2	1,6168	0,8084	0,4327	0,6759
Sulama (A)	2	0,22157	0,11079	0,0593	0,9432 ^{öd}
Hata (A)	4	7,47352	1,86838	-	-
Gübreleme (B)	2	0,1232	0,0616	0,0404	0,9605 ^{öd}
Hata (B)	12	18,2925	1,52438	-	-
A*B	4	5,1388	1,2847	0,8428	0,5243 ^{öd}
Toplam	26	32,8664	-	-	-
2025					
Tekerrür	2	0,42897	0,21449	0,2165	0,8142
Sulama (A)	2	0,94046	0,47023	0,4746	0,6532 ^{öd}
Hata (A)	4	3,96331	0,99083	-	-
Gübreleme (B)	2	3,43215	1,71607	1,1009	0,3639 ^{öd}
Hata (B)	12	18,70541	1,55878	-	-
A*B	4	2,06297	0,51574	0,3309	0,8520 ^{öd}
Toplam	26	29,53327	-	-	-

Çizelge 4.74'te lif uzunluk değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Buna göre, çalışmanın her iki yılında da sulama düzeyleri, farklı gübre uygulamaları ve sulama*gübre uygulamalarının lif uzunluk değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunamamıştır.

Çizelge 4.75. Pamuk bitkisinde lif uzunluğuna ilişkin ortalama değerler ile % CV ve LSD değerleri

Uygulamalar	2024	2025
I ₁	29,79	28,40
I ₂	30,0	28,67
I ₃	29,87	28,86
P (Factor A)	öd	öd
C	29,82	28,40
N	29,86	28,39
B	29,98	29,15
P (Factor B)	öd	öd
I ₁ *C	29,33	28,01
I ₁ *N	30,12	28,61
I ₁ *B	29,91	28,60
I ₂ *C	30,29	28,62
I ₂ *N	29,17	27,92
I ₂ *B	30,56	29,46
I ₃ *C	29,85	28,56
I ₃ *N	30,28	28,63
I ₃ *B	29,47	29,38
P (Faktör A*B)	öd	öd
%CV	4,13	4,36
LSD	2,20	2,22

Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar, LSD (En Küçük Önemli Fark) testine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır. * ve ** sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olasılık düzeylerinde anlamlılığı ifade eder; öd: önemli değil.

Sulama düzeylerine göre pamukta lif uzunluk değerleri bakımından çalışmanın birinci yılında en yüksek lif uzunluk değeri 30,0 mm ile I₂ sulama uygulamasında görülürken, ikinci yılda en yüksek değer 28,86 mm ile I₃ uygulamasında elde edilmiştir. En düşük lif uzunluk değerleri ise her iki yılda da sırasıyla 29,79 mm ve 28,40 mm ile I₁ uygulamasında belirlenmiştir.

Farklı gübre uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde, çalışmanın her iki yılında da en yüksek lif uzunluk değerleri sırasıyla 29,98 mm ve 29,15 mm ile biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değerler ise birinci yılda 29,82 mm ile kontrol (C) uygulamasında, ikinci yılda ise 28,39 mm ile kimyasal gübre (N) uygulamasında saptanmıştır.

Sulama*gübre etkileşimlerini incelendiğinde, en yüksek lif uzunluk değerleri birinci ve ikinci yıllarda sırasıyla 30,56 mm ve 29,46 mm ile I₂*B etkileşiminde belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değerler ise her iki yılda da sırasıyla 29,17 mm ve 27,92 mm ile I₂*N uygulamasında görülmüştür (Çizelge 4.75).

5. TARTIŞMA

5.1. Sulama Konularının Üzerine Bulguların Tartışılması

Araştırmada pamuk bitkisinde sezon boyunca uygulanan sulama suyu miktarları 2024 sezonunda 762–1217 mm, 2025 sezonunda ise 785-1248 mm arasında değişmiş, sezonluk bitki su tüketimi (ETc) 2024 sezonunda 789–1213 mm, 2025 sezonunda ise 805-1224 aralığında belirlenmiştir. Özellikle yaz döneminde artan sıcaklık ve düşük bağıl nem koşulları sulama ihtiyacını artırmış, bu durum literatürde farklı iklim kuşaklarında yürütülen çalışmalarla da uyumlu bulunmuştur (Satış vd., 2023; Akin ve Kaya, 2024). Kurak ve yarı kurak iklimlerde yetersiz sulamanın verimde kayıplara yol açmaktadır (Acar, 2019). Dolayısıyla, pamuk üretiminde sulama yönetimi tarımsal verimliliğin sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır (Khor ve Feike, 2017).

ETc değerlerinin sulama düzeyleriyle paralel bir eğilim göstermesi, iklim faktörleriyle birlikte sulama miktarının belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Nitekim Oweis vd. (2011) tarafından yürütülen çalışmada da ETc değerlerinin 813-927 mm arasında değiştiğini ve Ünlü vd. (2011) ise 272-671 mm arasında ETc değerlerinin değiştiğini bildirmişlerdir. ETc miktarları iklimsel koşullarının bu farklılıklarda temel etken olmaktadır.

Araştırmada 2024 ve 2025 sezonlarında hesaplanan IWUE değerleri sırasıyla 0,30–0,61 kg/m³, 0,30-0,56 kg/m³ ve WUE değerleri pamuk için sırasıyla 0,30–0,59 kg/m³, 0,30-0,56 kg/m³ arasında hesaplanmıştır. Kısıntılı sulama uygulamaları, tam sulamaya göre daha düşük verim etkinliği sağlamış; bu sonuç suyun miktarındaki azalmanın kullanım etkinliğini sınırladığını göstermektedir. Buna karşılık, N ve B uygulamalarının tek başına veya birlikte kullanıldığı denemelerde kontrol uygulamalarına kıyasla daha yüksek WUE ve IWUE değerleri elde edilmiştir. Nitekim yarı kurak bölgelerde yürütülen bir çalışmada, kimyasal gübrelerin biyogaz bulamacı (B) olarak üst gübreleme şeklinde uygulanmasının, mısırdaki su ve azot kullanım etkinliğini anlamlı düzeyde artırdığı, bununla birlikte verim üzerinde de olumlu etkiler sağladığı bildirilmiştir (Wang vd., 2025).

5.2. Toprak Kimyasal Özellikleri, Enzim Aktiviteleri ve Azot Dönüşümleri Üzerine Bulguların Tartışılması

Elde edilen bulgular, uygulanan farklı sulama düzeyleri, gübre formlarının ve bunların interaksyonlarının toprak pH'sı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim yaratmadığını ($P>0,05$) ve pH değerlerinin dar bir aralıkta stabilize olduğu belirlenmiştir. Bu durum, çalışma alanındaki toprakların yüksek kireç içeriği ve buna bağlı olarak gelişen güçlü tamponlama kapasitesi ile açıklanabilir (Beyyavaş vd., 2026). Nitekim, alkali topraklarda kısa süreli organik veya inorganik müdahalelerin pH dengesini radikal şekilde değiştirmediği sıklıkla vurgulanmaktadır (Du vd., 2018). Her iki deneme yılında da en yüksek pH değerlerinin %125 sulama düzeyinde (I_3), en düşük değerlerin ise %100 sulama düzeyinde (I_2) saptanması, aşırı sulamanın toprak solüsyonundaki bazik katyonların mobilitesini etkileyebileceğini; ancak bu etkinin istatistiksel sınırı aşmadığını göstermektedir (Marschner, 2011). Gübre uygulamaları bazında, özellikle biyogaz bulamacının (B) hem tek başına hem de I_2 ile interaksyonunda en düşük pH değerlerini vermesi; Du vd. (2018) ve Xu vd. (2021)'nin organik materyalin mineralizasyonu sırasında açığa çıkan organik asitler ve karbondioksitin pH'yı düşürme eğilimiyle paralellik göstermektedir. Bununla birlikte, bu düşüşün anlamlı düzeyde kalmaması, biyogaz bulamacının içerdiği amonyumun nitrifikasyonu sonucu oluşan asitliğin toprağın kalsiyum karbonat içeriği tarafından nötralize edildiğine işaret etmektedir (Albuquerque vd., 2012). İnteraksiyon etkilerinin önemsiz olarak belirlenmiş olması, sulama rejimi ile gübreleme stratejilerinin toprak reaksiyonu üzerindeki birleşik etkisinin, toprağın mevcut kimyasal yapısını baskılayacak boyuta ulaşmadığını ortaya koymaktadır (Rengel, 2015).

Toprak elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine ilişkin bulgular, sulama düzeylerinin ve gübreleme stratejilerinin toprak solüsyonundaki toplam çözünür tuz konsantrasyonu üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu göstermektedir. Her iki deneme yılında da en yüksek EC değerlerinin en düşük sulama (I_1) uygulamasında (0,381 ve 0,337 dS/m) görülmesi, düşük su miktarının toprak profilinde tuzların yıkanmasını sınırlandırması ve buharlaşma ile tuzların üst katmanlarda konsantre hale gelmesiyle açıklanabilir (Rhoades vd., 1992). Buna karşılık, en düşük EC değerlerinin %125 sulama düzeyine sahip I_3 uygulamasında (0,285 ve

0,296 dS/m) belirlenmiş olması, yüksek su hacminin oluşturduğu etkili yıkama (leaching) mekanizması sayesinde çözünür iyonların kök bölgesinden uzaklaştırıldığını göstermektedir (Letey vd., 2011; Shani ve Dudley, 2001). Gübreleme açısından değerlendirildiğinde, kimyasal gübre (N) uygulamalarının EC üzerindeki artırıcı etkisi, bu gübrelerin yüksek suda çözünebilir tuz içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Miller vd., 2006). Buna karşılık, biyogaz bulamacı (B) uygulamalarının özellikle uygun sulama koşullarıyla birlikte EC'yi dengelemesi, organik materyalin toprak yapısını iyileştirerek drenajı ve iyon hareketliliğini artırmasıyla ilişkilendirilebilir (Albuquerque vd., 2012; Mayerová vd., 2023). İnteraksiyonlarda ise, çalışmanın her iki yılında da en yüksek EC değerlerinin düşük sulama ve kimyasal gübre interaksiyonunda ($I_1 \cdot N$) (1. yıl: 0,445 dS/m, 2. yıl: 0,367 dS/m), en düşük değerlerin ise yüksek sulama ve biyogaz bulamacı interaksiyonunda ($I_3 \cdot B$) (1. yıl: 0,240 dS/m, 2. yıl: 0,272 dS/m) ortaya çıkması, suyun seyretici etkisi ile organik gübrelerin toprağın fizikokimyasal özelliklerine sağladığı olumlu katkının sinerjik bir etki olarak görülmektedir (Sparks, 2022).

Toprak kireç içeriğine (CaCO_3) ilişkin bulgular, sulama düzeyleri ve özellikle organik kökenli gübreleme uygulamalarının toprağın karbonat dengesi üzerinde modifiye edici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Her iki deneme yılında da en yüksek kireç değerlerinin %100 sulama düzeyinde (I_2) saptanması, bu sulama rejiminin toprak profilindeki kalsiyum iyonlarının hareketliliği ve çökeltme dinamikleri açısından bir denge noktası oluşturduğunu düşündürmektedir. Buna karşın, daha kısıtlı (I_1) ya da daha yoğun (I_3) sulama uygulamalarının kireç birikimini farklı yönlerde etkilediği görülmektedir. Gübreleme faktörü değerlendirildiğinde, biyogaz bulamacının (B) her iki yılda da kontrol (C) ve kimyasal gübre (N) uygulamalarına kıyasla daha yüksek kireç içerikleri (%14,36 ve %15,30) sağlaması, bu organik materyalin yapısında bulunan kalsiyum bileşiklerinin toprağa doğrudan katkısı ve fermente materyalin kalsiyum karbonat çökeltmesini destekleyen bir kimyasal ortam oluşturmasıyla açıklanabilir (Möller ve Müller, 2012; Albuquerque vd., 2012). İnteraksiyon bazında en yüksek değerlerin $I_2 \cdot B$ interaksiyonunda (%15,09 ve %15,89) gözlenmiş olması, uygun nem koşulları altında biyogaz bulamacının topraktaki kireç fraksiyonlarını stabilize ettiğini göstermektedir (Pan vd., 2023). Kontrol uygulamalarında (C) belirlenen düşük değerler ise, herhangi bir dışsal mineral ya da organik girdi olmaksızın toprağın mevcut

kireç yapısının korunduğunu; ancak deneme süresince bitki besin maddesi alımı ve sulama etkileşimi nedeniyle bu değerlerin nispeten düşük seyrettiğini ortaya koymaktadır (Havlin vd., 2016).

Toprakta amonyum (NH_4^+) içeriğine ilişkin bulgular, sulama rejimi ve gübreleme stratejilerinin toprak azot dinamikleri ve mineralizasyon süreçleri üzerindeki karmaşık etkilerini yansıtmaktadır. Her iki deneme yılında da en yüksek amonyum değerlerinin tam sulama uygulaması olan I_2 düzeyinde görülmesi, uygun nem koşullarının organik madde mineralizasyonunu ve mikrobiyal aktiviteyi optimize ederek amonyum birikimini teşvik ettiğini göstermektedir (Cassman ve Munns, 1980; Horwath ve Paul, 2015). Gübreleme faktörü açısından ilk yılda biyogaz bulamacının (B) sağladığı yüksek amonyum içeriği (1,33 mg N/kg/toprak), fermente materyalin toprağa doğrudan mineralize olmaya hazır azot kazandırmasından kaynaklanmaktadır (Nkoa, 2014). İkinci yılda ise kimyasal gübre (N) uygulamasının en yüksek çıkması, mineral formdaki azotun doğrudan amonyum havuzuna dahil olmasıyla ilişkilidir (Kuzyakov ve Xu, 2013). İnteraksiyonlar incelendiğinde, özellikle $I_2 \times B$ ve $I_1 \times N$ kombinasyonlarında kaydedilen en yüksek değerler (1,58 mg N/kg/toprak), kontrollü nem koşullarının hem organik hem de inorganik azot kaynaklarının etkinliğini artırdığını göstermektedir. Buna karşılık, $I_1 \times C$ ve $I_3 \times B$ gibi uç uygulamalarda gözlenen düşük değerler, su stresinin mineralizasyonu kısıtlaması ya da aşırı nem koşullarında amonyumun nitrifikasyon ve yıkanma yoluyla kayba uğramasıyla açıklanabilir (Manzoni vd., 2012).

Toprak nitrat (NO_3^-) içeriğine ilişkin bulgular, sulama rejimi ile gübre kaynağının toprak azot dinamikleri üzerinde hem bağımsız hem de etkileşimli olarak güçlü bir kontrol sağladığını göstermektedir. Artan sulama düzeylerine bağlı olarak nitrat içeriğinin I_3 uygulamasında (7,60 ve 7,25 mg N/kg/toprak) artış görülmesi, yeterli toprak neminin nitrifikasyon sürecini yürüten mikrobiyal toplulukların aktivitesini uyarması ve organik maddenin mineralizasyon hızını artırmasıyla ilişkilidir (Geisseler vd., 2010; Li vd., 2021). Gübreleme faktörü açısından biyogaz bulamacının (B), her iki yılda da (13,57 ve 13,20 mg N/kg/toprak) kimyasal gübre ve kontrol uygulamalarına kıyasla daha yüksek nitrat içerikleri sağlaması, içerdği yüksek amonyum formunun toprakta hızla nitrifikasyona uğraması ve bu sürecin toprak organik karbonu tarafından desteklenmesiyle açıklanabilir (Nkoa, 2014;

Cheng vd., 2017; Tang vd., 2022). I_2*B interaksiyonunda gözlenen en yüksek değerler (14,83 ve 13,26 mg N/kg/toprak), optimum su-hava dengesinin biyogaz bulamacındaki azotun biyoyararlanımını maksimize ettiğini ve azot kayıplarını sınırlayarak toprakta tutulmasını artırdığını göstermektedir (Yin vd., 2019; Capra vd., 2025). Buna karşın, kısıtlı sulama ve kontrol (I_1*C) uygulamalarında belirlenen düşük nitrat seviyeleri, hem mineralizasyon için gerekli nemin yetersizliğine hem de dışsal azot girdisinin bulunmamasına bağlı olarak azot döngüsünün yavaşladığını ortaya koymaktadır (Donovan vd., 2025; Hirsch vd., 2015).

Toprak katalaz enzim aktivitesine ilişkin bulgular, sulama rejimi ve organik gübreleme stratejilerinin toprak biyolojik kalitesi ve mikrobiyal dinamikler üzerindeki belirleyici etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Her iki deneme yılında da en yüksek katalaz aktivitesinin yüksek sulama düzeyinde (I_3 : 77,55 ve 65,77 ml O_2 /g/kuru toprak/dk) belirlenmiştir. Artan toprak nemiyile birlikte aerobik mikrobiyal aktivitenin teşvik edilmesi ve enzim sentezi için uygun metabolik ortamın oluşmasıyla açıklanabilir (Zhang ve Yao, 2006; Li vd., 2022; Wang vd., 2021). Gübreleme açısından biyogaz bulamacının (B), her iki yılda da (90,66 ve 67,55 ml O_2 /g/kuru toprak/dk) kontrol ve kimyasal gübre uygulamalarına kıyasla çok daha yüksek katalaz aktivitesi sağlaması, fermente organik materyalin toprağa sağladığı labil karbon ve besin maddelerinin mikrobiyal biyokütleyi ve enzim üretimini artırmasıyla ilişkilidir (Feng vd., 2024; Wu vd., 2020). Sulama düzeyleri ile farklı gübre interaksiyonları incelendiğinde, I_3*B uygulamasında görülen en yüksek değerler (100,67 ve 73,33 ml O_2 /g/kuru toprak/dk), yüksek nem ile zengin organik içeriğin birleşiminin oksidatif süreçleri maksimize ederek katalaz enziminin hidrojen peroksiti parçalama kapasitesini artırdığını göstermektedir (Joniec, 2018; Ramazanoglu, 2024). Buna karşılık, kimyasal gübre (N) ve kısıtlı sulama (I_1) interaksiyonlarında (1. yıl: 44,0 ml O_2 /g/kuru toprak/dk, 2. yıl: 56,0 ml O_2 /g/kuru toprak/dk) belirlenen düşük aktiviteler, mineral gübrelerin mikrobiyal topluluklar üzerindeki olası baskılayıcı etkileri ve nem eksikliğinin enzim difüzyonunu sınırlamasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Qiong vd., 2019; Amadou vd., 2020).

Toprak üreaz enzim aktivitesine ilişkin bulgular, sulama rejimi ile biyogaz bulamacı uygulamasının topraktaki azot döngüsü ve mikrobiyal metabolizma üzerinde belirgin bir sinerji oluşturduğunu göstermektedir. Her iki yılda da üreaz aktivitesinin uygun ve yüksek

sulama düzeylerinde (I_2 ve I_3) yüksek değerlerin elde edilmesi, enzimatik reaksiyonlar için gerekli substrat difüzyonunun ve mikrobiyal hareketliliğin yeterli toprak neminden kaynaklandığı düşünülmektedir (Schimel vd., 2007). Gübreleme faktörü açısından biyogaz bulamacının (B), her iki yılda da (7,87 ve 7,48 $\mu\text{g N/g/kuru toprak/saat}$) en yüksek üreaz aktivitesini sağlaması, fermente materyalin toprağa sağladığı labil organik karbon ve amonyum azotunun üreaz sentezleyen mikroorganizmaların popülasyonunu artırmasıyla meydana geldiği söylenebilir (Odlare vd., 2008). Tam ve yüksek sulama ile birlikte biyogaz bulamacı (I_2*B ve I_3*B) interaksiyonlarında gözlenen en yüksek değerler, biyogaz bulamacındaki organik bileşenlerin uygun su koşullarıyla birleştiğinde üre hidrolizini hızlandırarak toprak azot yararlanılabilirliğini maksimize ettiğini göstermektedir (Tan vd., 2021; Karimi vd., 2022). Buna karşılık, farklı gübre uygulamaları ve sulama düzeylerine bağlı olarak üreaz aktivitesinin değişkenlik göstermesi hem substrat eksikliği hem de su stresinin enzim kinetiğini baskılamasıyla açıklanabilir (Sahrawat, 1984; Jayakumar, 1991).

Toprak dehidrogenaz enzim aktivitesine ilişkin bulgular, sulama düzeylerinin bağımsız etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ($p>0,05$); buna karşın gübreleme stratejilerinin ve özellikle ilk yıl için interaksiyon etkilerinin biyolojik aktivite üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Gübreleme faktörü, her iki yılda da en yüksek dehidrogenaz aktivitesinin biyogaz bulamacı (B) uygulamasında (9,29 ve 12,15 $\mu\text{g TPF/g/kuru toprak/24 saat}$) belirlenmiştir. Nielsen vd. (2020) ve Ragályi vd. (2025)'nin fermente organik materyalin toprağa sağladığı yüksek karbon girdisinin mikrobiyal solunumu ve hücre içi metabolik süreçleri doğrudan teşvik etmesiyle ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Dehidrogenaz enziminin yalnızca canlı hücrelerde aktif olması nedeniyle, bu bulgular biyogaz bulamacının toprak mikrobiyal biyokütlesini ve canlılığını kimyasal gübrelere kıyasla daha etkin biçimde desteklediğini ortaya koymaktadır (Masciandaro vd., 2000; Chang vd., 2007; Saviozzi ve Cardelli, 2014). Özellikle birinci yılda I_1*N uygulamasında gözlenen yüksek aktivite (9,60 $\mu\text{g TPF/g/kuru toprak/24 saat}$) ve ikinci yıldaki genel artış eğilimi, mikrobiyal toplulukların zamana bağlı adaptasyon geliştirdiğini ve organik madde parçalanma süreçlerinin hızlandığını göstermektedir (Allison ve Martiny, 2008; Burns vd., 2013). Buna karşılık, kontrol (C) ve kimyasal azot (N) uygulamalarında belirlenen düşük değerler, karbon kaynağı sınırlılığının mikrobiyal

metabolik hızı kısıtladığına işaret etmektedir (Blagodatskaya ve Kuzyakov, 2008).

Toprak kümülatif CO₂ emisyonuna yönelik bulgular, sulama rejimi ve gübreleme stratejilerinin mikrobiyal solunum ve karbon mineralizasyonu üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır. Denemenin her iki yılında da en düşük emisyonun kısıtlı sulama ve gübrelemesiz koşullarda (I₁*C) gözlenmesi, su stresi ve besin maddesi eksikliğinin mikrobiyal metabolizmayı ve organik madde ayrışmasını doğrudan sınırladığını kanıtlamaktadır (Davidson vd., 1998; Schimel vd., 2007; Raich vd., 1992; Manzoni vd., 2012). Birinci yılda tam sulama (I₂*C) ile görülen yüksek salım, ideal nem koşullarının mevcut toprak organik karbonu üzerindeki mineralizasyon hızını artırmasından kaynaklanmaktadır. Ancak ikinci yılda en yüksek CO₂ emisyonunun aşırı sulama ve biyogaz bulamacı kombinasyonunda (I₃*B) saptanması, fermente organik materyalin sağladığı labil karbonun yüksek nem ile birleştiğinde mikrobiyal aktiviteyi maksimize ettiğini ve karbon döngüsünü hızlandırıldığını göstermektedir (Davidson vd., 1998; Fontaine vd., 2011). Kimyasal ve organik gübrelerin kontrole oranla daha yüksek emisyon değerleri sunması, besin maddesi girişinin toprak mikrobiyotasını uyararak solunumu teşvik ettiğine işaret etmektedir (Zhou vd., 2012). Özellikle biyogaz bulamacının zamanla daha istikrarlı bir artış sergilemesi, bu materyalin sürdürülebilir bir karbon kaynağı olarak toprak biyolojik canlılığını uzun vadede destekleme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Abubaker vd., 2013; Sakin vd., 2024).

5.3. Uygulamaların Bitki Gelişimi ve Büyüme Parametreleri Üzerine Dönemsel Etkilerin Tartışılması

Pamuk bitkisinin vejetatif gelişim süreci üzerine yürütülen çalışmada, bitki boyu parametresi; sulama düzeyleri, gübreleme stratejileri, fenolojik dönemler ve deneme yılları bazında çok yönlü bir etkileşim sergilemiştir. Her iki deneme yılında da taraklanma döneminden hasat dönemine kadar geçen süreçte bitki boyunun sürekli bir artış eğilimi göstermesi, çevresel faktörlerin ve besin yönetiminin bitki ontogenisi üzerindeki dinamik etkisini doğrulamaktadır (Wullschleger ve Oosterhuis, 1990; Bange vd., 2004).

Sulama düzeyleri temelinde yapılan değerlendirmede, I₁ (%75) düzeyinden I₃ (%125) düzeyine doğru gidildikçe bitki boyunda istatistiksel olarak önemli artışlar kaydedilmiştir.

En yüksek bitki boyu değerlerinin her iki yılda da I_3 uygulamasında (1. yıl 91,53 cm; 2. yıl 101,67 cm) saptanması, aşırı sulamanın kısıtlı sulamaya oranla gövde uzamasını ve boğum arası mesafeyi %30-40 oranında daha fazla teşvik ettiğini göstermektedir (Howell vd., 2004; Pace vd., 1999). Gübreleme faktörü açısından, azot kaynaklarının etkisi fenolojik dönemlere göre değişkenlik arz etmiştir; taraklanma gibi erken evrelerde organik içerikli biyogaz bulamacı (B) çalışmanın birinci yılında bitki boyunu stimüle ederek güçlü bir başlangıç sağlarken, çiçeklenme başlangıcından itibaren mineral azotun (N) baskınlığı ön plana çıkmıştır. İkinci yılda ise taraklanma döneminden itibaren mineral gübre (N) etkisini göstermiştir. Bu durum, mineral gübrelerin vejetatif büyüme döneminde bitki tarafından daha hızlı asimile edilmesiyle açıklanabilir (Gutser vd., 2005).

İnteraksiyonlar ve yıllar arası farklar incelendiğinde, çalışmanın ikinci yılında elde edilen bitki boyu değerlerinin ilk yıla göre genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle $I_3 \times N$ kombinasyonunda hasat döneminde ulaşılan 114,23 cm'lik zirve değer (2. yıl), yüksek sulama rejiminin mineral azotun çözünürlüğünü ve kök bölgesindeki hareketliliğini artırarak bitki metabolizmasını maksimize ettiğini kanıtlamaktadır (Ritchie vd., 2007). Buna karşın, $I_1 \times C$ (kısıtlı su ve kontrol) uygulamalarında bitki boyu her iki yılda da 70 cm sınırının altında kalması hem su stresinin hem de besin noksanlığının hücre duvarı genişlemesini kısıtlayan hormonal sinyalleri tetiklediğini ortaya koymaktadır (Pace vd., 1999).

Pamuk bitkisinde boğum sayısı gelişimine yönelik her iki deneme yılından elde edilen bulgulara göre sulama ve gübreleme stratejilerinin bitki ontogenisi üzerindeki kümülatif ve sinerjik etkileri açıkça görülmüştür. Denemenin her iki yılında da fenolojik dönemler ilerledikçe boğum sayısının sürekli bir artış sergilemesi, çevresel faktörlerin ve besin yönetiminin meristematik faaliyetler üzerindeki dinamik etkisini doğrulamaktadır (Wullschleger ve Oosterhuis, 1990; Bondada ve Oosterhuis, 2001). Sulama düzeyleri temelinde, çiçeklenme başlangıcı gibi erken-orta evrelerde I_2 (%100 sulama) düzeyinin dengeli bir gelişim sağladığı, ancak çiçeklenme doruğundan hasada kadar geçen süreçte en yüksek değerlere tutarlı bir şekilde I_3 (%125 sulama) uygulamasında ulaşıldığı saptanmıştır. Bu durum, ilerleyen dönemlerde artan transpirasyon talebinin yüksek su girişiyle karşılanmasının yeni boğum oluşumunu doğrudan teşvik ettiğini göstermektedir (Taiz vd., 2014).

Gübreleme faktörü açısından her iki yılın ortak eğilimi, erken gelişim evrelerinde biyogaz bulamacının (B) organik madde içeriğiyle sağladığı hızlı başlangıç etkisine karşın, çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat gibi ileri dönemlerde kimyasal gübre (N) uygulamasının daha üstün bir performans sergilemesidir. Mineral azotun bitki tarafından daha hızlı asimile edilerek vejetatif büyümeyi uzun süre desteklemesi, hasat döneminde ulaşılan maksimum boğum sayılarının temel gerekçesini oluşturmaktadır (Reddy vd., 1997). İnteraksiyonlar ve yıllar arası farklar incelendiğinde, ikinci yıldaki boğum sayılarının (hasatta 25,90 adet/bitki) birinci yıla (hasatta 23,20 adet/bitki) göre daha yüksek olduğu ve her iki yılda da en fazla boğum sayısının yüksek sulama ile mineral azotun birleştiği $I_3 \times N$ kombinasyonunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna karşılık, kısıtlı sulama ve gübresiz kontrol ($I_1 \times C$) koşullarında boğum sayısının her iki yılda da en düşük seviyelerde kalması, su ve besin kısıtlılığının boğum arası mesafeleri daraltırken toplam boğum kapasitesini de %25-30 oranında sınırlandırdığını kanıtlamaktadır (Reddy vd., 1997; Pettigrew, 2004).

Sulama rejimi ve gübreleme stratejilerinin bitki yaş ağırlığı üzerindeki belirleyici ve sinerjik etkileri, hasat döneminde bitkinin fizyolojik olgunluğa erişmesi ve su içeriğinin azalmasıyla düşüş eğilimine girmesi, pamuk bitkisinin doğal gelişim döngüsüyle uyum göstermektedir (Ritchie vd., 2007). Sulama düzeyleri bazında, birinci yılda taraklanma dönemi, tam sulama (I_2 : %100) düzeyi öne çıkarken (80,47 g), ikinci yılda ise taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı evrelerinde I_2 düzeyinin (57,02 ve 109,97 g) yüksek performans sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte, her iki deneme yılında da koza tutma dönemlerinde en yüksek bitki yaş ağırlığı değerlerine tutarlı bir şekilde yüksek sulama (I_3 : %125) uygulamasında ulaşılmıştır (1. yıl koza tutma: 437,88 g; 2. yıl koza tutma: 337,45 g). Bu durum, yüksek su mevcudiyetinin bitki turgorunu koruyarak asimilasyon alanını genişlettiğini ve fotosentez kapasitesini her iki sezonda da maksimize ettiğini kanıtlamaktadır (Lawlor ve Cornic, 2002; Flexas ve Medrano, 2002).

Gübreleme faktörü incelendiğinde, her iki yılda da kimyasal gübre (N) uygulaması, kontrol (C) ve biyogaz bulamacına (B) oranla özellikle taraklanma, koza tutma ve hasat dönemlerinde daha yüksek biyokütle artışı sağlamıştır. Mineral azotun bitki dokularında daha hızlı birikerek hücre bölünmesini ve klorofil sentezini doğrudan stimüle etmesi, bu

belirgin farkın temel nedenidir (Marschner, 2011; Xu vd., 2012). Çiçeklenme başlangıcı gibi bazı dönemlerde biyogaz bulamacının etkili olması ise organik materyalin mikrobiyal aktivite üzerindeki olumlu etkisiyle açıklanabilir (Alburquerque vd., 2012).

Bitki yaş ağırlığı bakımından interaksyonlar ve yıllar arası genel eğilimler değerlendirildiğinde, birinci yılda I_3*N interaksyonu ile koza tutma döneminde ulaştığı 559,76 g değeri ile ikinci yılda I_2*N uygulamasının aynı dönemde ulaştığı 465,37 g değeri, her iki yılda da en yüksek değerler görülmüştür. Bu durum, yeterli veya yüksek nem ile mineral azotun birleşiminin biyokütle üretimini her iki deneme yılında da sinerjik olarak artırdığını göstermektedir (Sadras ve Calderini, 2009). Buna karşılık, kısıtlı sulama ve gübresiz kontrol (I_1*C) koşullarında her iki yılda da saptanan en düşük değerler (1. yıl hasatta 148,40 g; 2. yıl hasatta 158,82 g), su ve besin maddesi yetersizliğinin bitki gelişimini her iki sezonda da aynı oranda baskıladığını doğrulamaktadır (Pace vd., 1999; Sadras, 2007).

Denemenin her iki yılında, kuru ağırlık değerlerinin koza tutma dönemine kadar artış gösterip hasat döneminde bitkinin nem kaybetmesi ve fizyolojik olgunluğa erişmesiyle birlikte azalma eğilimine girmesi, pamuk bitkisinin karakteristik büyüme eğrisiyle örtüşmektedir (Chen vd., 2019; Kumar vd., 2022). Sulama düzeyleri bazında, her iki deneme yılında da taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı gibi erken vejetatif evrelerde tam sulama (I_2 : %100) düzeyi (1. yıl taraklanmada 22,80 g; 2. yıl taraklanmada 16,92 g) ön plana çıkmıştır. Ancak bitkinin su tüketiminin ve metabolik faaliyetlerinin zirveye ulaştığı çiçeklenme doruğu, koza tutma ve hasat dönemlerinde en yüksek kuru madde birikimi tutarlı bir şekilde yüksek sulama (I_3 : %125) uygulamasından (1. yıl koza tutmada 128,48 g; 2. yıl koza tutmada 162,32 g) elde edilmiştir. Bu durum, ileri gelişme dönemlerinde artan su miktarının fotosentetik aktiviteyi ve asimilantların depolanmasını doğrudan desteklediğini kanıtlamaktadır (Caferri ve Bassi, 2022).

Gübreleme faktörü incelendiğinde, birinci yılda erken dönemlerde (taraklanma ve çiçeklenme başlangıcı) biyogaz bulamacının (B) sağladığı yüksek kuru ağırlık değerleri (17,88 ve 30,45 g), organik gübrelerin toprağın fiziksel yapısını iyileştirerek erken gelişimi teşvik etmesiyle açıklanabilir (Mayerová vd., 2023). Bununla birlikte, her iki yılın genelinde ve özellikle ikinci yılın tüm dönemlerinde en yüksek kuru ağırlık değerleri kimyasal gübre

(N) uygulamasından elde edilmiştir. Mineral azotun hızlı yarayırlılığı, bitki dokularında protein sentezini ve yapısal büyümeyi hızlandırarak kuru madde oluşumunda organik kaynaklara göre daha baskın bir rol oynamıştır (Pettigrew, 2004; Chen vd., 2018).

Bitki kuru ağırlığı sulama ve gübre interaksiyonları bakımından I_2*B (1. yıl taraklanmada 28,36 g) ve I_2*N (2. yıl taraklanmada 19,53 g) interaksiyonları dikkat çekerken, generatif gelişimin yoğunlaştığı koza tutma ve hasat evrelerinde her iki yılda da I_3*N etkileşimi en yüksek kuru ağırlık değerlerini vermiştir (1. yıl hasatta 179,20 g; 2. yıl koza tutmada 226,04 g). Bu sonuçlar, yüksek sulama seviyesi ile mineral azotun birleşiminin kuru madde birikimini sinerjik olarak maksimize ettiğini ortaya koymaktadır (Pettigrew, 2004). Buna karşılık, kısıtlı sulama ve kontrol (I_1*C) koşullarında her iki yılda da kaydedilen en düşük değerler, su ve besin maddesi kısıtının bitki gelişimini her iki sezonda da benzer şekilde sınırladığını doğrulamaktadır (Farooq vd., 2009).

Bitki SPAD değerlerinde her iki yılda da en yüksek sonuçların tam sulama ve kimyasal gübre interaksiyonunda (I_2*N : 44,02 ve 45,47) görülmesi, optimum toprak neminin inorganik azotun bitki kökleri tarafından alınımlar hızını ve asimilasyonunu maksimize ettiğini göstermektedir. Bu sinerjik etkileşim, ideal su düzeyinin kloroplastlardaki elektron taşıma sistemini ve azot metabolizmasını aktive ettiğini bildiren Ghodsi vd. (2022)'nin bulgularıyla doğrudan örtüşmektedir. Buna karşın, birinci yılda en düşük SPAD değerinin kısıtlı sulama ve biyogaz bulamacı interaksiyonunda (I_1*B : 29,17) belirlenmesi, düşük nemin fermente organik materyallerin mineralizasyonunu kısıtlamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, su stresinin toprak mikrobiyal aktivitesini baskılayarak organik azotun bitki tarafından alınabilir formlara dönüşümünü engellediğini vurgulayan Möller ve Müller (2012)'in bulgularıyla paralellik göstermektedir.

İkinci yılda biyogaz bulamacı uygulamalarında görülen belirgin iyileşme ve I_2*B (41,83) interaksiyonunun kimyasal gübreye yaklaşması, organik azotun zamana yayılan "yavaş salınım" dinamiği ile açıklanabilir. Bu kümülatif artış, ardışık biyogaz bulamacı uygulamalarının toprak azot havuzunu zenginleştirerek klorofil sentezini uzun vadede stabilize ettiğini belirten Liu vd. (2024) ile Nkoa (2014)'nin sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

5.4. Yaprakta Makro ve Mikro Besin Elementlerinin uygulamalara Bağlı Değişimi

Pamuk bitkisinin yaprak dokusundaki besin elementi konsantrasyonları; deneme yılları, uygulanan sulama rejimleri ve gübreleme stratejilerinin karmaşık bir etkileşimi sonucunda şekillenmiş olup, her bir faktör element birikimi üzerinde istatistiksel olarak önemli değişimler oluşturmuştur. Deneme yılları bazında yapılan değerlendirmede, mutlak değerlerin genel olarak birinci yılda ikinci yıla oranla daha yüksek seyrettiği görülmektedir; örneğin azot (N) içeriği ilk yıl en yüksek sulama düzeyinde (I_3) 4,91 iken ikinci yılda tam sulama (I_2) seviyesinde 4,02 düzeyine gerilemiş, benzer düşüşler B, Ca, K, Fe, Cu ve Si gibi elementlerde de gözlenmiştir. Bu durum, yıllar arasındaki iklimsel dalgalanmaların bitkinin transpirasyon kapasitesini ve buna bağlı olarak besin maddelerinin kütle akışı yoluyla taşınımını etkilemesiyle açıklanabilir (Taiz vd., 2014; Silva vd., 2011).

Sulama düzeyleri bu süreçte belirleyici bir rol oynamış; kısıtlı sulama (I_1) her iki yılda da azot alımını en alt seviyeye indirirken (%4,34 ve %3,54), tam (I_2) ve yüksek (I_3) sulama düzeyleri elementin türüne göre farklı avantajlar sağlamıştır. Özellikle Ca, Mn, Na ve B birikimi için tam sulama (I_2) optimum sonuçları verirken, Al, Mg, Fe, Cu ve Si alımının artan sulama miktarıyla (I_3) doğru orantılı bir yükseliş sergilemesi, bu elementlerin toprak solüsyonundaki hareketliliğinin su mevcudiyetine yüksek düzeyde bağımlı olduğunu kanıtlamaktadır (Mengel ve Kirkby, 2012; White ve Broadley, 2003; Banik vd., 2024).

Gübreleme faktörü incelendiğinde ise kimyasal azotlu gübrelemenin (N) her iki yılda da en yüksek yaprak azot içeriğini (5,35 ve 4,51) ve bazı mikro elementlerin birikimini teşvik ettiği saptanmıştır. Buna karşılık, organik bir kaynak olan biyogaz bulamacının (B) özellikle K, Ca ve Cu gibi katyonların alımında mineral gübreye göre çok daha üstün bir performans sergilemesi, organik maddenin toprağın katyon değişim kapasitesini artırarak bu elementlerin yarayışlılığını maksimize etmesiyle ilişkilendirilmektedir (Awwal vd., 2025; Xue vd., 2022). Sulama ve gübreleme etkileşimleri ise bu etkileri sinerjik bir boyuta taşımış; azot alımı için $I_2 \times N$ etkileşimi her iki yılda da zirve noktasını oluştururken, sodyum (Na), Bor (B) ve Mangan (Mn) hariç diğer tüm makro ve mikro elementlerde (Al, Ca, K, Mg, Fe, Cu, Si) en yüksek değerlere tutarlı bir şekilde $I_3 \times B$ (yüksek sulama ve biyogaz bulamacı) etkileşiminde ulaşılmıştır. Örneğin, silisyum (Si) konsantrasyonu

I_3*B kombinasyonu ile birinci yılda 11,27 mg/kg gibi en yüksek değerine ulaşmıştır. Buna karşılık, kısıtlı sulama ile kontrolün birleştiği I_1*C uygulaması çoğunlukla her iki yılda da tüm elementler için en düşük birikim seviyelerini vererek, su ve besin kısıtının bitki metabolizması üzerindeki baskılayıcı etkisini teyit etmiştir (Khanna, 2024; Tufa, 2022).

5.5. Pamukta Verim Bileşenlerinin Uygulamalara Bağlı Olarak Değerlendirilmesi

Pamuk bitkisinde verim potansiyelinin en temel göstergesi olan koza sayısı üzerine elde edilen bulgularda, sulama düzeyleri bakımından birinci yılda saptanan koza sayısı ortalamalarının ikinci yıla oranla daha yüksek seyretmesi (1. yıl: I_2 düzeyinde 15,92 ve 2. yıl: I_3 düzeyinde 14,75 adet/bitki), vejetasyon dönemindeki termal birikim, güneşlenme süresi ve nispi nem gibi iklimsel faktörlerin çiçeklenme ile koza tutumu üzerindeki belirleyici etkisini yansıtmaktadır. Bu durum, özellikle erken generatif evredeki uygun iklim koşullarının fotosentez kapasitesini artırarak daha fazla meyve dalı (simpodial dal) oluşumunu desteklediğini gösteren literatür bulgularıyla paralellik göstermektedir (Sawan, 2014). Su kısıtının bitkide yarattığı stres, stoma direncinin artmasına ve net fotosentez oranının düşmesine neden olarak tarak ile koza dökümlerini hızlandırırken; yüksek sulama düzeyi, bitkinin turgor basıncını korumasına ve mevcut generatif organları muhafaza etmesine olanak tanımıştır (Haghpanah vd., 2024; Khan vd., 2018). Gübreleme stratejileri açısından ise biyogaz bulamacı (B) uygulaması, çalışmanın birinci yılında (16,20 adet/bitki) en yüksek değeri elde ederken, ikinci yılda ise kimyasal gübre (N) uygulaması (14,82 adet/bitki) üstün bir performans göstererek organik ve mineral kaynaklı azotun vejetatif büyümeyi koza taşıma kapasitesiyle dengelemedeki kritik rolünü teyit etmiştir (Sluijs, 2022).

Tüm bu faktörlerin birlikte etkisi, su ve besin maddesi arasındaki sinerjinin verim bileşenlerini maksimize ettiği görülmektedir. Her iki yılda da I_3*N interaksiyonunun mutlak en yüksek koza sayısını (20,83 ve 18,43 adet/bitki) üretmesi, yüksek toprak neminin uygulanan mineral azotun çözünürlüğünü ve kök bölgesindeki hareketliliğini artırarak bitkinin besin elementlerine erişimini kolaylaştırmasıyla açıklanabilir (Liang vd., 2022). Aksine, kısıtlı sulama ile kontrolün birleştiği I_1*C etkileşiminde gözlenen dramatik koza kaybı (12,27 ve 10,57 adet/bitki), pamuk üretiminde su ve azot yönetimindeki eksikliğin birbirinin negatif etkisini derinleştirdiğini ve verim potansiyelini kritik eşik

altına düşürdüğünü göstermektedir (Liao vd., 2024).

Pamuk bitkisinde koza ağırlığı ve koza kütlü ağırlığı üzerine elde edilen bulgular incelendiğinde, sulama düzeylerinin etkisi, koza ağırlığı için her iki yılda da tam sulama (I_2) uygulamasının (5,44 ve 6,02 g) en yüksek değerleri sağladığı görülmüştür. Benzer şekilde, koza kütlü ağırlığında da birinci yılda I_2 (4,02 g), ikinci yılda ise I_3 (4,29 g) sulama düzeyleri ön plana çıkmıştır. En düşük değerlerin her iki parametrede de kısıtlı sulama (I_1) koşullarında saptanması (koza ağırlığı: 5,00 ve 5,63 g; koza kütlü ağırlığı: 3,58 ve 4,04 g), yetersiz suyun hücre genişlemesini ve koza dolum kapasitesini doğrudan sınırlandırdığını göstermektedir. Özellikle orta düzey sulamanın (I_2) koza ağırlığı üzerindeki başarısı, aşırı vejetatif büyümenin engellenerek enerjinin meyve organlarına yönlendirilmesiyle açıklanabilir (Singh, 2024; Manibharathi vd., 2024; Mao vd., 2025).

Gübreleme stratejileri açısından, koza ağırlığında biyogaz bulamacının (B) her iki yılda da (5,54 ve 6,49 g) en yüksek performansı sergilemesi dikkat çekicidir. Koza kütlü ağırlığında ise mineral azotun (N) baskınlığı (4,18 ve 4,61 g) gözlenmektedir. Biyogaz bulamacının koza ağırlığını artırıcı etkisi, organik kökenli besin elementlerinin koza dolum sürecinde sağladığı sürdürülebilir destekle ilişkilendirilebilirken (Shi vd., 2023); mineral azotun koza kütlü ağırlığındaki başarısı, azotun çekirdek ve lif gelişimi üzerindeki kritik rolünü teyit etmektedir (Sluijs, 2022; Wei vd., 2024).

Sulama ve gübreleme interaksyonları, bu parametreler üzerindeki en yüksek verimlilik noktalarını belirlemiştir. Koza ağırlığı bakımından her iki yılda da I_3*B interaksyonu (5,75 ve 6,78 g) en yüksek değerleri göstermiştir. Koza kütlü ağırlığında ise birinci yılda I_2*N (4,48 g), ikinci yılda ise yine I_3*B (4,82 g) etkileşimi en başarılı sonuçları vermiştir. Bu bulgular, uygun sulama düzeylerinin gübre uygulamalarıyla birleştiğinde koza gelişimini maksimize ettiğini; düşük sulama ve gübresiz koşulların (I_1*C) ise her iki parametreyi de (koza ağırlığı: 4,50 ve 4,56 g; kütlü ağırlığı: 3,27 ve 3,28 g) en alt seviyeye indirdiğini ortaya koymaktadır (Bai vd., 2023; Shi vd., 2022; Satış vd., 2023).

Pamukta çırçır randımanı ve 100 tohum ağırlığına ilişkin bulgular incelendiğinde, sulama rejimleri her iki parametre üzerinde önemli ancak farklı yönlü etkiler oluşturmuştur. Çırçır randımanı en düşük kısıtlı sulama (I_1) koşullarında düşük bulunurken, orta (I_2) ve

yüksek (I_3) sulama düzeylerinde artış göstermiş; bu durum, yeterli su temininin lif gelişimi için kritik olduğunu ve aşırı suyun bitkinin vejetatif ve generatif yapılar arasında kaynak dağılımını değiştirdiğini düşündürmektedir (Bai vd., 2023). 100 tohum ağırlığı ise çalışmanın her iki yılında da sırasıyla 8,86 g ve 9,25 g ile I_1 uygulamasında tespit edilmiş; bu durum, tohum dolum sürecinin çevresel koşullardan etkilendiğini ortaya koymaktadır (Xu vd., 2024).

Gübreleme uygulamaları özellikle 100 tohum ağırlığı ve randıman kararlılığı üzerinde etkili olmuştur. Çırçır randımanında birinci yılda kontrol, ikinci yılda ise mineral azot uygulaması öne çıkmış; bu, azotun etkisinin su ve sıcaklık koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir (Ahmad vd., 2025; Li vd., 2021). 100 tohum ağırlığında ise biyogaz bulamacı her iki yılda kontrol grubuna göre üstünlük sağlamış; benzer çalışmalarda da organik gübrelerin tohum dolgunluğunu desteklediğini rapor edilmiştir (Scheer vd., 2023).

İnteraksiyon düzeyinde elde edilen bulgular, bitki performansının maksimize edildiği stratejik interaksiyonları net biçimde ortaya koymuştur. Çırçır randımanı açısından birinci yılda I_3*N , ikinci yılda I_2*N interaksiyonları en yüksek değerleri vermiş; bu durum, uygun sulama düzeyleri ile kimyasal gübre uygulamalarının birlikte değerlendirilmesinin randımanı artırabileceğini göstermektedir. Azotun çırçır randımanı üzerindeki etkisinin su mevcudiyetiyle güçlü bir sinerji içinde olduğu önceki pamuk araştırmalarıyla da desteklenmiştir (Liao vd., 2024). 100 tohum ağırlığı bakımından ise birinci yılda I_1*N , ikinci yılda I_1*B interaksiyonlarında en yüksek değerler elde edilmiştir. Benzer şekilde, farklı sulama ve gübre interaksiyonlarının tohum ağırlığı ve dolumunu etkilediğini rapor eden çalışmalar, su stresi altında optimal besin yönetiminin tohum kalite parametrelerini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır (Bai vd., 2023; Xu vd., 2024).

Pamuk bitkisinde kütlü verimi üzerine elde edilen bulgular, sulama düzeyleri bazında yapılan değerlendirmede, en yüksek kütlü verim değerlerinin her iki yılda da sırasıyla 472,97 kg/da ve 489,93 kg/da ile I_2 uygulamasında elde edilmesi, orta düzey sulamanın pamukta verim potansiyelini maksimize etmek için en uygun fizyolojik ortamı sunduğunu göstermektedir. Bitkinin su stresine girmediği ve aşırı sulamanın vejetatif büyümeyi aşırı teşvik etmediği dengeli sulama rejimleri, asimilantların generatif organlara aktarımını optimize ederek kütlü verimini artırmaktadır (Koudahe vd., 2021).

Gübreleme stratejilerinin kütlü verimi üzerindeki etkisi incelendiğinde, kimyasal azot (N) uygulamasının her iki deneme yılında da sırasıyla 481,20 kg/da ve 501,22 kg/da ile en yüksek verimi sağladığı görülmüştür. Kimyasal gübrelemenin kütlü verimi artırmadaki bu belirgin etkisi, azotun bitkide yaprak alan indeksini ve klorofil sentezini artırarak kuru madde üretimini teşvik etmesiyle ilişkilendirilmektedir (Ma vd., 2013; Noor vd., 2023; Pu vd., 2025). Öte yandan, biyogaz bulamacı (B) uygulamasının da özellikle ilk yılda 468,66 kg/da ile kimyasal gübre ile benzer bir istatistiksel grupta yer alması, organik materyallerin toprak verimliliğini ve bitki besleme kapasitesini sürdürülebilir bir şekilde desteklediğini göstermektedir.

Sulama*gübre interaksiyonları, bitki performansının doruğa ulaştığı ve kısıtlandığı interaksiyonları net bir şekilde belirlemiştir. Çalışmanın her iki yılında da en yüksek kütlü verim değerlerine sırasıyla 543,97 kg/da ve 574,0 kg/da ile I_2*N interaksiyonunda ulaşılmış olması, orta düzey sulama rejimi ile azotlu gübrelemenin birleştiğinde ortaya çıkan sinerjik etkinin verimi dramatik ölçüde artırdığını göstermektedir. Kısıtlı sulama ile gübresiz koşulların birleştiği I_1*C interaksiyonu, her iki yılda da sırasıyla 305,57 kg/da ve 356,07 kg/da ile en düşük kütlü verim değerlerini vermiş; bu durum, su ve besin elementi eksikliğinin verim bileşenleri üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Wang vd. (2025), pamukta yüksek verim stabilitesinin yalnızca su ve besin maddesi yarayışlılığının bitki ihtiyaçlarıyla eş zamanlı olarak karşılandığı yönetim stratejileriyle mümkün olduğunu vurgulamaktadır.

5.6. Pamuk Lifine Ait Fiziksel Kalite Özelliklerine İlişkin Bulguların Tartışılması

Sulama düzeyleri bakımından elde edilen bulgular, lif kopma dayanıklılığı açısından en yüksek değerler çalışmanın her iki yılında da I_2 sulama uygulamasında görülürken lif inceliği her iki yılda yüksek sulama (I_3) uygulamasında en yüksek değerleri vermiştir. Orta düzey su temininin lif gelişim döneminde fotosentetik aktiviteyi ve selüloz birikimini dengeli şekilde sürdürmesi, lif dayanıklılığı üzerinde olumlu etki oluşturabilmektedir (Liu vd., 2024). Lif inceliği açısından her iki deneme yılında da en yüksek değerlerin I_3 sulama uygulamasında saptanması, su temininin lif olgunlaşma süreci ve sekonder çeper birikimi üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir (Haigler vd., 2012). Lif uzunluğu ise birinci

yılda I_2 , ikinci yılda I_3 sulama uygulamasında en yüksek değerler görülmüştür.

Farklı gübre uygulamaları bakımından yapılan değerlendirmede, lif kopma dayanıklılığının her iki yılda da en yüksek kimyasal gübre (N) uygulamasında gerçekleşmesi, özellikle azotun protein sentezi ve karbon metabolizması üzerinden sekonder çeper oluşumunu desteklemesi ile açıklanabilir (Read vd., 2006). Buna karşılık, lif inceliği ve lif uzunluğu bakımından en yüksek değerlerin her iki yılda da biyogaz bulamacı (B) uygulamasında elde edilmesi, organik kaynaklı besin maddelerinin daha dengeli ve kademeli salınımı ile lif gelişim sürecinin daha düzenli ilerlemesine katkı sağlamasıyla ilişkilendirilebilir.

Sulama*gübre interaksyonları incelendiğinde, lif kopma dayanıklılığının her iki yılda da I_2 *C interaksiyonunda en yüksek düzeye ulaşması, optimum su koşullarının lifte selüloz depozisyonunu artırabildiğini göstermektedir (Saleem vd., 2010). Lif inceliğinin birinci yılda I_1 *N ve I_2 *B interaksiyonlarında benzer ve en yüksek değerleri göstermesi, lif kalitesinin yalnızca su miktarına değil, besin kaynağının formuna da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci yılda en yüksek değerin I_2 *B interaksiyonunda belirlenmesi ve lif uzunluğunu her iki yılda da I_2 *B interaksiyonunda en yüksek düzeyde saptanması, optimum su rejimi ile organik besin kaynağının birlikte uygulanmasının lif uzama ve olgunlaşma süreçlerini destekleyebileceğini düşündürmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu araştırma, iki yıl süreyle yürütülen denemeler sonucunda sulama düzeyleri ile gübre uygulamalarının pamukta yalnızca tekil parametreler üzerinde değil, toprak-bitki sistemi bütününe etkileşimli bir yapı oluşturduğunu açık biçimde ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, su yönetiminin ve besin kaynağının birlikte ele alınmadığı durumlarda ortaya çıkan tepkilerin sınırlı kaldığını; buna karşılık uygun interaksiyonların sistemsel bir iyileşme sağladığını göstermiştir.

Toprak kimyasal özellikleri açısından uygulamaların pH üzerinde belirgin bir değişim oluşturmaması, deneme süresinin kısa dönemli olması ve toprağın tamponlama kapasitesi ile ilişkilendirilebilirken; EC değerlerinin özellikle kısıtlı sulama ile kimyasal azot uygulamasında artış göstermesi, su miktarının tuzluluk dinamikleri üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur. Buna karşın biyogaz bulamacı uygulamalarında EC artışının sınırlı kalması, organik kaynaklı besin girişinin daha dengeli bir iyon salınımı sağladığını göstermektedir.

Toprak azot formları bakımından biyogaz bulamacı uygulamalarının hem NH_4^+ hem de NO_3^- içeriğini artırması, organik kaynağın mineralizasyon süreciyle toprakta aktif bir azot döngüsü oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle $\text{I}_2 \times \text{B}$ interaksiyonunda nitrat içeriğinin her iki yılda da en yüksek düzeye ulaşması, optimum nem koşullarında organik azotun nitrifikasyon sürecinin hızlandığını ortaya koymuştur. Orta ve yüksek sulama düzeyinde biyogaz uygulaması ile enzim aktivitelerinin maksimum seviyeye ulaşması ise toprak biyolojik aktivitesinin su mevcudiyetiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Katalaz ve üreaz aktivitelerindeki artış, biyogaz bulamacının yalnızca besin kaynağı değil aynı zamanda mikrobiyal aktiviteyi teşvik eden bir düzenleyici olduğunu kanıtlamıştır.

Bitki gelişimi açısından değerlendirildiğinde, artan sulama düzeylerinin bitki boyunu düzenli şekilde artırması, pamuğun suya duyarlı bir tür olduğunu doğrulamıştır. Bununla birlikte, vejetatif gelişimin kimyasal azot uygulamalarında daha belirgin artış göstermesi, hızlı erişilebilir azotun erken dönem büyümede belirleyici olduğunu göstermektedir. Erken gelişme döneminde I_2 ve biyogaz uygulamalarının biyokütleyi artırması, dengeli su koşullarında organik kaynağın etkili olduğunu; ileri gelişme döneminde I_3 ve kimyasal azotun

daha baskın hale gelmesi ise yüksek büyüme hızında mineral azotun avantaj sağladığını ortaya koymuştur.

SPAD değerlerinin her iki yılda da $I_2 \times N$ interaksyonunda en yüksek seviyeye ulaşması, optimum su ile mineral azotun birlikte uygulanmasının fotosentetik kapasiteyi maksimize ettiğini göstermiştir. Bu durum yaprak azot konsantrasyonlarının da aynı kombinasyonda yükselmesi ile paralellik göstermiştir. Besin elementi içeriklerinde gözlenen farklılaşma, su düzeyi ile besin kaynağı arasındaki etkileşimin bitki bünyesindeki element dağılımını değiştirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle $I_3 \times B$ interaksyonunda Ca, Mg, K ve mikro elementlerin artması, biyogaz bulamacının yüksek nem koşullarında element taşınımını desteklediğini göstermiştir.

Verim bileşenleri incelendiğinde, en yüksek koza sayısının $I_3 \times N$ uygulamasında elde edilmesi, yoğun vejetatif gelişimin generatif organ sayısını artırdığını; buna karşılık en yüksek koza ağırlığının $I_3 \times B$ interaksyonunda gerçekleşmesi, organik kaynağın koza dolum sürecinde etkili olduğunu düşündürmektedir. Ancak toplam verim açısından belirleyici olan faktör, koza sayısı ile koza ağırlığının birlikte optimize edilmesi olmuştur.

Her iki yılda da en yüksek kütlü pamuk veriminin $I_2 \times N$ interaksyonunda elde edilmesi, tam sulama yerine optimum sulama koşulunun (I_2) daha verimli olduğunu ortaya koymuştur. I_3 düzeyinde vejetatif büyümenin artmasına rağmen verimin I_2 seviyesinde maksimuma ulaşması, aşırı suyun generatif dengeyi bozabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, su ve azotun birlikte ancak dengeli şekilde uygulanmasının maksimum üretim için gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Lif kalite özelliklerinin uygulamalardan etkilenmemesi, kalite parametrelerinin genetik olarak daha stabil olduğunu ve çevresel faktörlere verim parametreleri kadar duyarlı olmadığını göstermiştir.

Araştırma sonuçları pamuk üretiminde su ve besin yönetiminin birbirinden bağımsız düşünülemeyeceğini; özellikle optimum sulama (I_2) ile mineral azot interaksyonunun maksimum verim açısından en uygun strateji olduğunu ortaya koymuştur. Biyogaz bulamacı ise verimden ziyade toprak biyolojik aktivitesi ve besin dinamikleri üzerinde daha belirgin ve sürdürülebilir bir etki göstermiştir. Bu durum, kısa vadede verim optimizasyonu ile uzun vadede toprak sağlığı arasındaki dengeyi açık biçimde ortaya koymaktadır.

7. ÖNERİLER

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda pamuk üretiminde su ve besin yönetimine yönelik bazı öneriler ortaya konulmuştur. Çalışma sonuçları, sulama düzeyleri ile gübre uygulamalarının pamuk bitkisinin büyüme, beslenme ve verim özellikleri ile toprak sağlığı üzerinde birlikte etkili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle pamuk yetiştiriciliğinde su yönetimi ile gübreleme uygulamalarının birbirinden bağımsız değil, entegre bir üretim sistemi içerisinde planlanması gerekmektedir.

Araştırma bulgularına göre en yüksek kütlü pamuk veriminin her iki yılda da tam sulama uygulamasında elde edilmesi, tam sulama koşullarının pamuk üretiminde daha verimli olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle pamuk yetiştiriciliğinde aşırı sulama uygulamalarından kaçınılarak bitkinin su ihtiyacını karşılayan ancak vegetatif gelişimi aşırı artırmayan optimum sulama stratejilerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Tam sulama ile mineral azot uygulamasının birlikte kullanıldığı interaksiyonun verim ve bitki beslenmesi açısından en başarılı sonuçları verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle pamuk üretiminde tam sulama koşulları altında mineral azot gübrelemesinin uygulanması, yüksek verim elde edilmesi açısından uygun bir yönetim stratejisi olarak değerlendirilebilir.

Biyogaz bulamacı uygulamalarının toprakta amonyum ve nitrat içeriğini artırdığı, ayrıca toprak enzim aktivitelerini yükselterek mikrobiyal aktiviteyi teşvik ettiği belirlenmiştir. Bu durum biyogaz bulamacının yalnızca bir besin kaynağı değil, aynı zamanda toprak biyolojik aktivitesini artıran bir düzenleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle biyogaz bulamacı uygulamalarının pamuk üretim sistemlerinde özellikle toprak sağlığının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir üretim açısından değerlendirilmesi önerilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda biyogaz bulamacının farklı dozlarının pamuk bitkisinin verimi, toprak enzim aktiviteleri ve mikrobiyal özellikleri üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı olarak incelenmesi yararlı olacaktır. Ayrıca organik ve mineral gübrelerin birlikte kullanıldığı entegre besin yönetimi uygulamalarının farklı sulama koşullarında değerlendirilmesi, sürdürülebilir pamuk üretim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Abubaker, J., Cederlund, H., Arthurson, V., & Pell, M. (2013). Bacterial community structure and microbial activity in different soils amended with biogas residues and cattle slurry. *Applied Soil Ecology*, 72, 171–180.
- Acar, B. (2019). Deficit irrigation effect on water use efficiency of crops in arid and semi-arid regions. *International Journal of Agriculture and Economic Development*, 7(2), 18–25.
- Ahmad, S., Abbas, G., Tariq, M., Fatima, Z., Wahab, A. A., Ahmed, M., Wilkerson, C. J., & Hoogenboom, G. (2025). Nitrogen nutrition for cotton in a semi-arid environment. *The Journal of Agricultural Science*, 163(1), 27–41.
- Akin, S., & Kaya, C. (2024). Asparagine and nitric oxide jointly enhance antioxidant capacity and nitrogen metabolism to improve drought resistance in cotton: evidence from long-term field trials. *Food and Energy Security*, 13(1), e502.
- Albuquerque, J., Fuente, C. D. I., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., & Bernal, M. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, 43, 119–128.
- Alef, K. (1995). Soil respiration. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. In: Alef K, Nannipieri P (ed), Academic Press, Harcourt Brace & Company, 214–219.
- Alishah, O., & Ahmadikhah, A. (2009). The effects of drought stress on improved cotton varieties in Golestan Province of Iran. *International Journal of Plant Production*, 3(1), 17–26.
- Allison, S. D., & Martiny, J. B. (2008). Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(supplement_1), 11512–11519.
- Amadou, A., Song, A., Tang, Z.-X., Li, Y., Wang, E.-Z., Lu, Y.-Q., Liu, X.-D., Yi, K., Zhang, B., & Fan, F. (2020). The effects of organic and mineral fertilization on soil enzyme activities and bacterial community in the below-and above-ground parts of wheat. *Agronomy*, 10(10), 1452.
- Asadi, R., Kohi, N., & Tavassoli, A. (2011). Effect of irrigation regime and method of strip irrigation system on yield, yield components and water use efficiency of cotton under drought stress conditions of Orzouiyeh region of Kerman province in Iran. *Scientific Research and Essays*, 6(27), 5812–5819.
- Awwal, Y. A., Angyu, M. D., & Rotimi John Afolabi. (2025). Impact of various soil amendments on temporal NPK release, soil quality and maize yield in tropical Alfisols of Zaria, Nigeria. *Scientific Reports*, 15(1), 41856.
- Aydogdu, M. H., Karli, B., Dogan, H. P., Gonul Sevinc, Eren, M. E., & Kucuk, N. (t.y.). *International Journal of Advances in Agriculture Sciences*.

- Baethgen, W., & Alley, M. (1989). A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Communications in soil science and plant analysis*, 20(9-10), 961–969.
- Bai, Z., Bai, W., Xie, C., Yu, J., Dai, Y., Pei, S., Zhang, F., Li, Y., Fan, J., & Yin, F. (2023). Irrigation depth and nitrogen rate effects on seed cotton yield, fiber quality and water-nitrogen utilization efficiency in southern Xinjiang, China. *Agricultural Water Management*, 290, 108583.
- Bange, M., Milroy, S., & Thongbai, P. (2004). Growth and yield of cotton in response to waterlogging. *Field crops research*, 88(2-3), 129–142.
- Banik, S., & Nandi, R. (2004). Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom. *Industrial crops and products*, 20(3), 311–319.
- Bashir, S. S., Hussain, A., Hussain, S. J., Wani, O. A., Nabi, S. Z., Dar, N. A., Baloch, F. S., & Mansoor, S. (2021). Plant drought stress tolerance: Understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1912–1925.
- Beck, T. (1971). Determination of the catalase activity of soils.
- Benami, A., & Diskin, M. H. (1965). *Design of sprinkling irrigation*. Technion-Israel Institute of Technology.
- Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., & Lloveras, J. (2008). Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 635–645.
- Beyyavaş, V., Kara, H., Sakin, E., Yanardağ, İ., Cun, S., Fırat, Z., Yılmaz, A., Cevheri, C. İ., & Ramazanoğlu, E. (2026). Nutrient management in calcareous soils under semi-arid environments: effects on cotton productivity and soil health. *BMC Plant Biology*.
- Bibi, Z., Khan, N. U., Mussarat, M., Khan, M. J., Ahmad, R., Khan, I. U., & Shahen, S. (2011). Response of *Gossypium hirsutum* genotypes to various nitrogen levels. *Pak. J. Bot*, 43(5), 2403–2409.
- Bilgel, L. (1996). Harran ovasında pamuğun ilk ve son sulama zamanları. *Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın*, (88).
- Black, C. (1965). Methods of Analysis Agron., No: 9. *Ame. Soc. Agr., Madison Wisconsin, USA*.
- Blagodatskaya, ., & Kuzyakov, Y. (2008). Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Biology and Fertility of Soils*, 45(2), 115–131.
- Bondada, B. R., & Oosterhuis, D. M. (2001). Canopy photosynthesis, specific leaf weight, and yield components of cotton under varying nitrogen supply. *Journal of plant nutrition*, 24(3), 469–477.

- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. (1982). Nitrogen—total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 595–624.
- Burns, R. G., DeForest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., Weintraub, M. N., & Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil biology and biochemistry*, 58, 216–234.
- Cafferri, R., & Bassi, R. (2022). Plants and water in a changing world: a physiological and ecological perspective. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33(3), 479–487.
- Capra, F., Ardenti, F., Abalos, D., Lommi, M., Pochintesta, D., Ganugi, P., Perego, A., Vincenzo Tabaglio & Fiorini, A. (2025). Drip fertigation with slurry as a promising tool to reduce nitrogen losses under organic maize. *Scientific Reports*, 15(1), 16890.
- Cassman, K., & Munns, D. (1980). Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. *Soil Science Society of America Journal*, 44(6), 1233–1237.
- Cave, J. (2013). *Cotton lint yield, fiber quality, and water-use efficiency as influenced by cultivar and irrigation level* [dok. tezi].
- Celik, M. F., Isik, M. S., Taskin, G., Erten, E., & Camps-Valls, G. (2023). Explainable artificial intelligence for cotton yield prediction with multisource data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 20, 1–5.
- Cetin, M. (2019). Agricultural water use. İçinde *Water resources of Turkey* (ss. 257–302). Springer.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.-L., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K. H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review: Q. Chai et al. *Agronomy for sustainable development*, 36(1), 3.
- Chang, E.-H., Chung, R.-S., & Tsai, Y.-H. (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132–140.
- Chantigny, M. H., Angers, D. A., Morvan, T., & Pomar, C. (2004). Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with ¹⁵N. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2), 637–643.
- Chen, J., Liu, L., Wang, Z., Sun, H., Zhang, Y., Bai, Z., Song, S., Lu, Z., & Li, C. (2019). Nitrogen fertilization effects on physiology of the cotton boll–leaf system. *Agronomy*, 9(6), 271.
- Chen, W., Jin, M., Ferré, T. P., Liu, Y., Huang, J., & Xian, Y. (2020). Soil conditions affect cotton root distribution and cotton yield under mulched drip irrigation. *Field Crops Research*, 249, 107743.

- Chen, Z., Tao, X., Khan, A., Tan, D. K., & Luo, H. (2018). Biomass accumulation, photosynthetic traits and root development of cotton as affected by irrigation and nitrogen-fertilization. *Frontiers in plant science*, 9, 173.
- Cheng, J., Chen, Y., He, T., Liao, R., Liu, R., Yi, M., Huang, L., Yang, Z., Fu, T., & Li, X. (2017). Soil nitrogen leaching decreases as biogas slurry DOC/N ratio increases. *Applied Soil Ecology*, 111, 105–113.
- Coşkun, Z. (2015). Harran ovasında damla sulamanın pamuk verimine etkisi. *Harran üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi)*.
- Cullu, M. A., Teke, M., Aydoğdu, M. H., & Günel, H. (2022). Effects of subsidy and regulation policy on soil and water resources of cotton planted lands in Harran Plain, Turkey. *Land use policy*, 120, 106288.
- Cunneen, H., & Owain, E. Physical climate risk for global cotton production: Global analysis. İçinde: İçinde *Forum for the future cotton 2040 \& Acclimatise*. Forum for the Future ve Willis Towers Watson London, UK. 2021.
- Datta, A., Ullah, H., Ferdous, Z., Santiago-Arenas, R., & Attia, A. (2019). Water management in cotton. *Cotton production*, 47–59.
- Davidson, E. A., Belk, E., & Boone, R. D. (1998). Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global change biology*, 4(2), 217–227.
- Demeke, B. W., Rathore, L. S., Mekonnen, M. M., & Liu, W. (2024). Spatiotemporal dynamics of the water footprint and virtual water trade in global cotton production and trade. *Cleaner Production Letters*, 7, 100074.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., & Coşkun, M. (2017). Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1), 22–43.
- D’Imporzano, G., Pilu, R., Corno, L., & Adani, F. (2018). Arundo donax L. can substitute traditional energy crops for more efficient, environmentally-friendly production of biogas: A Life Cycle Assessment approach. *Bioresource technology*, 267, 249–256.
- Donovan, T. C., Comas, L. H., Schneekloth, J., & Schipanski, M. (2025). Nitrogen and water availability affect soil nitrogen mineralization and maize nitrogen uptake dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 130(3), 387–405.
- Du, Z., Xiao, Y., Qi, X., Liu, Y., Fan, X., & Li, Z. (2018). Peanut-shell biochar and biogas slurry improve soil properties in the North China Plain: a four-year field study. *Scientific reports*, 8(1), 13724.
- Elnashar, W., & Elyamany, A. (2023). Managing risks of climate change on irrigation water in arid regions. *Water Resources Management*, 37(6), 2429–2446.

- Esteve, P., Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., & Downing, T. E. (2015). A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecological Economics*, 120, 49–58.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. İçinde *Sustainable agriculture* (ss. 153–188). Springer.
- Feng, G., Hao, F., He, W., Ran, Q., Nie, G., Huang, L., Wang, X., Yuan, S., Xu, W., & Zhang, X. (2024). Effect of biogas slurry on the soil properties and microbial composition in an annual ryegrass-silage maize rotation system over a five-year period. *Microorganisms*, 12(4), 716.
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany*, 58(2), 147–159.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., Velthuisen, H. V., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 1083–1107.
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of botany*, 89(2), 183–189.
- Fontaine, S., Hénault, C., Aamor, A., Bdioui, N., Bloor, J., Vincent Maire, Mary, B., Revaillet, S., & Maron, P.-A. (2011). Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. *Soil biology and Biochemistry*, 43(1), 86–96.
- Geisseler, D., Horwath, W. R., Joergensen, R. G., & Ludwig, B. (2010). Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2058–2067.
- Ghodsi, A., Honar, T., Heidari, B., Salarpour, M., & Etemadi, M. (2022). The interacting effects of irrigation, sowing date and nitrogen on water status, protein and yield in pea (*Pisum sativum* L.) *Scientific reports*, 12(1), 15978.
- Gormus, O., El-Sabagh, A., & Islam, M. (2016). Optimizing yield and fiber quality of cotton under Mediterranean environment: managing nitrogen and potassium nutrition.
- Guan, C., Ma, X., & Shi, X. (2022). The impact of collective and individual drip irrigation systems on fertilizer use intensity and land productivity: Evidence from rural Xinjiang, China. *Water Resources and Economics*, 38, 100196.
- Guerrero, C., Moral, R., Gomez, I., Zornoza, R., & Arcenegui, V. (2007). Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries. *Bioresource Technology*, 98(17), 3259–3264.
- Gultekin, R., Kadri, A., Görgişen, C., Öztürk, Ö., Yeter, T., & Alsan, P. B. (2023). Effect of deficit irrigation practices on greenhouse gas emissions in drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111757.

- Gutierrez, M., Norton, R., Thorp, K. R., & Wang, G. (2012). Association of spectral reflectance indices with plant growth and lint yield in upland cotton. *Crop Science*, 52(2), 849–857.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., & Schmidhalter, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 439–446.
- Gülçur, F. (1974). Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metodları.
- Gündüz, F. F., Akay, Ö., Gündüz, S., & Dölekoğlu, C. Ö. (2020). Determination of the factors affecting cotton export of Turkey: A panel gravity model approach. *Akademik Hassasiyetler*, 7(13), 547–564.
- Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought tolerance in plants: physiological and molecular responses. *Plants*, 13(21), 2962.
- Haigler, C. H., Betancur, L., Stiff, M. R., & Tuttle, J. R. (2012). Cotton fiber: a powerful single-cell model for cell wall and cellulose research. *Frontiers in plant science*, 3, 104.
- Hansen, M. N., Henriksen, K., & Sommer, S. G. (2006). Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmospheric Environment*, 40(22), 4172–4181.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Education India.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J.-L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops—Effects on soil and plant. *Soil and tillage research*, 160, 14–22.
- Hernández-Cruz, A., Sánchez, E., Preciado-Rangel, P., García-Bañuelos, M., Palomo-Gil, A., & Espinoza-Banda, A. (2015). Actividad de la nitrato reductasa, biomasa, rendimiento y calidad en algodón en respuesta a la fertilización nitrogenada. *Phyton (Buenos Aires)*, 84(2), 454–460.
- Himanshu, S. K., Ale, S., Bell, J., Fan, Y., Samanta, S., Bordovsky, J. P., Iii, D. C. G., Lascano, R. J., & Brauer, D. K. (2023). Evaluation of growth-stage-based variable deficit irrigation strategies for cotton production in the Texas High Plains. *Agricultural Water Management*, 280, 108222.
- Hirsch, P. R., & Mauchline, T. H. (2015). The importance of the microbial N cycle in soil for crop plant nutrition. *Advances in applied microbiology*, 93, 45–71.
- Hoffmann, G., & Teicher, K. (1961). Ein kolorimetrisches verfahren zur bestimmung der ureaseaktivität in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 95(1), 55–63.
- Holm-Nielsen, J. B., Seadi, T. A., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478–5484.

- Horwath, W., & Paul, E. (2015). Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*, 4, 339–82.
- Howell, T., Cuenca, R., & Solomon, K. (1990). Crop yield response. *IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990. p 93-122, 5 fig, 1 tab, 113 ref.*
- Howell, T. A., Evett, S., Tolk, J., & Schneider, A. (2004). Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(4), 277–285.
- Hughes, K. (2021). Cotton and climate change [Retrieved from ICAC (www.icac.org); Erişim tarihi: 16 Nisan 2024].
- Hussein, F., Janat, M., & Yakoub, A. (2011). Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(6), 611–621.
- Insam, H., Gómez-Brandón, M., & Ascher, J. (2015). Manure-based biogas fermentation residues—friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 1–14.
- International Cotton Advisory Committee (ICAC). (2024, Kasım). Cotton This Month [Erişim tarihi: 12 Ocak 2026].
- Islam, M. R., Rahman, S. M. E., Rahman, M. M., Oh, D. H., & Ra, C. S. (2010). The effects of biogas slurry on the production and quality of maize fodder. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(1), 91–99.
- Jain, S., Jain, S., Wolf, I. T., Lee, J., & Tong, Y. W. (2015). A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 142–154.
- James, D. W., Hanks, R. J., & Jurinak, J. J. (1982). *Modern irrigated soils*.
- Jans, Y., Bloh, W. v., Schaphoff, S., & Müller, C. (2021). Global cotton production under climate change—Implications for yield and water consumption. *Hydrology and earth system sciences*, 25(4), 2027–2044.
- Jayakumar, G. (1991). *Urea hydrolysis in semi-arid tropical Alfisols and Vertisols* [dok. tezi, Andhra Pradesh Agricultural University].
- Johnson, J., & Saunders, J. (2002). Evaluation of chlorophyll meter for nitrogen management in cotton. *Annual Report*, 162–163.
- Joniec, J. (2018). Enzymatic activity as an indicator of regeneration processes in degraded soil reclaimed with various types of waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(10), 2241–2252.
- Jr, J. B. J., & Case, V. W. (1990). Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. *Soil testing and plant analysis*, 3, 389–427.
- Kacar, B. (1994). *Bitki ve toprağın kimyasal analizleri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı.

- Kanber, R. (1977). Çukurova koşullarında bazı toprak serilerinin değişik kullanılabilir nem düzeylerinde yapılan sulamaların pamuğun verim ve su tüketimine etkileri üzerinde bir lizimetre araştırması (Doktora Tezi). *TOPRAKSU Araşt. Enst. Müd. G. Yay.*, (78), 1–151.
- Kang, Y., Wang, R., Wan, S., Hu, W., Jiang, S., & Liu, S. (2012). Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China. *Agricultural water management*, 109, 117–126.
- Kaplan, G., Fine, L., Lukyanov, V., Malachy, N., Tanny, J., & Rozenstein, O. (2023). Using Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for estimating cotton crop coefficient, height, and Leaf Area Index. *Agricultural Water Management*, 276, 108056.
- Karaata, H. (1985). Harran Ovasında pamuk su tüketimi. *Köy Hizmetleri Şanlıurfa Araşt. Ens. Md. Yayınları, Genel Yayın*, (24).
- Karademir, Ç., Karademir, E., Doran, İ., & Altıkat, A. (2006). Farklı azot ve fosfor dozlarının pamuğun verim, verim bileşenleri ve bazı erkencilik kriterlerine etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(02), 121–129.
- Karimi, B., Sadet-Bourgeteau, S., Cannavacciuolo, M., Chauvin, C., Flamin, C., Haumont, A., Vincent Jean-Baptiste, Reibel, A., Vrignaud, G., & Ranjard, L. (2022). Impact of biogas digestates on soil microbiota in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(5), 3265–3288.
- Kaya, Y., & Aydın, G. B. (2017). İklim değişikliğinin Aydın yöresinde toprak nemi üzerindeki etkileri ve SWAP modeli ile simülasyonu. *Toprak Su Dergisi*, 31–45.
- Khan, A., Luo, H., Pan, X., Najeeb, U., Tan, D. K. Y., Fahad, S., & Zahoor, R. (2018). Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological research*, 51.
- Khanna, S. M. (2024). Plant Metabolism during Water Deficit Stress: A Review. *Agricultural Reviews*, 45(3).
- Khor, L. Y., & Feike, T. (2017). Economic sustainability of irrigation practices in arid cotton production. *Water resources and economics*, 20, 40–52.
- Kiliç, F. Ç. (2007). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye’deki yeri. *Renewable Energy World*, 8(6).
- Koudahe, K., Sheshukov, A. Y., Aguilar, J., & Djaman, K. (2021). Irrigation-water management and productivity of cotton: A review. *Sustainability*, 13(18), 10070.
- Kowalski, Z., Makara, A., & Fijorek, K. (2013). Changes in the properties of pig manure slurry. *Acta Biochimica Polonica*, 60(4), 845–850.
- Kögler, F., & Söffker, D. (2017). Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. *Ecological Modelling*, 361, 135–156.

- Kumar, A., Verma, L. M., Sharma, S., & Singh, N. (2023). Overview on agricultural potentials of biogas slurry (BGS): applications, challenges, and solutions. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(15), 13729–13769.
- Kumar, R., Pareek, N. K., Kumar, U., Javed, T., Al-Huqail, A. A., Rathore, V. S., Nangia, V., Choudhary, A., Nanda, G., Ali, H. M., vd. (2022). Coupling effects of nitrogen and irrigation levels on growth attributes, nitrogen use efficiency, and economics of cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13, 890181.
- Kuzyakov, Y., & Xu, X. (2013). Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. *New Phytologist*, 198(3), 656–669.
- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275–294.
- Lee, M. E., Steiman, M. W., & Angelo, S. K. S. (2021). Biogas digestate as a renewable fertilizer: effects of digestate application on crop growth and nutrient composition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2), 173–181.
- Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D., Corwin, D. L., Oster, J. D., Wu, L., & Amrhein, C. (2011). Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural water management*, 98(4), 502–506.
- Li, H., Wang, H., Jia, B., Li, D., Fang, Q., & Li, R. (2021). Irrigation has a higher impact on soil bacterial abundance, diversity and composition than nitrogen fertilization. *Scientific reports*, 11(1), 16901.
- Li, P., Jiang, D., Wang, S., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, Y., Chen, Z., & Jiang, N. (2025). Effect of Biogas Slurry on the Nutrient Cycling and Micro-organisms Community in Two Types of Soil. *BioResources*, 20(1).
- Li, Q., Zhang, D., Cheng, H., Ren, L., Jin, X., Fang, W., Yan, D., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2022). Organic fertilizers activate soil enzyme activities and promote the recovery of soil beneficial microorganisms after dazomet fumigation. *Journal of Environmental Management*, 309, 114666.
- Liang, C., Yue, Y., Gao, J.-Q., Zhang, X.-Y., Li, Q.-W., & Yu, F.-H. (2022). Effects of soil moisture on organic and inorganic nitrogen uptake by dominant plant species in Zoigê alpine wetlands. *Ecological Indicators*, 141, 109087.
- Liao, H., Liu, K., Hao, H., Yong, Y., Zhang, W., & Hou, Z. (2024). Effects of irrigation amount and nitrogen rate on cotton yield, nitrogen use efficiency, and soil nitrogen balance under drip irrigation. *Agronomy*, 14(8), 1671.
- Liu, L.-Y., Huang, W., Lv, X., He, X.-Y., Xie, Y.-X., Shang, G. L., & Song, Y.-K. (2020). Effects of long-term biogas slurry fertilization on soil physical and chemical properties and heavy metal content in areca taro root zone.

- Liu, W. K., Yang, Q.-C., & Du, L. (2009). Soilless cultivation for high-quality vegetables with biogas manure in China: Feasibility and benefit analysis. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(4), 300–307.
- Liu, W., Yao, B., Xu, Y., Dai, S., Wang, M., Ma, J., Ye, Z., & Liu, D. (2024). Biogas digestate as a potential nitrogen source enhances soil fertility, rice nitrogen metabolism and yield. *Field Crops Research*, 318, 109568.
- Lu, J., Jiang, L., Chen, D., Toyota, K., Strong, P. J., Wang, H., & Hirasawa, T. (2012). Decontamination of anaerobically digested slurry in a paddy field ecosystem in Jiaxing region of China. *Agriculture, ecosystems & environment*, 146(1), 13–22.
- Luo, H., Zhang, Y., & Zhang, W. (2016). Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. *Photosynthetica*, 54(1), 65–73.
- Luo, H., Wang, Q., Zhang, J., Wang, L., Li, Y., & Yang, G. (2020). Minimum fertilization at the appearance of the first flower benefits cotton nutrient utilization of nitrogen, phosphorus and potassium. *Scientific Reports*, 10(1), 6815.
- MA, Z.-b., YAN, G.-t., LIU, G.-z., HUANG, Q., LI, L.-l., & ZHU, W. (2013). Effects of nitrogen application rates on main physiological characteristics of leaves, dry matter accumulation and yield of cotton cultivated in the Yellow River bottomlands. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 19(4), 849–857.
- Macdonald, B. C., Latimer, J. O., Schwenke, G. D., Nachimuthu, G., & Baird, J. C. (2018). The current status of nitrogen fertiliser use efficiency and future research directions for the Australian cotton industry. *Journal of Cotton Research*, 1(1), 15.
- Manibharathi, S., Somasundaram, S., Parasuraman, P., Subramanian, A., Ravichandran, V., & Boopathi, N. M. (2024). Exploring the impact of high density planting system and deficit irrigation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.): a comprehensive review. *Journal of Cotton Research*, 7(1), 28.
- Manzoni, S., Schimel, J. P., & Porporato, A. (2012). Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. *Ecology*, 93(4), 930–938.
- Mao, B., Wang, L., Cheng, J., Chen, B., Wang, J., Zhang, K., & Liu, X. (2025). Study on the response of cotton leaf color to plant water content changes and optimal irrigation thresholds. *Agronomy*, 15(6), 1477.
- Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Maryum, Z., Luqman, T., Nadeem, S., Khan, S. M. U. D., Wang, B., Ditta, A., & Khan, M. K. R. (2022). An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13, 907937.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Ronchi, V., & Bauer, C. (2000). Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilisers. *Biology and Fertility of Soils*, 32(6), 479–483.

- Mayerová, M., Šimon, T., Stehlík, M., Madaras, M., Koubová, M., & Smatanová, M. (2023). Long-term application of biogas digestate improves soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 231, 105715.
- Mdlambuzi, T., Muchaonyerwa, P., Tsubo, M., & Moshia, M. (2021). Nitrogen fertiliser value of biogas slurry and cattle manure for maize (*Zea mays* L.) production. *Heliyon*, 7(5).
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2012). *Principles of plant nutrition*. Springer Science & Business Media.
- Miller, J. J., Curtin, D., vd. (2006). Electrical conductivity and soluble ions. *Soil sampling and methods of analysis*, 2.
- Moyin-Jesu, E. I. (2015). Use of different organic fertilizers on soil fertility improvement, growth and head yield parameters of cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4(4), 291–298.
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in life sciences*, 12(3), 242–257.
- Muharam, F., Bronson, K., Maas, S., & Ritchie, G. (2014). Inter-relationships of cotton plant height, canopy width, ground cover and plant nitrogen status indicators. *Field Crops Research*, 169, 58–69.
- Nielsen, K., Roß, C.-L., Hoffmann, M., Muskulus, A., Ellmer, F., & Kautz, T. (2020). The chemical composition of biogas digestates determines their effect on soil microbial activity. *Agriculture*, 10(6), 244.
- Niyungeko, C., Liang, X., Liu, C., Zhou, J., Chen, L., Lu, Y., Tiimub, B. M., & Li, F. (2020). Effect of biogas slurry application on soil nutrients, phosphomonoesterase activities, and phosphorus species distribution. *Journal of Soils and Sediments*, 20(2), 900–910.
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review: R. Nkoa. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473–492.
- Noor, H., Yan, Z., Sun, P., Zhang, L., Ding, P., Li, L., Ren, A., Sun, M., & Gao, Z. (2023). Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Agronomy*, 13(6), 1448.
- Odlare, M., Pell, M., & Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste management*, 28(7), 1246–1253.
- Orazgylyjov, B., Dowletov, H., Balyshv, T., Rejepov, E., & Hamydov, R. The use of smart systems in cotton irrigation as a way of water saving in the climatic conditions of the Dashoguz province. İçinde: İçinde *BIO web of conferences*. 71. EDP Sciences. 2023, 01091.

- Otto, R., Ferraz-Almeida, R., Soares, J. R., Carneiro, P. V., Coser, T. R., Horowitz, N., Soares, L. C., Novaes, G. B., Vargas, V. P., & Holzschuh, M. J. (2023). Nitrogen fertilizer management on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and quality in two tropical soils. *European Journal of Agronomy*, 142, 126672.
- Oweis, T. Y., Farahani, H. J., & Hachum, A. (2011). Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria. *Agricultural water management*, 98(8), 1239–1248.
- Özüdoğru, T. (2021). Dünya ve Türkiye’de pamuk üretim ekonomisi. *Tekstil ve Mühendis*, 28(122), 149–161.
- Pace, P., Cralle, H. T., El-Halawany, S. H., Cothren, J. T., Senseman, S. A., vd. (1999). Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *J. Cotton Sci*, 3(4), 183–187.
- Pan, F., Xiao, H., Huang, F., Zhu, H., Lei, J., & Ma, J. (2023). Preliminary study on the preparation of conductive nanosized calcium carbonate utilizing biogas slurry by a synchronous double decomposition coating method. *Nanomaterials*, 13(13), 1938.
- Patanè, C., Tringali, S., & Sortino, O. (2011). Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 590–596.
- Patil, K. P. K., Kumar, V., Thakare, H., Nawalkar, D., & Narwade, A. (2014). Screening of cotton genotypes for water stress tolerance.
- Peñuelas, J., Gamon, J., Fredeen, A., Merino, J., & Field, C. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. *Remote sensing of Environment*, 48(2), 135–146.
- Perumal, N. K. (1999). Effect of different nitrogen levels on morpho-physiological characters and yield in rainfed cotton.
- Pettigrew, W. (2004). Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Science*, 44(4), 1265–1272.
- Peu, P., Brugère, H., Pourcher, A.-M., Kérourédan, M., Godon, J.-J., Delgenès, J.-P., & Dabert, P. (2006). Dynamics of a pig slurry microbial community during anaerobic storage and management. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(5), 3578–3585.
- Porter, W. M. (2010). *Sensor based nitrogen management for cotton production in coastal plain soils* [Y. L. tezi, Clemson University].
- Pu, Y., Wang, P., Abbas, M., Iqbal, A., Dong, Q., Luo, T., Wang, Q., Cao, F., & Song, M. (2025). Insights from model plants to improve cotton’s use of nitrogen and phosphorus. *Journal of Cotton Research*, 8(1), 16.
- Qiong, X., Qi-qi, W., Lei, W., An-dong, C., Chuan-jie, W., Wen-ju, Z., & Ming-gang, X. (2019). Fertilization impacts on soil microbial communities and enzyme activities

- across China's croplands: A meta-analysis. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 24(6), 1598–1609.
- Ragályi, P., Szécsy, O., Uzinger, N., Magyar, M., Szabó, A., & Rékási, M. (2025). Factors influencing the impact of anaerobic digestates on soil properties. *Soil Systems*, 9(3), 78.
- Raich, J. W., & Schlesinger, W. H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 44(2), 81–99.
- Ramazanoglu, E. (2024). Effects of vermicompost application on plant growth and soil enzyme activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) monitored by thermal imaging. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2373872.
- Read, J. J., Reddy, K. R., & Jenkins, J. N. (2006). Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. *European Journal of Agronomy*, 24(3), 282–290.
- Reddy, K. R., Hodges, H. F., & McKinion, J. M. (1997). Crop modeling and applications: a cotton example. *Advances in agronomy*, 59, 226–290.
- Rengel, Z. (2015). Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 397–409.
- Rhoades, J., Kandish, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Government Printing Office.
- Ritchie, G. L., Bednarz, C. W., Jost, P. H., & Brown, S. M. (2007). Cotton growth and development.
- Rosolem, C. A., & Mellis, V. v. (2010). Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 34, 1601–1607.
- Rowell. (1994). *Soil science: methods and applications*.
- Sadras, V. O. (2007). Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Research*, 100(2-3), 125–138.
- Sadras, V. O., & Calderini, D. F. (2009). *Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy*. Academic Press.
- Sahrawat, K. (1984). Effects of temperature and moisture on urease activity in semi-arid tropical soils. *Plant and soil*, 78(3), 401–408.
- Sakin, E., Ramazanoglu, E., Yanardağ, İ. H., Dari, B., & Sihi, D. (2024). Biochar applications and enzyme activity, carbon dioxide emission, and carbon sequestration in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 47(16), 2645–2658.
- Saleem, M., Bilal, M., Awais, M., Shahid, M., Anjum, S., vd. (2010). Effect of nitrogen on seed cotton yield and fiber qualities of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. *J. Anim. Plant Sci*, 20(1), 23–27.

- Samperio, A., Prieto, M. H., Blanco-Cipollone, F., Vivas, A., & Moñino, M. J. (2015). Effects of post-harvest deficit irrigation in 'Red Beaut' Japanese plum: tree water status, vegetative growth, fruit yield, quality and economic return. *Agricultural Water Management*, 150, 92–102.
- Sapkota, A., Haghverdi, A., Avila, C. C., & Ying, S. C. (2020). Irrigation and greenhouse gas emissions: a review of field-based studies. *Soil Systems*, 4(2), 20.
- Satış, S., Tarı, A. F., & Akin, S. (2023). The effects of different irrigation levels and irrigation intervals on cotton cultivation: A study on yield, yield components, and fiber quality parameters. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(3), 293–305.
- Saviozzi, A., & Cardelli, R. (2014). Organic matter characteristics, biochemical activity and antioxidant capacity of soil amended with different organic materials. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(1), 119–131.
- Sawan, Z. M. (2014). Statistical study: nature relationship between climatic variables prevailing prior to flowering or subsequent to boll setting and cotton production. *Natural Science*, 6(8), 583.
- Scheer, C., Rowlings, D. W., Antille, D. L., Migliorati, M. D. A., Fuchs, K., & Grace, P. R. (2023). Improving nitrogen use efficiency in irrigated cotton production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 125(2), 95–106.
- Schimel, J., Balser, T. C., & Wallenstein, M. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88(6), 1386–1394.
- Shani, U., & Dudley, L. (2001). Field studies of crop response to water and salt stress. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5), 1522–1528.
- Sheets, J. P., Yang, L., Ge, X., Wang, Z., & Li, Y. (2015). Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*, 44, 94–115.
- Shi, X.-j., Hao, X.-z., Li, N.-n., Li, J.-h., Shi, F., Han, H.-y., Tian, Y., Chen, Y., Wang, J., & Luo, H.-h. (2022). Organic liquid fertilizer coupled with single application of chemical fertilization improves growth, biomass, and yield components of cotton under mulch drip irrigation. *Frontiers in Plant Science*, 12, 763525.
- Shi, Y., Niu, X., Chen, B., Pu, S., Ma, H., Li, P., Feng, G., & Ma, X. (2023). Chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer affects the soil microbial community and diversity and yield of cotton. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1295722.
- Silva, E. C. D., Nogueira, R., Silva, M. A. D., & Albuquerque, M. B. D. (2011). Drought stress and plant nutrition. *Plant stress*, 5(1), 32–41.
- Singh, K., vd. (2024). Assessing the Impact of Deficit Irrigation on Yield and Phenology of Bt Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(7), 276–283.

- Singh, R. J., & Ahlawat, I. (2014). Effects of transgenic cotton-based cropping systems and their fertility levels on succeeding wheat crop. *Communications in soil science and plant analysis*, 45(18), 2385–2396.
- Singh, R. J., Ahlawat, I., & Kumar, K. (2013). Productivity and profitability of the transgenic cotton–wheat production system through peanut intercropping and FYM addition. *Experimental Agriculture*, 49(3), 321–335.
- Sluijs, M. H. V. D. (2022). Effect of nitrogen application level on cotton fibre quality. *Journal of Cotton Research*, 5(1), 9.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., vd. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789–813.
- Sørensen, P., & Amato, M. (2002). Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, 16(2), 81–95.
- Sparks, D. L., Singh, B., & Siebecker, M. G. (2022). *Environmental soil chemistry*. Elsevier.
- Statistico. (2024). Cotton production by country [Erişim tarihi: 7 Ocak 2026].
- Surendra, K., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859.
- Tabatabai, M. A. (1982). Soil enzymes. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 903–947.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2014). Plant Physiology and Development. Sinauer Associates. Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts. pp, 761.
- Tan, F., Wang, Z., Zhouyang, S., Li, H., Xie, Y., Wang, Y., Zheng, Y., & Li, Q. (2016). Nitrogen and phosphorus removal coupled with carbohydrate production by five microalgae cultures cultivated in biogas slurry. *Bioresource Technology*, 221, 385–393.
- Tan, F., Zhu, Q., Guo, X., & He, L. (2021). Effects of digestate on biomass of a selected energy crop and soil properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(3), 927–936.
- Tang, J., Yin, J., Davy, A. J., Pan, F., Han, X., Huang, S., & Wu, D. (2022). Biogas slurry as an alternative to chemical fertilizer: Changes in soil properties and microbial communities of fluvo-aquic soil in the North China Plain. *Sustainability*, 14(22), 15099.
- TOB. (2024). Pamuk Durum Tahmin Raporu 2024 [Erişim tarihi: 15 Aralık 2025].
- Ton, P. Cotton and Climate Change: Impacts and Options to mitigate and adapt. İçinde: İçinde *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2012, 421.
- Tufa, K. N. (2022). Review on effects, mechanisms and managements of plants water stress. *Irrigation \& Drainage Systems Engineering*, 11(11), 357.

- TÜİK. (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri [Erişim tarihi: 17 Aralık 2025].
- TÜİK. (2025). *2025 yılı Bitkisel Üretim I. Tahmini* [28 Mayıs 2025]. TÜİK.
- Ünlü, M., Kanber, R., Koc, D. L., Tekin, S., & Kapur, B. (2011). Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. *Agricultural water management*, 98(4), 597–605.
- Üzen, N., Çetin, Ö., Temiz, M. G., & Başbağ, S. (2019). Farklı damla sulama sistemleri ve sulama yönetiminin pamuk lif verimi, verim öğeleri ve lif kalitesine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 387–393.
- Voora, V., Larrea, C., & Bermudez, S. (2020). *Global market report: cotton*. JSTOR.
- Wahed, A. A. E., Sanabani, S. S., Faye, O., Pessôa, R., Patriota, J. V., Giorgi, R. R., Patel, P., Böhlken-Fascher, S., Landt, O., Niedrig, M., vd. (2017). Rapid molecular detection of Zika virus in acute-phase urine samples using the recombinase polymerase amplification assay. *PLoS currents*, 9, ecurrents–outbreaks.
- Wang, J., Wang, H., Liang, X., Feng, X., Qiu, X., Wang, S., & Chen, B. (2025). Biogas slurry topdressing as replacement of chemical fertilizers boosts water and nitrogen use efficiency and yield in semiarid rainfed field crops. *Agricultural Water Management*, 318, 109725.
- Wang, L., Kaur, M., Zhang, P., Li, J., & Xu, M. (2021). Effect of different agricultural farming practices on microbial biomass and enzyme activities of celery growing field soil. *International journal of environmental research and public health*, 18(23), 12862.
- Wang, R., Ji, S., Zhang, P., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., & Zhou, Z. (2016). Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. *Crop Science*, 56(3), 1265–1276.
- Wang, X., Yang, Y., Zhao, J., Nie, J., Zang, H., Zeng, Z., & Olesen, J. E. (2020). Yield benefits from replacing chemical fertilizers with manure under water deficient conditions of the winter wheat–summer maize system in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 119, 126118.
- Wei, K., Wang, Q., Deng, M., Lin, S., & Guo, Y. (2024). Response of cotton growth, yield, and water and nitrogen use efficiency to nitrogen application rate and ionized brackish water irrigation under film-mulched drip fertigation. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1361202.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of botany*, 92(4), 487–511.
- Wu, J., Pan, X., Yang, Y., Gao, C., Wang, Y., & Li, M. (2020). Effects of biogas slurry utilization in long-term on soil nutrients and enzyme activities. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 8(3), 1083–1090.
- Wu, J.-c., Pan, X.-y., Yang, Y.-h., Gao, C.-m., & Wang, Y. (2021). Effects of long-term application of biogas slurry on soil nutrient content and enzyme activity.

- Wu, J., Guo, W., Feng, J., Li, L., Yang, H., Wang, X., & Bian, X. (2014). Greenhouse gas emissions from cotton field under different irrigation methods and fertilization regimes in arid northwestern China. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 407832.
- Wu-Di, Z. (2002). Utilizing Bases of Methane Fermentative Residues. *Kunming, China: Yunnan Science and Technology Press, China*.
- Wullschleger, S., & Oosterhuis, D. (1990). Canopy development and photosynthesis of cotton as influenced by nitrogen nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 13(9), 1141–1154.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63, 153–182.
- Xu, Q., Dong, X., Huang, W., Li, Z., Huang, T., Song, Z., Yang, Y., & Chen, J. (2024). Evaluating the effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of drip irrigation cotton under film in Xinjiang based on meta-analysis. *Plants*, 13(5), 640.
- Xu, W., Zhu, Y., Wang, X., Ji, L., Wang, H., Yao, L., & Lin, C. (2021). The effect of biogas slurry application on biomass production and forage quality of *Lolium multiflorum*. *Sustainability*, 13(7), 3605.
- Xue, J., Bakker, M. R., Milin, S., & Graham, D. (2022). Enhancement in soil fertility, early plant growth and nutrition and mycorrhizal colonization by vermicompost application varies with native and exotic tree species. *Journal of Soils and Sediments*, 22(6), 1662–1676.
- Yadav, R., Sudhishri, S., Khanna, M., Lal, K., Dass, A., Kushwaha, H., Bandyopadhyay, K., Dey, A., Kushwah, A., & Nag, R. H. (2023). Temporal characterization of biogas slurry: a pre-requisite for sustainable nutrification in crop production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1234472.
- Yang, J., Kim, J., Skogley, E., & Schaff, B. (1998). A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 62(4), 1108–1115.
- Yin, G., Wang, X., Du, H., Shen, S., Liu, C., Zhang, K., & Li, W. (2019). N₂O and CO₂ emissions, nitrogen use efficiency under biogas slurry irrigation: A field study of two consecutive wheat-maize rotation cycles in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 212, 232–240.
- You, L., Yu, S., Liu, H., Wang, C., Zhou, Z., Zhang, L., & Hu, D. (2019). Effects of biogas slurry fertilization on fruit economic traits and soil nutrients of *Camellia oleifera* Abel. *PLoS One*, 14(5), e0208289.
- Yu, F.-B., Luo, X.-P., Song, C.-F., Zhang, M.-X., & Shan, S.-D. (2010). Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*, 60(3), 262–268.
- Zafar, S., & Azhar, M. T. (2015). ASSESSMENT OF VARIABILITY FOR DROUGHT TOLERANCE IN *GOSSYPIUM HIRSUTUM* L. AT SEEDLING STAGE. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52(2).

- Zhang, H., Ma, Y., Shao, J., Di, R., Zhu, F., Yang, Z., Sun, J., Zhang, X., & Zheng, C. (2022). Changes in soil bacterial community and functions by substituting chemical fertilizer with biogas slurry in an apple orchard. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1013184.
- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Pei, D., & Wang, Y. (2008). Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat. *Irrigation Science*, *27*(1), 1–10.
- Zhang, Y.-L., & Yao-Sheng, W. (2006). Soil enzyme activities with greenhouse subsurface irrigation. *Pedosphere*, *16*(4), 512–518.
- Zhou, G., & Yin, X. (2018). Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with NDVI, SPAD and petiole sap nitrate concentration. *Experimental Agriculture*, *54*(4), 531–548.
- Zhou, J., Xue, K., Xie, J., Deng, Y., Wu, L., Cheng, X., Fei, S., Deng, S., He, Z., Nostrand, J. D. V., vd. (2012). Microbial mediation of carbon-cycle feedbacks to climate warming. *Nature Climate Change*, *2*(2), 106–110.