



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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERCİMEKTE YAPRAK GÜBRELEMESİNİN DİJİTAL TARIM
TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ**

RAMAZAN SEZER

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**Şanlıurfa
2025**



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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERCİMEKTE YAPRAK GÜBRELEMESİNİN DİJİTAL TARIM
TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ**

RAMAZAN SEZER

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
Tez Danışmanı: Prof. Dr. M.Ali ÇULLU**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, eğitim sürecim boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Mehmet Ali ÇULLU'ya, ve Prof. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM'a çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen Emrah RAMAZANOĞLU'na iş hayatımda desteklerini esirgemeyen bölge müdürüm Ersen ERDOĞAN'a ve hayatım boyunca tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim ve sevgili çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. KURAMSAL ÇERÇEVE ve LİTERATÜR TARAMASI	2
1.1.1. Mercimek Bitkisi ve Yetiştiriciliği	2
1.1.1.1. Botanik Özellikleri	3
1.1.1.2. Türkiye ve Dünyada Üretim Durumu	6
1.1.2. Yaprak Gübrelemesi	12
1.1.2.1. Genel İlkeler	13
1.1.3. Tarımda Dijitalleşme ve Teknoloji Kullanımı	13
1.1.3.1. Tarımda Dijital Sürecin Türkiye'deki Gelişimi	15
1.1.3.2. Dijital Tarım Teknikleri	19
1.1.3.3. Yapay Zeka, Dron ve Uzaktan Algılama	20
1.1.4. Literatürde Yer Alan Benzer Çalışmalar	26
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	28
3. GEREÇ VE YÖNTEM	30
3.1. Araştırma Alanı ve iklim Koşulları	30
3.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali	31
3.3. Dijital Tarım Tekniklerinin Kullanımı	32
3.4. İstatistiksel Analiz Yöntemleri	32
3.5. Deneme Deseni ve Uygulamalar	33
3.6. Ölçülen Özellikler ve Veri Toplama Yöntemi	34
4. BULGULAR	36
4.1. Bitki Biyokütlesi, Tane Verimi ve Hasat İndeksi	36
4.2. Tahıl ve Saman Azot İçerikleri	38
4.3. Klorofil İçeriği (SPAD Değeri) ve Vejetatif Gelişim	40
4.4. Çiçek ve Bakla Sayısı	40
5. TARTIŞMA	42
5.1. Zn Tedarikinin Mercimek Tanesi Verimi Üzerindeki Etkisi	42
5.2. K ve Zn Tedarikinin Mercimek Tanesi Verimi Üzerindeki Etkileşimli Etkisi	43
5.3. Ticari Yaprak Ürünlerinin Etkisi ve Zn ve K Tedariğiyle Karşılaştırılması	44
6. SONUÇLAR	45
7. ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	54

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERCİMEKTE YAPRAK GÜBRELEMESİNİN DİJİTAL TARIM TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ

RAMAZAN SEZER

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Tez Danışman: Prof. Dr. M.Ali ÇULLU
Yıl: 2025, Sayfa : 47

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında mercimek (*Lens culinaris*) bitkisinde farklı yaprak gübreleme uygulamalarının verim, azot alımı, klorofil içeriği (SPAD) ve morfolojik özellikler üzerine etkilerini dijital tarım teknikleriyle desteklenen tarımsal yönetim yaklaşımıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Deneme, 2021–2022 sezonunda yarı kurak iklim koşullarında yürütülmüş ve rastgele blok deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak planlanmıştır. Yaprak gübreleri (Flo, Mac, Flo+Mac, Zn, K, Zn+K), bitkinin ilk çiçeklenme döneminde uygulanmış; süreç boyunca klorofil içerikleri taşınabilir SPAD sensörü ile ölçülerek dijital tarım izleme teknikleriyle takip edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, tüm yaprak gübresi uygulamaları özellikle tane veriminde artış sağlamış, Zn uygulaması verimi %55 oranında artırarak istatistiksel olarak anlamlı fark yaratmıştır ($p < 0.05$). Biyokütle verimi genel olarak farklılık göstermezken, tane verimi ile hasat indeksi arasında güçlü bir pozitif korelasyon tespit edilmiştir ($R^2 = 0.87$). Tahıl verimine bağlı olarak Zn uygulamasında tahılın toplam azot alımı da belirgin şekilde artmıştır. Yaprak uygulamaları, fotosentez aktivitesinin bir göstergesi olan SPAD değerlerini önemli ölçüde etkilemiş; özellikle Flo+Mac uygulamasında klorofil yoğunluğu hasada kadar yüksek kalmıştır. Bu dijital izleme bulguları, uygulamaların vejetatif gelişmeyi ve asimilasyon sürecini olumlu etkilediğini göstermektedir.

Sonuç olarak, sensör tabanlı veri izleme ve zamanlamaya dayalı yaprak gübreleme stratejileri, mercimekte verim artışı ve azot kullanım etkinliği açısından avantaj sağlamıştır. Bu bağlamda çalışma, dijital tarım destekli besleme yönetimi uygulamalarının yerel üreticiler için yaygınlaştırılabilir olduğunu ortaya koymakta ve sürdürülebilir, veri temelli üretim modellerine katkı sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Mercimek, DİJİTAL TARIM, yaprak gübresi, Gübreleme, Mikro Element

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF LEAF FERTILIZATION IN LENTIL WITH DIGITAL AGRICULTURAL TECHNIQUES

RAMAZAN SEZER

HARRAN UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

Thesis Supervisor: Prof. Dr. M.Ali ÇULLU

Year: 2025, Page : 47

This study aimed to evaluate the effects of different foliar fertilizer applications on yield, nitrogen uptake, chlorophyll content (SPAD values), and morphological parameters of lentil (*Lens culinaris*) under the semi-arid conditions of Southeastern Anatolia, Turkey. The experiment was conducted during the 2021–2022 growing season in a randomized complete block design with three replications. Foliar fertilizers (Flo, Mac, Flo+Mac, Zn, K, Zn+K) were applied at the onset of flowering, and chlorophyll contents were monitored using a portable SPAD-502 chlorophyll meter. This sensor-based measurement approach represents an integrated application of digital agriculture techniques to monitor plant nutrition status in real-time.

The results showed that foliar applications improved grain yield across all treatments, with Zn application significantly increasing yield by 55% compared to the control ($p < 0.05$). While biomass production did not significantly differ among treatments, a strong positive correlation ($R^2 = 0.87$) was observed between grain yield and harvest index. Notably, Zn application also enhanced total grain nitrogen uptake. SPAD values, reflecting photosynthetic activity and chlorophyll density, increased significantly until day 21 in all treatments and remained highest under the Flo+Mac application throughout the growing period. This suggests a prolonged vegetative activity and more efficient assimilate partitioning toward grain in certain treatments.

In conclusion, time- and stage-specific foliar fertilization supported by sensor-based digital monitoring can enhance yield and nitrogen use efficiency in lentil production. The study provides valuable insights into the role of digitally assisted nutrient management for sustainable agricultural intensification and demonstrates its applicability for broader adoption by local farmers.

KEYWORDS: Lentil, Digital agriculture, foliar fertilizer, Fertilization, Micro Element

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.2.	Yukarıdan aşağı; sultani, kırmızı ve yeşil mercimek (Anonim)	4
Şekil 1.3.	Ülkelere göre dünya mercimek ekim alanı (bin ha) (Kaynak: FAO 2020)	7
Şekil 1.3.	Ülkelere göre dünya mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: FAO, 2022)	7
Şekil 1.4.	Ülkelere göre dünya mercimek verimi (kg/da) (Kaynak: FAO, 2022)	8
Şekil 1.4.	Önemli üretici ülkelerde mercimek üretici fiyatları (\$/ton) (Kaynak: FAO, 2022)	8
Şekil 1.5.	Türkiye mercimek denge tablosu (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)	9
Şekil 1.6.	İllere göre Türkiye kırmızı mercimek ekim alanları (bin da) (Kaynak: TÜİK, 2022)	10
Şekil 1.7.	İllere göre Türkiye yeşil mercimek ekim alanları (bin da) (Kaynak: TÜİK, 2022)	10
Şekil 1.8.	Türkiye’de mercimek ekimi yapılan önemli iller (2021, %) (Kaynak: TÜİK, 2022)	11
Şekil 1.9.	İllere göre Türkiye kırmızı mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)	11
Şekil 1.10.	İllere göre Türkiye yeşil mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)	12
Şekil 1.11.	Türkiye’de mercimek üretimi yapan önemli iller (2021,%)	12
Şekil 1.12.	Hava tabanlı püskürtücüler (Denizedalan, 2019)	21
Şekil 1.13.	Hasatta kullanılan örnek dron (Özgüven ve ark., 2022)	22
Şekil 1.14.	Tarımda dron kullanımının yararları ve zararları (Syifa ve ark., 2020)	22
Şekil 1.15.	Akıllı sulama sisteminin eşzamanlı uygulamaları (Bilim, 2022)	24
Şekil 1.16.	Akıllı sera örneği (Bilim, 2022)	25
Şekil 3.1.	Çalışma alanı	30
Şekil 3.2.	24 Kasım 2021-25 Mayıs 2022 tarihleri arasındaki ortalama günlük sıcaklık (°C), bağıl nem (%) ve günlük yağış (mm) verileri	31
Şekil 4.1.	Yaprak gübresi uygulamalarının bitki biyokütlesi, verim ve mercimeğin hasat indeksi üzerindeki etkisi	37
Şekil 4.2.	Çalışmada son hasat tarihinde ölçülen değişkenler (Sap N içeriği (%), tane N içeriği (%), tüm biyokütle verimi (kg/ha), tane verimi (kg/ha) ve hasat endeksi (%) arasındaki Pearson korelasyon katsayıları	38
Şekil 4.3.	Mercimek tanesi verimi, hasat indeksi ve tüm bitki biyokütlesi arasındaki korelasyon	39
Şekil 4.4.	Farklı uygulamalar altında sap ve tohumdaki toplam N ve N alımı (Sözen ve Karadavut, 2017).	39
Şekil 4.5.	Bitki SPAD değerleri ve bitkilerin farklı uygulamalar altındaki yayılma genişliği	40
Şekil 4.6.	Yaprak gübresi uygulamalarının bitki başına çiçek ve bakla sayısı üzerindeki etkisi	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Deneme alanının temel toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri	31
Çizelge 3.2.	Yaprak gübresi uygulamaları ve uygulama dozları	34

SİMGELER

kg/da	Kilogram/Dekar
\$	Dolar
%	Yüzde
&	Ve
C	Derece
kg/ha	biyokütle verimi-tane verimi
pH	Hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif logaritması
pH	Çözeltilinin Asidik ve Bazik Değeri

KISALTMALAR

AKP	Adalet ve Kalkınma Partisi
AKTAR	Akıllı Tarım Fizibilite Projesi
ANAP	Anavatan Partisi
AR-GE	Araştırma Geliştirme
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DGD	Doğrudan Gelir Desteği
FLO	Florea
FLO+MAC	Florea+Macarena
İHA	İnsansız Hava Aracı
K	Potasyum
MAC	Macarena
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
Zn	Çinko
Zn+K	Çinko+Potasyum

1. GİRİŞ

Mercimek (*Lens culinaris* ssp. *Medik*), yaklaşık %18–30 oranında protein içeriğiyle hem insan hem de hayvan beslenmesinde önemli bir yer tutan küçük taneli baklagillerden biridir (Yağmur & Kaydan, 2005). Türkiye’de mercimek, nohutun ardından en yaygın yetiştirilen baklagil olup, üretimin büyük bir kısmı Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde gerçekleştirilmektedir. Bu bölgenin iklim ve toprak özellikleri, mercimek tarımı açısından elverişli koşullar sunmakta, özellikle kuraklığa toleranslı yapısı sayesinde mercimek, yarı kurak iklimlerde tercih edilen bir ürün konumuna gelmektedir (Yadav et al., 2020).

Mercimek bitkisi, çevresel stres koşullarına duyarlıdır. Özellikle gelişim sürecinde karşılaşılan kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik stresler; asimilat taşınımında bozulmalara, fotosentez oranında düşüşe, fotorespirasyonda artışa ve erken yaşlanmaya neden olabilmektedir (Hamayun et al., 2011). Ayrıca, bitki besin elementi eksiklikleri de verim üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Örneğin potasyum eksikliği, tane dolumu sürecini aksatırken; çinko eksikliği bitkinin stres toleransını zayıflatarak kuraklık ve ısıya karşı direncini düşürmekte ve dolayısıyla verim kayıplarına yol açmaktadır (Yağmur & Kaydan, 2005).

Son yıllarda tarımsal üretimde dijitalleşmenin artmasıyla birlikte, geleneksel yöntemlerin yerini veri temelli uygulamalara bıraktığı görülmektedir. Dijital tarım; yapay zekâ, sensör sistemleri, uzaktan algılama, bulut teknolojileri ve blokzincir gibi yenilikçi teknolojileri tarımsal üretim süreçlerine entegre ederek daha hassas, verimli ve sürdürülebilir bir üretim yapısını mümkün kılmaktadır (Sevli, 2023). Bu teknolojiler sayesinde çiftçiler, ekimden hasada kadar her aşamada veri temelli kararlar alabilmekte, ürün hareketlerini anlık olarak izleyebilmekte ve girdileri daha etkin şekilde kullanabilmektedir. Böylece hem üretim maliyetleri azaltılmakta hem de gıda güvenliği riskleri minimize edilmektedir.

Türkiye’de gıda güvencesi açısından stratejik öneme sahip olan mercimek, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yaygın olarak ana ürün olarak ekilmektedir. Ancak, artan nüfus ve azalan tarım arazileri nedeniyle birim alandan alınacak verimin artırılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda, gelişen tarımsal teknolojilerin mercimek tarımına entegre edilmesi önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Dijital tarım uygulamaları kapsamında yer alan yaprak gübrelemesi, özellikle bitki gelişiminin kritik dönemlerinde mikro ve makro besin elementlerinin hızlı ve etkili bir şekilde sağlanmasına olanak tanımaktadır. Yaprak gübrelemesi, topraktan alımı zor olan veya topraktaki koşullara bağlı olarak bitkinin kullanımına sunulamayan besin elementlerinin doğrudan bitki yaprakları üzerinden verilmesini sağlar. Bu sayede stres koşulları altında bitki gelişimi desteklenebilir ve verim artışı sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında; dijital tarım teknikleri kullanılarak mercimek bitkisinde yaprak gübrelemesinin etkinliği araştırılmış, bu uygulamanın verim üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve geleneksel uygulamalarla karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Aynı zamanda literatürde bu konuya dair mevcut bilgi birikiminin sınırlı olması, çalışmanın bilimsel anlamda önemini artırmaktadır. Elde edilen bulguların, hem yerel üreticilere hem de ilgili araştırmacılara tarımda dijitalleşme ve yaprak gübreleme stratejileri konusunda yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

Bu nedenle birim alandan en yüksek verim almanın yollarını araştırmak ve bu yolda çalışmalar yapmak gerekir. Bu bağlamda, özellikle bitki gelişim dönemlerinde zamanında ve dozunda yapılan yaprak gübrelemesinin etkisini artırmak amacıyla dijital tarım tekniklerinden faydalanılması önem arz etmektedir. Sayısal sensörler, bitki sağlığı izleme sistemleri, hassas gübreleme ekipmanları ve yapay zekâ destekli karar destek sistemleri sayesinde gübre uygulamaları daha hassas, verimli ve çevre dostu hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada da dijital tarımın sunduğu izleme ve zamanlama avantajlarından faydalanılarak mercimek bitkisinde yaprak gübrelemesi yapılmış ve verim ile azot alımı üzerindeki etkiler detaylı olarak değerlendirilmiştir.

1.1. KURAMSAL ÇERÇEVE ve LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde, araştırmanın başlıklarını oluşturan mercimek yetiştiriciliği, mercimekte yaprak gübreleme, tarımda teknoloji kullanımı ve dijital tarım teknikleri ile ilgili konular kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır.

1.1.1. Mercimek Bitkisi ve Yetiştiriciliği

Yemelik baklagiller içerisinde yer alan mercimek, yüksek protein oranına sahip olmasından ötürü, insanlar açısından önemli bir besin olarak öne çıkmaktadır.

Kurak alanlarda da yetiştirilebilen mercimek hem üreticilere hem de ülke ekonomisine çok ciddi gelir sağlayan bitkilerden biridir. Mercimek hem kış hem de yaz ekilebilmektedir. Mercimek yetiştiriciliğine geçmeden önce, mercimek bitkisi ile ilgili bilgilere de yer vermek çalışma açısından yararlı olacaktır.

1.1.1.1. Botanik Özellikleri

Mercimeğin kökeni hakkında farklı türden görüşlerin olduğunu belirtmekte yarar vardır. Büyük daneli olan türler Akdeniz Bölgesi, orta daneli olanlar ülkemizin iç kısımlarındaki dağlık yörelerde yer almaktadır. Küçük daneli olanlar ise Afganistan'ın yüksek yöreleri ve Hindistan'daki Himayala ve Hindikuş Dağları'dır. Mercimek üretiminde öncü olan ülkeler Hindistan, Kanada ve Türkiye'dir. Mercimek sadece insanların beslenmesine değil, aynı zamanda hayvanlar açısından da önemlidir (Kahraman ve ark., 2015). Çünkü mercimek bitkisinin sapında yüksek protein olmasından ötürü, hayvanlar açısından son derece değerli bir protein kaynağı olarak göze çarpmaktadır. Ancak, özellikle tane doldurma döneminde kuraklık ve ısı stresinde yaşanan sapmalar hem verimi hem de hasat endeksini olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir. Tane doldurma esnasında bitkiler asimile maddeleri (karbonhidratlar ve proteinler gibi) daha yüksek oranlarda tohumlara taşımaktadırlar (Kahraman ve ark., 2024).

Çoğunlukla çorba yapımında kullanılan mercimek, köfte ve diğer yemeklerde de kullanılmaktadır. Protein değerleri yüksek olan mercimeğin üretiminde Güneydoğu illeri olan Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin illeri öne çıkmaktadır. Konuyu Türkiye özelinde incelediğimizde, mercimekler dane iriliği bakımından ve renk bakımından Sultani, kırmızı ve yeşil mercimek olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.1). Bu üç grup ile ilgili özet bilgiler aşağıda sıralanmaktadır (Şehirli, 1988; Yürür ve ark., 1995):

- **Kırmızı mercimek:** Bu gruptaki mercimeklerin daneleri ortalama olarak 3-5 mm çapındadır. Karışık yuvarlak ve kırmızı renktedir. Bin dane ağırlığı ortalama olarak 30-45 gram civarındadır. Kırmızı mercimek genel olarak Güneydoğu illerinde (Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin) yetiştirilmektedir. Tüketim bakımından da öncü durumda olan kırmızı mercimek, yemeklik dane baklagiller arasında %85'lik ekim sahası ile ilk sıradadır.

- Sultani mercimek: Sultani mercimeğin danelerinin çapı ortalama olarak 6-7 mm civarındadır. Genel olarak daneler yuvarlak ve yassı bir yapıya sahiptir. Rengi yeşil olmakla birlikte, sultani mercimekte bin dane ağırlığı ortalama olarak 50-65 gram civarındadır. Genel olarak Türkiye'nin kıyı ve batı geçit bölgelerinde yetiştirilmektedir.
- Yeşil mercimek: Danelerinin çapı ortalama olarak 4-6 mm civarındadır. Yeşil renkte olmakta, yanlardan basık ve yuvarlak yapıdadır. Ortalama olarak bin dane ağırlığı 30-50 gram civarındadır. Genel olarak Türkiye'nin Orta Anadolu ve geçit bölgelerinde yetiştirilmektedir.



Şekil 1.2. Yukarıdan aşağı; sultani, kırmızı ve yeşil mercimek (Anonim)

Mercimek bitkisi, ortalama olarak 12-30 inç yüksekliğinde, ince yapılı, yarı dik konumda olan tek yıllık bitkilerden biridir. Mercimek bitkisi tek gövdeli

olabildiği gibi, hem dallı hem de gür bir formda olabilir. Mercimek bitkisi mikrosperma ve makrosperma şeklinde iki temel türe ayrılmaktadır. Makrosperma türündeki tohumlar büyük olurken, mikrosperma türündeki tohumlar ise küçüktür. Mercimek bitkisinin yapraklar tüylüdür ve ortalama olarak 0,5 ile 1,5 inç uzunluğundadır. Genel olarak tüyler sapsız olmanın yanı sıra, oval ve mızrak biçimindeki yaprakçıklara sahiptir (Allen ve ark., 2011).

İki küçük stipül mercimek bitkisinin yapraklarının tabanında yer almaktadır. Çiçekler genel olarak çift ve salkım halinde olmakta ve ortalama 1-4 adet, küçük (0,5 inç uzunluğunda) yapılı ve farklı renklere (beyaz, mor) sahip olabilmektedir. Çiçeklerin açılışı ise alt dallardan yukarıya doğru gerçekleşmektedir. Çiçekler kendiliğinden tozlaşmakta ve genel olarak çiçekler açılmadan tozlaşma gerçekleşmektedir (Elzebrok ve Wind, 2008).

Mercimek bitkisinde tohum kabukları düz ve pürüzsüzdür. Ortalama olarak, 0,5-0,75 inç uzunluğunda olmakta, 1 ya da 2 tohum içermektedir. Mercimek bitkisinin tohumları mercem şekline sahiptir. Renkleri ise açıktan yeşile, kahverengi ve siyah gibi renklerde olan tohum kabuklarına sahiptir. Bazı türlerde ise tohum üzerinde mor ya da siyah beneklerde olabilmektedir. Bu yapısından ötürü, kuraklığa dayanabilmektedir. Mercimek yetiştiricileri açısından en önemli avantajlardan bir diğeri de mercimek bitkisinin sulama yapılmadan yetiştirilebilmesidir. Serin iklim bitkisi olan mercimeğin üretimi için yıllık ortalama olarak 10 inç yağış gerekmektedir. Mercimek bitkisi düşük yağışları, kuraklığı ve sıcaklığı tolere edebilecek bir bitkidir (Cash ve ark., 2001). Ancak bu tolere den ötürü verimliliğin olumsuz etkileneceğini de belirtmekte yarar vardır. Çünkü kuraklık, düşük yağış ve sıcaklık bitkide strese yol açmaktadır. Oluşan bu stres ise çiçeklenme ve tohum oluşumu sırasında olduğunda verimsizlik söz konusu olabilmektedir (Idrissi ve ark., 2016).

Özetleyecek olursak; genel olarak bitkinin ekimi, ilkbaharda, sonbaharda ve kış aylarında yapılabilir. Bazı mercimek türleri aşırı soğuklara toleranslıdır. Bu da kışın serin iklimlerinde ekim yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Mercimek bitkisinin yetiştiriciliğinde en ideal toprak pH'sı 5,5-7 arası (Elzebrok ve Wind, 2008) olduğu ve orta alkali ya da tuzlu koşulları tolere edebileceği saptanmıştır (Idrissi ve ark., 2018).

Üreticilerin mercimek ekimine geçmeden önce yabancı otlara yönelik yapacakları girişimler kritik bir öneme sahiptir. Çünkü mercimeklerin yabancı otlarla

karşı güçlü bir savunmasının olmaması ve ekim sonrası bitkinin kolayca zarar görmesi, mercimeğin yabancı otlara karşı zayıf yönleri olarak göze çarpmaktadır. Bazı herbisitler (metribuzin ve linuron) ekimden sonra uygulanmakta ve faydalı sonuçlar alınmaktadır. Fakat herbisitler ürüne de zarar verebilmektedir. Bu bakımdan dozu doğru şekilde ayarlamak gerekmektedir. Yetiştiricilerin bölgedeki yabancı otlarla ilgili bilgi ve birikime sahip olması onlar açısından büyük avantajdır. Yapılacak mücadelede bu bilgi ve birikim onlara verimlilik olarak geri dönebilmektedir. Fakat bilgisi olmayan ya da tarıma yeni başlamış olan kişilerin yerel tarım uzmanları veya yerel yetiştiricilerden bilgi alması yararlı olacaktır (Kahraman vd., 2015).

Verimli ve kaliteli bir mercimeğin büyüme süreci ortalama olarak 80-100 gün aralığındadır. Bu süre içerisinde Mercimek tohum kabukları aşağıdan yukarı doğru olgunlaşma eğilimi gösterir. Böylece alt baklalar üst baklalara kıyasla daha önce olgunlaşmaktadır. Alt baklalar olgunlaşmaya başladığında, tohumlarda parçalanmanın söz konusu olmaması amacıyla ürünün sarılması ya da kimyasal kurutucuların yardımıyla kuru hale getirilmesi gereklidir (Aydoğan ve ark., 2016). Tohumda hasara neden olabilecek sebeplerden biri de düşük nem varlığıdır. Nem oranı için en uygun değerler %18-%20 aralığındadır. Uzun süreli depolama ise %14-%15 nem oranında kurutulmalıdır (Oplinger ve ark., 1990).

1.1.1.2. Türkiye ve Dünyada Üretim Durumu

Mercimeğin dünyadaki üretim alanları FAO verilerine göre incelendiğinde; 2020 yılında bir önceki yıla göre %3 oranında artarak 5 milyon ha alanda gerçekleşmiştir. Uzun yıllar mercimek ekiminde lider olan Kanada'da 2020 yılında bir önceki yıla göre %15 oranında artış görülmüş ve 1,7 milyon hektarla Kanada ekim alanlarında ilk sırada yer almıştır. Hindistan'da mercimek ekim alanları 2020 yılında bir önceki yıla göre %1 oranında azalarak 1,4 milyon hektar alanda mercimek ekimi gerçekleştirilmiştir. Avustralya son yıllarda mercimek ekim alanlarını arttırarak 412 bin ha ile üçüncü sırada yer alırken, Avustralya'yı Türkiye ve Nepal takip etmiştir. Türkiye'de 2020 yılında bir önceki yıla göre ekim alanlarında %12 bir daralma olduğu görülmektedir (Şekil 1.2.).

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Kanada	2.221	1.773	1.499	1.488	1.704
Hindistan	1.276	1.461	1.549	1.363	1.354
Avustralya	234	693	418	400	412
Türkiye	246	292	259	282	248
Nepal	206	207	199	209	213
ABD	366	414	291	174	208
Bangladeş	154	155	156	142	141
İran	131	132	134	133	131
Diğer	627	1.054	1.003	654	597
Dünya	5.463	6.181	5.508	4.846	5.010

Şekil 1.3. Ülkelere göre dünya mercimek ekim alanı (bin ha) (Kaynak: FAO 2020)

FAO verilerine göre 2020 yılında dünyada 5 milyon hektarlık bir alanda yaklaşık 6,5 milyon ton mercimek üretilmiştir. 2020 yılı itibarıyla 2,9 milyon tonluk üretim ile bir önceki yıla göre %20 oranında artışla Kanada dünya mercimek üretiminin %44'ünü karşılayarak ilk sırada yer almıştır. Hindistan 1,2 milyon ton üretim yaparak ikinci sırada yer almaktadır ve bir önceki yıla göre üretimini %4 oranında azalmıştır. Hindistan üretim alanlarında ilk sırada yer alırken yaşanan iklim değişikliği ve doğal afetlere paralel olarak veriminin Kanada'ya göre düşük olması nedeniyle üretimde ikinci sırada yer almaktadır. Üçüncü sırada 526 bin ton ile Avustralya yer almaktadır ve bir önceki yıla göre üretimini %46 oranında arttırmıştır. ABD ise 336 bin ton üretim ile dördüncü sırada yer almaktadır. (Şekil 1.3.)

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Kanada	3.194	2.558	2.192	2.382	2.868
Hindistan	976	1.224	1.622	1.228	1.180
Avustralya	292	865	543	359	526
ABD	580	339	381	244	336
Türkiye	365	430	353	354	371
Nepal	253	254	249	251	263
Bangladeş	158	169	177	175	177
Kazakistan	140	313	254	75	51
Diğer	725	977	800	714	766
Dünya	6.683	7.131	6.571	5.784	6.538

Şekil 1.3. Ülkelere göre dünya mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: FAO, 2022)

Ülkelere göre mercimek verimi FAO verilerine göre incelendiğinde; 2020 yılına göre üretimde önemli ülkeler içinde yer alan Kanada'nın 168 kg/da ile sekizincisırada, Türkiye'nin 150 kg/da' la onuncu sırada yer aldığı görülmektedir. Yine üretimde söz sahibi olan Hindistan 87 kg/da ile dünya ortalaması olan 113

kg/da'ın oldukça altında kalmaktadır (Şekil 1.4.). Hindistan'da verimin düşük olmasına rağmen üretimde söz sahibi olması üretim alanlarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Ürdün	117,9	571,4	397,0	340,0	313,9
Çin	237,2	253,6	247,5	248,9	251,2
Yeni Zelanda	243,1	245,2	246,9	245,1	245,6
Mısır	206,4	225,7	241,6	220,5	216,8
Tacikistan	156,1	142,8	181,6	191,8	190,4
Suriye	92,2	102,2	58,9	88,6	177,7
Filistin	142,7	146,9	160,1	169,9	176,9
Kanada	143,8	144,2	146,2	160,0	168,2
ABD	158,5	82,1	131,3	140,1	161,6
Türkiye	148,2	147,0	136,1	125,5	149,7
Dünya Ortalaması	109,3	116,7	114,7	113,8	112,7

Şekil 1.4. Ülkelere göre dünya mercimek verimi (kg/da) (Kaynak: FAO, 2022)

Mercimek üretiminde söz sahibi ülkelerin üretici fiyatlarına bakıldığında, en yüksek fiyatın Türkiye'de, en düşük fiyatın ise Kanada'da olduğu görülmektedir. 2020 yılında mercimek üretici fiyatı Türkiye'de 502 \$/ton olup bir önceki yıla göre %15 oranında artmıştır, ABD 384 \$/ton ile bir önceki yıla göre %19 oranında artmış, Kanada'da ise 434 \$/ton olup bir önceki yıla göre %37 oranında artmıştır (Şekil 1.5.). Lezzet, aroma ve mikro element bakımından zengin olan Türkiye mercimeği, yurt dışı fiyatlarından daha yüksek fiyata işlem görmekte olmasına karşın, dış ticarete yüksek fiyata rağmen alıcı bulmaktadır.

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Kanada	625	483	307	316	434
ABD	628	571	390	322	384
Türkiye	836	656	428	438	502

Şekil 1.4. Önemli üretici ülkelerde mercimek üretici fiyatları (\$/ton) (Kaynak: FAO, 2022)

Gelişmekte olan birçok ülkede düşük gelirli insanların önemli besin kaynakları arasında bulunan yemeklik baklagiller, Türkiye'de pek çok ailenin günlük tüketiminde önemli yere sahiptir (Uzunöz, 2009). Toplam baklagil üretimi dikkate alındığında, Türkiye dünyanın en büyük üreticileri arasındadır (FAO, 2016). Türkiye'de üretimi yapılan 9 çeşit kuru baklagilden en fazla yetiştirilenleri nohut, kuru fasulye ve mercimektir. Türkiye mercimek üretimi 2020/21 üretim dönemine

göre incelendiğinde; üretim alanlarının %85'ini ve üretimin %89'unu, ithalat ve ihracatın %90'ını ve kişi başına tüketimin %87'sini kırmızı mercimek oluşturmaktadır. TÜİK denge tablosuna göre kırmızı ve yeşil mercimek üretim alanları 2020/21 üretim döneminde bir önceki üretim dönemine göre %12 oranında azalarak 248 bin hektar alanda üretim yapılmıştır. Üretim miktarı ise %5 oranında artarak 371 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde ihracat %3 oranında azalarak 307 bin ton, ithalat ise %1 oranında artarak 522 bin ton olmuştur. Yurt içi kullanım ise %1 oranında artmış ve 520 bin ton olarak gerçekleşmiştir.

	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Alan (1000 ha)	252	293	277	282	248
Üretim	365	430	353	354	371
Yurt içi kullanım	480	486	451	471	520
İthalat	386	312	341	515	522
İhracat	261	244	359	315	307
Kişi Başına Tüketim (kg)	6	6	5	5	6

Şekil 1.5. Türkiye mercimek denge tablosu (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)

TÜİK verilerine göre ekim alanları iller bazında incelendiğinde; kırmızı mercimek üretiminin ağırlıklı olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, yeşil mercimek üretiminin ise ağırlıklı olarak İç Anadolu Bölgesi'nde yapıldığı görülmektedir. 2021 yılında kırmızı mercimeğin %46'sı 1,2 milyon dekar ile Şanlıurfa'da, %22'si 576 bin dekar ile Diyarbakır'da, %7'si ise 176 bin dekar ile Mardin'de üretilmiştir. Kırmızı mercimek ekim alanları 2021 yılında bir önceki yıla göre %24 oranında artmıştır. Ekim alanında en fazla artış; Şanlıurfa, Siirt, Konya ve Adıyaman illerinde görülmüştür. Üretim alanlarındaki azalma ise %10 ile Gaziantep ilinde olmuştur ve üretim alanı 47 bin dekara gerilemiştir (Şekil 1.7).

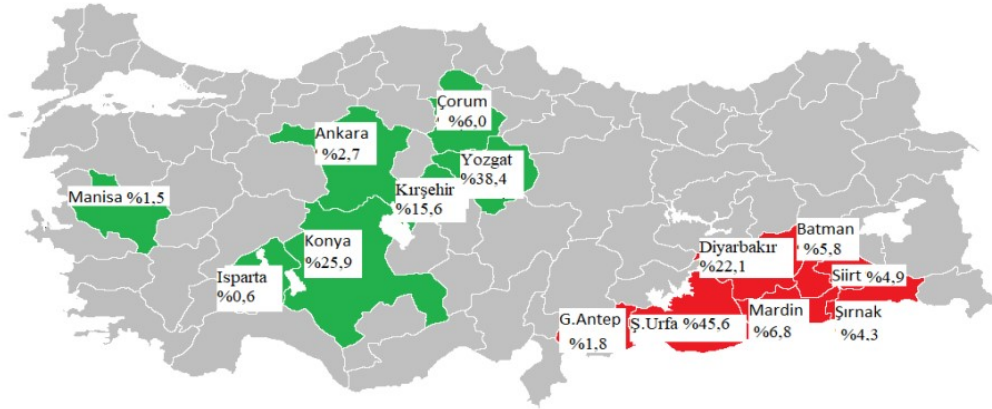
İller	2017	2018	2019	2020	2021
Şanlıurfa	1.121	930	950	806	1.188
Diyarbakır	758	681	632	537	576
Mardin	304	302	277	176	176
Batman	141	133	152	143	150
Siirt	76	73	70	88	128
Şırnak	26	31	39	116	112
Konya	19	32	65	40	64
Gaziantep	73	75	68	52	47
Kilis	38	37	34	35	34
Adıyaman	30	12	6	13	30
Diğer	107	125	135	92	97
Toplam	2.693	2.431	2.428	2.098	2.602

Şekil 1.6. İllere göre Türkiye kırmızı mercimek ekim alanları (bin da) (Kaynak: TÜİK, 2022)

Yeşil mercimek üretiminin %38'i 185 bin dekar ile Yozgat'ta, %26'sı 125 bin dekar ile Konya'da, %16'sı ise 75 bin dekar ile Kırşehir'de yapılmaktadır. Yeşil mercimek üretiminde 2017-2020 yılları arasında genel olarak bir artış olduğu görülmektedir. 2021 yılında 2017 yılına göre %108 oranında, bir önceki yıla göre %28 oranında artarak 482 bin dekar alanda yeşil mercimek tarımı gerçekleşmiştir (Şekil 1.8).

İller	2017	2018	2019	2020	2021
Yozgat	88	106	164	156	185
Konya	23	102	105	94	125
Kırşehir	19	26	40	41	75
Çorum	30	33	25	26	29
Ankara	12	19	14	16	13
Manisa	12	10	8	8	7
Sivas	1	1	1	2	6
Uşak	9	9	7	5	6
Nevşehir	1	1	1	1	5
Bayburt	1	2	4	4	4
Diğer	34	33	28	26	27
Toplam	232	342	396	378	482

Şekil 1.7. İllere göre Türkiye yeşil mercimek ekim alanları (bin da) (Kaynak: TÜİK, 2022)



Şekil 1.8. Türkiye’de mercimek ekimi yapılan önemli iller (2021, %) (Kaynak: TÜİK, 2022)

Türkiye’de 2021 yılında kırmızı mercimek üretiminin %46’sı 105 bin ton ile Şanlıurfa’da, %20’si 46 bin ton ile Diyarbakır’da, %7’si ise 16 bin ton ile Batman’da gerçekleşmiştir. Şanlıurfa’da üretim 2021 yılında bir önceki yıla göre %1 oranında artmış, Diyarbakır’da %42, Batman’da %42 oranında azalmıştır. 2020/21 üretim sezonunda genel olarak üretim alanlarında artış olmasına karşın dünyada olduğu gibi Türkiye’de de görülen kuraklık mercimek verimini olumsuz etkilemiş, rekoltede ciddi düşüşler görülmüştür. Toplam kırmızı mercimek üretimi 2021 yılında bir önceki yıla göre %31 oranında düşerek 228 bin ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.10).

İller	2017	2018	2019	2020	2021
Şanlıurfa	127	72	91	104	105
Diyarbakır	148	125	103	97	46
Batman	26	27	27	28	16
Siirt	10	3	9	15	16
Mardin	51	42	40	31	12
Şırnak	3	4	5	22	8
Konya	2	3	7	6	4
Gaziantep	10	12	9	8	4
Adıyaman	5	2	1	2	4
Kilis	4	4	4	4	3
Diğer	13	16	13	11	9
Toplam	400	310	310	328	228

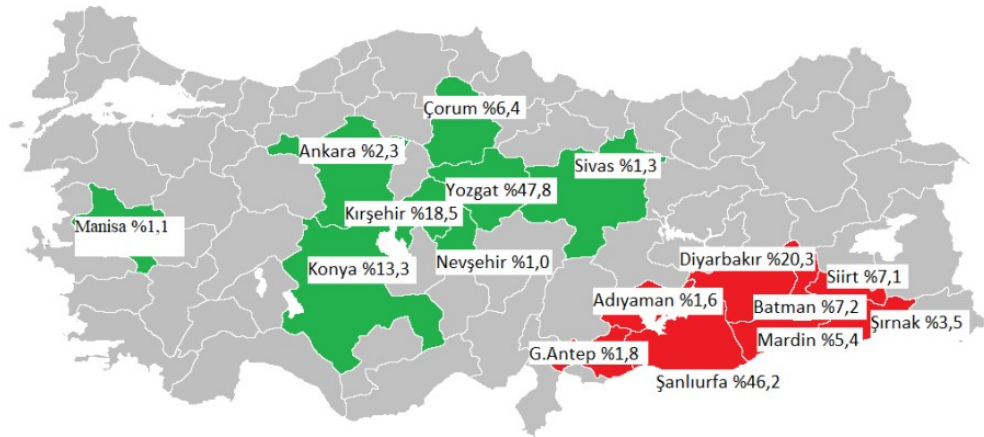
Şekil 1.9. İllere göre Türkiye kırmızı mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)

Toplam yeşil mercimek üretimi ise 2021 yılında bir önceki yıla göre %17 oranında azalarak 35 bin ton olarak gerçekleşmiştir. İllere göre yeşil mercimek

üretimi incelendiğinde 2021 yılında; üretimin %48'i 17 bin ton ile Yozgat'ta, %19'u 6,5 bin ton ile Kırşehir'de, %13'ü 4,7 bin ton ile Konya'da yapıldığı görülmektedir. Yeşil mercimek üretimi 2021 yılında bir önceki yıla göre Yozgat'ta %1, Konya'da %52, Çorum'da %32 oranında azalış gösterirken, Kırşehir'de %22 oranında artmıştır. Kırşehir de dahil üretim alanlarındaki artışa rağmen yaşanan kuraklık 2021 yılında yeşil mercimek rekoltesini de olumsuz etkilemiş ve üretimde düşüş görülmüştür (Şekil 1.11.).

İller	2017	2018	2019	2020	2021
Yozgat	11,7	14,0	17,3	17,0	16,7
Kırşehir	2,2	3,1	4,9	5,3	6,5
Konya	3,7	13,3	10,9	9,8	4,7
Çorum	3,7	4,4	3,3	3,3	2,2
Ankara	1,4	2,0	1,7	1,9	0,8
Sivas	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4
Manisa	1,3	0,9	0,8	0,7	0,4
Nevşehir	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
Hatay	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Uşak	1,1	1,0	0,7	0,6	0,3
Diğer	4,5	4,1	3,8	3,3	2,3
Toplam	30,0	43,0	43,6	42,4	35,0

Şekil 1.10. İllere göre Türkiye yeşil mercimek üretimi (bin ton) (Kaynak: TÜİK, 2022)



Şekil 1.11. Türkiye’de mercimek üretimi yapan önemli iller (2021,%)

1.1.2. Yaprak Gübrelemesi

Bu çalışmanın başlığını mercimekte yaprak gübrelemesi olduğundan bu gübreleme yöntemine de özetle değinmek gereklidir. Toprak koşullarının farklılığından ötürü bitkiye besin elementleri kökten verilemediğinde, yapraktan

gübreleme yapılmaktadır. Oldukça avantajlı olan bu gübreleme yönteminde engelleyici faktörlerin de az olduğunu belirtmek gereklidir. Bilhassa kritik gelişme aşamalarında, kökten beslemenin yetersiz olduğu durumlarda bu gübreleme yöntemine başvurulmakta ve son derece yararlı bir gübreleme olarak dikkat çekmektedir. Mercimek üretiminde genel olarak çiftçiler ve üreticiler bu yöntemle sıkça başvurmaktadır (Idrissi ve ark., 2018).

1.1.2.1. Genel İlkeler

Mercimek köklerindeki Rhizobium adlı bakteriler tarafından oluşturulan yumrucuklarla havanın serbest azotunu toprağa bağlamaktadır. Bundan ötürü bitkinin azot ihtiyacı düşük olmaktadır. İlk gelişim aşamalarında ihtiyaç duyduğu gübre dozları saf madde şeklinde 2-2,5 kg/da azot ve 5.5-6.5 kg/da fosfordur. Gübre topraktan yapılacaksa ekim esnasında mibzerle verilmelidir. Serpme ile ekim gerçekleştirilecek ise, o zaman toprak yüzeyine serpilerek kazayağı ya da diskaro yardımıyla toprağa karıştırılmalıdır. Yabancı ota yönelik iyi bir mücadele sergileyemeyen mercimek bitkisi için yabancı otlarla mücadele edilmesi gereklidir.

Mercimekte yaprak gübreleme çiftçilere ve üreticilere bir takım avantajlar sağlamaktadır. Örneğin mercimek bitkisi yapraktan gübreleme yapıldığında, besinleri bitkinin daha hızlı bir şekilde emilmesi sağlanmaktadır. Yapraktan gübreleme toprak koşullarından da pek etkilenmemektedir. Ayrıca bitkinin mikro besin eksikliklerini de hızlı bir şekilde giderebilmektedir (Oplinger vd., 1990).

Mercimekte yaprak gübreleme verimlilik üzerinde doğrudan etkisi olan uygulamalardan biridir. Bazı toprağın yapısı ve koşullarından ötürü bitki besin elementlerinin köklerden alınması olanaksızdır. Bu aşamada yapraktan yapılan uygulamaların üreticiler açısından daha avantajlı olduğu tüm çevreler tarafından bilinen bir gerçektir. Bitkilerin kritik gelişme süreçlerinde ve toprakta besin elementlerinin gelişim açısından yetersiz olması durumunda yaprak gübrelemenin son derece yararlı uygulamalar olduğunu belirtmekte yarar vardır (Aydoğan ve ark., 2016).

1.1.3. Tarımda Dijitalleşme ve Teknoloji Kullanımı

Teknoloji birçok alanda etkinliğini hissettirdiği gibi, tarım sektöründe de her geçen gün etkinliğini hissettirmeye başlamıştır. Öyle ki, günümüz tarımı neredeyse teknolojiye endeksli bir hale geldiğini söylemek mümkündür. Bu bağlamda teknolojinin tarım sektörünü dönüştürmeye başladığını ifade etmekte yarar vardır.

Tarım sektöründe bilhassa sulama, ilaçlama, gübreleme ve hasada varana dek tüm faaliyetlerde teknoloji üreticiler ve çiftçiler tarafından yoğun şekilde kullanılmaktadır (Ateş ve Şahin, 2021). Günümüzde teknolojiden yararlanmadan üretim yapan üretici ve çiftçi sayısı çok kısıtlı düzeydedir. Sulama, ilaçlama, gübreleme ve hasat faaliyetlerinde yapay zekâ ve akıllı dijital sistemler verimliliğe doğrudan katkı yapmaktadır. Aynı zamanda teknoloji üreticilere ve çiftçilere tasarruf etme olanağı da sağlamaktadır (Sevli, 2023).

İçerisinden bulunduğumuz 21. Yüzyılın ortalarına kadar dünya nüfusunun ortalama olarak 10 milyar civarına ulaşması beklenmektedir. Nüfusun bu şekilde arttığını düşündüğümüzde, küresel gıda üretiminin yaklaşık olarak iki kat artması beklendiğinden, tarımsal faaliyetlerin önemi ortaya çıkmaktadır. Geçmişteki klasik tarım anlayışı, yerini Tarım 4.0 uygulamalarına bırakmıştır. Geleneksel tarım yöntemlerinin artık yetersiz kaldığı günümüzde ülkeler Tarım 4.0 uygulamaları ile verimliliği artırıcı ve maliyetleri düşürücü uygulamalara ağırlık vermek zorundadırlar. Akıllı Tarım veya diğer adıyla “Tarım 4.0”, Endüstri 4.0 gibi, tarımsal üretimin dijital hale gelmesini ifade etmektedir (Pakdemirli ve ark., 2021).

Tarımda, bilgi esas karar alma aşamasında, yapay zekâ algoritmalarından istifade edilmekte ve bu şekilde büyük veri hızlı bir şekilde üretilmektedir. Kullanılan dijital teknolojiler yardımıyla, gerek hayvan, gerekse de bitkilere yönelik zararlılar ve hastalıklarla ilgili olarak erken uyarı sistemleri kurulabilmektedir. Bu durum üretim kayıplarının asgari düzeye indirilmesine olanak sağlamanın yanı sıra, ürün kalitesi açısından da bu sistemlerin önemli olduğunun altını çizerek belirtmekte yarar vardır. Kırsal bölgelerde yapılan tarımda teknoloji kullanımı bilhassa üretkenliğin artmasına katkı sağlamaktadır. Üretkenlik beraberinde gelir artışını da getirmektedir. Böylece kırsal bölgelerde yaşayan insanların yaşam şartlarının iyileşmesine de katkı sağlamaktadır (Barnes ve ark., 2019).

Kırsal ekonominin sürdürülebilirliğine, iş gücüne yönelik eksikliklerinin kapatılmasında, çevreye yönelik tehlikelerin azaltılmasında, tarımla ilgili yeni iş alanlarının oluşturulmasına ve bölgedeki gençler için bulundukları çekici hale getirmeye teknolojinin yardımcı olabileceğini belirtmekte yarar vardır. Konuyu Türkiye özelinde ele aldığımızda, ülke içerisindeki göçlerin azalmasına katkı sağlayabilecektir (Sevli, 2023). Özellikle büyük şehirlerdeki aşırı nüfus yığılmasının önüne geçilebilmektedir. Son yıllarda bilhassa gelişmiş ülkeler en son sistem tarım aletlerini kullanarak üretimi artırmayı, kırsal ekonomiyi kalkındırmayı ve çevreye yönelik tehdidi asgari düzeye indirmeyi amaçlamaktadırlar (Dayıoğlu ve Türker,

2021).

Küresel olarak artan nüfus ile birlikte tüketim miktarlarında da artış kaydedilmiştir. Bu durumun beraberinde birçok sorunu da getirdiğini söylemek mümkündür. Bu çalışmanın konusu tarım olduğundan, artan nüfustan ötürü tarım kaynaklı birçok sorun bulunmaktadır. Bunlar kısaca aşağıda sıralanmaktadır (Kılavuz ve Erdem, 2019):

- Mülkiyet kaynakları sorunlar,
- Tarımda kullanılan kimyasalların bilinçsiz bir şekilde kullanılması,
- Erozyon olan yerlerde bilinçsiz bir şekilde yapılan tarım faaliyetleri,
- Makineleşmeden ötürü yaşanan sorunlar,
- Yeraltı sularının verimli bir biçimde kullanılmaması,
- Her geçen yılla birlikte verimli tarım arazilerinin azalması,
- Tarım arazisi ya da konut yapımı amacıyla ormanların tahrip edilmesi.

Yukarıdaki şıklarda sıralanan tarımsal sorunların dışında, son yıllarda sıkça adından söz ettiren küresel ısınma ve iklim değişiklikleri de ilerleyen yıllarda tarımsal üretimde ciddi sorunlara neden olabileceğini belirtmekte yarar vardır. Bilhassa gelişmekte olan ülkelerin tarımsal ürün temininde dışa bağımlı olacağını söylemek mümkündür (Sevli, 2023). Küresel bakımdan son derece zorlayıcı olan bu durumun, uzun vadede toplumsal sorunlara yol açacağını belirtmek gereklidir. Ortaya çıkan bu tablo, gıda fiyatlarının artmasına ve toplumlardaki bazı kesimlerin gıdaya erişim noktasında zorlanabileceğini belirtmeliyiz. Bundan dolayı tarımda teknoloji kullanımı, ülkelerdeki büyüme açısından stratejik bir öneme sahip olacağını söylemek mümkündür (Pakdemirli ve ark., 2021).

1.1.3.1. Tarımda Dijital Sürecin Türkiye’deki Gelişimi

Türkiye’de ortalama olarak 28 milyon hektarlık tarım arazisi bulunmaktadır. Bu arazilerin ortalama olarak 8.5 milyon civarı sulanabilir arazilerden oluşmaktadır. Bu 8.5 milyon hektarlık arazinin ortalama olarak 6 milyon hektarlık kısmı sulanabilmektedir. Sulamanın eksikliğinin nedeni ise, Türkiye’de tarımın bilinçsiz ve herhangi bir plana dayalı olmadan yapılmasından kaynaklanmaktadır (Özdoğan ve ark., 2017). Ne yazık ki Türk tarımında son yıllarda yapılan bilinçsiz sulamadan ötürü ilerleyen yıllarda su kaynaklarında çok ciddi problemlerin yaşanabileceğinin altını çizmek gerekmektedir. 2018 yılında “100 Günlük Eylem Planı” devreye girmiştir. Bu plan kapsamında 8.3 bin hektar yeni tarım arazisinin sulamaya açılacağı ve ortalama olarak 100 bin hektar civarın bir alanda basınçlı sulama olarak

adlandırılan bubblers sulama, damla sulama ve yağmurlama için destek sağlanacağı öngörülmüştür (Kılavuz ve Erdem, 2019).

1980’den önce fiyat destekleme politikası ve girdi destekleri ile çiftçiler ve üreticiler ciddi şekilde desteklenmiştir. Bunlara ek olarak, düşük faizli kredilerin çiftçilere ve üreticilere sağlanması ile birlikte tarımda çok ciddi destek o yıllarda verilmiştir. Ancak 1980 sonrası yaşanan askeri darbe ve sonrasında iktidara gelen Anavatan Partisi (ANAP), serbest piyasa ekonomisine ciddi şekilde geçiş yapmıştır. Serbest piyasa ekonomisinin hayat bulmasıyla beraber tarıma devlet müdahalelerinin azaldığını söylemek mümkündür. Aynı zamanda çiftçileri ve üreticiler destekleyecek politikalardan da uzaklaşıldığını belirtmekte yarar vardır (Doğan ve ark., 2015).

Milenyum sonrasında tarıma yönelik bazı adımlar atılmaya başlanmıştır. Tarımda, piyasa mekanizmasına yönelik herhangi bir olumsuz etkinin yaşanmaması amacıyla üretimden bağımsız bir şekilde, alan bazlı Doğrudan Gelir Desteği (DGD) uygulanmıştır. O dönem içerisinde ülkenin devalüasyon ve 2001 yılındaki finansal krizden ötürü büyük sorunlar yaşandığından, tarıma gereken ilgi gösterilememiştir. Aynı zamanda o dönem içerisinde siyasi çalkantılar ve ülkenin geleceğine yönelik belirsizlikler en fazla tarım sektörü üzerinde olumsuz etki yaratmıştır (Özdoğan ve ark., 2017). Erken seçim kararının alınması ve Adalet ve Kalkınma Partisi (AKP)’nin iktidara gelmesiyle birlikte tarıma yeniden ilgi gösterilmeye başlanmıştır. 2000’lerin ilk yıllarında girdi ve teknoloji sağlayan kurumlar iktidar ortakları tarafından bazıları özelleştirilirken, bazıları ise tasfiye edilmiştir. 2006 yılından sonra akaryakıt, gübre ve kredi desteği gündeme gelmiştir. İlerleyen yıllarda arz açığı olan ürünlerde telafi edici desteklemelere daha fazla ağırlık verilmeye başlanmıştır (Kılavuz ve Erdem, 2019).

Tarım sektörü, diğer sektörlerle kıyaslandığında, çok ciddi şekilde devlet desteğine ihtiyaç duymaktadır. Devletin tarımda sağladığı desteği sadece doğrudan gelir veya kredi ile sınırlandırmamak gerekmektedir. Bu destekler çok çeşitli desteklerden oluşabilmektedir. Bunlar başlıklar halinde aşağıda sıralanmaktadır (Doğan, 2023):

- Dijital tarım ile ilgili uygulamalar,
- Çiftçilerin yönlendirilmesi ve eğitilmesi,
- Düşük faizli kredi olanağının sağlanması,
- Tarımsal AR-GE ile ilgili yasal adımların atılması,
- Sulama sistemlerinin geliştirilmesi ve su yönetimi.

Bu çalışmanın başlığını oluşturan dijital tarım ya da diğer adıyla Tarım 4.0 ile ilgili uygulamaların ekonomi üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerine yönelik çok önemli çalışmaların ve girişimlerin olduğunu belirtmek gereklidir. Bu duruma paralel olarak hem akademik çalışmalarda hem de hükümet politikalarında yapılan çalışmalarda artış olduğunu söylemek mümkündür (Ateş ve Şahin, 2021).

2015 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü ile Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından birlikte gerçekleştirilen Akıllı Tarım Fizibilite Projesi (AKTAR) ile Anadolu'nun farklı yerlerinde yetişen ürünlerde hassas tarıma yönelik birçok modelin geliştirmesi hedeflenmiştir. AKTAR projesinin temel ilk hedefi, akıllı tarım uygulamaları açısından hem gübreleme hem de sulama modellerinin geliştirilmesidir. Özetleyecek olursak, gerek AKTAR projesi, gerekse de diğer girişimler yardımıyla, Türkiye'de uzaktan algılanan sistemleri yardımıyla gübreleme, sulama ve tarımsal sorunların tespit edilmesi amaçlanmıştır (Sevli, 2023).

Tarımda çok ciddi ilerlemeler kaydeden ve Tarım 4.0 anlayışını uygulayan ülkelerde, tarım çok kapsamlı politikalar yardımıyla desteklenmektedir. Bilhassa küresel bakımdan artan nüfusun yiyecek ve içecek ihtiyacını karşılamak açısından, tarım konusuna son derece profesyonel bir şekilde yaklaşılması gerekmektedir. Gelişmiş ülkeler bilhassa gıda temini konusunda dışa bağımlı olmaktan kurtulmayı amaçlarken, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler ise, ülkelerine döviz girdisi sağlamak amacıyla dijital tarımın nimetlerinden yararlanmaya çalışmaktadırlar (Pakdemirli ve ark., 2021).

Geçmişte Türkiye için “kendi kendine yeten ülke” anlayışı ne yazık ki son 20 yıllık süreçte, bu anlayışını bilinçsiz tarım ve yanlış sulama, gübreleme ve benzer durumlardan ötürü yitirme aşamasına gelmiştir. Öyle ki bilhassa son yıllarda tahıl ve benzer ürünlerin dışarıdan ithal edilmesi Türkiye için kabul edilebilir bir durum değildir. Özellikle günümüzde bu durumun daha belirgin bir hale geldiğini söylemek mümkündür. Çünkü savaş halinde olan Rusya ve Ukrayna gibi ülkelere yapılan tahıl ithalatları sorunun ne denli büyük olduğunu çok açık göstergesidir (Sevli, 2023).

Tarımın mevcut durumunu iyileştirecek adımların atılmasında teknolojinin çok önemli bir yere sahip olduğu tüm çevreler tarafından kabul görmüştür. Maliyetlerin asgari düzeye indirilmesi, üretimdeki verimliliğin artırılması ve hem

üreticilere hem de çiftçilere bilgi ve teknik desteğin sağlanması gerekmektedir (Pakdemirli ve ark., 2021). Tüm bu hususlar zaten Tarım 4.0 kapsamında yer alan faaliyetlerdir. Dijital tarımın ülke sathında kabul görebilmesi için, genel olarak etkin bir kooperatifçilik anlayışının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Kooperatifçilik anlayışını sadece verimlilik ve daha fazla kar elde etmekle sınırlandırmamak gereklidir. Aynı zamanda üreticilerin ve çiftçilerin birbiri ile iletişimi ve etkileşimi açısından da önemlidir. Son yıllarda bu duruma yönelik iyimser adımlar atılmış olsa da, henüz tarımda söz sahibi ülkelerle boy ölçüşebilecek durumda olmadığını söylemek gereklidir. Her ne kadar tarım alanı bakımından Hollanda ve İsrail gibi tarımda söz sahibi ülkelerden çok daha fazla tarım alanına sahip olsa da, ülkemizin teknik bakımdan yeterli seviyede olmadığını söylemek mümkündür (Kılavuz ve Erdem, 2019).

Akıllı tarım, Tarım 4.0 ya da dijital tarımı Türkiye’de birçok firma çok ciddi bir şekilde desteklenmektedir. Örneğin Türk Telekom’un müşterilerine tarım ve hayvancılığa yönelik bazı uzaktan akıllı yönetim olanakları sağlamaktadır. Bir diğer Telekom şirketi olan Turkcell ise, Akıllı Tarım çözümleri ile müşterilerine birçok olanak sağlamaktadır. Örneğin seracılıkla ilgili takip uygulamaları, benzer şekilde kanatlı hayvanlar için kümes takibi uygulamaları dışında, küçük ve büyükbaş hayvanlarla ilgili olarak adım ve lokasyon takipleri dikkat çekici örnekler olarak göze çarpmaktadır (Ateş ve Şahin, 2021).

Gerek ülkemizde gerekse de küresel alanda boy gösteren telekom şirketlerinden biri olan Vodafone ise, “Çiftçi Kulübü” ile tarımda verimliliği ve tasarrufu öne çıkarak bu olanakları müşterilerine sunmaktadır. Özel sektör tarafından son yıllarda üretilen “Farmbot” adlı araçla, sulamadan ekime, sağlık analizinden kontrole varana dek pek çok işlem bir arada yapılabilmektedir. Su sorununun altından kalkılabilmesi için ise akıllı sulama sistemleri devreye girmeye başlamıştır. Özetleyecek olursak tarım sektörü, son yıllarda teknoloji ve inovasyona açık duruma gelmiştir (Kılavuz ve Erdem, 2019).

Türkiye’de yüksek teknolojili tarımın tam anlamıyla hayat bulması ve ülke sathına yayılması özel sektör ve devlet işbirliğinin artırılması gerektiğini belirtmek gereklidir. Tarım sektöründe boy gösteren kesimlerin gelirlerinin artırılması ve çiftçiliğin iş olarak nitelendirilmesi son derece önemlidir. Çünkü her geçen yılla birlikte ülkemizde çiftçi sayısı azalmaktadır. Ayrıca gençlerin kırsal alan yerine büyük kentleri tercih etmesi ve benzer sebeplerden ötürü, çiftçi sayısının her geçen yılla birlikte azaldığı çok açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum tüm kesimler

tarafından özenle dikkat edilen bir konudur. Özellikle son 10 yıllık süreçte gıdaya yönelik ithalatın artış göstermesi ile birlikte tehlike çanları da bu duruma paralel olarak çalmaya başlamıştır (Doğan, 2023).

Devlet tarafından dijital tarımın ülke sathında yayılması amacıyla ilk aşamada ihtiyaç duyulan yasal zeminin oluşturulması gerekmektedir. Tarım tüm aşamalarında (tohumlama, sulama, gübreleme vb.) üreticiler ve çiftçiler açısından girdi maliyetlerinin azaltılması gerekmektedir. Mevcut durumun geliştirilmesi için AR-GE yatırımlarının yapılması, tarımsal araştırmaların bilimsel bir zemine oturtulabilmesi için üniversitelere gereken desteğinde verilmesi gerekmektedir. Tarımda öncü durumdaki ülkelerle işbirliklerinin yapılması gerekmektedir. İsrail ile Türkiye arasındaki soğuk rüzgârlardan ötürü tarımda öncü olan bir diğer ülke olan Hollanda gibi ülkelerle işbirliklerinin geliştirilmesi de gereklidir. Yukarıda sözü edilen tüm bu olumlu adımların atılması neticesinde, Türk tarımının hak ettiği düzeye gelebileceğini söylemek mümkündür.

1.1.3.2. Dijital Tarım Teknikleri

Küresel alanda boy gösteren şirketler son yıllarda dijital tarıma yönelik hem ciddi adımlar atmaya hem de büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. Tarımdaki dijitalleşme sürecini yakından takip eden bu firmalar, pastadan pay kapmak ve süreci iyi değerlendirmeye çalışmaktadırlar. Tarım sektörünün kullanabileceği araç, gereç ve aletlerin son yıllarda çok ciddi gelişim kaydettiği tüm çevreler tarafından bilinen bir gerçektir. Hatta kontrol amaçlı olarak farklı türden birçok sensör kullanılmakta ve bu sensörler yardımıyla sürüdeki hayvanlar her zaman denetlenebilmektedir (Birişik, 2019).

Ünlü elektrikli ev eşyaları üreticisi olan Alman şirketi Bosch, zeytin ağaçlarının sulanması için kurulan sistemlerin denetimi ve ağaçların ihtiyaç duyduğu su miktarlarını tespit ederek buna göre sulama yapan sistemleri piyasaya sürmüştür. Bu ve buna benzer birçok yeni sistemlerin tarım sektöründe yoğun şekilde kullanılmaya başlamasıyla birlikte Tarım 4.0 kavramının, tıpkı Endüstri 4.0 ve 5.0'da olduğu gibi gelişebileceğini sinyali vermektedir (Günaydın, 2016).

Yukarıda sözü edilen yeni teknolojilere ek olarak, Tarım 4.0 denildiğinde kullanılan sistemler ve dijital teknolojiler aşağıda başlıklar halinde sıralanmaktadır (Bilim, 2022):

- Farklı işlevlere sahip olan robotlar,
- Dronlar,
- Dikey çiftlikler,
- Yapay zeka ve
- Güneş enerji sistemleri.

Yukarıda sıralanan dijital teknolojilerin tarımsal üretim amaçlı olarak sektöründe kullanılması, bilhassa üreticilerin ve çiftçilerin belini büken maliyetlerin azalmasına katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda ürün verimliliğinin artmasına da neden olmaktadır. Dijital teknolojiler özellikle kontrol ve denetim amaçlı bir şekilde yoğun olarak kullanıldığından, ürün kalitesini de doğrudan etkileyebilmektedir (Birişik, 2019).

1.1.3.3. Yapay Zeka, Dron ve Uzaktan Algılama

Tarımda İHA ve Dronlar, püskürtme, ilaçlama, gübreleme ve yaprak dökme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Klasik gübreleme, ilaçlama, yaprak döktürme ve püskürtme sistemlerinin, hedef dışı uygulamalardan ötürü maddi kayıplara neden olabilmektedir. Aynı zamanda maddi kayıp dışında, kimyasal kayıplara da neden olabileceğini söylemek mümkündür. Tarımda kayıpların en düşük düzeye indirilmesi amacıyla insansız hava araçları ve dronlardan yararlanılmaktadır (Grella ve ark., 2022).

Aşağıdaki Şekil 1.13'te pamuk bitkisine püskürtme amaçlı yaprak dökücü atan örnek bir dron görülmektedir.



Şekil 1.12. Hava tabanlı püskürtücüler (Denizedalan, 2019)

Yukarıdaki Şekil 1.13'te görüldüğü üzere, bir pamuk tarlasındaki yaprakların dökülmesi için dronlar elverişli bir şekilde kullanılmaktadır. Püskürtme işlemi yerden de yapılabilir. Dronlarla yapılan püskürtme işleminin ürün kalitesi ve verimliliği üzerinden dikkate alındığında, yerden yapılan işleme kıyasla daha elverişli olduğunu belirtmek gereklidir. İHA ve dronların her geçen yılla birlikte kullanım alanının genişlediğini söylemek mümkündür. Günümüzde birçok devlet kurumu ulaşılması zor noktalarda keşif, tespit ya da bir faaliyet gerçekleştirmek için dronlardan ve İHA'lerden sıkça yararlanılmaktadır. Tarım sektöründe de birçok alanda İHA ve dronlar elverişli bir şekilde kullanılmaktadır. Havadan görüntüleme, aşağıdaki Şekil 1.2'de olduğu gibi püskürtmede, topraktaki nem oranının saptanmasında ve daha pek çok iş için bu araçlardan yararlanılmaktadır. Drone'lar yardımıyla toprak analizi için haritalar yapılmakta ve izleyen faaliyetler (ekim, sulama, gübreleme vb.) için üreticiler ve çiftçiler planlama yapabilmektedirler (Denizedalan, 2019).

Benzer durum hasat için de geçerlidir. Ancak bu işlem günümüzde düşük düzeyde yapılırsa da, yapan kesimin memnuniyetinden ötürü ilerleyen yıllarda artış kaydetmesi beklenmektedir (Bilim, 2022). Her ne kadar hasat işleminde dron kullanımı düşük düzeyde olsa da, aşağıdaki Şekil 1.14'de otonom hasat toplama dronu görülmektedir.



Şekil 1.13. Hasatta kullanılan örnek dron (Özgüven ve ark., 2022)

Tarımda dron ve İHA kullanımının birçok yararı bulunmaktadır. Ancak bazı zararları da olduğunu belirtmek gerekmektedir. Aşağıdaki Şekil 1.15’te tarımda dron kullanımının yararları ve zararlarının yer aldığı bir görsel yer almaktadır.

✓ Avantajlar	X Dezavantajlar
- Arazi verilerinin daha hızlı ve kolay bir şekilde toplanması sağlanır, - Saha araştırmalarında insan iş gücü yerine kullanılarak harcanan zaman azaltılır, - Tarım araçlarının uygulama yapamayacağı engebeli arazilerde kullanılabilir, - Alçak irtifada uçuş yeteneği sayesinde bitkilerin yüksek uzamsal çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesini sağlar, - Tarımsal araçların tükettikleri yakıtların maliyetleri ve oluşturmuş olduğu çevresel zararları azaltılır, - İlaç kullanımı ve enerji kullanımlarında tasarruf elde edilir, - İnsan işgücü kullanımında oluşacak yaralanmalar, ciddi sağlık sorunların önüne geçilir.	- Sulamada kullanılamaz, - Normal tarım makinelerin yaptığı büyüklükte iş yapamaz, - Olumsuz hava şartlarında kullanımı kısıtlıdır, - Veri güvenliği (hacking, elektromanyetik girişim, sinyal kaybı), gizlilik ve mahremiyet ihlali gibi sorunlar içerir, - Farklı ülkelerin, drone'ların tarımda kullanımına ilişkin kendi kısıtlayıcı çerçeveleri (yasal belirsizlik) bulunur, - En büyük problem pil süresinin yetersiz olmasıdır.

Şekil 1.14. Tarımda dron kullanımının yararları ve zararları (Syifa ve ark., 2020)

Akıllı sulama sistemleri, Tarım 4.0 kapsamında en önemli faaliyetlerden biri olarak göze çarpmaktadır. Aynı zamanda tarım alanları açısından sulama

programlarının ve çalışma sürelerinin otomatik bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Akıllı sulama sistemleri, sulama ekipmanları olan yağmurlama ya da damlama sulama cihazları yardımıyla tarlaların nem ile ilgili koşullarını saptadıktan sonra sulama kontrol cihazlarını birleştirmektedir. Sistem, havadaki sıcaklık değerlerini, yağış durumunu, rüzgar yönü ve şiddetini, toprağın nemini dikkate alarak sulama işlemini gerçekleştirmektedir (Davis ve Dukes, 2012). Akıllı sulama sistemlerinin temel amaçlarından biri, çiftçilerin ve üreticilerin su kullanımını otomatik bir şekilde ve en iyi ayarlamalarına olanak sağlamaktadır. Ayrıca sulama suyunun bitki açısından hangi zamanda uygun olacağına yönelik üreticileri ve çiftçileri uyarmaktadır. Bilindiği üzere, yanlış sulama sistemlerinden ötürü çok ciddi üretim kayıpları söz konusudur. Aynı zamanda doğrudan mali bir yük getirmektedir. Akıllı sulama sistemleri bu sorunların önüne geçerek verimliliğe ve tasarrufa çok ciddi katkı sağlamaktadır (Babayiğit ve Büyükpatpat, 2019).

Otomasyon üniteleriyle gerçekleştirilen akıllı sulama işlemi, üreticinin ya da çiftçinin tercihinine paralel bir şekilde öngörülen zamanda ya da bitkinin su ihtiyacına göre yapılmaktadır. Bitkinin su ihtiyacının tespitinde ise, toplam su miktarı dikkate alınmaktadır. Toplam su miktarının baz alınmasıyla birlikte ortaya bitkinin su ihtiyacı çıkmaktadır. Sistem bu aşamada devreye girmekte ve otomatik bir şekilde sulama işlemini gerçekleştirmektedir (Taştan, 2019).

Akıllı sulama sistemlerinin kullanım olanakları açık tarlalarla ya da arazilerle sınırlı değildir. Aynı zamanda topraksız veya topraklı seralarda da bu sistem elverişli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler, yukarıda da belirtildiği üzere, su tasarrufu açısından son derece etkili sistemlerdir. Ayrıca bitki besleme ile ilgili ürünleri ve ihtiyaç duyulan ilaçlarında eşzamanlı bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır (Gavrilescu, 2021). Aşağıdaki Şekil 1.16'da bu durumla ilgili bir görsel yer almaktadır.

Dukes (2012) tarafından yapılan çalışmada, akıllı sulama sistemlerinin, geçmişteki klasik sulama anlayışına kıyasla daha verimli olduğu saptanmıştır (Dukes, 2012). Kumar ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada da, akıllı sulama sistemlerinin sulama suyunu %40'a kadar tasarruf ettiği, su kalitesini iyileştirdiği ve işlemin daha hızlı bir şekilde yapıldığı saptanmıştır (Kumar ve ark., 2014).



Şekil 1.15. Akıllı sulama sisteminin eşzamanlı uygulamaları (Bilim, 2022)

Bitkinin gelişim evresine uygun bir şekilde suya ihtiyaç olduğunda uygulanırken, diğer yandan bitkinin ihtiyaç duyduğu su ve besin maddelerini de tam zamanında uygulayarak bitkinin gelişimine de çok ciddi katkı sağlamaktadır. Bu durum hem verimlilik hem de ürün kalitesinde artışa neden olabilmektedir (Bilim, 2022).

Akıllı gübreleme sistemleri, ürün ile ilgili döngüleri dikkate alarak, bitkinin köklerine su ve besin bileşimi sağlamaktadır. Bir bakıma kök bölgesi yönetim aracı olarak kullanılmaktadır. Akıllı gübreleme sistemleri, üreticileri ve çiftçileri yeraltı suyu kirliliğinden de koruyabilecek özelliğe sahiptir. İşlemlerin otomatik bir şekilde yapılması, üreticinin gerek gübrelemeye gerekse de sulamaya daha az zaman harcamasını sağlamaktadır (Ardakani, 2010). Bitkilere eşit bir şekilde su ve gübre dağılımı sağlamaktadır. Ayrıca gelişmiş alarm kontrolü ile beklenmedik bir durumla karşılaşılması halinde gereken müdahaleyi yaparak bitkinin zarara uğramasını önlemektedir (Kim ve ark., 2006).

Akıllı gübreleme sistemleri olduğu gibi, akıllı gübrelerde vardır. Örneğin nanogübreler, akıllı gübrelerden biridir. Bu gübreler, klasik mineral içerikli gübrelere kıyasla besin kullanımına yönelik verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Çevre dostu olarak da nitelendirilen bu nanogübreler, çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak

amacıyla geliştirilmiştir (Manjunatha ve ark., 2016). Polimerlerde akıllı gübreler kapsamına girmektedir. Bilhassa tarımda gübre geliştirme amaçlı olarak polimerlerin kullanıldığı bilinmektedir. Petrol bazlı ve benzeri polimerler suda çözünür gübreleri kapsülleme amacıyla da kullanılmaktadır (Maes ve Steppe, 2019).

Akıllı seralar, günümüz çiftçiliğinde konforlu ve güvenilir ürün yetiştirmenin yeni bir yolu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün yetiştirme amacıyla sera içerisinde kurulan otomasyon, üreticilere ve çiftçilere büyük kolaylık sağlamaktadır. Akıllı seracılık faaliyetleri, uzmanlık bilgisinin organize bir zekâyâ dönüştürülmesidir. Akıllı seralardaki otomasyon sistemleri, verileri toplamakta, kullanmakta ve nitelikli ürünün yetiştirilmesi için tüm koşulları sağlayabilmektedir (Karaköy ve Çilesiz, 2022). Akıllı seralar bilhassa ortamdaki ısı dengesini korumakta, bitkilerin kendilerini doğal bir hissetmesini sağlamaktadır. Bitkilerin sağlıklı şekilde büyümeleri gözlemlendiğinden, gerektiğinde müdahale edilmesine olanak sağlanmaktadır. Ayrıca pH dengesi, radyasyon ve karbondioksit oranlarını da dengelemek amacıyla otomatik havalandırma ve nemlendirme sistemi devreye girerek gereken işlemler yapılabilmektedir (Dayıoğlu ve ark., 2016).

Yukarıdaki bilgilere ek olarak aşağıda yer alan Şekil 1.6'da bir akıllı sera örneğinin görseli yer almaktadır.



Şekil 1.16. Akıllı sera örneği (Bilim, 2022)

Bu tip seraların “Akıllı” olarak nitelendirilmesinde sensörlerin büyük paya sahip olduğunu belirtmekte yarar vardır. Çünkü sensörler, algılayıcı olarak işlev gördüğünden sensörler tarafından elde edilen bilgiler sera açısından üreticilere ve çiftçilere yol gösterici niteliktedir. Bu tip seralardaki dijital sistemlere çiftçiler ve üreticiler uzaktan müdahale edilebilmektedir (Slathia ve ark., 2018). Ayrıca seradaki mevcut durum gözlemlenerek, hazırlanan raporlar doğrultusunda hem ürün performansı hem de işletim maliyetlerinin optimize edilmesine de olanak sağlayabilmektedir. Ülkemizde de son yıllarda bilhassa Akdeniz Bölgesi’ndeki seralarda akıllı otomasyon sistemlerinin kullanımının arttığını belirtmek gereklidir (Karaköy ve Çilesiz, 2022).

Akıllı tarım uygulamalarını yalnızca çiftliklerle sınırlandırmamak gereklidir. Çünkü akıllı tarım kapsamına birçok faaliyet girmektedir. Örneğin lojistik faaliyetinden servis hizmetine varana dek bir hayli geniş olduğunu belirtmeliyiz. Akıllı tarım ile ilgilenen üretici ve çiftçilerin komple çiftlik yönetim sistemine sahip olması işlerini kolaylaştıracaktır. Akıllı çiftlik yönetim sistemlerinin üreticilere çiftçilere sağlayacağı kolaylıklar aşağıda sıralanmaktadır (Bilim, 2022):

- Toprağın analizi,
- Otomatik dümenleme ile ekim,
- Gübreleme ve ilaçlama uygulamalarının zamanlanması,
- Sensörler yardımıyla ölçüm ve değerlendirme olanağı,
- Güncel verim haritasının çıkarılması ve çıkarılan bu verim haritaları yardımıyla verimliliğin kıyaslanması,
- Takip sistemli lojistik olanağı,
- Depolama ve satış sonrası hizmetlerinin bir bütün olarak uygulanması.

1.1.4. Literatürde Yer Alan Benzer Çalışmalar

İnsan nüfusunun artması ve talebin karşılanabilmesi için tarım alanlarında teknoloji kullanımının son 20 yıllık süreçte arttığı tüm çevreler tarafından bilinen bir gerçektir. Tarım sektöründe son yıllarda “Tarım 4.0” kavramının daha fazla öne sürülmesi ve dijital teknolojilerin geçmişe kıyasla daha fazla yaygınlaşmasından sonra çok ciddi değişimlerin ve dönüşümlerin yaşandığını söylemek mümkündür (Ciani ve ark., 2021).

Dijital tarım teknolojileri ile ilgili olarak ilk adımlar milenyum ile birlikte atılmaya başlanmıştır. Bilhassa sanayi alanında birçok yeniliğe imza atmış olan Almanya 2000 yılında “Tarımın Geleceği Girişimi” adlı bir programı uygulamaya

koymuştur. 2000 yılından günümüze kadar olan süreçte tarımda dijital teknolojileri kullanımının çok ciddi şekilde gelişim kaydettiğı görölmektedir. Dijital tarım yöntemlerinin temel amacı ise, üreticilerin verimlilik ve üretkenliklerini artırmaları amacıyla hem hizmetleri geliştirmek hem de teşvik etmektir (Ramos ve Pedroso, 2021).

Tarımda dijital teknolojilerinin kullanılması ve geliştirilmesi bilhassa üreticiler ve çiftçiler açısından son derece önemlidir. Çünkü tarımda dijital teknolojilerinin kullanılması ve geliştirilmesi, çiftçilere ve üreticilere verimlilik olarak yansıyabilecektir. Aynı zamanda sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Bilindiğı üzere son yıllarda küresel bir tehdit olarak nitelendirilen “iklim değışikliği” ve “küresel ısınma” kavramları sıkça kullanılmaktadır (Beck, 2020).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan bazı çalışmalarda mercimeğe farklı konsantrasyonlarda ve hem birbirinden farklı hem de birbirlerine karıştırılarak makro ve mikro elementler uygulanmış ve tane verimi üzerinde etkili olduğu saptanmıştır (Singh ve Nayyar, 1994). Başka bir çalışmada da mercimeğe %1 oranında $MnSO_4$ 'ın yaprakтан uygulanmasının kuru madde miktarı üzerinde olumlu etki yarattığı saptanmıştır (Gangwar ve Singh, 1994).

Gübrede yer alan çinkonun birçok enzim üzerinde düzenleyici role sahiptir. Nükleik asit sentezi, klorofil ve karbonhidrat üretiminde kullanılmaktadır. Aynı zamanda auxin adlı bitki hormonunun metabolizmasında da kullanılan nükleik asit sentezi, bitki beslemede başrole sahiptir. Bu durumla ilgili olarak geçmişte yapılan bir çalışmada, yaprakтан gübre uygulamasının mercimekte birim alan tane verimini ortalama olarak %58 gibi çok büyük bir oranda arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca potasyum, azot ve fosfor dışında eklenen çinko, demir, mangan ve bakır elementlerinin ilavesiyle verim artışının sürdüğü tespit edilmiştir (Khanal ve ark., 2010). Bu durumu destekleyen bir diğer çalışmada da benzer bulgular saptanmıştır. Örneğin yaprakтан gübre uygulamasının gerek makro gerekse de mikro bitki besin elementlerinin birim alan tane verimini ciddi şekilde arttırdığı tespit edilmiştir (Zabunoğlu ve Karaçal, 1992).

Karaçal (2015) tarafından yapılan çalışmada, mercimek (*lens culinaris medik.*)'te topraktan ve yaprakтан Fe ve Zn mikro element uygulamasının verim ve tanede mikro besin elementi içeriğine etkisi incelenmiştir. Karaçal (2015), toprağa Zn ve Fe sülfat uygulamasının kontrol parsellerine göre etkisi genelde olumsuz olduğunu saptamıştır. Ancak yaprağa çinko ve demir uygulanmasında bütün karakterlerde olumlu değişimler gözlemlenmiştir. Fırat-87 çeşidinde bütün çinko dozlarında bitkiler kontrole göre %8 daha uzun boylu ve kontrole göre tane verimi daha yüksek olmuştur. Yaprağa %0.30 dozunda demir sülfat uygulanması, kontrole göre bitki boyunu önemli şekilde arttırmıştır. Yaprağa kontrol ve %0.30 demir sülfat uygulandığı zaman çeşitlerin tane verimleri doz uygulamalarından farklı şekilde etkilenmiştir. %0.30 demir sülfat uygulanan bitkilerde Çiftçi, Tigris ve Kafkas çeşitleri kontrol değerlerine göre %189, %164 ve %121 daha fazla tane verimi sağlamışlardır.

Öktem (2019) tarafından yapılan çalışmada, kurak koşullar altında farklı çinko düzeylerinin kırmızı mercimeğin tane verimi ve bazı fenolojik özellikleri

üzerine etkileri incelenmiştir. Öktem (2019) tarafından yapılan bu çalışma 2 yıl sürmüştür. 2 yıllık saha çalışmaları sonucunda Zn gübrelemesinin Zn noksanlığı olan bölgelerdeki kuru koşullar altında mercimeklerde birim alandan alınan tane verimini arttırdığı tespit edilmiştir. En yüksek tane verimi ve ekonomik Zn düzeyi 15 kg/ha Zn düzeyi ile elde edilmiştir.

İlkel bir biçimde ve bilinçsiz olarak yapılan uygulamaların önüne geçilmesi için akıllı teknolojilerden yararlanılmaktadır. Bu bakımdan tarımda dijital teknolojilerin kullanımının zararlı çevresel etkilerin de azaltılmasına yardımcı olacağını söylemek mümkündür. Böylece akıllı teknolojilerin almış olduğu doğru kararlar ile soruna neden olan unsurlar ortadan kaldırılmaktadır (Fukatsi ve Nanseki, 2009).

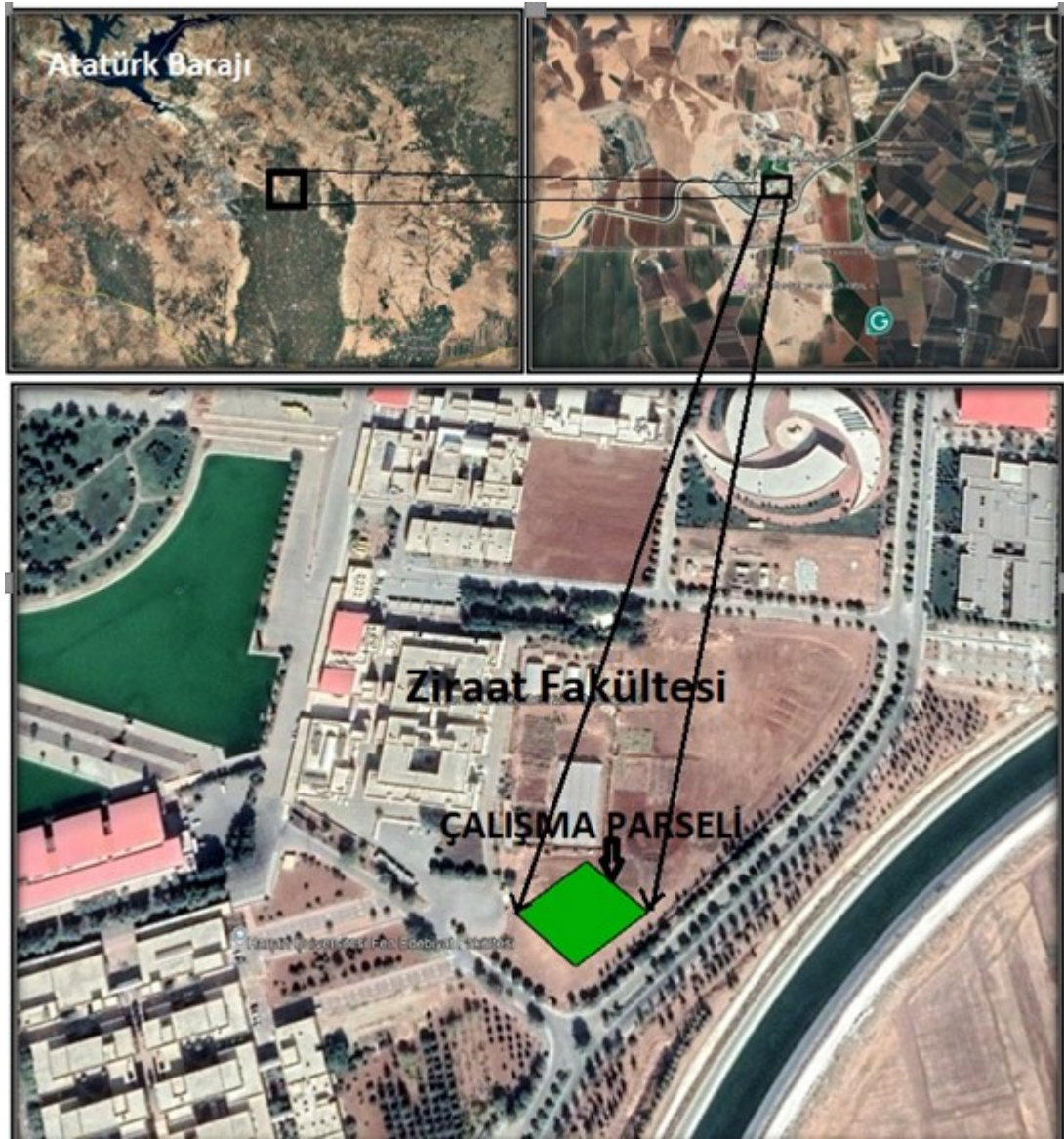
Mercimek bitkisinin büyüme dönemlerinde ve toprak besin elementlerinin yetersiz olduğu zamanlarda yaprak gübrelerinin kullanılması gerekmektedir (Jakli ve ark., 2016). Mercimek bitkisi için molibden uygulaması, kısır topraklarda kök nodüllerini artırmaktır. Böylece azot fiksasyon sürecini geliştirmek ve toprak verimliliğini artırmak amacıyla önerilen uygulamalardan biri olarak dikkat çekmektedir (Nayak ve ark., 2023).

Çinkonun yaprak uygulaması da tahıldaki verimi, proteini ve çinko konsantrasyonunu artıran etkili bir gübreleme stratejisi olarak nitelendirilmektedir (Ram ve ark., 2024). Kuraklık ve ısı stresi söz konusu olduğundan birden daha çok faktörün farklı roller oynayabileceği, yarı kurak ortamlarda mercimek verimliliği için hangi yaprak gübreleme stratejisinin en etkili olduğu hala belirsizliğini korumaktadır (Zorb ve ark., 2014).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Alanı ve iklim Koşulları

Araştırma, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma ve uygulama alanlarında, X=500235-500303, Y=4113690-4113635 koordinatları arasında yer alan alanda yürütülmüştür (Şekil 3.1).

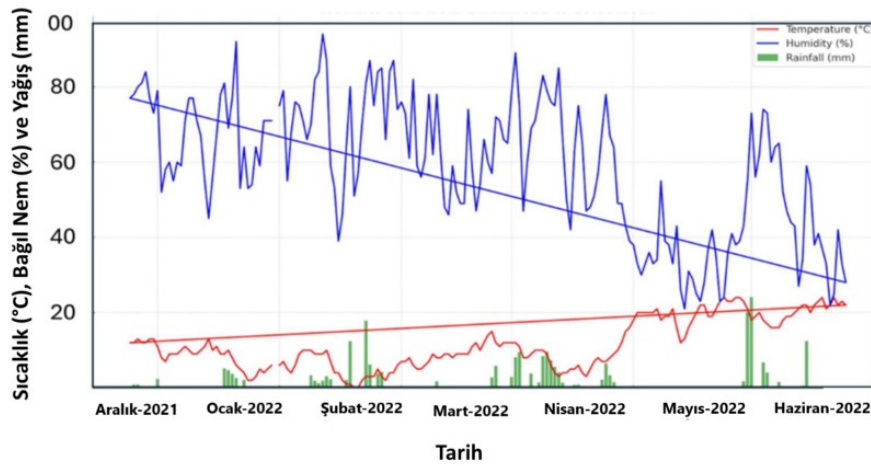


Şekil 3.1. Çalışma alanı

Araştırma, yağmurlama sulama metodu ile sulanan ve buğday-arpa-mercimek ürün rotasyonunun uygulandığı tarım arazisinde yürütülmüştür. Deneme alanı, ortalama yıllık sıcaklığın 17°C ve ortalama yıllık yağmur miktarının 365 mm olduğu, yarı kurak iklim koşullarına sahiptir. Yağışlar genellikle Kasım ile Nisan ayları

arasında yoğunlaşmakta ve bitki gelişiminde kritik öneme sahip nemin sağlanmasına katkı sunmaktadır.

Deneyssel uygulama dönemi olan 24 Kasım 2021 ile 25 Mayıs 2022 tarihleri arasında, toplam yağış miktarı 248 mm, ortalama sıcaklık 12 °C ve ortalama bağıl nem %59 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler, denemenin yürütüldüğü dönemde toprak–bitki–iklim etkileşimini anlamak adına önemli göstergeler sunmaktadır. Günlük sıcaklık, nem ve yağış verileri Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2. 24 Kasım 2021-25 Mayıs 2022 tarihleri arasındaki ortalama günlük sıcaklık (°C), bağıl nem (%) ve günlük yağış (mm) verileri

Toprak analiz sonuçlarına göre, ekim öncesinde diamonyum fosfat (DAP) formunda 50 kg da⁻¹ oranında taban gübre uygulanmıştır. Deneme alanının toprak özellikleri, bitki besleme ve gübreleme planlaması açısından kritik öneme sahip olup, Çizelge 3.1’de detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme alanının temel toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri

	pH	EC (dS m ⁻¹)	Total N (%)	Toplam Organik C (%)	NH ₄ ⁺ – N (mg N kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg N kg ⁻¹)	San d (%)	Silt (%)	Clay (%)
Toprak	7.5	1.15	0.10	0.87	3.03	10.71	20.5	29.5	50.0

3.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali

Denemede kullanılan mercimek materyali, imazamox herbisitine toleranslı bir genotip olup, yaygın olarak yetiştirilen ‘Fırat-87’ çeşidinden türetilmiştir.

3.3. Dijital Tarım Tekniklerinin Kullanımı

Bitkilerin yaprak klorofil içeriğini belirlemek amacıyla SPAD 502 klorofil ölçer cihazı kullanılmıştır. SPAD ölçümleri gübre uygulamasını takiben 7., 14., 21., 29. ve 38. günlerde gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sayesinde yaprak besin durumunun zaman içindeki değişimi izlenmiştir.

Bitki örneklerinde toplam azot miktarı, klasik Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiş olup, analizler Bremner ve Mulvaney (1983) tarafından tanımlanan protokole göre yürütülmüştür.

3.4. İstatiksel Analiz Yöntemleri

Denemeden elde edilen tüm nicel veriler, farklı yaprak gübreleme uygulamalarının mercimek bitkisinin agronomik ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. İlk olarak, uygulamalar arasındaki varyasyonları ortaya koymak için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizinde %5’lik anlamlılık düzeyi ($p < 0.05$) esas alınmış ve gruplar arası farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu durumlarda, ortalamaların karşılaştırılması için Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi (DMRT) uygulanmıştır.

Analizler IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Veriler, normal dağılıma uygunluk açısından ön kontrol testlerinden geçirilmiş; gerek duyulan değişkenlerde logaritmik ya da karekök dönüşümleri uygulanarak varyans homojenliği sağlanmıştır.

Ek olarak, bazı bitkisel parametreler (örneğin SPAD değeri, biyokütle, tane verimi ve N içeriği) arasında doğrusal ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Bu analizler, belirli değişken çiftleri arasında pozitif veya negatif yönlü güçlü ilişkilerin varlığını ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı (r) ile değişkenler arası ilişkinin yönü ve şiddeti yorumlanmıştır.

Denemenin çıktıları arasındaki etkileşimlerin tahmin edilebilmesi ve bağımlı-değişken ilişkilerinin modellenmesi amacıyla, özellikle tane verimi ve azot içeriği

gibi ana çıktılar için basit doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Gerekli durumlarda, bağımsız değişken sayısının artması ile birlikte çoklu regresyon modelleri de oluşturularak modelin açıklayıcılığı (R^2 değeri) ve anlamlılığı test edilmiştir.

Tüm bulgular grafiklerle desteklenmiş; özellikle ortalama karşılaştırmalar için sütun grafikler, zamana bağlı gelişim verileri (örneğin SPAD değeri değişimi) için çizgi grafikler, korelasyonları görselleştirmek için korelasyon matrisi (ısı haritası) ve regresyon sonuçları için dağılım grafikleri (scatter plot) hazırlanmıştır. Grafikler Microsoft Excel ve/veya GraphPad Prism gibi destekleyici yazılımlar aracılığıyla oluşturulmuştur.

Bu bütüncül analiz yaklaşımı sayesinde hem gübreleme uygulamalarının doğrudan etkileri hem de parametreler arası ilişkiler ortaya konmuş, yorum gücü artırılmıştır. Ayrıca verilerin görsel olarak sunulması, sonuçların anlaşılabilirliğini ve karar destek süreçlerine katkısını güçlendirmiştir.

3.5. Deneme Deseni ve Uygulamalar

Tohum ekimi 24 Kasım 2021 tarihinde gerçekleştirilmiş olup, ekim sıklığı 250 tohum/m² olarak belirlenmiştir. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine uygun şekilde üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her parsel, 5 m uzunluğunda 12 sıradan oluşmuş, sıra aralığı 0,20 m olacak şekilde düzenlenmiştir. Parseller arası 0,50 m ve bloklar arası 1,0 m mesafe bırakılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, mercimek (*Lens culinaris* ssp. *medik.*) bitkisine yönelik yaprak gübreleme uygulamaları, 24 Kasım 2021 tarihinde kurulan bir deneme ile yürütülmüştür. Deneme, rastgele bloklar deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak tasarlanmıştır.

Yaprak gübreleme işlemleri, bitkinin ilk çiçeklenme döneminde (8 Nisan 2022) gerçekleştirilmiştir. Toplam yedi farklı uygulama grubu belirlenmiştir: bir kontrol uygulaması ve altı farklı yaprak gübre kombinasyonu. Uygulamalar aşağıda belirtildiği şekilde planlanmıştır:

- Kontrol: Yaprak gübresi uygulanmayan, standart üretim koşullarındaki parseller.
- Flo: %2 bor (B) ve %0,02 molibden (Mo) içeren Florea/UPL preparatı (2 L ha⁻¹).

- Mac: %6 N, %3 P₂O₅, %3 K₂O ve mikro besin elementleri içeren organo-mineral Macarena2/UPL gübresi (2 L ha⁻¹).
- Flo + Mac: Flo ve Mac ürünlerinin her biri 2 L ha⁻¹ dozda birlikte uygulanmıştır.
- K: %0,5 potasyum sülfat (K₂SO₄) içeren çözeltinin yapraktan uygulanması.
- Zn: %0,5 çinko sülfat heptahidrat (ZnSO₄·7H₂O) içeren çözeltinin yapraktan uygulanması.
- Zn + K: %0,5 ZnSO₄·7H₂O ve %0,5 K₂SO₄ içeren karışım çözeltisi (toplam tuz konsantrasyonu %1).

Uygulamalara ilişkin detaylar Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Yaprak gübresi uygulamaları ve uygulama dozları

Uygulamalar	Kısaltmalar	İçerik	Gübre Dozları
Florea	Flo	%2 EC Boron ve %2 molibden	2 L ha ⁻¹
Macarena	Mac	Organo-mineral Fertiliser with NPK	2 L ha ⁻¹
Florea + Macarena	Flo + Mac	-	2 L ha ⁻¹ (ürün başına)
Potasyum sülfat	KS	K ₂ SO ₄	Çözeltide 0.5% K ₂ SO ₄
Çinko sülfat	Zn	ZnSO ₄	Çözeltide 0.5% ZnSO ₄ -7H ₂ O
Çinko sülfat + potasyum sülfat	Zn + K	ZnSO ₄ + K ₂ SO ₄	Çözeltide 0.5% ZnSO ₄ -7H ₂ O + 0.5% K ₂ SO ₄
Kontrol	-	-	-

Yaprak gübre uygulamaları, sırt tipi ve Ti-jet nozullu püskürtücü kullanılarak sabah saatlerinde rüzgârsız koşullarda yapılmıştır.

3.6. Ölçülen Özellikler ve Veri Toplama Yöntemi

Mercimek bitkileri, fizyolojik olgunluk evresine ulaştığında 25 Mayıs 2022 tarihinde tamamen elle hasat edilmiştir. Hasat edilen tüm bitki materyali, biyokütle ve tane verimi hesaplamaları için değerlendirilmiştir. Aynı zamanda her parselden alınan alt örneklerle, azot içeriği analizleri yapılmak üzere örnekleme gerçekleştirilmiştir.

Yaprak gübresi uygulamalarının etkilerini belirlemek amacıyla gübrelemeden sonra 14., 29. ve 38. günlerde bitki örnekleri toplanmıştır. Toplanan örnekler; sap, yaprak ve çiçek/bakla gibi yukarıdan yere doğru sıralanmış bitki organlarına ayrılmış ve taze ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra bu örnekler, 70 °C sıcaklıkta 48 saat süreyle kurutularak kuru madde miktarları hesaplanmıştır.

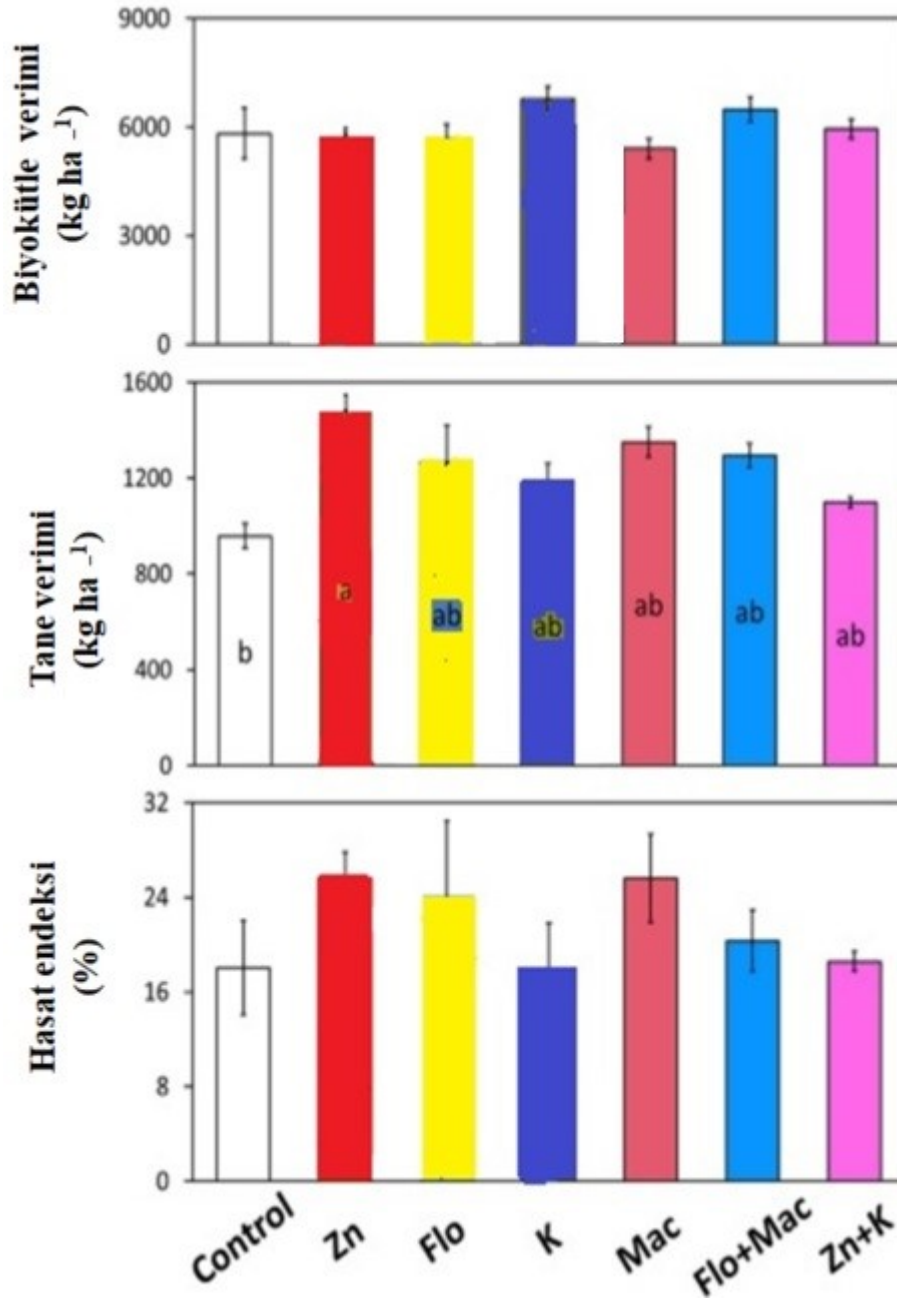
4. BULGULAR

4.1. Bitki Biyokütlesi, Tane Verimi ve Hasat İndeksi

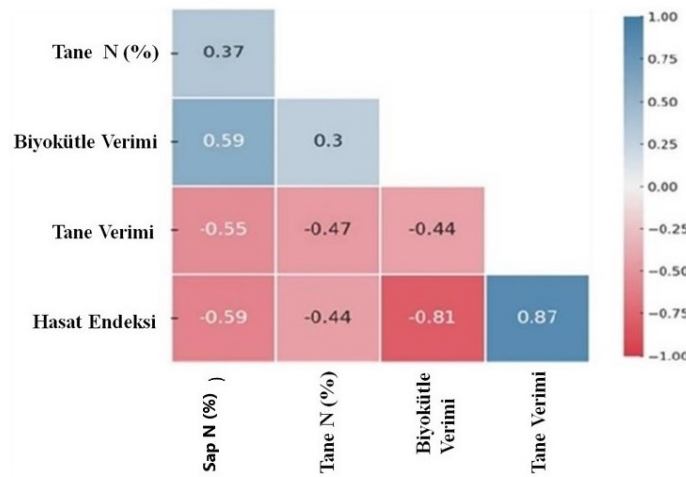
Mercimek bitkisinde uygulanan yaprak gübrelemeleri, toplam biyokütle verimi, tane verimi ve hasat indeksi üzerinde farklı düzeylerde etki göstermiştir. Şekil 4.1'de yer alan bulgulara göre toplam biyokütle verimi 5,4 ile 6,8 t ha⁻¹ arasında değişmiş, en düşük değer Mac uygulamasında, en yüksek değer ise K uygulamasında kaydedilmiştir. Ancak bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır, bu da yaprak uygulamalarının genel biyokütle üretimi üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Tane verimi açısından en dikkat çekici artış, Zn uygulamasında gözlenmiş ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Zn uygulaması, kontrol grubuna göre %55 oranında daha yüksek tane verimi sağlamış ve bu durum, çinko uygulamasının mercimek verimini artırmadaki potansiyelini ortaya koymuştur. Zn + K kombinasyonunda ise artış daha az belirgin olup bu durum, potasyumun Zn etkisini sınırlayabileceğini düşündürmektedir.

Hasat indeksi incelendiğinde, Zn, Flo ve Mac uygulamaları kontrole kıyasla daha yüksek değerler göstermiştir. Bu farklar istatistiksel olarak anlamlı olmasa da, biyokütlenin taneye tahsisinde bu uygulamaların olumlu etkileri olduğu anlaşılmaktadır. Hasat indeksi ile tane verimi arasında güçlü bir pozitif korelasyon ($R^2 = 0.87$) bulunmuş (Şekil 4.2), bu da uygulamaların özellikle tahıl üretimine yönelik kaynak kullanımını artırdığını göstermektedir.



Şekil 4.1. Yaprak gübresi uygulamalarının bitki biyokütlesi, verim ve mercimeğin hasat indeksi üzerindeki etkisi

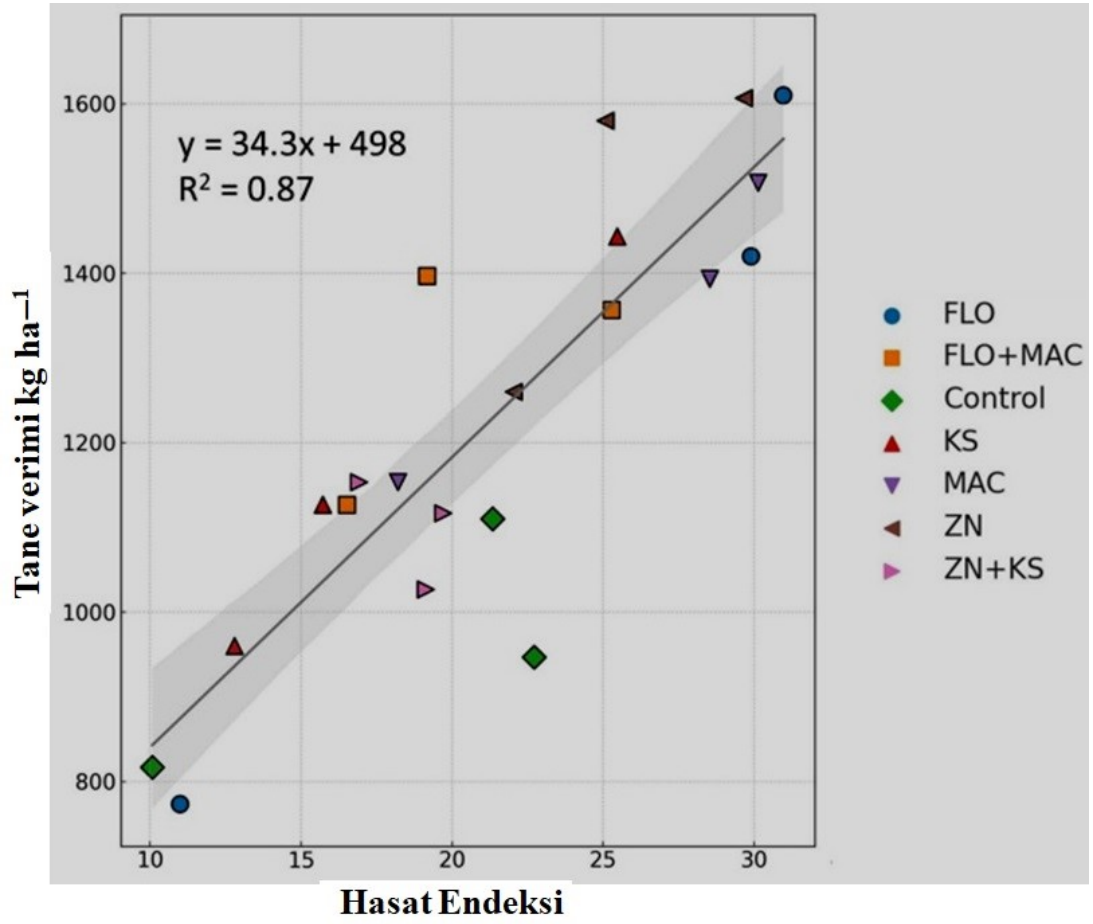


Şekil 4.2. Çalışmada son hasat tarihinde ölçülen değişkenler (Sap N içeriği (%), tane N içeriği (%), tüm biyokütle verimi (kg/ha), tane verimi (kg/ha) ve hasat endeksi (%) arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

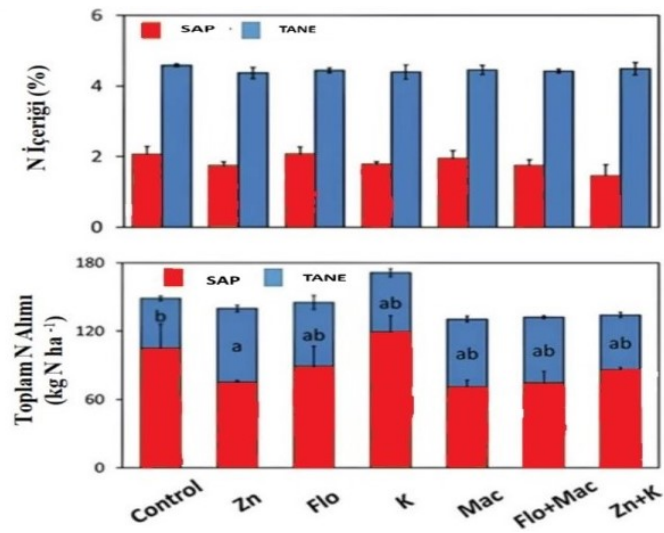
4.2. Tahıl ve Saman Azot İçerikleri

Tahıl ve samanın ortalama toplam azot (N) içerikleri sırasıyla 4.45 ± 0.06 ve 1.88 ± 0.08 olarak belirlenmiştir. Uygulamalar arasında azot içeriği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir (Şekil 4.4). Toplam azot alımı, K uygulamasında en yüksek (171 ± 14 kg N ha⁻¹), Mac uygulamasında ise en düşük (131 ± 6 kg N ha⁻¹) düzeyde gerçekleşmiştir.

Tane verimi ile toplam N alımı arasında paralellik gözlenmiş, Zn uygulamasında yüksek verim nedeniyle tahıl toplam N alımı kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde artmıştır (65 ± 3 kg N ha⁻¹ vs. 44 ± 2 kg N ha⁻¹). Tahıldaki azot birikiminin artması, verim artışının aynı zamanda besin değerinde de iyileşmeye yol açtığını göstermektedir. Öte yandan, sap N içeriği ile tane verimi arasında negatif korelasyon ($R^2 = -0.55$) belirlenmiş (Şekil 4.3). Bu durum, asimilatların ve N'nin saptardan tanelere daha verimli aktarıldığını düşündürmektedir.



Şekil 4.3. Mercimek tanesi verimi, hasat indeksi ve tüm bitki biyokütlesi arasındaki korelasyon

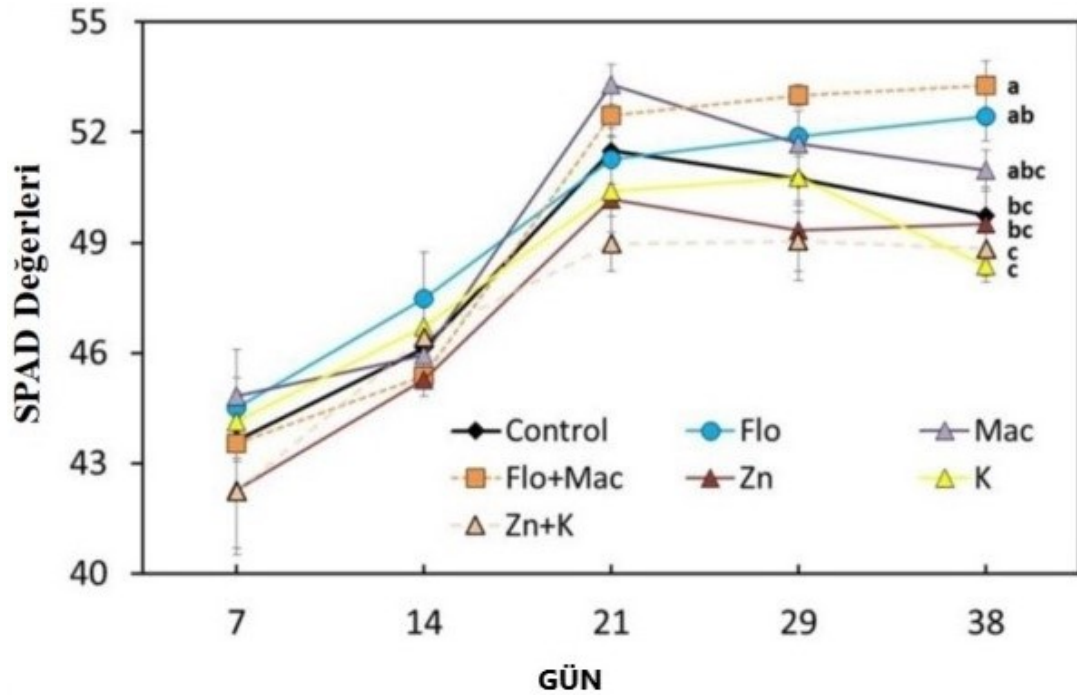


Şekil 4.4. Farklı uygulamalar altında sap ve tohumdaki toplam N ve N alımı (Sözen ve Karadavut, 2017).

4.3. Klorofil İçeriği (SPAD Değeri) ve Vejetatif Gelişim

Klorofil içeriğini gösteren SPAD değerleri, deney süresince 21. güne kadar artış göstermiş ($43,6 \pm 0,7$ 'den $51,2 \pm 0,8$ 'e) ve ardından çoğu uygulamada düşüş eğilimi sergilemiştir. Ancak Flo + Mac uygulaması bu eğilimi kırarak hasada kadar sabit kalmıştır (Şekil 4.5). SPAD değerleri sıralamasında Flo + Mac uygulaması en yüksek, K uygulaması ise en düşük değeri göstermiştir. Kontrol uygulaması, orta düzeyde bir değer sergilemiştir. Sadece Flo + Mac uygulaması, SPAD değeri açısından kontrol uygulamasından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

SPAD verileri, Flo ve Flo + Mac uygulamalarının vejetatif büyümeyi sezon sonunda desteklediğini gösterirken; Zn ve K uygulamalarındaki SPAD düşüşü, kaynakların generatif organa (tane) aktarımıyla açıklanabilir.



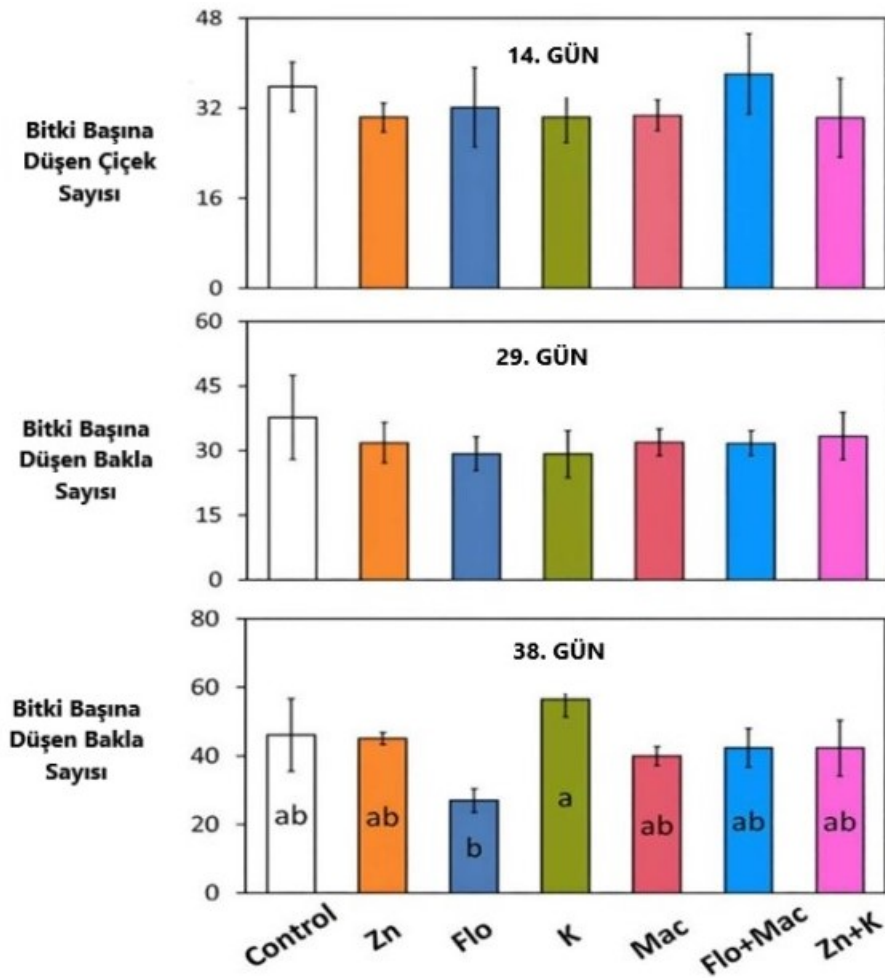
Şekil 4.5. Bitki SPAD değerleri ve bitkilerin farklı uygulamalar altındaki yayılma genişliği

4.4. Çiçek ve Bakla Sayısı

Çiçek sayısı, yaprak uygulamalarının 14. gününde gruplar arasında anlamlı bir fark göstermemiştir. Ancak, 38. günde bitki başına bakla sayısı bakımından uygulamalar arasında belirgin farklar tespit edilmiştir (Şekil 4.6). K uygulaması $57 \pm 5,1$ ile en yüksek, Flo uygulaması ise $27 \pm 3,5$ ile en düşük değeri göstermiştir.

Kontrol grubunda bu değer 46 ± 10.1 olarak kaydedilmiştir.

Flo, Mac ve Flo + Mac uygulamaları, 38. günde bakla sayısını az da olsa düşürmüş, bu da özellikle Flo uygulamasının vejetatif büyümeyi desteklese de generatif gelişimi baskılayabileceği hipotezini gündeme getirmiştir. Zn + K kombinasyonu, Zn'nin olumlu etkisini kısmen zayıflatmış ve bu durum çinko ile potasyumun birlikte kullanımının sinerji yaratmaktan çok antagonistik etki yaratabileceğini düşündürmüştür.



Şekil 4.6. Yaprak gübresi uygulamalarının bitki başına çiçek ve bakla sayısı üzerindeki etkisi

5. TARTIŞMA

5.1. Zn Tedarikinin Mercimek Tanesi Verimi Üzerindeki Etkisi

Mevcut çalışmada, tane verimindeki önemli artışla birlikte biyokütle verimindeki artışın olmaması (%55 daha fazla kontrolden), toplam fotosentez hızının Zn tedarikinden etkilenmediğini, ancak asimilatların saplardan tanelere taşınmasının uyarıldığını ve bunun da iyileştirilmiş bir hasat indeksine yol açtığını göstermektedir (Şekil 5.1). Çalışmamıza benzer şekilde, Kumari ve ark. (2023), yaprak Zn tedarikinin mercimekte tane verimini önemli ölçüde (%68) artırdığını bildirmiştir. Çinko, bitkilerde asimilatların ve amino asitlerin sentezini ve taşınmasını artırmada önemli bir rol oynar (Broadley ve ark., 2007). Tahıl ve saplardaki genel biyokütle N alımı ve N içeriği, uygulamalar arasında benzerlik gösterirken, toplam tane N alımı Zn uygulamasında en yüksek değeri göstermiştir (Şekil 5.2). Ayrıca tane doldurma aşamasında SPAD değerleri, Zn uygulamasında diğer uygulamalara göre daha hızlı bir azalma göstermiştir. Bu, Zn tedarikinin belirli koşullar altında mercimekteki N fiksasyon süreçlerini etkilemediğini, ancak öncelikle N translokasyon süreçlerini iyileştirdiğini göstermektedir. Bu süreçlerin verimliliğini artırarak, yeterli Zn tedariki, çevresel stres faktörlerine rağmen daha iyi ürün performansı sağlayarak tane verimini artırabilir. Araştırmacılar, yeterli Zn tedarikinin bitkilerde azot translokasyonunu ve dağıtımını iyileştirebileceğini (Ji vd., 2022), genel besin kullanım verimliliğini ve bitki büyümesini etkileyebileceğini bildirmiştir.

Çalışmamız, yeterli Zn tedarikinin, su kısıtlamalarının mercimek gibi mahsullerin asimilatları verimli bir şekilde translokasyonu için mevcut zamanı kısıtlayabileceği yarı kurak iklimlerde özellikle yararlı olabileceğini göstermektedir. Birkaç çalışma, yeterli Zn tedarikinin buğday, ayçiçeği, domates ve kırmızı lahana gibi mahsullerde kuraklığa dayanıklılığı da artırabileceğini bildirmiştir (Hassan vd., 2020). Öte yandan bazı araştırmacılar Zn tedarikinin mısır tanesinin protein içeriği üzerindeki olumlu etkisine rağmen, her zaman tane verimini iyileştirmede (Kihara vd., 2017; Van Eynde vd., 2023) bildirilmişlerdir. Bu bağlamda, yaptığımız araştırmada yarı kurak iklimlerde Zn tedarikine verilen verim yanıtındaki bu tutarsızlığın, besin maddelerinin sürgünden taneye taşınması için kritik olan geç vejetatif aşamadaki suyun mevcudiyetiyle ilişkili olabileceği fikrini öne sürmektedir. Su tedarikinin zamanlaması ve yeterliliği, Zn tedarikinin asimile (özellikle amino asit) taşınmasını ve tane gelişimini ne kadar etkili bir şekilde artırdığını kontrol ediyor gibi görünmektedir. Şu anda, mercimekte değişen su bulunabilirliği ve ısı altında çinko tedarikinin nitrojen veya amino asit taşınmasını nasıl düzenlediğine özel olarak bakan bir araştırma eksikliği vardır ve bu da özellikle yarı kurak

ortamlarda Zn beslenmesi, N metabolizması ve su bulunabilirliği arasındaki etkileşimleri anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır.

5.2. K ve Zn Tedarikinin Mercimek Tanesi Verimi Üzerindeki Etkileşimli Etkisi

Genel olarak, K uygulamasında potasyum tedariki, diğer yaprak uygulamalarına kıyasla mercimeklerin biyokütle verimi ve bakla sayısı üzerinde daha yüksek bir etki göstermektedir. K tedarikinin mercimekteki biyokütle ve bakla sayısı üzerindeki gözlemlenen olumlu etkileri, K'nin çok sayıda bitki fizyolojik sürecindeki temel rolüne atfedilebilir. Bu bulgu, nohutlarda (Parimala ve ark., 2013), mercimeklerde (Yadav ve ark., 2020) ve ayçiçeklerinde (Jákli ve ark. 2016) yapılan birçok önceki çalışmayla tutarlıdır. Burada K'nin yaprak uygulamasının büyüme özelliklerini artırdığı bildirilmiştir. Bu etkiler, K eksikliği olan bitkilerde engellenmiş hücre uzantısı (Francis ve ark., 2023) ve/veya asimilatların yapraklardan lavabo organlarına bozulmuş floem taşınması (Zörb ve ark., 2014) ile ilişkilendirilebilir. K tedarikinin, baklaların gelişimini destekleyen üreme organlarına asimilatların tahsisi üzerindeki olumlu etkileri daha önce bildirilmiştir (Wang ve ark., 2013). Bu çalışmalar, çalışmamızda yapraktan K tedarikinin biyokütle verimini ve bakla sayısını neden artırdığını açıklamaktadır. Ancak, çalışmamızdaki verilen çevre koşulları altında, K tedariki biyokütle verimi üzerindeki olumlu etkisine rağmen hasat endeksini veya mercimek tanesi verimini artırmamıştır. Bu şaşırtıcıdır çünkü çok sayıda çalışma potasyum (K) tedarikinin asimilat taşınması üzerindeki olumlu etkisini göstermiştir (giriş bölümüne bakın) ve bu etkinin çalışmamızda neden gözlemlenmediğine dair henüz net bir açıklamamız yoktur. Çalışmamızda Zn tedarikinin tahıl verimi üzerindeki gözlemlenen etkisinin yalnızca asimilatların genel taşınmasına değil, amino asitler ve proteinler gibi azot (N) içeren asimilatların daha spesifik taşınmasına atfedilmiş olabileceğini tahmin edebiliriz. Çinko, azot metabolizmasında ve tahıl gelişimi için hayati önem taşıyan amino asitlerin sentezinde önemli bir rol oynar. Zn uygulamasında vejetatif dönemin sonuna doğru SPAD değerlerindeki hızlı düşüş (Hajiboland ve ark., 2010) bu hipotezi destekler ve N içeren asimilatların tanelere daha verimli bir şekilde taşındığını gösterir. Bu, Zn'nin özellikle N içeren asimilatların hareketini artırmış olabileceğini ve daha iyi tane protein içeriğine ve genel tane verimine katkıda bulunmuş olabileceğini gösterir. Zn, nitrat redüktaz ve glutamat dehidrogenaz (Alloway, 2008) gibi azot asimilasyonunu düzenleyen anahtar enzimlerin sentezinde yer aldığından, bu enzimler emilen nitrata amino asitlere dönüştürmek için kritik öneme sahiptir ve bunlar daha sonra üreme aşamasında tanelere taşınır (Broadley ve ark., 2007). Bu nedenle, Zn uygulamasında gözlemlenen tane verimindeki önemli artış, yalnızca

karbonhidratların veya diğer asimilatların genel taşınmasından ziyade, N içeren bileşiklerin gelişmiş üretimi ve taşınmasıyla bağlantılı olabilir. İlginç bir şekilde, Zn + K uygulamasında K ve Zn tedarikinin birleşik etkisi, K ve Zn uygulamalarında gözlemlenen biyokütle verimi veya hasat endeksi değerlerine ulaşmadı. Bu, mercimeklerin tuzluluğa karşı hassas yapısı göz önüne alındığında, Zn + K uygulamasında yüksek tuz seviyesinin (uygulanan çözeltide %1 tuz) neden olduğu tuzluluk etkisinden kaynaklanıyordu. Bu hipotezle uyumlu olarak, SPAD değerleri, Zn + K uygulamasındaki uygulamaların başlamasından kısa bir süre sonra diğer uygulamalara göre daha düşük değerler göstermiştir.

5.3. Ticari Yaprak Ürünlerinin Etkisi ve Zn ve K Tedarikiyle Karşılaştırılması

Mevcut çalışmada, ticari ürünlerin hiçbiri (Flo = molibden (%0,02) ve bor (%2) içeren) veya Mac (organik ve inorganik besin maddeleri içeren) biyokütle veriminde önemli bir artışa neden olmamıştır. Ancak, Flo + Mac uygulamasındaki kombinasyonları (önemli değil) biyokütle oluşumunda hafif bir artışa neden olmuştur. Benzer şekilde, test edilen ticari ürünlerin hiçbiri tane veriminde önemli bir etkiye neden olmamış, sadece hafif bir artış göstermiştir. Vejetasyon döneminin sonunda Flo ve Flo + Mac uygulamalarındaki daha yüksek SPAD değerleri, Flo uygulamasının muhtemelen vejetatif büyümeyi koruduğunu ve daha uzun bir ömre neden olduğunu göstermektedir. Birim maliyetler göz önüne alındığında, ticari ürünler Flo ve Mac hektar başına yaklaşık 20\$ iken, çinko sülfat uygulanan doz için hektar başına yaklaşık 1\$'dır. Mercimek çiftçileri için çinko sülfat daha maliyet açısından verimli görünmektedir ve daha iyi tane verimi sağlamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında mercimek (*Lens culinaris* Medik.) üretiminde yaprak gübrelemesi ve dijital tarım tekniklerinin bir arada kullanımının bitki verimi, azot alımı, SPAD değeri ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, yaprak gübresi uygulamalarının özellikle bazı besin elementleri açısından bitki performansını önemli ölçüde etkileyebildiğini ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında uygulanan çinko sülfat ($ZnSO_4$), potasyum sülfat (K_2SO_4) ve organo-mineral gübreler (Flo, Mac, Flo+Mac), mercimekte hem verim bileşenlerini hem de fizyolojik göstergeleri farklı şekillerde etkilemiştir.

Tane verimi bakımından en yüksek değer Zn uygulamasında elde edilmiş ve kontrol uygulamasına göre %55'lik bir artış sağlanmıştır. Bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş, diğer yaprak gübresi uygulamalarında da verim artışı gözlenmiş olmakla birlikte bu farklar istatistiksel düzeyde anlam kazanmamıştır. Ayrıca Zn ve Flo uygulamaları, biyokütlenin tahıla ayrılma oranını gösteren hasat indeksinde de olumlu etki yaratmış, bu durumun biyokütlenin daha etkin bir şekilde tahıla tahsis edilmesini sağladığı anlaşılmıştır. Benzer şekilde, yaprak uygulamaları özellikle Flo+Mac kombinasyonunda SPAD değerini artırmış ve bitkinin vejetatif gelişiminin daha uzun süre sürdürüldüğünü göstermiştir. SPAD değerleri bu kombinasyonda diğer uygulamalara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuş ve bu artış, bitkide klorofil içeriğinin korunmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Bitkilerin toplam azot içeriği açısından yaprak gübrelemesinin etkisi genel olarak sınırlı bulunmakla birlikte, tahılda toplanan azot miktarının özellikle Zn uygulamasında anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Bu durum, çinkonun azot alım ve taşınımı üzerinde olumlu etkisi olabileceğini göstermektedir. Tahıl verimiyle sap azot içeriği arasındaki negatif korelasyon da bu etkiyi desteklemekte; zira azotun ve karbon bileşiklerinin saplardan tahıllara daha etkin şekilde taşındığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, yalnızca K uygulamasının bakla sayısını artırdığı ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Diğer uygulamaların generatif organ gelişimi üzerinde etkilerinin sınırlı kalması, yaprak gübrelerinin formülasyonuna ve uygulama zamanına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, yarı kurak iklim koşullarında mercimek tarımında çinko ve potasyum içeren yaprak gübrelerinin kullanımı, verim ve azot alımı gibi temel üretim parametrelerini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bunun yanında, dijital sensörler

ile entegre edilen tarım uygulamaları sayesinde bitkinin klorofil durumu (SPAD) gibi fizyolojik göstergelerin izlenmesi, gübreleme zamanlamasının daha hassas ve etkili biçimde planlanmasına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda, dijital tarım tekniklerinin yaprak gübrelemesi ile bütünleştirilerek kullanılması hem girdi kullanım etkinliğini artırmakta hem de verimliliği sürdürülebilir şekilde yükseltmektedir.

7. ÖNERİLER

Bu bulgular ışığında öneri olarak, mercimek üretiminde çinko sülfat ve potasyum sülfat içeren yaprak gübrelerinin özellikle çiçeklenme döneminde uygulanması tavsiye edilmektedir. Dijital sensörler (örneğin SPAD ölçerler) ile yaprak analizlerinin düzenli aralıklarla yapılması, gübre uygulama kararlarını daha isabetli hale getirecektir. Ayrıca, organo-mineral gübre kombinasyonlarının (Flo+Mac) vejetatif gelişim üzerindeki olumlu etkileri dikkate alınarak, bu ürünlerin kontrollü kullanımı önerilmektedir. Gelecekte daha geniş ölçekli, farklı agro-ekolojik koşullarda yapılacak çalışmalar, bu uygulamaların yaygınlaştırılabilirliğini ve uzun vadeli etkilerini değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen sonuçlar, hem akademik literatüre katkı sunmakta hem de üreticilere dijital tarım destekli verim artırıcı stratejiler geliştirme noktasında yol göstermektedir.

Elde edilen bulgular, mercimekte yaprak gübrelemesinin verim ve azot alımı üzerinde önemli etkiler yaratabildiğini ortaya koymuştur. Özellikle çinko içeren yaprak gübresi uygulamaları hem tane veriminde hem de hasat indeksinde dikkate değer artışlar sağlamıştır. Bu sonuçlar, dijital tarım uygulamalarıyla entegre edildiğinde daha büyük faydalar sağlayabilir. Özellikle dijital tarım teknikleriyle birlikte yaprak gübrelemesinin uygulanması, gübrelerin zamanında ve uygun dozda uygulanmasına olanak tanıyarak hem ürün kalitesini hem de gübre kullanım etkinliğini artıracaktır. Gelecekte, sensör teknolojileri, veri tabanlı izleme sistemleri ve otomatik gübreleme donanımları ile entegre edilen uygulamaların, mercimek üretiminde sürdürülebilirlik ve yüksek verimlilik hedeflerine katkı sunacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Allen, B. L., Pikul Jr, J. L., Waddell, J. T., & Cochran, V. L. (2011). Long-term lentil green-manure replacement for fallow in the semiarid northern Great Plains. *Agronomy journal*, 103(4): 1292-1298
- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition*. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA). Zinc-in-Soils-and-Crop-Nutrition-Brian-J.-Alloway.pdf
- Ardakani, S. S., Heydari, A., Tayebi, L. ve Mohammadi, M. (2010). Promotion of cotton seedlings growth characteristics by development and use of new bioformulations. *International Journal of Botany*, 6(2): 95-100.
- Ateş, M. ve Şahin, Y. (2021). Evaluation of Industry 4.0 Applications for Agriculture Using AHP Methodology. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4(1): 39-45.
- Aydoğan, A., Gürbüz, A., Kadir, A. K. A. N., Kon, H. İ. F., Zafer, M. E. R. T., & Özer, G. Ç. (2016). Mercimek (*Lens culinaris* M.) germplasmında herbisit toleransı için genetik çeşitliliğin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel Sayı-1), 165-170.
- Babayiğit, B. ve Büyükpatpat, B. (2019). Nesnelerin interneti tabanlı sulama ve uzaktan izleme sisteminin tasarımı ve gerçekleştirimi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(2): 13-19.
- Barnes, A. P., Soto, I., Eopry, V. ve Barbero, M. G. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy* 80(19): 163-174.
- Beck, M. A., Liu, C. Y., Bidinosti, C. P., Henry, C. J., Godee, C. M. ve Ajmani, M. (2020). An Embedded System for the Automated Generation of Labeled Plant Images to Enable Machine Learning Applications in Agriculture. *Plos One*, 15(12): 223-239.
- Bilim, C. (2022). Tarımda Teknoloji Dönemi. *Tarım Araştırmaları Dergisi*, 22: 29-32.
- Birişik, N. (2019). *Küresel ve Ulusal Ölçekte Tarım ve Gıda Politikaları: Gerçekler, Sorunlar ve Çözüm Önerileri*. Ankara: Memur-Sen Tarım-Orman Çalışanları Birliği Sendikası Yayınları.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. ve Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytol.* 173(4): 677-702.
- Cash, D., Lockerman, R., Bowman, H., & Welty, L. (2001). *Growing Lentils in Montana. Montana State University Extension Guide MT199615*. Montana State University, Bozeman, Montana.
- Ciani, M., Lippolis, A., Fava, F., Rodolfi, L., Niccolai, A. ve Tredici, M. R. (2021). Microbes: Food For the Future. *Foods*, 10(5): 966-975.
- Çopur, O. (2007). *Pamukta Hasat, Depolama ve Çırçırılama*. Şanlıurfa: Şanlıurfa

Ticaret Borsası Yayınları.

- Davis, S. L. ve Dukes, M. D. (2012). Landscape irrigation with evapotranspiration controllers in a humid climate. *Transactions of the ASABE*, 55(2): 571-580.
- Dayıoğlu, M. A., Uğur, F. ve Türker, U. (2016). Seralarda Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Uygulanması: Tasarım ve Prototip Geliştirme. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33: 52-60.
- Dayıoğlu, M. A. ve Türker, U. (2021). Digital Transformation for Sustainable Future Agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(4): 373-399.
- Denizedalan, Y. (2019). *Farklı pamuk (gossypiumhirsutum l.) çeşitlerinde defoliant uygulama zamanlarının pamuğun verim ve lif teknolojik özelliklerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Doğan, E. (2023). *Cladophora SP. İle Spirulina SP. ve Karışımlarının Mercimek (Lens Culinaris Medik.) Gelişimi Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Doğan, Z., Arslan, S. ve Berkman, A. N. (2015). Türkiye’de Tarım Sektörünün İktisadi Gelişimi ve Sorunları: Tarihsel Bir Bakış. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(1): 29-41.
- Dukes, M. D. (2012). Water conservation potential of landscape irrigation smart controllers. *Transactions of the ASABE*, 55(2): 563-569.
- Elzebroek, A. T. G., & Wind, K. (2008). *Guide to cultivated plants*. CAB International London: Oxfordshire Wallingford.
- Francis, B., Aravindakumar, C. T., Brewer, P. B. ve Simon, S. (2023). Plant nutrient stress adaptation: a prospect for fertilizer limited agriculture. *Environ Exp Botany*. 213: 105-431.
- Fukatsu, T. ve Nanseki, T. (2009). Monitoring System for Farming Operations with Wearable Devices Utilized Sensor Networks. *Sensors*, 9(8): 6171-6184.
- Gangwar, K.S. ve Singh, N.P. (1994). Studies on zinc nutrient on lentil in relation to drymatter accumulation, yield and n, p uptake. *Indian Journal of Pulse Research*, 7(3): 133-135.
- Gavrilescu, M. (2021). Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water*, 13(19): 27-46.
- Grella, M., Gioelli, F., Marucco, P., Zwervaeagher, I., Mozzanini, E., Mylonas, N., Nuyttens, D. ve Balsari, P. (2022). Field assessment of a pulse width modulation (Pwm) spray system applying different spray volumes: Duty cycle and forward speed effects on vines spray coverage, *Precision Agriculture*, 23(6): 219-252.
- Günaydın, G. (2016). Tarımda Teknoloji Kullanımı ve Bilişim. *Ekonomik Yaklaşım Dergisi*, 71(20): 89-108.
- Hajiboland, R., Sadeghzade, N. ve Eshghizadeh, H. R. (2010). Photosynthesis and

- growth of tomato plants under Zn toxicity and Zn deficiency. *Russ Journal Plant Physiol.* 57(6): 816-822.
- Hamayun, M., Khan, S. A., Khan, A. L., Shinwari, Z. K., Ahmad, N., Kim, Y. H. ve Lee, I. J. (2011). Effect of foliar and soil application of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield components of lentil. *Pak J Bot.* 43(1): 391-396.
- Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu Y. et al. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture.* 10(9): 1-20.
- Idrissi, O., Piergiovanni, A. R., Toklu, F., Houasli, C., Udupa, S. M., De Keyser, E. ve De Riek, J. (2018). Molecular variance and population structure of lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces from Mediterranean countries as revealed by simple sequence repeat DNA markers: implications for conservation and use. *Plant Genetic Resources*, 16(3): 249-259.
- Idrissi, O., Udupa, S. M., De Keyser, E., McGee, R. J., Coyne, C. J., Saha, G. C. ve De Riek, J. (2016). Identification of quantitative trait loci controlling root and shoot traits associated with drought tolerance in a lentil (*Lens culinaris* Medik.) recombinant inbred line population. *Frontiers in plant science*, 7, 11-74.
- Jakli, B., Trankner, M., Senbayram, M. ve Dittert, K. (2016). Adequate supply of potassium improves plant water-use efficiency but not leaf water-use efficiency of spring wheat. *Journal Plant Nutr Soil Science*, 179(6): 733-745.
- Ji, C., Li, J., Jiang, C., Zhang, L., Shi, L., Xu, F. ve Cai, H. (2022). Zinc and nitrogen synergistic act on root-to-shoot translocation and preferential distribution in rice. *Journal Adv. Res.* 35: 187-198.
- Kahraman, A., Temel, H. Y., Aydoğan, A. ve Tanyolac, M. B. (2015). Major quantitative trait loci for flowering time in lentil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(4): 588-595.
- Kahraman, A., Tunç, M., Ramazanoğlu, E., Almarie, V., Sezer, R., Başdemir, F., Kaya, C. ve Senbayram, M. (2024). Zinc outperforms other foliar fertilisers in enhancing lentil yield and harvest index in semi-arid regions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 74(1): 1-11.
- Karacıl, B. (2015). *Mercimek (lens culinaris medik.)'te topraktan ve yapraktan fe ve zn mikro element uygulamasının verim ve tanede mikro besin elementi içeriğine etkisi*. Doktora tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Karahan, T. ve Sabancı, C. O. (2010). Güneydoğu Anadolu Ekolojik Koşullarında Bazı Arpa Çeşitlerinin Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 2(7): 1-11.
- Karaköy, T. ve Çilesiz, Y. (2022). *Teknolojik Tarım*. Ankara: İKSAD Yayınları.
- Khanal, A. R., Gillespie, J. ve MacDonald, J. (2010). Adoption of Technology, Management Practices, and Production Systems in US Milk Production.

Journal of Dairy Science, 93(12): 6012-6022.

- Kılavuz, E. ve Erdem, İ., (2019). Dünyada Tarım 4.0 Uygulamaları ve Türk Tarımının Dönüşümü. *Social Sciences (NWSASOS)*, 14(4): 133-157.
- Kihara, J., Sileshi, G. W., Nziguheba, G., Kinyua, M., Zingore, S. ve Sommer, R. (2017). Application of secondary nutrients and micronutrients increases crop yields in sub-Saharan Africa. *Agron Sustain Dev.* 37: 1-14.
- Kim, J., Grate, J. W. ve Wang, P. (2006). Nanostructures for enzyme stabilization. *Chemical Engineering Science*, 61(3): 1017-1026.
- Kumar, A., Dubey, O. P. ve Ghosh, S. K. (2014). GIS based irrigation water management. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 14(3): 62-65.
- Kumari, V., Banerjee, P., Nath, R., Sengupta, K., Chandran, M. A. S., Veni, V. G. ve Hossain, A. (2023). Foliar application of zinc, boron, and iron improved seed nutrients, protein content, and yield in late-sown stressed lentil (*Lens culinaris Medikus*) crop. *Gesunde Pflanzen*. 75(4): 1133-1141.
- Maes, W. H. ve Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24(2): 152-164.
- Manjunatha, S. B., Biradar, D. P., Aladakatti, Y. R. (2016). Nanotechnology and its application to agriculture: a review. *Journal Farm Science* 29(1): 1-13.
- Nayak, S., Shivay, Y. S., Prasanna, R., Mandi, S., Parveen, S., Baral, K. ve Reddy, K. S. (2023). Soil and foliar application of Zn enhances its biofortification, bioavailability and productivity in both biofortified and non-biofortified wheat varieties. *Journal Food Compos Analyze*, 1(1): 121-133.
- Oplinger, E. S., Hardman, L. L., Kaminski, A. R., Kelling, K. A. ve Doll, J. D. (1990). *Lentil. Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin Cooperative Extension and University of Minnesota Extension Service, Madison, WI and St. Paul, Minnesota.
- Öktem, A. G. (2019). Kurak koşullar altında farklı çinko düzeylerinin kırmızı mercimeğin tane verimi ve bazı fenolojik özellikleri üzerine etkileri. *Türkiye Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 1(1): 360-367.
- Özdemir, S. (2015). *Chlorella vulgaris* Üretimi ve Sera Organik Domates Yetiştiriciliğinde Biyo-gübre Olarak Kullanımının Etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(2): 596-605.
- Özdoğan, B., Gacar, A. ve Aktaş H. (2017). Digital Agriculture Practices in The Context of Agriculture 4.0. *Journal of Economics Finance and Accounting (JEFA)*, 1(1): 184-191.
- Özgüven, M. M., Altaş, Z., Güven, D. ve Çam, A. (2022). Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1): 64-83.
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B. ve Gezici, M. (2021). Türk

- Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1): 78-87.
- Parimala, K., Anitha, G. ve Reddy, A. V. (2013). Effect of nutrient sprays on yield and seedling quality parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pl Arch*. 13: 735-737.
- Ramos, P. H. B. ve Pedroso, M. C. (2021). Classification and Categorization of Brazilian Agricultural Startups (Agtechs). *INMR*, 18(3): 237-257.
- Sevli, O. (2023). Tarım 4.0 Ölçeğinde Bir Dijital Tarım Uygulaması: Çiftlik İzleme ve Yönetim Sistemi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 7(2): 105-116.
- Sharma, S. K., Dawson, I. K. ve Waugh, R. (1995). Relationships among cultivated and wild lentils revealed by RAPD analysis. *Theor Appl Genet*. 91(4): 647-654.
- Singh, S.P. ve Nayyar, V.K. (1994). Response of winter crops to manganese applications on a loamy sandy soil. *Indian Journal of Agriculture Science*, 64(9): 627-629.
- Slathia, D.; Reshi, M.; Hussain, S. 2018. Protected cultivation of ornamentals. *Global Journal Bio-Science Biotech*, 7: 302-311.
- Sözen, Ö. ve Karadavut, U. (2017). Bazı Yeşil Mercimek Genotiplerinde Dane Verimi ve Verim Komponentleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 104-110.
- Syifa, M., Park, S. J. ve Lee, C. W. (2020). Detection of the pine wilt disease tree candidates for drone remote sensing using artificial intelligence techniques. *Engineering*, 6(8): 919-926.
- Şehirali, S. (1988). *Yemeklik Dane Baklagiller*. Ankara: Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Taştan, M. (2019). Nesnelerin interneti tabanlı akıllı sulama ve uzaktan izleme sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 229-236.
- Van Eynde, E., Breure, M. S., Chikowo, R., Njoroge, S., Comans, R. N. ve Hoffland, E. (2023). Soil zinc fertilisation does not increase maize yields in 17 out of 19 sites in sub-Saharan Africa but improves nutritional maize quality in most sites. *Plant Soil*. 490(1): 67-91.
- Wang, Y. H., Garvin, D. F., Kochian, L. V. (2013). Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. *Plant Physiol*. 162(1): 1302-1320.
- Yadav, P. K., Singh, A. ve Agrawal, S.B. (2020). An overview on management of micronutrients deficiency in plants through biofortification: a solution of hidden hunger. In: *Sustainable solutions for elemental deficiency and excess in crop plants*, 183-208.
- Yağmur, M. ve Kaydan, D. (2005). Mercimek (*Lens culinaris* Medik.)’te Yapraktan

gübrelemenin tane verimi ile bazı verim özelliklerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 15(1): 31-37.

Yürür, N., Açıkgöz, E., Özgümüş, A., Azkan, N. ve Çelik, N. (1995). *Tarla Bitkileri*. Eskişehir: Açıköğretim Üniversitesi Yayınları.

Zabunoğlu, S., Karaçal, İ., 1992. *Gübreler ve Gübreleme*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Zörb, C., Senbayram, M. ve Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture-status and perspectives. *Journal Plant Physiol*, 171(9): 656-669.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

İsim Soyisim : RAMAZAN SEZER
Doğum Tarihi : 1992-05-15
Doğum Yeri : HİLVAN
Telefon : 05445634735
E-Posta : sezer.ramazan@hotmail.com