

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KÖSRELİ SULAMA BİRLİĞİ ALANINDA SULAMA SUYUNUN ETKİN
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Erdem EROĞLU

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

KÖSRELİ SULAMA BİRLİĞİ ALANINDA SULAMA SUYUNUN ETKİN KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Erdem EROĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Berna KENDİRLİ

Bu çalışma, Köşreli sulama alanında su kullanımının verimliliğini artırmak, tarımsal üretimde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini sağlamak ve ekonomik etkinliği geliştirmek amacıyla sulama performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi hedeflemektedir. Sulama performansının değerlendirilmesinde su kullanım etkinliği, ekonomik etkinlik, tarımsal etkinlik ve birim alan başına düşen su miktarı analiz edilmiştir. 2012-2018 yılları arasındaki saha verileri kullanılarak yapılan analizlerde, birim alan başına düşen su miktarının yıllar içinde azaldığı gözlemlenmiştir; 2012 yılında hektar başına 10.814 m³ kullanılan su miktarı, 2018’de 8.525 m³e düşmüştür. Bu azalma, su yönetiminde iyileştirmeler yapıldığını ve suyun daha verimli kullanıldığını ortaya koymaktadır. Aynı dönemde, su kullanım etkinliği açısından sulama randımanı % 45,5’ten % 61,7’ye yükselmiştir. Ekonomik etkinlik açısından, yatırım geri dönüşüm oranı 2012’de % 52,35 iken 2018’de %116,62’ye ulaşarak, sulama projelerinin ekonomik sürdürülebilirliğinin iyileştiğini göstermektedir. Bununla birlikte, işletme ve bakım masraflarındaki artışlar ekonomik verimlilik üzerinde baskı yaratmıştır. Tarımsal etkinlik kapsamında ise birim alandan elde edilen tarımsal gelir 2012’de hektar başına 6.681 TL’den 2018’de 9.182 TL’ye yükselmiştir. Bu artış, sulamanın tarımsal verimliliğe olan katkısını göstermektedir. AquaCrop modeli ile yapılan analizler sonucunda, kısıntılı sulamanın (% 50) su verimliliğini 2,89 kg/m³e çıkardığı, optimum sulamanın ise bitki verimini 13,60 ton/ha seviyesine ulaştırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 15 Şubat ekimi ve 218 mm/ha sulama seviyesinin optimum sulama senaryosu olduğu belirlenmiştir. Bu senaryoda hem su verimliliği (3,02 kg/m³) hem de bitki veriminde (13,72 ton/ha) en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Çalışma, sulama yöntemlerinin optimize edilmesi ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemli kılavuz bilgiler sunmakta olup, iklim değişikliği senaryoları altında sürdürülebilir yönetim politikalarına katkı sağlamaktadır.

Eylül 2024, 133 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sulama Performansı, Su Kullanım Etkinliği, AquaCrop, Sulama Programı, Kısıntılı Sulama, Sürdürülebilir Su Yönetimi

ABSTRACT

PhD Thesis

EVALUATION OF THE EFFECTIVE USE OF IRRIGATION WATER IN THE KÖSRELİ IRRIGATION UNION

Erdem EROĞLU

Ankara University
Ggraduate School of Natural Applied Science
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Berna KENDİRLİ

This study aims to comprehensively evaluate the irrigation performance in the Köşreli irrigation area to increase water use efficiency, ensure sustainable management of water resources in agricultural production, and improve economic efficiency. The evaluation of irrigation performance focused on water use efficiency, economic efficiency, agricultural efficiency, and the amount of water per unit area. Analyses using field data from 2012 to 2018 show that the amount of water per unit area decreased over the years, from 10.814 m³ per hectare in 2012 to 8.525 m³ per hectare in 2018. This decrease demonstrates improvements in water management and indicates more efficient water use. During the same period, irrigation efficiency increased from 45,5% to 61,7%. In terms of economic efficiency, the return on investment rose from 52,35% in 2012 to 116,62% in 2018, indicating improved economic sustainability of irrigation projects. However, rising operation and maintenance costs posed challenges to economic efficiency. Regarding agricultural efficiency, agricultural income per hectare increased from 6.681 TL in 2012 to 9.182 TL in 2018, highlighting the positive impact of irrigation on agricultural productivity. AquaCrop model analyses showed that restricted irrigation (50%) increased water productivity to 2,89 kg/m³, while optimum irrigation raised crop yield to 13,60 tonnes/ha. Additionally, it was found that the optimal irrigation scenario involved planting on 15 February with an irrigation level of 218 mm/ha. In this scenario, both water productivity (3,02 kg/m³) and plant yield (13,72 tonnes/ha) achieved the highest values. This study provides essential guidelines for optimizing irrigation methods and sustainable water resource management, contributing to sustainable management policies under climate change scenarios.

September 2024, 133 pages

Key Words: Irrigation Performance, Water Use Efficiency, AquaCrop, Irrigation Programming, Deficit Irrigation Sustainable Water Management

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Türkiye'de tarımsal üretimin merkezi konumundaki Ceyhan Havzası, son yıllarda iklim değişikliğinin etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan kuraklık olayları, bölgedeki su kaynaklarını tehdit etmektedir. Bu durum, tarımsal üretimi de olumsuz etkilemektedir. Aşağı Ceyhan Havzası'nda yer alan Kösreli Sulama alanı da iklim değişikliğinin etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin etkisiyle azalan su kaynaklarının korunması ve tarımsal üretimin sürekliliği için sürdürülebilir bir sulama yönetimine geçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu konudaki çalışmam süresince bilgisi, deneyimi ve desteğiyle her zaman yanımda olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Berna Kendirli 'ye; tez izleme komitesinde ayırdıkları zaman, sundukları bakış açıları ve yönlendirmeleriyle çalışmama değer katan kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yusuf Ersoy Yıldırım, Sayın Prof. Dr. Belgin Çakmak, Sayın Prof. Dr. Yeşim Ahi ve Dr. Öğr. Üyesi Murat Tekiner'e; doktora eğitimim boyunca katkılarıyla her an yanımda olan arkadaşlarım Serhat Günaydın , Alper Ugurluoğlu ve Eser Bora'ya; gösterdikleri hoşgörü ve sağladıkları motivasyon için Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün değerli yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım her türlü zorluk ve engeli aşmamda daima yanımda olan kıymetli eşim Ayşegül Kalyon Eroğlu'na; çalışma boyunca büyüdüklerini gözlemlediğim sevgili çocuklarım Kerem ve Ömer'e ve tüm aileme gösterdikleri sabır, fedakârlık ve sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Erdem EROĞLU
Ankara, Eylül 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1 Tarımda Suyun Etkin Kullanımı	7
2.2 Su Verimliliğinde Bitkisel ve Havza Bazlı Model Yaklaşımları	15
2.3 İklim Değişikliğinin Tarımsal Sulamaya Etkisi.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1 Materyal	36
3.1.1 Araştırma alanı özellikleri.....	36
3.1.2 Araştırma alanının iklim özellikleri	39
3.1.3 Araştırma alanı iklim projeksiyonları.....	39
3.1.4 Araştırma alanı su kaynakları	44
3.1.5 Araştırma alanı sulama şebekesi özellikleri	45
3.1.6 Araştırma alanı toprak özellikleri.....	48
3.1.7 Araştırma alanı bitki deseni	49
3.1.8 AquaCrop modeli	51
3.2 Yöntem	53
3.2.1 Köşreli sulama alanında sulama performansının değerlendirilmesi.....	53
3.2.2 AquaCrop modeli	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	72
4.1 Köşreli Sulama Birliği Performans Göstergeleri Bulguları	72
4.1.1 Su kullanım etkinliği	72
4.1.2 Ekonomik etkinlik	78
4.1.3 Tarımsal etkinlik	81
4.1.4 Birim alan başına düşen sulama suyu miktarı	90
4.2 AquaCrop Modeli Bulguları	96
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	118
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ.....	133

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
⁰ C	Santigrat Derece
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
da	Dekar
ha	Hektar
hm ³	Hektometre Küp
pH	Hidrojen Potansiyeli

Kısaltmalar

AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
CC	Bitki Örtü Yüzdesi
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
E	Yüzey Buharlaşması
ET	Bitki Su Tüketimi
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GCM	Küresel İklim Modelleri
HI	Hasat İndeksi
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
LAI	Yaprak Alan İndeksi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
SBB	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
SCADA	Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
SKD	İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği

SUEN	Türkiye Su Enstitüsü
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TOB	Tarım ve Orman Bakanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
Tr	Bitki Terlemesi
UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
Y	Bitki Verimi
WP	Su Kullanım Verimliliği
WWF	Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Ceyhan Havzası	37
Şekil 3.2 Kösreli sulama alanı.....	38
Şekil 3.3 RCP4.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası sıcaklık anomali değerleri.....	40
Şekil 3.4 RCP8.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası sıcaklık anomali değerleri.....	41
Şekil 3.5 RCP4.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası toplam yağış anomali değerleri	42
Şekil 3.6 RCP8.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası toplam yağış anomali değerleri	43
Şekil 3.7 Aşağı Ceyhan Havzası su kaynakları.....	45
Şekil 3.8 Kösreli sulama birliği bitki deseni dağılımı.....	50
Şekil 4.1 Kösreli sulama alanı su kullanım etkinliği göstergeleri.....	76
Şekil 4.2 Sulama suyu ihtiyaçları ve şebekeye alınan su miktarı (2012-2018)	78
Şekil 4.3 Kösreli sulama alanı ekonomik etkinliği göstergeleri	81
Şekil 4.4 Kösreli sulama birliği tarımsal etkinlik değerleri	85
Şekil 4.5 Yıllık toplam tarımsal üretim değeri (TL)	86
Şekil 4.6 Birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha)	87
Şekil 4.7 Sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir (TL/ha)	87
Şekil 4.8 Şebekeye alınan sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m ³).....	88
Şekil 4.9 Tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m ³)	89
Şekil 4.10 Su kullanım etkinliği.....	89
Şekil 4.11 Tam sulama (% 100) hektara düşen su miktarı.....	94
Şekil 4.12 Kısıntılı sulama (% 75) hektara düşen su miktarı.....	95
Şekil 4.13 Kısıntılı sulama (% 50) hektara düşen su miktarı.....	96
Şekil 4.14 Korelasyon matrisi	101
Şekil 4.15 Sulama suyu miktarı, dane verimi ve WP arasındaki ilişki	103
Şekil 4.16 Sulama uygulamalarına göre biyokütle (ton/ha) ve transpirasyon (mm).....	105
Şekil 4.17 Kümeleme analizi	106
Şekil 4.18 Sulama uygulamalarına göre su verimliliği (WP)	108
Şekil 4.19 Sulama suyu miktarı, dane verimi, transpirasyon ve su verimliliği (wp) arasındaki ilişki	110
Şekil 4.20 Sulama suyu miktarı, dane verimi ve evapotranspirasyon arasındaki ilişki.....	111
Şekil 4.21 Sulama suyu miktarı ve dane verim ilişkisi	112

Şekil 4.22 Dane verimi ve sulama yöntemi	113
Şekil 4.23 Dane verimi ve ekim tarihi	113
Şekil 4.24 Dane verimi ve sulama uygulaması	114
Şekil 4.25 Su verimliliği (WP) ve sulama yöntemi.....	115
Şekil 4.26 Su verimliliği (WP) ve ekim tarihi.....	115
Şekil 4.27 Su verimliliği (WP) ve sulama uygulaması	116



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Ceyhan sulama birliği bünyesinde birleştirilen sulama birlikleri	46
Çizelge 3.2 Kösreli sulama alanı bilgileri	47
Çizelge 3.3 Çalışmada kullanılan performans göstergeleri ve gerekli veriler	55
Çizelge 3.4 Kösreli sulama alanı bilgileri	56
Çizelge 3.5 Gerçekleşen sulama suyu ihtiyaçları ile şebekeye alınan su miktarları ...	57
Çizelge 3.6 2012-2018 Yılları arasında sulama ücreti tahakkuku ve tahsil edilen tutarlar	58
Çizelge 3.7 2012-2018 Yılları arasında bakım onarıma harcanan tutarlar	59
Çizelge 3.8 Kösreli sulama alanı bitki deseni (ha).....	61
Çizelge 3.9 Kösreli sulama alanı bilgileri	62
Çizelge 3.10 Kösreli sulama alanında sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri.....	63
Çizelge 3.11 Deneme konularına göre uygulanan senaryo değişkenleri	71
Çizelge 4.1 Kösreli sulama alanı su kullanım etkinliği değerleri	73
Çizelge 4.2 Kösreli sulama alanı ekonomik etkinlik göstergeleri.....	79
Çizelge 4.3 Tarımsal etkinlik hesaplamaları.....	83
Çizelge 4.4 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisi su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri.....	90
Çizelge 4.5 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının yer fıstığı su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri.....	91
Çizelge 4.6 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının pamuk su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri.....	91
Çizelge 4.7 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamaları ve yöntemlerine göre hektara düşen su miktarları	92
Çizelge 4.8 Tanımlayıcı istatistik sonuçları	98
Çizelge 4.9 Korelasyon analizi sonuçları.....	99

1. GİRİŞ

Su, yaşamın temel kaynağı olmasına rağmen, küresel ölçekte hızla azalan bir kaynak haline gelmektedir. İklim değişikliği, artan dünya nüfusu, hızlı kentleşme ve sanayileşme, su kaynakları üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır. Özellikle tarım sektörü, dünya genelinde toplam su kullanımının yaklaşık %70'ini oluşturması nedeniyle bu kıtlığın en ciddi etkilerini hissetmektedir. Su kaynaklarının bu denli yoğun kullanımı, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır (Anonim 2023a). Bu nedenle, su yönetimi stratejilerinin gözden geçirilmesi ve yenilikçi sulama tekniklerinin benimsenmesi, tarım sektörünün bu zorluklarla başa çıkmasında önemli bir adım olarak görülmektedir.

Küresel iklim değişikliği, su temini üzerindeki baskıyı her geçen gün artırmaktadır. Yağış düzenindeki değişkenlik, kuraklık ve sel gibi olayların sıklık ve şiddetini artırarak su kaynaklarına olan talebi yükseltmektedir. Sıcaklıkların yükselmesiyle birlikte hidrolojik döngü hızlanırken, buharlaşma miktarı da artmaktadır. Dağlardaki kar örtüsünün erimesi, su kaynaklarının mevsimsel dağılımını değiştirerek su kıtlığı riskini artırmaktadır. Bu durum, tarım sektörünü de doğrudan etkilemekte, bitki büyümesi için uygun koşulları azaltmakta ve sulama ihtiyacını artırmaktadır. Sonuç olarak, tarımsal verimlilik düşmekte ve gıda güvenliği tehdit altına alınmaktadır. Türkiye gibi su kaynakları sınırlı olan ülkelerde, iklim değişikliğinin etkileri daha da belirginleşmektedir. Türkiye iklim verileri, su kaynaklarının nasıl etkilendiğini anlamak için önemli birer gösterge niteliğindedir. Bu bağlamda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımda su verimliliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Sulama sistemlerinin modernizasyonu, su tasarrufu sağlayan teknolojilerin yaygınlaştırılması, sulama planlamasının iyileştirilmesi ve çiftçilere yönelik eğitimler, tarımsal su kullanımında etkinliği artırarak su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktadır (Türkeş 2020; Altan vd. 2020; Çakmak ve Gökalp 2011).

Türkiye, yarı kurak iklim kuşağında yer alması ve Akdeniz Havzası'nda bulunması nedeniyle iklim değişikliğinin etkilerine özellikle açık bir coğrafyada yer almaktadır. Dünya Bankası'nın 21. yüzyılın sonlarına doğru Avrupa ve Orta Asya Bölgesi'nde

ekstrem iklim olaylarına en çok maruz kalacak üçüncü ülke olarak Türkiye'yi göstermesi bu durumu teyit etmektedir. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün (SYGM) projeksiyonlarına göre, Türkiye'de sıcaklıklar 2100 yılına kadar RCP4.5 senaryosunda 3,4 °C, RCP8.5 senaryosunda ise 5,9 °C'ye kadar artmaktadır. Bu artış, özellikle güney bölgelerden başlayarak tüm ülkeyi etkilemekte ve kuraklık, su kıtlığı gibi sorunları daha da derinleştirmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin gelecekteki iklim koşullarını doğru bir şekilde tahmin etmek ve buna göre önlem almak büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde, tarım, enerji ve su güvenliği gibi birçok alanda ciddi sorunlarla karşı karşıya kalınmaktadır (Anonim 2016; Anonim 2023a;).

Yapılan iklim analizleri, Türkiye'de 1961 yılından itibaren belirgin bir iklim değişikliği trendi olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında sıcaklık ve buharlaşma oranlarındaki artış, yağış miktarındaki azalma ile eş zamanlı olarak gözlemlenmektedir. Bu durum, kış aylarında da benzer şekilde yağışların azalmasıyla kendini göstermektedir. 1961-1990 dönemi ile karşılaştırıldığında, 1981-2010 döneminde ortalama sıcaklıkların 0,3 °C yükseldiği ve yağış miktarının azaldığı görülmektedir. 2023 yılında ise ortalama sıcaklık, 1998'den bu yana süregelen artış eğilimini sürdürerek en sıcak üçüncü yıl olarak kayıtlara geçmektedir. Ancak aynı yıl içerisinde Şubat, Mayıs ve Haziran aylarında yaşanan yağış eksikliği, iklim sistemindeki değişkenliği ve ekstrem olayların sıklığını vurgulamaktadır. Akdeniz Bölgesi'nde ise sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişimler daha belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Bölgede, bazı aylarda sıcaklıkların normalin altında seyretmesine rağmen genel eğilim sıcaklıkların artması yönündedir. Bu bulgular, Türkiye'nin ikliminin küresel iklim değişikliğinden olumsuz etkilendiğini ve özellikle sıcaklık artışı ile yağış düzenindeki değişimlerin tarım, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde önemli sonuçlar doğurduğunu göstermektedir (Anonim 2022a; Anonim 2024a).

Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) tarafından 2023 yılında yayımlanan "Tarım Politikaları İzleme ve Değerlendirme" raporu, Türkiye'deki tarım sektörünün iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle artan kuraklık sıklığı, tarım işletmelerinin ve çiftçilerin kuraklık risklerine karşı daha dayanıklı hale gelmelerinin önemini vurgulamaktadır. Rapor, su kullanım verimliliğinin artırılması ve modern sulama sistemlerine yapılan yatırımların, bu

bağlamda önemli olduğunu belirtmektedir. Türkiye'de 2017 yılından itibaren yürürlükte olan "Sulama Sistemlerinde Su Kullanımının Kontrolü ve Su Kayıplarının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik" ile sulama verimliliğinin 2024 yılına kadar % 55'e çıkarılması hedeflenmektedir. Bu durum, Türkiye'nin tarımsal üretimde sürdürülebilirliği hedefleyen politikalar geliştirdiğini göstermektedir (Anonymous 2023).

Türkiye'nin tarım arazilerinin etkin kullanımı, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve kırsal kalkınma için büyük önem taşımaktadır. Türkiye topraklarının toplam yüzölçümünün yaklaşık üçte biri ekilebilir tarım arazisi olarak değerlendirilmekle birlikte, bu alanların tamamı sulama imkanına sahip değildir. 2023 yılı itibarıyla, sulamaya açılan alanların toplamı 7,1 milyon hektara ulaşmış olsa da ekonomik olarak sulanabilir potansiyel 8,5 milyon hektardır. Bu durum, sulama yatırımlarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Sulama suyunun büyük bir kısmı tarım sektöründe kullanıldığından, sulama sistemlerinin verimliliği, su kaynaklarının etkin kullanımı açısından öneme sahiptir. Ancak, Türkiye'de su kaynakları sınırlı olup, iklim değişikliği nedeniyle bu sınırlar daha da daralmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve buharlaşmanın artması gibi faktörler, su kıtlığını şiddetlendirmekte ve sulama sistemlerinin daha verimli hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Basınçlı sulama sistemlerine geçiş, su kayıplarını minimuma indirerek sulama verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Anonim 2024b). Bu sayede, su kaynakları daha etkin kullanılmış olacak, tarımsal üretimde verimlilik artacak ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik sağlanacaktır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından sulama birlikleri, kooperatifler ve belediyelere devredilen tesisler, sulama hizmetlerinin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, kalan 1,4 milyon hektarlık sulanabilir alanın sulamaya açılması, tarımsal üretimi artırmak, kırsal kalkınmayı desteklemek ve gıda güvenliğini sağlamak için öncelikli bir hedef olarak belirlenmelidir. Sonuç olarak, Türkiye'de su kaynaklarının etkin yönetimi, modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması ve iklim değişikliğine uyum sağlayan politikaların geliştirilmesi, sürdürülebilir bir tarım ve kırsal kalkınma için önem taşımaktadır (Anonim 2023b).

Türkiye'de uzun yıllar boyunca hâkim olan açık sulama sistemleri ve yüzey sulama yöntemleri, yüksek su kayıplarına neden olarak su kaynakları ve tarım arazilerinin

sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu durum, özellikle topraktan buharlaşma yoluyla meydana gelen su kayıplarının, sulama sistemlerinin tasarımı ve kullanılan yöntemlerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Etkin su kullanımı için modern sulama teknolojilerine geçiş, Türkiye için kaçınılmaz bir gerekliliktir (Çakmak ve Gökalp 2011). On İkinci Kalkınma Planı, tarımsal su verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli stratejiler belirlemiştir. Bu stratejiler arasında yağmurlama ve damla sulama gibi modern sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması, mevcut sulama sistemlerinin rehabilitasyonu, suyun kalite ve miktar olarak korunması, su fiyatlandırma mekanizmalarının geliştirilmesi, alternatif su kaynaklarının kullanımı (yağmur suyu hasadı, arıtılmış atık su, deniz suyu arıtımı) ve sulamada otomasyon sistemlerinin kullanılması yer almaktadır. Bu plan, tarımsal sulamada sürdürülebilirliği hedefleyerek, su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasını amaçlamaktadır (Anonim 2023a). Ancak, Türkiye'nin artan nüfus, iklim değişikliği ve sanayileşme gibi faktörler nedeniyle su stresi giderek artmaktadır. Bu durum, tarım sektörünü olumsuz etkileyerek su kıtlığına ve üretimde düşüşlere neden olmaktadır. Bu nedenle, belirlenen politikaların etkin bir şekilde uygulanması ve sürekli değerlendirilmesi gerekmektedir. Modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması için çiftçilerin bu sistemler hakkında yeterli bilgiye sahip olması önemlidir. Bu amaçla, çiftçilere yönelik eğitimler düzenlenerek, yeni teknolojilerin kullanımına ilişkin bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Sulama yatırımları için gerekli finansmanın sağlanması, bu sürecin en önemli aşamalarından biridir. Devlet destekleri, kredi imkanları ve teşvikler gibi finansal araçlar, çiftçilerin modern sulama sistemlerine geçişini kolaylaştıracaktır. Sonuç olarak, Türkiye'de su kaynaklarının etkin yönetimi, modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması ve iklim değişikliğine uyum sağlayan politikaların geliştirilmesi, sürdürülebilir bir tarım ve kırsal kalkınma için vazgeçilmezdir. Su stresiyle mücadele, çiftçi eğitimi ve finansal destek gibi konulara yönelik kapsamlı bir yaklaşım, su tasarrufu bilincinin tüm paydaşlar arasında yaygınlaştırılmasını, suyun değerinin anlaşılmasını ve israfın önlenmesini sağlamak adına etkili bir adım olarak görülmektedir.

Tarımsal sulamada sürdürülebilirliğe ulaşmak ve su verimliliğini artırmak için AquaCrop gibi bilgisayar destekli modeller, günümüzde vazgeçilmez bir araç haline gelmektedir. Bu modeller, iklim, toprak, bitki ve diğer çevresel faktörleri entegre ederek, sulama

ihtiyacını hassas bir şekilde belirleme, sulama zamanlamasını optimize etme ve suyun bitki köklerine ulaşım verimliliğini artırma gibi görevleri üstlenmektedir. Bu modeller sayesinde, sulama sistemleri daha etkin tasarlanmakta, yönetilmekte ve su kayıpları minimize edilmektedir. Bu sayede, sulama suyu israfı önlenmekte ve su kaynakları daha verimli kullanılmaktadır (Geerts vd., 2009; Todorovic vd., 2009; Dirwai vd., 2021; Yazgan ve Tatar, 2022).

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve aşırı hava olayları, su kaynakları üzerindeki baskıyı artırarak tarımsal üretimi doğrudan etkilemektedir. Bu durum, suyun etkin yönetiminin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Kijne vd. (2003) ve Weli ve Bajie (2017) gibi çalışmalar da bu konuya dikkat çekerek, su kıtlığının tarım sektörü üzerindeki olumsuz etkilerini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, bitki gelişim modellerinin, sulama uygulamalarının optimize edilmesi ve su kaynaklarının etkin kullanılması konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, suyun sınırlı ve değerli bir kaynak olduğu göz önünde bulundurulduğunda, sulamada verimlilik ve sürdürülebilirliğin sağlanması için bilimsel yöntemlerin ve teknolojilerin kullanımı bir zorunluluktur.

Bu çalışma, Türkiye'de artan su kıtlığı ve iklim değişikliğinin tarımsal su yönetimi üzerindeki etkilerini değerlendirerek, sürdürülebilir sulama uygulamaları için çözüm önerileri sunmayı amaçlamaktadır. Türkiye gibi su kaynakları sınırlı olan ülkelerde, iklim değişikliğinin etkileri daha belirgin olmakta ve su kıtlığı riski artmaktadır. Bu bağlamda, Ceyhan Havzası'nda yer alan Köşreli sulama alanı incelenmiş; su kaynaklarının mevcut durumu, iklim değişikliğinin etkileri, kullanılan sulama yöntemleri ve su tasarrufu uygulamaları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Köşreli sulama alanındaki sulama durumunu analiz etmek ve su kullanım verimliliğini artırmak amacıyla, farklı sulama yöntemleri, uygulamaları ve iklim senaryoları AquaCrop modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kullanılan geleneksel sulama yöntemleri ile modern yöntemler arasındaki farklar karşılaştırılarak, su tasarrufunu artırmaya yönelik uygulanabilir yaklaşımlar önerilmiştir. Aynı zamanda, mevcut su yönetimi uygulamaları değerlendirilmiş ve iklim değişikliğinin tarımsal üretim ve su kaynakları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, mevcut duruma dayalı bulgular

doğrultusunda sulama yönetimi için optimum çözümler önererek, sulama alanındaki tarımsal su kullanımının sürdürülebilirliğini sağlamaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Tarımda Suyun Etkin Kullanımı

Sadras ve Milroy (1996) çalışmalarında, su kullanım etkinliği (Water Use Efficiency - WUE) ve bitki su stresi arasındaki ilişkiyi detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada, WUE'nin artırılması için optimal toprak su içeriği seviyeleri belirlenmiş ve bitki yaprak büyümesi ile gaz değişimi üzerindeki suyun etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada, toprak nemi ve bitki su durumu arasındaki dinamikleri anlamak için kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Bu modelin, suyun verimli kullanımını optimize etmek amacıyla bitki fizyolojisi ve ekosistem süreçlerini kapsadığı ifade edilmiştir.

Howell vd. (1997), tarımsal sulama sistemlerinin su tasarrufu ve verimlilik üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, damla sulama, klasik yağmurlama sistemlerinin geleneksel yüzey sulama yöntemlerine göre % 50'den fazla su tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Bu sistemlerin suyun buharlaşma ve sızma kayıplarını minimize ettiğini ve bitki kök bölgesine suyun daha etkin bir şekilde ulaştırıldığını belirtmektedir. Bu yöntemlerin, bitki verimini artırarak tarımsal su kullanımını daha verimli hale getirdiği çalışmada vurgulanmıştır.

Jones vd. (2001), bitki tabanlı sulama planlama yöntemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını analiz etmiştir. Araştırmada, sensör teknolojileri ve uzaktan algılama yöntemlerinin, bitki su ihtiyacını doğru bir şekilde tespit ederek sulama zamanlamasını ve miktarını optimize ettiği belirtilmiştir. Bu teknolojilerin, su tasarrufu sağladığını ve sulama suyu kullanım etkinliğini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, bitki tabanlı sulama yöntemlerinin, geleneksel sulama yöntemlerine göre daha düşük maliyetli ve daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Howell (2001) tarafından yapılan çalışmada, sulu tarımda su kullanım verimliliğini (WUE) artırma stratejilerini ele almıştır. Çalışma, su kaynaklarını korurken daha yüksek mahsul verimliliği elde etmek için sulama yöntemlerinin ve uygulamalarının optimize

edilmesinin önemini vurgulamıştır. Howell (2011), kısıntılı sulama, hassas sulama ve sulama uygulamalarını daha iyi belirlemek için toprak nem sensörlerinin kullanımı gibi çeşitli sulama teknolojilerini ve yönetim uygulamalarını incelemiştir. Bu tekniklerin su kullanımını azaltma ve bitki verimliliğini artırma potansiyeli, su kıtlığı yaşayan bölgelerde sürdürülebilir tarım uygulamaları için önemli olarak değerlendirilmiştir.

Kang vd. (2002), Çin'in Loess Platosu'nda kısıntılı sulama tekniklerinin buğday verimi ve su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma, su kaynaklarını verimli kullanmak ve su tüketimini azaltmak için kısıntılı sulama uygulamalarını incelemiştir. Araştırmada, bitkilerin büyüme dönemlerinde yeterli suyun sağlanması ve su stresinin en aza indirilmesi üzerinde durulmuştur. Kısıntılı sulama uygulamaları, buğday veriminde % 20'ye kadar bir artış sağlarken, su kullanımını % 30 oranında azaltmıştır.

Zwart ve Bastiaanssen (2004), buğday, çeltik, pamuk ve mısır gibi önemli tarımsal ürünlerde su verimliliğini artırmak için çeşitli sulama yöntemlerini karşılaştırmıştır. Araştırmada, damla sulama ve yağmurlama sistemlerinin geleneksel yüzey sulama yöntemlerine oranla % 40'a varan su tasarrufu sağladığı ve su kullanım verimliliğini (Crop Water Productivity - CWP) artırdığı gösterilmiştir. Bu yöntemlerin suyun bitki kök bölgesine daha verimli bir şekilde ulaştırılmasını sağladığı, suyun buharlaşma ve sızma kayıplarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir.

Fereres ve Soriano (2007) kısıntılı sulama uygulamaları su kullanım verimliliği ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, bitkilerin suya olan ihtiyacının büyüme dönemlerinde sağlanmasını ve diğer dönemlerde su miktarının azaltılmasını öneren kısıntılı sulama uygulamalarını detaylandırmıştır. Bu uygulamalar, toplam su kullanımını % 20 ila % 40 oranında azaltarak, bitki kök gelişimini teşvik etmiş ve su stresine dayanıklılığı artırmıştır. Ayrıca, bu yöntemlerin tarımsal verimliliği korunurken su kullanımını azalttığı vurgulanmıştır.

Çakmak vd. (2008) tarımsal sulama yönetimi ile ilgili yaptıkları çalışmada, tarımsal sulama yönetimini, amaçlarını gerçekleştirmek için suyun kullanımını sağlayan bir

organizasyon olarak tanımlamıştır. Bu amaçla periyodik olarak suyun kullanımı ve işletiminin değerlendirilmesinin gerekli olduğu ifade edilmiştir. Sulama yönetiminde karşılaşılan sorunlar aşırı su kullanımı, sulama şebekelerinin eski olması, su kirliliği, su iletim ve dağıtımının açık sistemlerle yapılması, organizasyon ve yönetim sorunları olarak sıralanmıştır. Sulamada drenaj sularının yeniden kullanımı, sulamada atık suların kullanımı, yüzey su kaynaklarının suyun bol olduğu alanlardan kıt olduğu alanlara yönlendirilmesi, çiftçilerin su tasarrufu sağlayan basınçlı sulama yöntemlerini uygulamalarının sağlanması gibi çalışmaları kapsayan politikaların öneminden bahsedilmiştir.

Ali ve Talukder (2008), farklı sulama yöntemlerinin su verimliliği ve bitki verimi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmişlerdir. Araştırma, damla sulama ve yağmurlama yöntemlerinin, geleneksel yöntemlere göre % 30'a varan su tasarrufu sağladığını ve bitki köklerine doğrudan suyun iletilmesiyle su kaybının en aza indirildiğini göstermektedir. Çalışma, modern sulama yöntemlerinin suyun bitki kök bölgesine eşit dağılımını sağlayarak bitki verimini artırdığını ve su kullanım verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur.

Payero vd. (2009), mısır bitkisinde farklı sulama uygulamalarının su verimliliği ve bitki verimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma, kısıntılı ve tam sulama uygulamalarını karşılaştırarak, su tasarrufu ve verimlilik üzerinde bu uygulamaların etkilerini analiz etmiştir. Kısıntılı sulama, su kullanımını % 25 oranında azaltmış ve bitki verimini koruyarak su kullanım verimliliğini artırmıştır. Bu bulgular, su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde tarımsal üretim için sürdürülebilir sulama stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

Lithourgidis vd. (2011), sürdürülebilir tarım bağlamında yıllık ürün rotasyonu uygulamasının faydalarını ve zorluklarını ele almıştır. Ürün rotasyonu, aynı alanda ardışık yıllarda farklı ürünlerin yetiştirilmesi şeklinde tanımlanır ve geleneksel tarımsal üretimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu derleme makalede, ürün rotasyonunun verim artışı, kaynakların daha verimli kullanımı, toprak verimliliğinin iyileştirilmesi, toprak erozyonunun azaltılması, zararlılara karşı direnç, yem kalitesinin iyileştirilmesi ve

çiftçiye daha fazla finansal istikrar sağlaması gibi birçok avantajı vurgulanmıştır. Ürün rotasyonunun özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olduğunu ve bu bölgelerde gıda güvenliğine önemli katkılar sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca, makalede ürün rotasyonu uygulamasının bazı zorlukları da ele alınmıştır. Bunlar arasında uygun bitki türlerinin ve ekim sıklıklarının seçimi, ek iş gücü gereksinimi ve mekanizasyon zorlukları sayılabilir. Yazarlar, ürün rotasyonu sistemlerinin karmaşıklığına dikkat çekerek, bu sistemlerin başarısının bileşen türler arasındaki etkileşimlere, mevcut yönetim uygulamalarına ve çevresel koşullara bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, bitki ıslahının ürün rotasyonu sistemlerinin verimliliğini artırmada önemli bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, ürün rotasyonu uygulamasının sürdürülebilir tarım için önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak bu potansiyelin tam olarak anlaşılması ve uygulanması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.

Mekonnen ve Hoekstra (2012), tarımsal üretimde suyun yeşil, mavi ve gri bileşenlerini analiz etmiştir. Çalışmada, yeşil suyun bitki büyümesi için dikkate alınması gereken bir bileşen olduğu ve mavi suyun etkin kullanımının su verimliliği açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Gri suyun yeniden kullanım potansiyeli ele alınmış ve su kalitesinin bitki sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve su tasarrufu stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli bulgular sunmaktadır.

Saudy ve El-Bagoury (2014), Mısır'da yarı kurak bir bölgede mısır ekim desenleri ve sulama yöntemlerinin (damla sulama ve modifiyeli yüzey sulama) yabancı otları azaltma, mısır verimi ve su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmanın sonuçları, damla sulamanın mısır verimini önemli ölçüde artırdığını ve su kullanımını azalttığını göstermektedir. Ayrıca, belirli bir ekim deseninin yabancı otları azaltmada en etkili yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bu ekim deseni hem damla sulama hem de modifiye yüzey sulama altında mısır verimini artırmış ve su kullanım etkinliğini iyileştirmiştir. Araştırmacılar, bu ekim deseninin su kıtlığı olan bölgelerde hem ekonomik hem de sürdürülebilir bir tarım uygulaması olabileceği sonucuna varmışlardır.

Eliçabuk ve Topak (2016), Konya bölgesindeki Gevrekli Sulama Birliği'nin 2008-2013 yılları arasındaki su dağıtım ve üretim performansını incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yıllık toplam tarımsal üretim değeri 21 milyon TL ile 39 milyon TL arasında değişmektedir. Sulanan birim alan başına elde edilen gelir 6.451 TL/ha ile 11.501 TL/ha arasında, şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen brüt gelir ise 1.474 TL/ha ile 3.814 TL/ha arasında değişmektedir. Birim alana verilen toplam sulama suyu miktarı 665 m³/ha ile 1.301 m³/ha arasında, birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı ise 2.577 m³/ha ile 5.273 m³/ha arasında değişmektedir. Yıllık su temini oranı ise 0,51 ile 1,04 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Sharma vd. (2015), su kullanım verimliliği ve su verimliliği kavramlarının bitki, tarla, çiftlik, bölge/alt havza, havza ve ulusal düzeyde ölçümünü detaylı bir şekilde açıklamıştır. Su verimliliğinin hesaplanmasında kullanılan geleneksel ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler detaylandırılmıştır. Ayrıca, özellikle suyun kıt olduğu koşullarda, sulanan alanlarda, çeltik tarlalarında ve büyük nehir havzalarında su verimliliğinin nasıl artırılabilirliği tartışılmıştır. Bu bağlamda, su verimliliğini artırmak için biyolojik, çevresel ve yönetsel düzeylerde çeşitli fırsatlar olduğu belirtilmiştir. Özellikle su ve besin etkileşimlerinin daha iyi anlaşılması ve kullanılmasının, tüm seviyelerde su verimliliğini artırmak için çok önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Değirmenci ve Kartal (2019), Akdeniz Havzası'ndaki 17 sulama tesisinin 2006-2016 yılları arasındaki performansını su dağıtım, finansal ve üretim etkinlik göstergeleri üzerinden değerlendirmiştir. Bu değerlendirme, sulama tesislerinin sürdürülebilirliğini etkileyen temel faktörleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. On bir yıllık ortalama verilere göre, Bozyazı, Silifke ve Anamur sulama tesisleri en yüksek performans değerlerine sahipken, Karaisalı, Mut ve Düziçi Sabunsuyu sulama şebekeleri en düşük performans değerlerine sahiptir. Ceyhan sulama tesisinde sulama oranı % 86,25 olarak belirlenirken, Düziçi Sabunsuyu sulama tesisinde ihtiyacın karşılanma oranı 4,71 olarak tespit edilmiştir. Anamur sulama tesisinde birim sulanan alandan elde edilen üretim değeri 23.866 \$/ha iken, Samandağ sulama tesisinde birim sulama alanına düşen işletme, bakım ve yönetim masrafları 502 \$/ha olarak hesaplanmıştır.

Kartal (2019), Masat, Beyler ve Iğdır sulama şebekelerinin performans kriterlerini tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçları, bu sulama tesislerinde sulama oranının ülke ortalamasının altında olduğunu ve birim alana verilen sulama suyu miktarının fazla olduğunu göstermektedir. Özellikle Masat ve Beyler sulama tesislerinde sulama oranları sırasıyla % 8,79 ve % 6,88 gibi oldukça düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Çalışma ayrıca, bu sulama şebekelerinin minimum performans gösterdiğini ve Beyler sulama şebekesinde sulama suyu ihtiyacının karşılanma oranının 5,16 gibi problemli bir düzeyde olduğunu ortaya koymuştur. Kartal (2019), suyun verimli kullanımı ve daha yüksek performans elde edilmesi için Masat, Beyler ve Iğdır sulama tesislerinde modernizasyon çalışmalarının gerekliliğini vurgulamıştır.

Kartal vd. (2019), suyun verimli kullanımı için sulama tesislerindeki kanal sistemlerinin önemini vurgulayarak, Ege Havzası'ndaki 9 sulama tesisinde ana iletim kanallarının ve uzunluklarının sulama performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma sonuçları, sulama tesisleri, kanal uzunlukları ile birim sulama alanına verilen toplam sulama suyu miktarı ve su temini oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiştir. Çalışmada su dağıtım performans göstergeleri, finansal göstergeler ve tarımsal üretim ekonomik göstergeleri sulama şebekelerinin sıralanmasında temel bileşenler analizi sonucuna göre farklı etkiler göstermiştir. Sonuç olarak birim sulanan/sulama alanına dağıtılan toplam sulama suyu miktarı, birim sulanan/sulama alanı üretim değeri göstergeleri sulama projelerinin sıralamasında önemli faktörler olduğu belirtilmiştir.

Kartal ve Değirmenci (2019), Göksun, Andırın, Keysun, Kahramanmaraş ve Hancıoğlu sulama şebekelerinin 2006-2016 yılları arasındaki performansını çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle incelemiştir. Bu çalışmada, sulama şebekelerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kalite indeksi hesaplanmış ve bu indeks değerlerine göre bir performans sıralaması yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, kalite indeksi bakımından en yüksek performansı gösteren sulama tesisi 311,96 puanla Kahramanmaraş olurken, en düşük performansı-1.061,53 puanla Hancıoğlu sulama tesisi göstermiştir. Bu sonuçlar, sulama tesislerinin başarı sıralamasında su dağıtım performansı ve finansal göstergelerin belirleyici rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Kartal ve Değirmenci (2020), Antalya Havzası'ndaki 13 sulama tesisinin 2006-2016 yılları arasındaki performansını değerlendirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, Korkuteli Sulama tesisinde en yüksek sulama oranı (% 82,21) elde edilirken, Mursal sulama tesisinde birim alana verilen toplam sulama suyu miktarı en düşük (5.532,32 m³/ha) seviyede gerçekleşmiştir. Su ihtiyacının karşılanma oranı en yüksek (3,74) Alara sulama tesisinde, gelir/gider karşılaştırması oranı ise en düşük (0,76) Manavgat sulama tesisinde bulunmuştur. Birim alandan elde edilen üretim değeri en yüksek (1.855,53 \$/ha) Çıplaklı sulama tesisinde, birim sulama suyundan elde edilen üretim değeri ise yine en yüksek (2,90 \$/m³) Çıplaklı sulama tesisinde tespit edilmiştir. Kalite indeksi sıralamasında Korkuteli sulama tesisi 1.523,91 puanla ilk sırada yer alırken, Manavgat sulama tesisi - 514,38 puanla son sırada yer almıştır. Araştırmacılar, sulama tesislerinin performansını en çok etkileyen faktörün tarımsal etkinlik olduğunu belirtmişlerdir.

Eroğlu ve Tekiner (2023), DSİ Balıkesir Bölge Müdürlüğü sınırları içinde yer alan Bayramiç-Ezine Ovaları Sulama Birliği'nin 2001-2017 yılları arasındaki bakım-onarım faaliyetlerini ve harcamalarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, Sulama Birlikleri Çerçeve Ana Statüsü mevzuatına uygun harcamaların, 2001, 2004, 2005 ve 2006 yılları hariç diğer yıllarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yıllık olarak ayrılması gereken minimum bakım-onarım payının % 29,2 ile % 29,6 arasında değiştiği belirlenmiştir. Toplam 2.592.118 dolarlık bakım-onarım harcamalarının dağılımı incelendiğinde, en büyük payın % 44,6 ile bakım-onarım personeline ait olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla araçların bakım-onarımı (% 16,6), kanal, kanalet ve boru onarımı (% 10,8), diğer bakım ve onarımlar (% 10,6), kanal, kanalet ve boru bakımı (% 6,7) ve servis yolları ile binaların bakım-onarımı (% 5,4) şeklinde ifade edilmiştir.

Harman ve Çakmak (2023), Eskişehir'deki Sakaryabaşı Sulama Birliği'nin 2018-2022 yılları arasındaki su dağıtım, mali ve üretim performansını değerlendirmiştir. Çalışmada, yıllık su temini oranının % 0,97 ile % 1,49 arasında olduğu, yatırımın geri dönüşüm oranının % 62,83 ile % 125,08 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bakım masrafının gelire oranının % 19,43 ile % 51,86 arasında, birim alana düşen işletme-bakım-yönetim masrafının 51,35 \$/ha ile 73,07 \$/ha arasında olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca, su dağıtımında çalışan her bir kişiye düşen toplam masrafın 9.632,38 \$ ile 13.589,57 \$

arasında, su ücreti toplama performansının % 75,08 ile % 96,40 arasında değiştiği belirtilmiştir. Birim alana düşen çalışan personel sayısının 0,00115 kişi/ha ile 0,00161 kişi/ha arasında olduğu, birim sulama alanına karşılık elde edilen gelirin 1.776,93 \$/ha ile 2.179,49 \$/ha arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sulanan birim alana karşılık elde edilen gelirin 1.895,51 \$/ha ile 2.269,31 \$/ha arasında, şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelirin 0,277 \$/m³ ile 0,405 \$/m³ arasında olduğu, tüketilen birim sulama suyuna karşın elde edilen gelirin ise 0,726 \$/m³ ile 0,814 \$/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Gümüş ve Tekiner (2023), DSİ'nin 7 farklı Bölge Müdürlüğü sorumluluğundaki 12 havzada yer alan 84 sulama tesisinin işletme performansını incelemiştir. Bu tesislerden 13'ü DSİ tarafından işletilen, 71'i ise devredilen tesislerdir. Çalışmada, sulama oranları, sulanmama nedenleri gibi parametreler değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, sulama oranı, şebeke sulama oranı ve sulu tarım yapılan alan oranı devredilen sulama tesislerinde daha yüksek bulunmuştur. Tüm sulama tesisleri göz önünde bulundurulduğunda, sulamaya açılan alanların ortalama % 26,5'inin kuru tarım, % 11,2'sinin nadas ve % 27,2'sinin ise çeşitli nedenlerle boş bırakıldığı tespit edilmiştir. İncelenen sulama tesislerinde boş bırakılan alanların ortalama oranı % 64,9 olarak belirlenmiştir.

Tanışıklı ve Çakmak (2023), Çorum Sulama Birliği'nin 2019-2022 yılları arasındaki su yönetim faaliyetlerini su kullanım etkinliği ve tarımsal etkinlik performans göstergeleri üzerinden değerlendirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, su temin oranının ideal seviyenin altında olduğu belirlenmiş ve sulama oranının artırılması için öneriler sunulmuştur. Ayrıca, 2021 yılında 2020 yılına kıyasla sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir ve şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelirden bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bu düşüşün, yaşanan kuraklık nedeniyle uygulanan kısıntılı sulama (% 50 ve % 75) dan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Harman (2023), Eskişehir Sulama Birliği'nin 2016-2022 yılları arasındaki su kullanım etkinliğini incelemiş ve su kısıntısına göre en yüksek geliri sağlayacak optimum bitki desenini belirlemiştir. Mevcut su durumu ve kuraklık senaryoları altında doğrusal

olmayan programlama yöntemiyle optimum bitki deseni hesaplanmış ve mevcut bitki deseni ile karşılaştırılmıştır. 2016-2022 yıllarında dağıtılan su miktarı 103.040.000-27.720.000 m³ arasında değişirken, birim alana dağıtılan yıllık su miktarı 6.207,23-1.669,88 m³/ha arasında olmuştur. Birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı 8.514-1.939 m³/ha, yıllık su temini oranı 1,13-0,24, sulama oranı % 88,15-72,19 arasında değişmiştir. Yatırımın geri dönüşüm oranı % 145,89-38,88, bakım masrafının gelire oranı % 54,04-21,44 olarak belirlenmiştir. Birim sulanan alana düşen toplam işletme bakım ve yönetim masrafı 94,46-33,86 \$/ha, su ücreti toplama performansı % 95,98-45,91 arasında değişmiştir. Yıllık toplam üretim değeri 86.188.126,35-46.186.964,79 \$, tarımsal üretimden elde edilen toplam net gelir 50.171.988,56-19.960.656,71 \$ arasında değişmiştir. Birim sulama alanına karşılık elde edilen net gelir 3.022,41-1.202,45 \$/ha, birim sulanan alana karşılık elde edilen net gelir 3.428,52-1.649,33 \$/ha, şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen net gelir 1,22-0,18 m³/ha, tüketilen birim sulama suyuna karşın elde edilen net gelir 0,89-0,46 \$/m³ olarak belirlenmiştir. Kurak iklim şartlarında mevcut su kaynağına göre optimum bitki deseni iki senaryo altında belirlenmiştir. Birinci senaryoda % 0,7 ayçiçeği, % 17,4 domates, % 23,8 mısır, % 22,8 patates, % 15,2 soğan, % 3,7 üzüm, % 16,4 buğday (kuru) ekimi önerilirken, ikinci senaryoda % 15 kuru fasulye, % 16,7 buğday (sulu), % 10 domates, % 25 mısır, % 15 patates, % 15 soğan, % 3,3 üzüm ekimi önerilmiştir. Her iki senaryoda da 14.581 hektarlık sulanabilir alanın tamamı ekilerek, birinci senaryoda 40.393.556,70 \$, ikinci senaryoda 38.080.957,50 \$ toplam net gelir elde edilmesi öngörülmüştür.

2.2 Su Verimliliğinde Bitkisel ve Havza Bazlı Model Yaklaşımları

Keller ve Keller (1995), klasik sulama verimliliği kavramlarının, sulama yönetimi ve tasarımı için uygun olmasına rağmen, su tahsisi ve transfer politikalarının oluşturulmasında yetersiz kaldığını savunmaktadır. Klasik verimlilik yaklaşımı, suyun bir kullanım sonrasında çevreye ya da su kaynaklarına geri dönen kısmının (geri dönüş akışları) önemini yeterince dikkate almamaktadır. Bu nedenle, su tasarrufu sağlamak amacıyla alınan önlemler, geri dönüş akışlarının sisteme yeniden katılımını göz ardı ettiğinde, toplam su kullanımında gerçek bir azalma sağlamayabilir. Yani, suyun geri

dönüş akışları dikkate alınmadığında, yapılan tasarruflar net bir su kazancı yaratmaz, çünkü geri dönen su, başka bir yerde tekrar kullanılabilecek bir kaynaktır. Bu durumu ele alarak, Keller ve Keller "etkin verimlilik" (Ee) adı verilen yeni bir kavramı önerirler. Etkin verimlilik, sulama sisteminde bitkiler tarafından gerçekten kullanılan ve buharlaşma veya terleme yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder. Bu kavram, bitkilere fayda sağlayan ve sistemden geri dönmeyen suyu dikkate alır. Geri dönüş akışları gibi sisteme geri dönebilecek su miktarını dışarıda tutarak, sulamanın gerçek etkisini ve kaynak kullanımını daha doğru bir şekilde yansıtır. Bu sayede, suyun planlanması ve tahsis edilmesi süreçlerinde daha isabetli kararlar alınabilir. Çalışmada, etkin verimlilik ve klasik verimlilik kavramları karşılaştırılarak, etkin verimliliğin su kaynakları yönetiminde daha doğru kararlar alınmasına olanak tanıdığı gösterilmiştir. Grand Valley ve Imperial sulama bölgelerindeki örneklerde, etkin verimliliğin klasik verimlilikten daha yüksek olduğu ve gerçek su tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için klasik verimlilik yerine etkin verimlilik kavramının kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Camp vd. (1997), damla sulama sistemlerinin su dağılımında sağladığı eşit dağılımın mısır bitkisi üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. Çalışmada, farklı damla sulama sistemlerinin suyun bitki kök bölgesine ne kadar eşit bir şekilde dağıtıldığını incelemişlerdir. Sonuçlar, damla sulama sistemlerinin suyun homojen bir şekilde dağıtılmasını sağladığını ve bu durumun bitki köklerinin suya eşit erişimini kolaylaştırdığını göstermiştir. Damla sulama sistemlerinin, diğer sulama yöntemlerine göre suyun daha verimli kullanılmasına olanak tanıdığı tespit edilmiştir.

Taşcılar, (2008) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Çukurova Bölgesi'nde, ana üründe, çift sıra ekim yöntemi ve farklı ekim sıklıklarının, bölgede yaygın olarak yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinin yeşil ot verimi, tane verimi ve bazı verim öğelerine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, tane verimi 1.301,8 ile 1.541,4 kg/da arasında değiştiği belirtilmiştir.

Kaman ve Kirde (2008) tarafından yapılan çalışmada, Çukurova Bölgesi'nde yetiştirilen beş farklı mısır çeşidinin, tam sulama, geleneksel kısıntılı sulama ve yarı ıslatmalı sulama

yöntemleri altındaki verim tepkileri incelenmiştir. Tam sulama, bitkinin su ihtiyacının tamamen karşılandığı kontrol yöntemi olarak kullanılırken, geleneksel kısıntılı sulama, bu su miktarının %65'inin her iki kök tarafına uygulanmasını içermiştir. Yarı ıslatmalı sulama ise benzer şekilde %65 su uygulanmasına rağmen, köklerin bir yarısının her sulamada ardışık olarak ıslatıldığı bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Araştırmada, damla sulama yöntemiyle gerçekleştirilen sulama uygulamaları sonucunda, mısır çeşitlerinin ortalama tane verimleri 3,93 ile 7,23 t/ha arasında değişmiştir. En yüksek verim P.3394 çeşidinde elde edilirken, en düşük verim Tector çeşidinde kaydedilmiştir. Sonuçlar, sulama yöntemlerinin ve mısır çeşitlerinin verim üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir.

Farré ve Faci (2009) yaptığı çalışmada, Akdeniz iklim koşullarında mısır üretimi için kısıntılı sulama (deficit irrigation) uygulamalarını incelemişlerdir. Çalışmada, kısıntılı sulamanın mısır bitkisinin büyümesi, verim ve su kullanım etkinliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kısıntılı sulama uygulamaları, bitki su stresini yönetmek ve su kaynaklarını daha verimli kullanmak amacıyla farklı sulama düzeylerinde test edilmiştir. Sonuçlar, kısıntılı sulamanın bitki su stresini minimize ederek su kullanımını optimize edebileceğini ve verim kaybını minimize edebileceğini göstermiştir.

Steduto vd. (2009), AquaCrop modelini, gelişim esası su odaklı olan; tam ve kısıntılı sulama koşulları ve doğal koşullarda bitki gelişimini ve gelişim sonunda elde edilebilecek verimi tahmin etmeye yarayan bir simülasyon modeli olarak tanımlamaktadır. AquaCrop, yağışa dayalı, kısıntılı veya tam sulama koşullarında bitki su tüketimi yardımıyla büyük otsu bitkilerde (mısır, patates, şeker pancarı vb.) ulaşılabilir verimi tahmin etmektedir. Ayrıca, AquaCrop modeli referans bitki su tüketimini (ET_o) oluşturan transpirasyon (Tr) ve buharlaşmanın (E) ayrılmasında da kullanılabilir. Model referans bitki su tüketimini, bitki tarafından tüketilen su ve toprak yüzeyinden olan buharlaşma olarak tahmin ederek, günlük biyokütle verimini hesaplar. Model günlük transpirasyonu kullanmaktadır. Kök bölgesindeki toprak nemi, bitki örtü yüzdesi ve dane verimi değerleri de model ile doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. AquaCrop modeli ile farklı tarımsal uygulamaları altında belirli bir mahsulün üretimi değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Geerts vd. (2009) AquaCrop modeli yardımıyla, geçmişe dönük iklim verilerinden yararlanarak bitki gelişimini simüle etmişlerdir. Kısıntılı sulamada uygulanacak AquaCrop gibi modellerin su kullanım etkinliğindeki artışın değerlendirilmesine ve farklı çevresel streslerin verim üzerine etkisini tahmin etmeye yardımcı olacağını savunmuşlardır. Yapılan çalışmada kinoa bitkisi özelinde büyüme aşamalarından; bitkinin çıkış, çiçeklenme ve dane oluşumu dönemlerinde kuraklık stresine karşı dayanıklılığı gözlemlenmiştir. Model özelinde yapılan simülasyonlar neticesinde kinoa bitkisinin kuraklığa karşı çok duyarlı olduğu gözlemlenmiş, büyüme dönemleri için sulama programı oluşturulmuştur.

Huang vd. (2011) mısır bitkisinin verim potansiyeli ve su kullanım etkinliği üzerine kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Çalışmada, su kullanım etkinliğinin artırılması için çeşitli sulama yöntemleri ve uygulamaları değerlendirilmiştir. Araştırma, farklı sulama yöntemlerinin mısır verimi üzerindeki etkilerini ve su kullanımını optimize etmek için kullanılabilecek yöntemleri ele almıştır. İnceleme, damla sulama ve hassas sulama tekniklerinin su kullanım etkinliğini artırmada etkili olduğunu ve bu yöntemlerin mısır bitkisi için verim potansiyelini maksimize edebileceğini gösterilmiştir.

Kale ve Tarı (2012), AquaCrop modelini kullanarak yaptıkları çalışmada, buharlaşmanın terlemeden ayrılma özelliğini detaylı bir şekilde incelemiştir. Çalışmada, belirli sonuçlara ulaşmak ve daha sonra bu modelleme sonuçlarını arazi ölçümleri ile doğrulamak amacıyla, toprak verimliliği, sulama ve malç gibi spesifik yöntemlerin etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, modelin genel olarak iyi bir performans sergilediğini göstermiştir, ancak AquaCrop modelinin biyokütle değerlerini gerçekte olduğundan biraz daha yüksek tahmin ettiği belirlenmiştir.

Ashfaq vd. (2012), Umman'ın Al Batinah bölgesinde tarımsal su verimliliğini incelemişlerdir. 2005-2008 yılları arasında 18 tarlada gerçekleştirdikleri saha çalışmalarında, damla sulama ile yetiştirilen domates, biber, kavun ve lahana ile yağmurlama sulama ile yetiştirilen Rhodes çimini karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, damla sulamanın yağmurlama sulamaya kıyasla su ve ekonomik verimlilik açısından daha yüksek performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Domates ve lahananın su

verimliliği diğer mahsullere göre daha iyi sonuçlar verirken, lahana sulama suyuna yapılan her birim yatırım başına en yüksek brüt getiriyi sağlamıştır. Bu bulgularla, çiftçilerin karlılığını artırmak için damla sulama sistemlerinin benimsenmesi ve su kıtlığı çeken bölgelerde sulama modernizasyonu için politika teşviklerinin önemini vurgulamışlardır.

Ahmadi vd. (2015) yaptıkları çalışmada, AquaCrop modeli mısır büyümesi ve toprak su içeriğini, bitkinin su ihtiyacının % 120, % 100, % 80 ve % 60'ı olarak belirlenen tam ve kısıntılı sulama yönetimleri altında simüle etmek için kullanmışlardır. Toprak su içeriği simülasyonunda kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında kök ortalama kare hatası (RMSE) % 3-14 arasında değişmiştir. Özellikle orta ve şiddetli su stresi koşullarında sezon içi biyokütle gelişimi ve nihai dane verimi için modelin doğruluğu daha düşük bulunmuştur. Çalışma sonucunda, AquaCrop modelinin kök dağılımı ile ilgili bazı kalibrasyon parametreleri eklenerek geliştirilebileceği önerilmiştir.

Chukalla vd. (2015) yaptıkları çalışmada, su ayak izini azaltma stratejilerini araştırmak için AquaCrop modelini kullanmışlardır. Modelde dört sulama yöntemi (yüzey, yağmurlama, damla, yüzey altı damla), üç sulama uygulaması (tam, kısıntılı, tamamlayıcı) ve üç malçlama uygulaması (malçsız, organik, sentetik) incelenmiştir. Kalibrasyon ve validasyon sürecinde AquaCrop modelinin daha önce çeşitli bitkiler ve farklı çevresel koşullarda başarıyla test edildiği vurgulanmıştır. Model, su stresi ve bitki büyüme parametreleri için hassasiyet analizlerine dayanarak, çeşitli toprak ve iklim koşullarında kalibre edilmiş ve validasyon çalışmaları, önceki saha deneylerine dayandırılmıştır. Bununla birlikte, çalışma kapsamında model parametrelerinin özel bir hassasiyet veya belirsizlik analizine tabi tutulmadığı, ancak literatürde mevcut validasyon sonuçlarına dayanarak güvenilir sonuçlar sunduğu belirtilmiştir.

Akumaga vd. (2017), Batı Afrika'da bulunan mısır bitkisine farklı düzeylerde verilen azotlu gübre koşullarında modeli test etmek için AquaCrop modelini kullanmıştır. Çalışmada farklı iklim koşullarında ürün verimi (Y) ve bitki örtü yüzdesi (CC) simüle edilmiş ve programın iyi bir performans sağladığı görülmüştür. Bu sonuçlar, AquaCrop modelinin Batı Afrika koşullarında azotlu gübre uygulamalarının mısır verimi ve bitki

örtüsü dinamikleri üzerindeki etkilerini güvenilir şekilde simüle edebildiğini göstermekte ve bölgedeki gübre yönetimi stratejilerinin optimize edilmesi için değerli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Sears vd. (2018), suyun artan kıtlığı karşısında, özellikle tarımda sürdürülebilir yeraltı suyu yönetiminin önemine dikkat çekmişlerdir. Politika yapıcılarının sıklıkla benimsediği, sulama verimliliğini artırarak su kullanımını azaltmayı hedefleyen teşvik programlarının etkinliğini sorgulayan yazarlar, Jevons Paradoksu'na odaklanmışlardır. Bu paradoks, daha verimli sulama teknolojilerinin benimsenmesinin beklenenin aksine su tüketiminde artışa yol açabileceğini ifade etmektedir. Jevons Paradoksu'nu çiftçilerin davranışsal tepkileriyle açıklamıştır. Buna göre, çiftçiler daha verimli sulama teknolojileri sayesinde daha fazla araziye sulayabilmekte veya daha fazla su tüketen ürünlere yönelebilmektedir. Ayrıca, arazi emeklilik programlarının da çiftçileri daha az verimli ve genellikle sulanmayan arazilerini programa dahil etmeleri nedeniyle etkisiz kalabileceği belirtilmiştir. Sears vd. (2018), bu paradoksu ampirik olarak destekleyen çeşitli bölgelerden (Kansas, Çin) kanıtlar sunmuşlardır. Örneğin, Kansas'ta daha verimli sulama sistemlerine yönelik desteklerin yeraltı suyu tüketimini azaltmadığı, aksine çiftçilerin sulanan arazi miktarını ve su yoğun ürünlerin üretimini artırmalarına yol açtığı bulunmuştur. Ayrıca, sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi politikalarının tasarlanmasında Jevons Paradoksu'nun ve çiftçilerin davranışsal tepkilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamışlardır. Politika yapıcılarının, teşvik programlarının beklenmeyen sonuçlarını göz önünde bulundurmaları ve çiftçilerin mevcut su kaynaklarını daha verimli kullanmalarını sağlayacak alternatif uygulamalar geliştirmeleri gerektiği sonucuna varmışlardır.

Kumar (2018) gerçekleştirdiği çalışma ile AquaCrop modelini kullanarak, Rabi mısırının tam ve kısıntılı sulama yönetimleri altında büyümesi ve su kullanımı simüle etmiştir. Araştırma, 4 Kasım 2016 ile 13 Nisan 2017 tarihleri arasında Bihar, Hindistan'da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tam sulama yapılan T1 uygulamasının bitki boyu, gövde çapı ve verim gibi biyometrik parametrelerde en üstün olduğunu göstermiştir. T1 uygulaması için dane verimi 11,12 t/ha, biyokütle ise 24,92 t/ha olarak kaydedilmiştir. AquaCrop modeli, tahmin doğruluğu açısından % 2,25 ile % 11,84 hata oranı göstermiştir

ve tam sulama ile % 75 sulama seviyesinde gözlemlerle uyumlu tahminler yapmıştır. Model, dane verimi ve biyokütle tahminlerinde E ve R² değerleri ile yüksek doğruluk sergilemiştir. Bu bulgular, AquaCrop modelinin hem tam hem de kısıntılı sulama koşullarında Rabi mısırının büyüme ve su kullanımı süreçlerini başarılı bir şekilde simüle edebileceğini, dolayısıyla sulama yönetimi uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek için güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Nur (2019) tarafından Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü deneme arazisinde yapılan çalışmada mısır bitkisinin su tüketimi ve bitki katsayıları lizimetre yöntemiyle belirlenmiştir. Araştırmada Dekalb 6589 mısır çeşidi kullanılmış, sulama suyu miktarları A sınıfı buharlaşma kabından elde edilen yığışimli buharlaşma değerleri kullanılarak hesaplanmış ve sulamalar 7-8 günlük aralıklarla yapılmıştır. Bitki katsayıları için FAO yaklaşımları kullanılmış ve çim kıyas bitki su tüketimleriyle kestirim yapılmıştır. Mısır bitkisinin su tüketimi lizimetre yöntemine göre 618,2 mm, su bütçesi yöntemine göre ise 488,8 mm olarak belirlenmiştir. Mevsimlik kıyas bitki su tüketim değeri ise 609,8 mm olarak tahmin edilmiştir. FAO-56 PM kıyas bitki su tüketimi yöntemi kullanılarak belirlenen bitki katsayıları başlangıç dönemi için 0,26, bitki gelişme dönemi için 1,49 ve dönem sonu için ise 0,23 olarak saptanmıştır. Mısır bitkisinin dane verimi yaklaşık olarak 600 kg/da 1000 dane ağırlığı 291,6 g, en yüksek yaprak alan indeksi (LAI) değeri 4,57 kuru madde miktarı 3.154,86 g/m² ve hasat indeksi (HI) değeri ise 0,19 olarak bulunmuştur.

Raeisi vd. (2019) yaptığı çalışma ile su kıtlığının, tarımsal üretim ve gıda güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturduğunu ve su tasarrufu ve verimliliği artırma amaçlı uygulamaların etkinliği ve potansiyel yan etkileri yeterince incelenmediğini ortaya koymuştur. Çalışmada, popüler tarımsal su yönetimi uygulamaları gerçek su tasarrufu, su verimliliği, toprak tuzluluğu ve çevresel akış gibi birden fazla faktörü göz önünde bulunduran bütüncül bir çerçevede değerlendirilmiştir. SWAT ve AquaCrop modelleri kullanılarak hem tarla hem de havza ölçeğinde yapılan simülasyonlar, bazı uygulamaların beklenen faydaları sağlamadığını, hatta su tüketimini artırarak çevresel akışı azaltabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak tuzluluğu gibi yan etkilerin göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanırken, bu bulgular su yönetimi stratejilerinin

bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesinin ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesinin önemini ortaya koymuştur.

Irmak (2020) tarafından yapılan çalışmada, Çukurova Bölgesi ana ürün danelik mısırdaki (DKC 6761, DKC 5364 ve 72 MAY 80) farklı ekim tarihlerinin (1 Şubat, 20 Şubat, 10 Mart, 30 Mart, 20 Nisan) dane verimi ve diğer bazı bitkisel özelliklere etkisi incelenmiştir. Deneme, bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, farklı ekim zamanlarının bitki boyu, koçan yüksekliği, bitkide sap kalınlığı, koçanda dane oranı ve bin dane ağırlığı değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir. Ancak, koçan boyu, koçan çapı, koçanda dane sayısı, tek koçan ağırlığı, koçanda dane ağırlığı, hektolitre ağırlığı, nem içeriği ve dane verimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkiler görülmüştür. Bu bulgular, ekim tarihlerinin belirli mısır çeşitlerinde dane verimi ve koçan özellikleri üzerindeki etkilerini optimize etmek için dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini göstermekte ve özellikle 30 Mart ekim tarihinin Çukurova Bölgesi'nde yüksek verim hedefleyen tarım uygulamaları için potansiyel olarak en uygun zamanlama olduğunu ortaya koymaktadır.

Faloye vd. (2020) yaptıkları çalışmada, biochar ve inorganik gübrenin mısır büyümesi ve verimi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için AquaCrop modeli kullanılmıştır. İki büyüme sezonundan elde edilen saha verileriyle model, gövde örtüsü, dane verimi ve toplam biyokütle verimi tahminleri için kalibre edilmiştir. Uygulamalar, 0 ve 20 Mg/ha biochar ile 0 ve 300 kg/ha gübrenin farklı sulama yönetimleri altında kullanılmasıyla yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, gözlemlenen verilerle uyumlu olarak, kontrol grubuna göre biochar ve gübre kombinasyonunun verim artışında en etkili olduğunu göstermiştir.

Bu bulgular, AquaCrop modelinin biochar ve inorganik gübre uygulamalarının mısır verimi üzerindeki etkilerini tahmin etmede güvenilir bir araç olduğunu ve kuraklık koşullarında bu uygulamaların verim artırıcı potansiyelini ortaya koyduğunu göstermektedir.

Takács vd. (2021), AquaCrop modelinin su stresi altındaki domates verimi üzerindeki performansını inceleyen üç yıllık bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu araştırmada, modelin büyüme sezonunun ortası tahminlerinde en büyük hataların oluştuğu, ancak hasat dönemine yaklaştıkça tahminlerin genellikle doğru olduğu belirlenmiştir. Modelin doğrulama süreci, farklı su stresi düzeylerinde değişken sonuçlar üretmiş ve özellikle şiddetli su stresi koşullarında artan ve azalan eğilimler gözlenmiştir. Bu bulgular, AquaCrop modelinin su stresini simüle ederken doğruluğunun değişkenlik gösterdiğini ve özellikle şiddetli stres altında daha az güvenilir sonuçlar verebileceğini vurgulamaktadır.

Bu durum, modelin su stresi koşullarındaki uygulamalarında dikkate alınması gereken sınırlamalar olduğunu ve özellikle yoğun stres koşullarında elde edilen tahminlerin güvenilirliğini artırmak için modelin daha fazla geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Wang vd. (2021), kurak bölgelerde mısır bitkisi için damla sulama uygulamalarının bitki büyümesi ve su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, damla sulamanın bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkileri ve suyun verimli kullanımı değerlendirilmektedir. Araştırma, damla sulamanın su kaybını en aza indirerek bitki kök bölgesine suyun doğrudan ulaşmasını sağladığını ve bitki büyümesini desteklediğini ortaya koymuştur. Bu yöntem, kurak bölgelerde su kaynaklarının verimli kullanımı ve mısır üretiminin sürdürülebilirliği açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

Aşık vd. (2021) yaptıkları çalışmada, AquaCrop modeli kullanılarak damla sulama yöntemi altında farklı su seviyeleriyle mısır verimi ve biyokütle üretimi simüle etmişlerdir. En yüksek biyokütle üretimi S1 senaryosunda 21,43 t/ha olarak kaydedilmiş, en düşük biyokütle ise S4 senaryosunda 20,84 t/ha olmuştur. Senaryolar arasında sulama suyu miktarı da değişmiş; S1 senaryosunda 390,7 mm su kullanılırken, S3 senaryosunda bu miktar 348,5 mm olmuştur. Su kullanım verimliliği ise S3 senaryosunda en yüksek değerine (2,42 kg/m³) ulaşmıştır. Bu sonuçlar, sulama uygulamalarının biyokütle ve su verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır.

Khaleghi vd (2023) yaptıkları çalışma ile AquaCrop modelinin, iklim değışikliğı koşulları altında mahsul büyümesini simüle etmedeki geniş uygulanabilirliğı, özellikle çevresel stresler altındaki sürdürülebilir üretim sistemlerinin tasarımındaki güvenilirliğı değerlendirilmiştir. 4 yıllık bu saha-modelleme çalışması, farklı mahsul türleri (mısır ve ayçiçeğı), sulama suyu kaliteleri (tatlı ve tuzlu su) ve sulama uygulamalarının (tam sulama, kısıntılı sulama, kısmi kök bölgesi kurutma) model performansına etkisini incelemiştir. AquaCrop, mahsul verimi (RMSE= 0,31–0,57 t/ha), toplam biyokütle (RMSE= 0,87–2,40 t/ha) ve kök bölgesi tuzluluğı (RMSE= 0,06–0,98 dS/m) gibi parametrelerde güvenilir tahminler yapmıştır. Modelin, özellikle tatlı su uygulamalarında tuzlu suya kıyasla daha yüksek doğrulukla sonuçlar ürettiğı tespit edilmiştir. Bu durum, AquaCrop modelinin sulama suyu kalitesine bağılı olarak performansının değışkenlik gösterebileceğini ve iklim değışikliğı etkisi altındaki sürdürülebilir tarım sistemlerinin planlanmasında önemli bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Adeboye vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın yarı nemli tarım ekolojisinde AquaCrop modelinin, toprak verimliliğı yönetiminin mısırın evapotranspirasyon, verim ve su verimliliğı üzerindeki etkisini simüle etme kapasitesi incelenmiştir. Çalışmada, % 25, % 50, % 75, % 100 ve % 150 oranlarında NPK uygulamaları incelenmiş ve bu oranların mısırın biyokütle, tane verimi ve su verimliliğı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Model, özellikle yüksek verim ve su kullanım verimliliğı durumlarında güvenilir sonuçlar üretmiştir. Araştırma, optimal NPK (Azot Fosfor ve Potasyum) oranının % 150 olduğunu, bunun da verim ve su verimliliğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Çalışmada, gübre uygulamalarının en etkili olduğu durumda, mısır verimi ortalama 6,5 t/ha olarak kaydedilmiştir. Model, topraktaki su içeriğı ve mısır verimini simüle ederken yüksek doğruluk göstermiştir. Bu bulgular, Nijerya'nın yarı nemli tarım ekolojisinde doğru gübre uygulamasının mısır verimliliğı ve su kullanım etkinliğini optimize etmek için kritik bir strateji olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Olasehinde vd. (2024) yaptıkları çalışmada, AquaCrop modelinin yağmurla beslenen koşullarda toprak su içeriğı, mısır verimi, biyokütle ve tepe örtüsü tahminindeki etkinliğı küçük bir veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir. 2015 yılında mısır, yağışlı sezonda

yetiştirilmiştir. Model, toprak özellikleri, ürün parametreleri ve iklim verileri ile kalibre edilmiştir. Sonuçlar, modelin tahminlerinin gözlemlenen değerlerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Örneğin, gözlemlenen dane verimi 3,44 t/ha iken, model 4,88 t/ha olarak tahmin etmiştir. Model, toprak su içeriği ile mısırın tane ve biyokütle verimini makul bir doğrulukla tahmin edebilmiştir.

Conceição vd. (2024) gerçekleştirdikleri çalışmada Rio Grande do Sul, Brezilya'da AquaCrop modelinin mısır bitkisi için farklı sulama seviyeleri altında toprak su içeriği, tepe büyümesi ve biyokütle üretimini simüle etme başarısı değerlendirilmiştir. 2017/18 ve 2018/19 sezonlarında yürütülen iki denemede, % 0, % 50, % 75, % 100 ve % 125 oranlarında su ihtiyacı karşılanmıştır. Model, tepe örtüsü simülasyonunda % 90'ın üzerinde doğrulukla "mükemmel" sınıfında, toprak su içeriğinde ise "çok iyi" olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçları, modelin su eksikliği koşullarında tepe örtüsünü düşük, sulama koşullarında ise yüksek tahmin etme eğilimini göstermiştir. Biyokütle üretimi ve toprak su içeriği için model, su eksikliği olan koşullarda istenilen verimde çalışmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, AquaCrop modelinin tarımsal sulama planlamasında ve su yönetiminde kullanılabilirliğini desteklemektedir.

2.3 İklim Değişikliğinin Tarımsal Sulamaya Etkisi

Şen vd. (2008) tarafından yürütülen "Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri" adlı çalışma Seyhan Havzası'nda 2071-2100 yılları arasındaki potansiyel maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar ile yıllık toplam yağış miktarını ve bunlara bağlı olarak tarımsal su ihtiyacını tahmin etmek için bölgesel iklim modeli RegCM3'ü kullanmıştır. RegCM3 Modeli, 1961-1990 yılları arasında referans verileriyle karşılaştırılmış ve A2 senaryosu altında gelecek 2071-2100 dönemi için HadCM3H küresel iklim modeli ile çalıştırılmıştır. Öngörülen iklim verilerine dayanarak, bölgedeki su kaynakları ve kullanımındaki değişikliklerin tahmin edilmesinde etkin yağış ve referans evapotranspirasyon değerleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Seyhan Havzası'nda etkin yağışlarda azalma ve dolayısıyla su kaynaklarında azalma beklenirken, bitki su ihtiyacının artması öngörülmüştür.

Şen (2009), tarafından yürütülen çalışmada, bölgesel iklim modeli RegCM'nin kullanılmasıyla Çukurova'da 2071-2100 yılları arasındaki iklim tahmin edilmesi ve iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, RegCM Modelinin Türkiye için kullanılabilirliği çeşitli test ve doğrulama çalışmalarıyla değerlendirilmiştir. Yağış benzeşim sonuçlarının topoğrafik yapıyla yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, gelecek dönemlere ilişkin yapılan kestirimler sonucunda, günümüz koşullarına göre ortalama, ortalama maksimum, yıllık maksimum, ortalama minimum ve yıllık minimum sıcaklıklarda sırasıyla 3,0–4,5, 2,9–4,7, 3,1–6,2, 3,0–4,5 ve 3,3–8,5 °C arasında değişen artışlar öngörülmüştür.

Piao vd. (2010) çalışmasında küresel ısınmanın kuraklık üzerindeki etkilerini incelemektedir. Özellikle, küresel iklim modelleri (GCM'ler) ve iklim senaryoları kullanılarak gelecekteki iklim değişikliklerinin tahmin edilmesi ve bu değişikliklerin kuraklık üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gibi yöntemlerin kullanıldığı belirtilmektedir. Araştırma sonuçları, küresel ısınmanın artan kuraklık riski üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, küresel ısınmanın kuraklık dinamiklerini önemli ölçüde etkileyebileceğini ve bu doğrultuda su kaynakları yönetimi ve kuraklıkla mücadele stratejilerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirebileceğini göstermektedir.

Dellal vd. (2011) çalışmalarında, iklim değişikliğinin Türk tarımına ekonomik etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, özellikle Türkiye için temel ürünler olan buğday, arpa, mısır, ayçiçeği ve pamuk üretimi ekonomik açıdan analiz edilmiş olup, yapılan analiz sonucunda seçilen ürün verimlerinde % 3,8-10,1 arasında azalma olacağı tahmin edilmiştir. Bunun yanında, ürünlerdeki verim düşüklüğü ile 0,1 milyon dolarlık bir ekonomik kayba yol açacağı tespit edilmiştir.

Estrela vd. (2012) Akdeniz bölgesindeki nehir akışları üzerinde iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için yaptığı çalışma ile bir modelleme yaklaşımı sunmaktadır. Araştırmacılar, bölgedeki nehir akışlarının gelecekteki değişimlerini belirlemek için bir iklim modeli kullanmışlar ve bu modelin çıktılarını daha doğru hale getirmek için farklı yanlılık düzeltmesi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, Akdeniz bölgesindeki nehir akışlarının iklim değişikliğinden etkilenebileceğini ve bu etkilerin gelecekte nehir

akışlarının miktarı ve mevsimsel dağılımı üzerinde önemli değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, Akdeniz bölgesindeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için iklim değişikliğine uyum sağlayacak stratejilerin geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamakta ve nehir akışlarındaki potansiyel değişimlerin yönetim politikalarına entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Liuzzo vd. (2015) yaptığı çalışma ile Akdeniz bölgesindeki iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkilerini Sicilya, İtalya üzerinden ele almaktadır. Araştırma, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini anlamak için meteorolojik verileri, hidrolojik modelleri ve su kaynaklarındaki değişiklikleri analiz etmektedir. Sicilya'nın iklim değişikliğine olan hassasiyetini ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini değerlendirmekte, bu da bölgesel su yönetimi uygulamaları için önemli bir referans oluşturmaktadır.

Akçakaya vd. (2015), MGM ile Türkiye için üç küresel iklim veri seti (MPI, HadGEM ve GFDL) ve iki senaryo (RCP4,5 ve RCP8,5) çerçevesinde bölgesel iklim modelini kullanarak 20 km çözünürlüklü, 2016-2099 dönemini kapsayan iklim projeksiyonları hazırlamışlardır. Bu projeksiyonlara göre, Türkiye'nin ortalama sıcaklıklarında RCP4,5 ve RCP8,5 senaryoları için HadGEM verilerine göre 1,5-3,6 °C, MPI ve GFDL verilerine göre ise 1,5-2,5 °C aralığında bir artış öngörülmektedir. Yağış miktarları açısından, kötümser senaryolar ele alındığında; HadGEM verilerine göre 2035 yılına kadar pozitif anomaliler beklenirken, MPI verilerine göre periyot boyunca ortalama 160 mm/yıl civarında, GFDL verilerine göre ise periyot boyunca ortalama 105-110 mm/yıl civarında bir azalma yaşanması ifade edilmiştir.

Rio Konferansı'nda ortaya çıkan sonuçların takibi ile ülkelerin ve ilgili paydaşların Binyıl Kalkınma Hedeflerine ulaşma çabalarının uyumlu hale getirilebilmesi için 2002 yılında Johannesburg'da “Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi” gerçekleştirilmiştir. “Tarım, Gıda ve Su İlişkileri” başlığının yer aldığı oturumlarda, dünyadaki yoksul ve açlıkla karşı karşıya olan nüfusun yarıya düşürülmesi için yapılması gerekenler tartışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, tarımsal üretim verimliliğinin artırılmasında tarımda su kullanımının önemi vurgulanmıştır. Dünya genelinde tarımsal üretimin %40'ının sulu

tarımdan, geri kalan %60'ının ise yağışa bağlı kuru tarım uygulamalarından elde edildiği, dolayısıyla üretimin sürdürülebilirliği için her iki uygulamanın da eşdeğer önem taşıdığı belirtilmiştir. Dünya genelinde kullanılan suyun % 80'i tarım sektörüne ayrıldığı düşünüldüğünde sulu tarımda yönetsel, teknik ve kurumsal reformlara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmaların devamı niteliğinde olan 1992 Rio Konferansı'ndan 20 yıl sonra, 20-22 Haziran 2012 tarihleri arasında Rio de Janeiro'da BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio+20) düzenlendiği ve Rio+20 Zirvesi'nin sonucunda "İstediğimiz Gelecek" adıyla kalkınma için yeni bir yol haritası niteliğinde olan bir sonuç belgesi kabul edilmiştir. Binyıl Kalkınma Hedeflerinin devamı niteliğinde, 27 Eylül 2015 tarihinde New York'ta, 17 hedef ve 169 alt hedef içeren "Gündem 2030: BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH)" kabul edilmiştir. SKH 2030, yeni bir küresel kalkınma çerçevesi oluşturarak sürdürülebilir kalkınma gündemine çevre konuları da dahil edilmiş; bu konular arasında sürdürülebilir şehirlerin gelişimi, iklim değişikliği ile mücadele, kuraklıkla başa çıkma ve biyolojik çeşitliliğin korunması yer almaktadır (Eşkinat 2016; Yılmaz 2018).

Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından yayımlanan “Değişen Bir İklimde Yaşamak” adlı raporda, iklim değişikliğinin tarımsal sulama üzerindeki etkilerinin giderek arttığı belirtilmektedir. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimlerinin, tarım alanlarında su stresine yol açtığı ifade edilmektedir. Azalan yağış miktarları ve artan buharlaşma nedeniyle sulama ihtiyaçlarının artacağı, bu durumun tarımsal sulama için daha fazla su kaynağına olan ihtiyacı artıracığı belirtilmiştir. Ayrıca, iklim değişikliğinin sellerin ve kuraklıkların sıklığını ve şiddetini artırabileceği, beklenmedik şiddetli yağışların sulama sistemlerini aşırı yükleyebileceği ve tarım arazilerini erozyona ve taşkınlara karşı savunmasız hale getirebileceği dile getirilmiştir. Aynı şekilde, uzun süreli kuraklık dönemlerinin sulama suyu kaynaklarını azaltabileceği ve bu durumun tarımsal verimliliği olumsuz etkileyebileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak, rapor, iklim değişikliğinin tarımsal sulama uygulamalarını etkileyerek tarımsal verimliliği ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit edebileceğini belirtmektedir. Bu nedenle, iklim değişikliği ile başa çıkmak için tarımsal sulama sistemlerinin ve uygulamalarının güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Su tasarrufu teknolojilerinin kullanımı, sulama programlarının optimize edilmesi ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi

uygulamalarının, tarım sektörünün iklim değışikliğı ile mücadelesinde önemli rol oynayacağı ifade edilmiştir (Anonymous 2015).

İklim Değışikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi ile iklim değışikliğınin yüzeysel ve yeraltı sularına su havzaları bazında etkisinin tespiti ve uyum faaliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Proje 25 nehir havzasında 2015-2100 yılları arasındaki iklim projeksiyonlarını göstermektedir. İklim projeksiyonları kapsamında, IPCC tarafından hazırlanan 5. Değerlendirme Raporu'nun temelini oluşturan CMIP5 arşivinden seçilmiş üç küresel modelin çıktıları ile RCP4,5 ve RCP8,5 salınım senaryoları kullanılarak tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde RegCM4,3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır. Ceyhan Havzası özelinde yapılan değerlendirmelere bakıldığında 2015-2100 dönemi iklim değışikliğı projeksiyonlarına göre ortalama sıcaklıklarda sürekli bir artışın olacağı ve sıcaklığın en az 2°C civarında artacağı belirtilmektedir. Yıllık yağış miktarının ise referans döneme göre % 20 oranlarında azalacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak havzanın brüt su potansiyelinde % 70'lere varan bir azalma olacağı ifade edilmiştir (Anonim 2016).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından hazırlanan “Global Environment Outlook 6” raporunda, çevresel tehditler, trendler ve politika önerileri gibi çeşitli konular ele alınmaktadır. Su kaynakları, tarımsal sulama gibi önemli konulara da detaylı bir şekilde değinmektedir. Dünya genelinde su kaynaklarının durumu, tarımın çevresel etkileri, sulama uygulamalarının sürdürülebilirliği gibi konular ele alınmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği, tarımsal sulama yöntemlerinin verimliliğı ve su kullanımının çevresel etkileri gibi konuların yanı sıra, raporda aynı zamanda bu alanlarda yapılan politika önerilerine de yer verilmektedir. Su kaynaklarının etkin yönetimi için entegre su kaynakları yönetim planları geliştirilmesi, sulama altyapısının yenilenmesi ve modernizasyonu ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesi ile su tüketiminin % 30'a kadar azaltılabileceğı belirtilmiştir (Anonymous 2019).

SYGM tarafından havza sınırları esas alınarak Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Ceyhan Havzası için “Kuraklık Yönetim Planı” hazırlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde Ceyhan Havzası'nda su kaynaklarının miktarı yeterli seviyede olduğu, havza

üzerindeki toplam su kullanımı ve ekosistem su ihtiyaçları göz önüne alındığında havza su potansiyelinin mevcut ve gelecek durumda yeterli olduğu öngörülmektedir. Ancak günümüzde suyun, önemi itibarıyla verimli kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda sulamalarda önemli miktarlara ulaşan kayıpların azaltılması ve modern sulama yöntemlerinin havzada yaygınlaştırılması önerilmektedir. Sonuç olarak Ceyhan Havzası'nın bütün tarım ürünleri için basınçlı sulama yöntemlerini uygulamak için uygun şartlara sahip olduğu, halihazırda salma sulama yöntemi ile sulanan alanların damla veya yağmurlama sulama yöntemlerine geçişinin su tasarrufunu artırarak kuraklıkla mücadelede daha hazırlıklı olmayı sağlayacağı ifade edilmektedir. Ayrıca, su tasarrufu için tüm alanların yağmurlama ve damla sulama yöntemlerine geçişinin önemli miktarda su tasarrufu sağlayacağı ve kuraklıkla uyum kapasitesini de artıracığı ifade edilmiştir (Anonim 2019a).

Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen 3. Tarım Şurası'nda, tarımsal üretimde verimlilik artışının en önemli unsurlarından birinin su kaynaklarının geliştirilmesi ve sulu tarım alanlarının etkin kullanımı olduğu vurgulanmıştır. Bu durumun gıda arzı açısından önemli olduğu belirtilirken, nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi faktörlerin birim alanda su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını zorunlu kıldığına dikkat çekilmiştir. Özellikle, istenilen miktarda ve kalitede suyun istenilen zaman ve mekanda sağlanması için altyapının ve teknolojinin geliştirilmesinin gerekliliği üzerinde durulmuştur. Ayrıca, suyun tahsisi, kullanım sonrası iyileştirilmesi, yeniden kullanımı, çevrenin korunması, sosyal adaletin sağlanması, ekonomik kalkınmayı desteklemesi ve uluslararası hukuka uygun şekilde işletilmesi gibi sektörel bazda önemli hususlar da sonuç bildirgesinde yer almıştır. Bu bildirme, su kaynaklarının sürdürülebilir ve etkin bir şekilde yönetilmesini, tarımsal üretimde verimliliği artırmada önemli bir rol oynadığını ve bu yönde alınması gereken önlemlerin belirlenmesine önemli bir katkı sağladığını vurgular. Bu nedenle, su yönetimi konusunda yapılacak geliştirmelerin ve politika değişikliklerinin tarım sektörünün ve ülke ekonomisinin geleceği açısından büyük bir öneme sahip olduğunun altı çizilmiştir (Anonim 2019b).

Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) tarafından yayınlanan "Türkiye'nin Su Riskleri Raporu", "Türkiye'de Tarım ve Topraklarının Dünü, Bugünü ve Geleceği" ve "Sürdürülebilir Tarım Pratiklerinin Yaygınlaştırılması için Politika Uygulama ve İletişim Önerileri" raporları, Türkiye'nin su kaynakları, su kullanımı, su kalitesi ve su yönetimi gibi konularda olası riskleri ve zorlukları ele almaktadır. Bu raporlar, Türkiye'deki tarım topraklarının geçmiş durumunu, mevcut durumunu ve gelecekteki durumlarını da incelemekte ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının üreticiler arasında nasıl yaygınlaştırılabileceğini tartışmaktadır. Türkiye'nin Su Riskleri Raporu'nda, su kaynaklarının azalmasına neden olan faktörler arasında iklim değişikliği, kuraklık ve su kaynaklarının aşırı kullanımı öne çıkmaktadır. Bu durumun su kıtlığına ve suyun yerleşim alanlarına ulaşmasının azalmasına yol açabileceği belirtilmektedir. Ayrıca, artan nüfusun tarımsal su tüketimindeki artışına bağlı olarak su kaynaklarının kullanımında da riskler olduğu vurgulanmaktadır. Bu noktada, tarımsal su tüketiminin büyük bir kısmını oluşturduğu için tarımın su kullanımı üzerindeki baskının azaltılması için verimliliğin artırılması ve sulama tekniklerinin iyileştirilmesi gibi önlemlerin alınması gerektiği belirtilmektedir. "Türkiye'de Tarım ve Topraklarının Dünü, Bugünü ve Geleceği" raporunda, uzun süredir yanlış tarım yöntemleriyle zarar verilen toprakların gelecek nesilleri de besleyebilmesi için toprağın sadece fiziksel olarak korunmasının yeterli olmadığı vurgulanmaktadır. Raporda, tarım topraklarının amaç dışı kullanımının engellenmesi, zararlı tarım uygulamalarının durdurulması, toprak koruma politikalarının teşvik edilmesi ve toprak canlılığını artıracak yenilikçi uygulamaların yaygınlaştırılmasının önemine dikkat çekilmektedir. Sürdürülebilir Tarım Pratiklerinin Yaygınlaştırılması için Politika Uygulama ve İletişim Önerileri" raporunda ise, tarım topraklarının durumunu iyileştirmek ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını yaygınlaştırmak için dört ana başlık altında çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu öneriler, tarım topraklarının amaç dışı kullanımının engellenmesi, zararlı tarım uygulamalarının durdurulması, toprak koruma uygulamalarının teşvik edilmesi ve toprak canlılığını artıracak yenilikçi uygulamaların yaygınlaştırılması üzerine odaklanmaktadır. Bu raporlar, Türkiye'nin su ve tarım sektörleri için karşılaştığı zorlukları ve bu zorlukların üstesinden gelmek için alınabilecek önlemleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır (Anonim 2014; Anonim 2022b).

IPCC'nin 2021 yılında yayımlanan raporuna göre IPCC 5'in yayınlandığı tarihten bugüne küresel yüzey sıcaklığının 0,1°C arttığı belirtilmiştir. Rapor, tarımsal sulama konusunu detaylı bir şekilde ele almaktadır. Rapora göre, 21. yüzyılın ortalarına kadar, dünya genelinde sulama suyu talebinin % 10 ile % 40 arasında artabileceği tahmin edilmektedir. Modern sulama teknolojilerinin kullanımıyla, su kullanım verimliliğinde önemli artışlar sağlandığı, örneğin, damla sulama sistemleri ile geleneksel sulama yöntemlerine kıyasla su kullanımında % 30 ila % 60 arasında bir tasarruf sağlanabileceği ifade edilmiştir (Delmotte vd. 2021).

2021 yılında düzenlenen 1. Su Şurasında, Tarımsal Sulama Komisyon Raporu doğrultusunda 15 adet hedef ve bu hedefler çerçevesinde çeşitli stratejiler belirlenmiştir. Alınan kararlardan başlıca olanları şunlardır; yenilenecek olan sulama tesislerinin basınçlı boru sistemine dönüştürülerek sulamada su iletim/dağıtım randımanının artırılması, su tasarrufu sağlayan modern sulama sistemleri desteklerinin artırılması, çeşitlendirilmesi ve yaygınlaştırılması, sulama tesislerinde tasarruf sağlayan sayaç takılması, sulama sistemlerinde otomasyon ve karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması, su potansiyeline uygun ürün deseni ve destekleme stratejilerinin hayata geçirilmesi ve kırsal alt yapının geliştirilmesidir (Anonim 2021).

İklim değişikliğinin tarımsal üretime olan etkilerini önlemek amacıyla TOB tarafından "2023-2027 Tarımsal Kuraklık Strateji ve Eylem Planı" yayımlanmıştır. Söz konusu eylem planı ile tarım sektöründe iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırmak ve güvenli gıdaya ulaşmak için sürdürülebilir arazi, toprak-su ve bitki yönetimini gerçekleştirmek için önceden gerekli planlamaların yapılması amaçlanmıştır. Eylem planı çerçevesinde aylık olarak; sulama suyuna ilişkin veriler, meteorolojik veriler ve hububat bitkileri üzerinden her "Su Yılında" bitkilerin ekimden hasada kadar fenolojik gelişimleri aylık olarak raporlanacağı, il bazlı kuru ve sulu koşullarda gerekli tedbir ve önlemler önceden alınarak iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından birisi olan "Tarımsal Kuraklıktan" çiftçilerin en az düzeyde etkilenmesinin sağlanacağı ve sürdürülebilir tarımsal üretim izleneceği belirtilmiştir (Anonim 2022c).

Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) koordinasyonunda yürütülen Ortadoğu'da Mavi Barış projesi kapsamında hazırlanan raporda; su kaynaklarının yaklaşık % 80'inin tarımda kullanıldığı Ortadoğu'da tarımda su kullanım verimliliği ve etkinliğinin geliştirilmesi amacıyla bölge ülkelerinin mevcut durum değerlendirmesi, bölgeden iyi uygulamalar ve geleceğe yönelik tavsiyeler yer almaktadır. Mevcutta % 70'lerin üzerinde olan su çekimlerinin 2050 yılına kadar iki katına çıkacağı ve bu durumun halihazırda su açığı veren havzalara ilave yük getireceği ve bunun önü alınmaz çevre felaketlerine, sosyal zorluklara ve bölgesel çatışmalara sebebiyet verebileceğinden bahsedilmektedir. Bilinçli su kullanımı ve sürdürülebilir sulama yönetimi, su kaynaklarını korumak ve gelecek nesillere sağlam bir çevre bırakmak için hayati öneme sahip olduğu, böylece su stresi altındaki bölgelerde bile verimliliği artırılabilmesi ve çevresel etkileri azaltılabileceği vurgulanmıştır (Anonim 2022d).

2024-2028 yıllarını kapsayan 12. Kalkınma Planı hedefleri doğrultusunda aynı periyodu kapsayan “Tarım ve Orman Bakanlığı Stratejik Planı” hazırlanmıştır. Bu plan çerçevesinde 7 amaç, 32 hedef ve 153 performans göstergesi belirlenmiştir. Plan çerçevesinde Toprak ve Su Kaynakları ile Biyolojik Çeşitliliğin Sürdürülebilir Yönetimini Sağlamak başlığı altında su kaynaklarının miktar ve kalite olarak korunmasını ve verimli kullanılmasını sağlamak hedefi yer almaktadır. İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesini ve Dirençliliği Artırmak başlığı altında; iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırmak ve tarımsal kuraklık ile mücadele kapasitesini artırmaya yönelik stratejilere yer verilmiştir (Anonim 2023a).

SYGM tarafından 2023-2033 yıllarını kapsayan Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı kapsamında “Tarımsal Su Kullanım Verimliliğinin İyileştirilmesi” başlığı altında 26 adet eylem planı belirlenmiştir. Belge kapsamında sulama randımanının 2030 yılına kadar % 60 ve 2050 yılına kadar % 65 seviyesine yükseltilmesi hedeflenmektedir. Bu hedeflere istinaden, tarımsal sulama verimliliğini artıran uygulamaların yaygınlaştırılmasına yönelik stratejiler ve eylemler belirlenmiştir (Anonim 2023c).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) aracılığı ile yürütülen “Türkiye’de İklim Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi” kapsamında yayınlanan raporda, iklim değişikliğine uyumun sektörel politikalarındaki yeri ele alınmıştır. Tarım sektörü gibi iklim değişikliğine duyarlı olan on dört sektör incelenmiştir. Türkiye’de herhangi bir sektörün doğrudan bir uyum stratejisi olmasa da tarım sektörü özelinde, ulusal tarım politikalarına uyumunu sağlamak adına politikalar belirlenmiş, önlemler alınmış ve seçenekler geliştirilmiştir. Raporda, Türkiye’de tarım sektörünün iklim değişikliğine uyum bağlamında güçlü ve yeterli bir kurumsal yapıya sahip olduğu belirtilmiş ve tarım sektörünün proaktif uyum eylemlerinde önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Gelecekte küresel ortalama sıcaklık ve yağış değişikliklerinin tarımsal üretimi etkileyeceği öngörülmüş ve bu nedenle tarım sektörünün iklim değişikliğine uyum sağlama gündeminin önemli olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca raporda Türkiye’de tarım sektörünün su kaynaklarının korunması, su tasarrufu amaçlı modern sulama tekniklerinin desteklenmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması, sel erken uyarı sistemlerinin kurulması ve kuraklığa dayanıklı türlerin geliştirilmesi gibi çalışmaların yürütüldüğü belirtilmiştir. Bu çalışmaların, tarım sektörünün iklim değişikliğinin etkilerine uyumunu artırmayı amaçladığı ifade edilmiştir (Anonim 2023d).

İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD Türkiye) ve Ankara Üniversitesi Su Yönetimi Enstitüsü iş birliğiyle başlatılan "Su Riskleri Ar-Ge Projesi/Çalışması" kapsamında, İç Anadolu Bölgesi'nde buğday ve mısır tarımında damla sulama sistemlerinin kullanılmasıyla su ve enerji verimliliğinin artırılması, su verimliliğinin değerlendirilmesi ve çiftçilere doğru uygulamaların aktarılması projesi hayata geçirilmiştir. Proje, Kırıkkale ili Delice ilçesi Çerikli Beldesi'nde uygulanmıştır. Bu bölge, Kızılırmak Havzası'nda yer almakta olup, sulama suyu kalitesi ve miktarı açısından zorluklarla karşılaşmaktadır. Proje kapsamında yağmurlama ve damla sulama yöntemlerinin uygulanmasıyla buğday ve silajlık mısır üretiminde sulama suyu kullanımında ve verimlerdeki farklılıklar gözlemlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde gelecekte havzanın güney ve kuzeybatı kesimlerinde sıcaklık artışı ve yağış azalması beklenmektedir. Bu durumun, tarımsal üretimde su açığının artmasına ve verim kayıplarına neden olabileceği belirtilmiştir. Proje sonuçlarına göre, tarımsal üretimde su verimliliğinin artırılması ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği için daha fazla çalışmaya

ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir. İklim değişikliğinin etkileri göz önünde bulundurularak, tarımsal sulama sistemlerinin ve su yönetim stratejilerinin güçlendirilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur (Anonim 2023d).

Şen ve Topçu (2023) bölgesel iklim modeli RegCM3 kullanarak Çukurova Yöresinde yaptıkları çalışmada 2071-2100 yılları arasındaki iklimi tahmin ederek iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine etkisini araştırmıştır. Çalışmada RegCM modelinin Türkiye için kullanılabilirliği çeşitli test ve doğrulama çalışmalarıyla denenmiş ve modelin referans dönemi için ortalama, ortalama maksimum, ortalama minimum, maksimum, minimum sıcaklıkları sırasıyla 2,8 ile -4,3, 9,2 ile -7,5, 14,6 ile -4,3, 8 ile -8,3, 14,3 ile -5,4 °C arasında değişen aralıklarda farklı benzeştiği gözlenmiştir. Yağış benzeşim sonuçlarının tutarlılığının topoğrafik yapıyla yakından ilgili olduğu ifade edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.3 Materyal

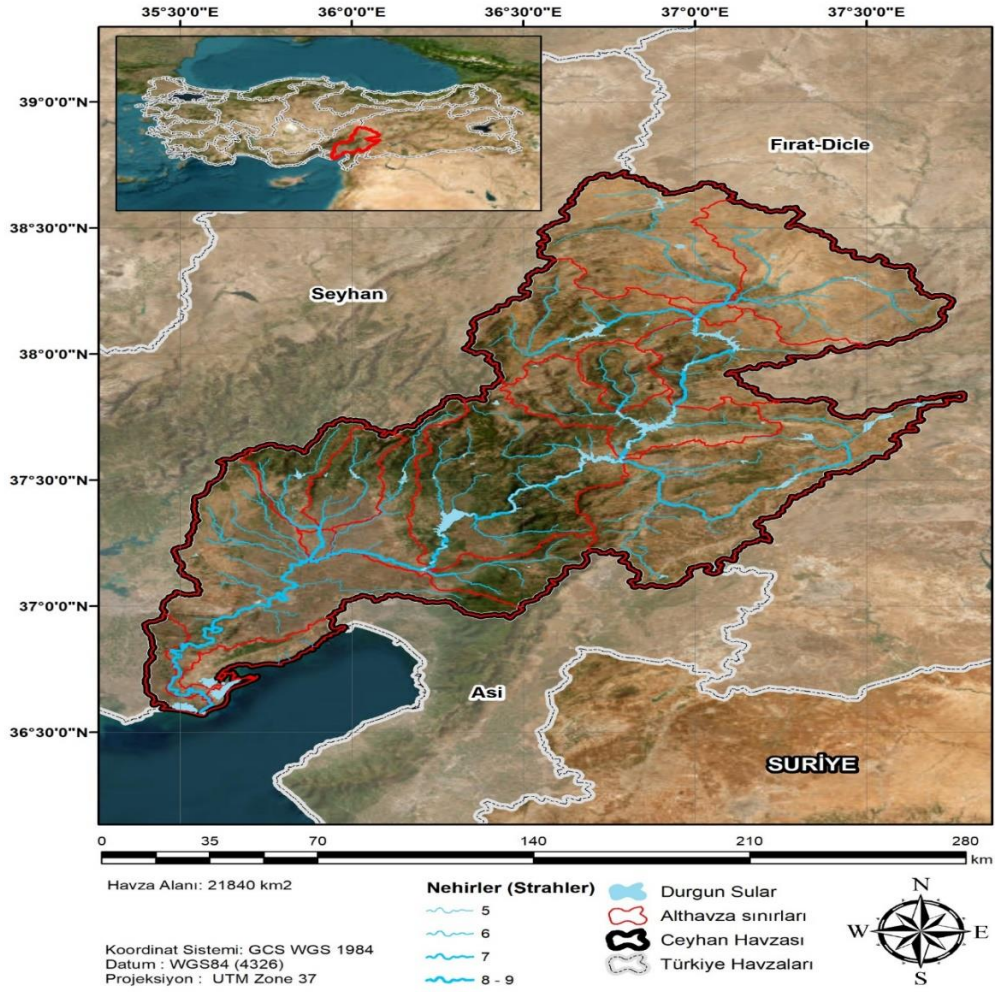
3.3.1 Araştırma alanı özellikleri

Ceyhan Havzası, Türkiye'nin tarımsal sektörü için önemli bir yere sahiptir. Verimli toprakları ve etkili sulama sistemleri, bu bölgenin tarımsal faaliyetlerinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Ceyhan Havzası batısında Seyhan, kuzeyinde ve doğusunda Fırat, güneyinde Asi ve Fırat havzalarıyla sınırlıdır (Şekil 3.1). İç Anadolu'nun içlerine doğru uzanan Ceyhan Havzası, İskenderun Körfezi'nden başlayarak sarp dağlık araziler ve geniş alüvyal tabanlardan oluşmaktadır. Ceyhan havzası yağış ve sıcaklık değerleri ile yüzey şekilleri bağlamında yukarı, orta ve aşağı olmak üzere üç alt havza olarak ayrılmıştır ve bu alt havzaların toplam alan içindeki yüzdesel dağılımları şu şekildedir: Yukarı Ceyhan Havzası, toplam alanın % 31,3'ünü, Orta Ceyhan Havzası % 29,2'sini ve Aşağı Ceyhan Havzası ise % 39,5'ini kapsamaktadır. Bu dağılım, Aşağı Ceyhan Havzası'nın en geniş alanı kapladığını, ardından Yukarı ve Orta Ceyhan Havzalarının geldiğini göstermektedir.

Araştırma için Köşreli sulama alanının seçilmesinin ana nedeni, alanın sulama altyapısındaki çeşitliliğidir. Sulama sistemleri açısından, alanda hem klasik kanalların hem de modern kanaletlerin kullanılması, farklı sulama yöntemlerinin verimliliğini değerlendirme fırsatı sunmaktadır. Ayrıca, sulama alanında yüzey sulama yöntemi yaygın olarak kullanılmakta, basınçlı sulama sistemlerinin kullanımı ise oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu durum, yüzey sulama sistemlerinin etkinliğinin incelenmesi ve karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılabilmesi açısından önemlidir. Alanın bu özellikleri, sulama yöntemlerinin verimliliği ve sürdürülebilirliği konusunda daha kapsamlı bir analiz yapmayı mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma için seçilen Köşreli Sulama alanı Aşağı Ceyhan Alt Havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. Sır baraj yerinden Akdeniz'e kadar olan bölüm Aşağı Ceyhan

Havzası olarak adlandırılmaktadır. Bu havzada Ceyhan, Kirit, Kozan, Kadirli, Osmaniye, Andırın, Haruniye, Yumurtalık ve Misis ovaları yer almaktadır. Ovaların yükseklikleri 0 m ile 300 m arasında değişirken, Aşağı Ceyhan Havzasının yağış alanı 8.441 km²'dir (Anonim 2018).

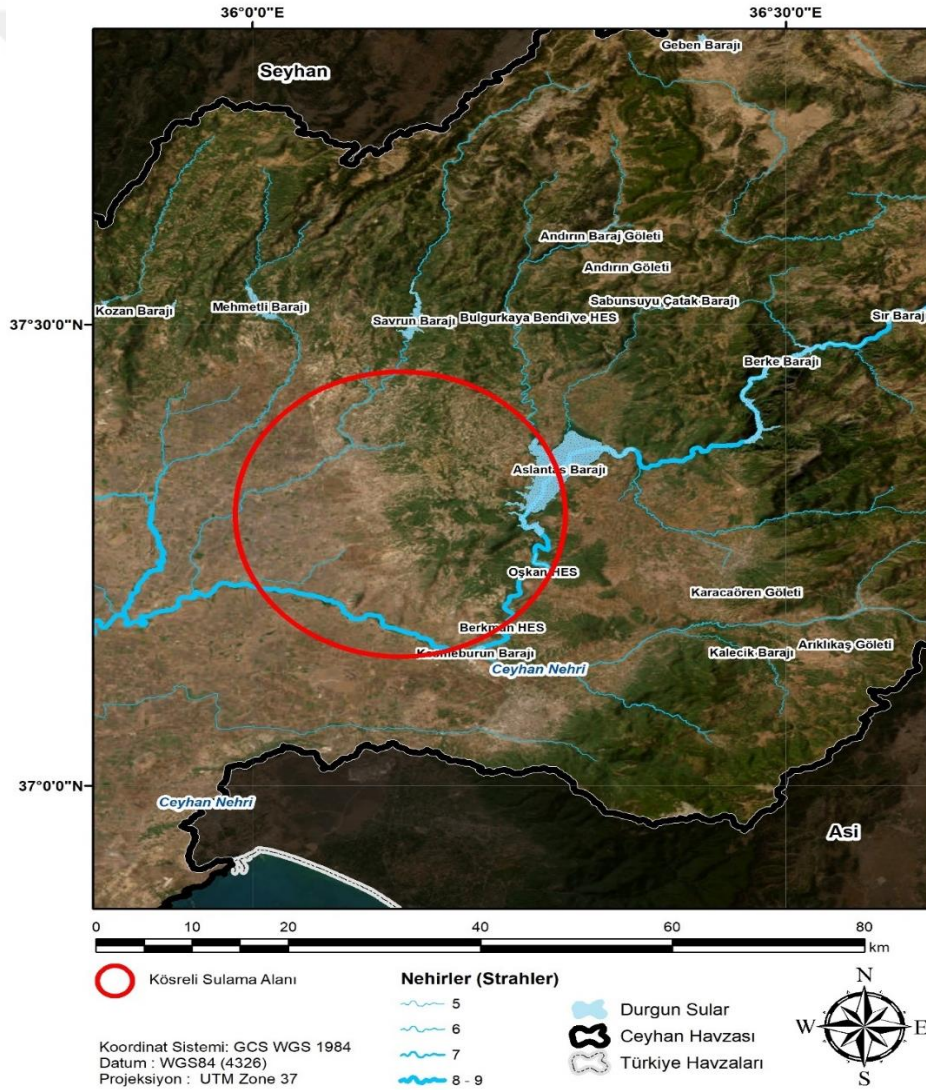


şekil 3.1 Ceyhan Havzası (Anonim 2019c)

Ceyhan Alt Havzası'nda yer alan Kösreli Sulama Birliği, 1995 yılında faaliyete geğmiş olup toplamda 18.300 hektarlık bir ekim alanını sulamaktadır.

Kösreli sulama alanı, Aslantaş Barajı'ndan sağlanan su ile sulanmakta olup, sulama faaliyetlerinin etkinliği ve su kullanımının optimizasyonu açısından dikkat çekeren bir alan

olarak öne çıkmaktadır. Köşreli Sulama Birliği, bölgedeki tarımsal üretimin verimliliğini artırmayı hedefleyen ve bu amaca ulaşmak için çeşitli sulama yöntemleri ile uygulamaları bünyesinde barındıran bir kuruluştur. Sulama birliği, çiftçilere sulama hizmeti sağlarken aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine de katkıda bulunmaktadır. AquaCrop modeli analizlerinde, bu sulama birliğinin uyguladığı sulama teknikleri, su dağıtım yöntemleri ve çiftçi uygulamaları dikkate alınarak model parametreleri optimize edilmiştir. Ayrıca, sulama birliğinin sulamakla sorumlu olduğu alanın haritada gösterilmesi, bu alanın topografik ve hidrolojik özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Köşreli sulama alanı (Anonim 2019c)

3.3.2 Araştırma alanının iklim özellikleri

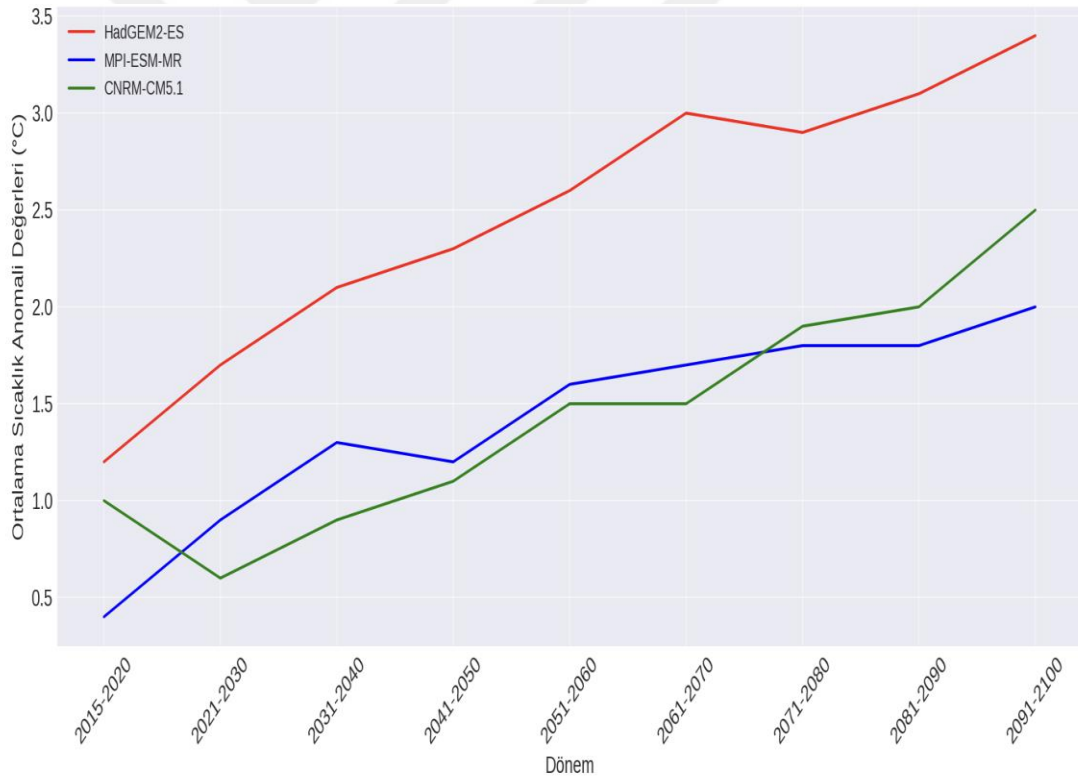
Aşağı Ceyhan Alt Havzası'nın güney kesimi, az yağış alan ve nem oranı düşük olan yarı kurak bir iklim yapısına sahiptir. Bölge, yaz aylarında yüksek sıcaklıklarla karakterize edilmekte olup, sıcaklıklar genellikle 35°C'nin üzerinde seyretmektedir. Kış ayları ise ılıman geçmekte ve yağışlar, yaz mevsimine kıyasla üç kat daha fazla olmaktadır. Güney bölgesinde yıllık buharlaşma oranı % 42 seviyelerinde ölçülmüş olup, buharlaşma özellikle yaz aylarında zirveye çıkmaktadır. Buna karşın, havzanın kuzey kesimlerinde iklim yarı nemli bir yapıya sahip olmakla birlikte yaz mevsiminde su eksikliği çok daha belirgin hale gelmektedir. Kuzeyde buharlaşma oranı % 54 seviyelerine kadar çıkmakta, bu da bölgedeki su kaynaklarının verimli kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu bölgedeki yağış rejimi ve buharlaşma oranları, özellikle yaz mevsiminde su temininde zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır (Anonim 2024a).

Aşağı Ceyhan Alt Havzası'nın geçmişinde, farklı yıllarda çeşitli kuraklık dönemleri yaşanmıştır. 1971 yılında, havza genelinde kuraklık etkili olmuş, özellikle yaz aylarında Kahramanmaraş bölgesinde daha yoğun hissedilmiştir. Ardından 1972 ve 1973 kış aylarında ve 1974 yılının tamamında, 1989 kış ve yaz dönemlerinde kuraklık görülmüştür. 1991 kış aylarında da benzer şekilde kuraklık yaşanmış, 2001 yılı ile 2007-2008 yılları belirgin kuraklık dönemleri olarak kaydedilmiştir. 2013-2014 yıllarında da kuraklık etkili olmuştur (Akbaş, 2014). Ayrıca, 1981-2010 yılları arasında yapılan analizlere göre, 1985-1986, 1991, 2001 ve 2007-2008 yıllarında da kuraklık yaşandığı belirlenmiştir (Topçu 2018).

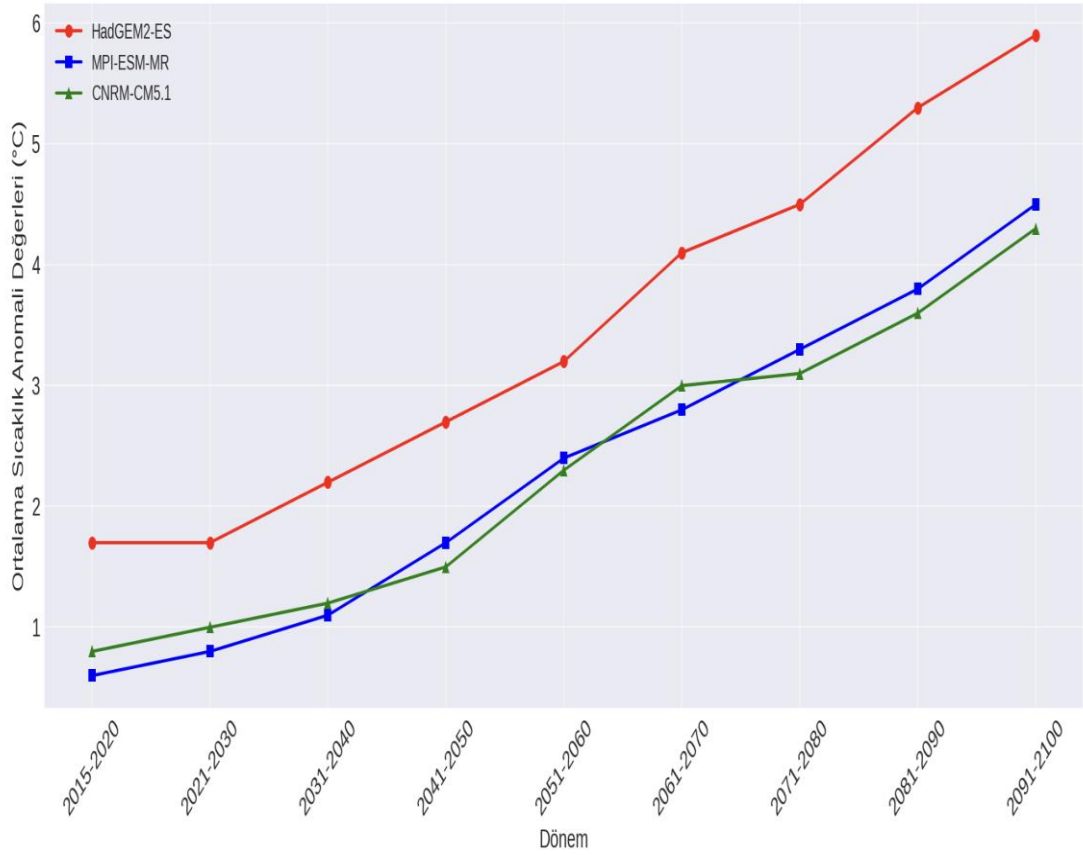
3.3.3 Araştırma alanı iklim projeksiyonları

Ceyhan Havzasında gerçekleştirilen “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” çıktılarına göre, referans dönemi (1971-2000) ortalama sıcaklık değerleri havzanın kuzey kesimlerinde 8°C'nin altında, güney kesimlerinde ise 19°C'nin üzerindedir. Sıcaklık ve yağış parametrelerine dair modellemeler, gelecekte sıcaklık artışı ve yağış miktarında azalma eğilimi öngörülmektedir. Özellikle RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında yapılan projeksiyonlar, 2060 sonrası için kuzey kesimlerde sıcaklık

artışının daha belirgin olacağını, yağış miktarının ise önemli ölçüde azalacağını göstermektedir (Şekil 3.3, 3.4). Modellere göre, Ceyhan Havzası'nda su potansiyelinin önemli ölçüde azalması ve sulama suyu ihtiyacının karşılanamaması gibi durumlar beklenmektedir. Hidrojeolojik değerlendirmeler, yeraltı suyu rezervlerinde iklim değişikliğine bağlı olarak azalmalar öngörmekte, ancak yeraltı suyu statik rezervlerinin etkilenme oranının düşük olduğunu belirtmektedir. Hidrolik modelleme çalışmaları, projeksiyon döneminde (2015-2100) akış değerlerinde referans döneme kıyasla önemli azalmalar beklenmektedir. Bu durum, havzanın su potansiyelinde önemli azalmalara yol açacak ve bölgenin su ihtiyaçları mevcut projeksiyonlar dahilinde karşılanamayacak, bu da sürekli bir su açığına neden olacaktır. Bu bulgular, su kaynakları yönetimi açısından ileriye dönük ciddi planlamalar yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (Anonim 2016).



Şekil 3.3 RCP4.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası sıcaklık anomali değerleri (Anonim 2016)

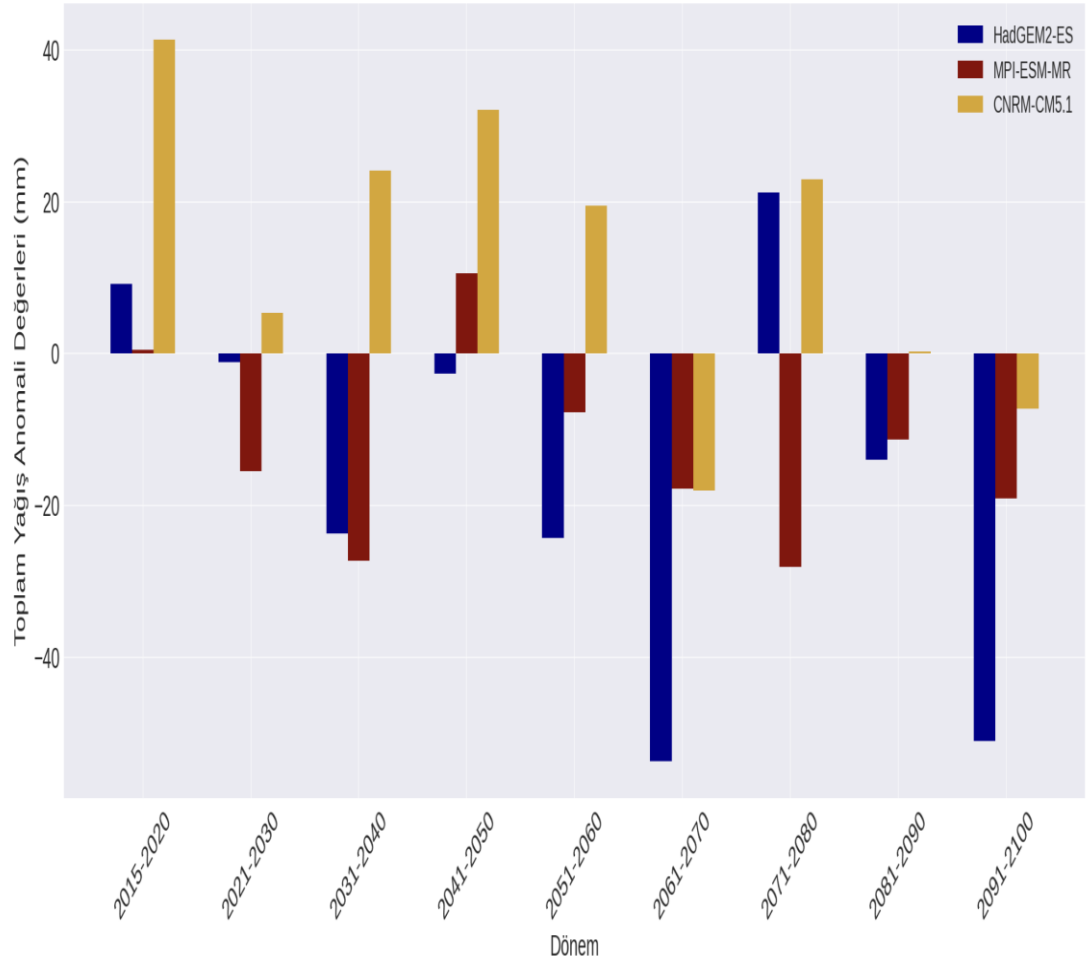


Şekil 3.4 RCP8.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası sıcaklık anomali değerleri (Anonim 2016)

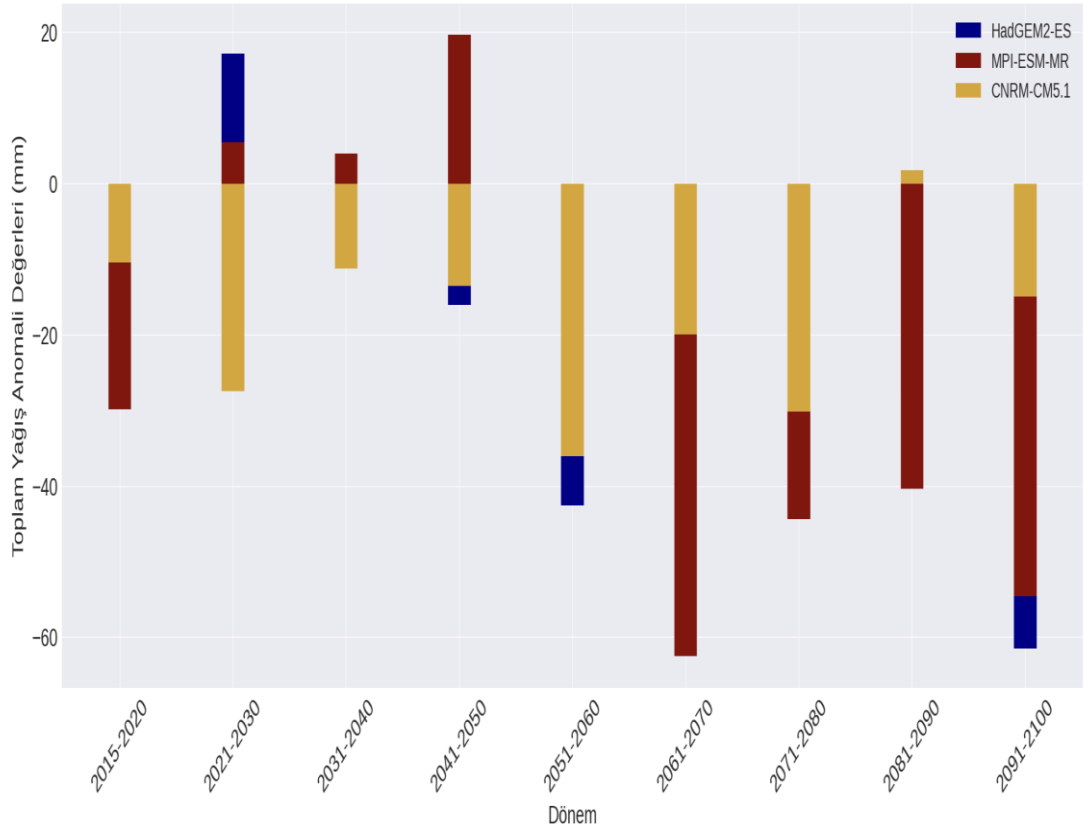
RCP4.5 senaryosunda, tüm modeller gelecek yıllarda ısınmanın artacağını göstermektedir. HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri, özellikle 21. yüzyılın ikinci yarısında sıcaklık artışının hızlanacağını öngörmektedir. RCP8.5 senaryosu daha yüksek karbon emisyonlarını varsayar ve bu senaryo altında yapılan simülasyonlar, RCP4.5'e göre daha yüksek sıcaklık artışları tahmin etmektedir. Bu, gelecekte daha agresif iklim değişikliği senaryolarının ciddi ısınmaya yol açabileceğini göstermektedir (Anonim 2016).

RCP4.5 senaryosuna göre yağış anomalileri, modellere göre değişkenlik göstermekle birlikte, genel olarak yağış miktarlarında azalma eğilimi göstermektedir. Bazı dönemlerde artış gösteren değerler olsa da (örneğin 2021-2030 arası HadGEM2-ES modelinde), genel eğilim negatiftir. RCP8.5 senaryosunda yağış anomalileri daha belirgin bir azalma eğilimi göstermektedir. Özellikle MPI-ESM-MR modelinde 2061-2070 ve

2071-2080 dönemlerinde keskin düşüşler öngörülmektedir. Bu senaryo altında, tüm modellerde 21. yüzyılın sonlarına doğru daha az yağış beklenmektedir (Şekil 3.5 ve 3.6) (Anonim 2016).



Şekil 3.5 RCP4.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası toplam yağış anomali değerleri (Anonim 2016)

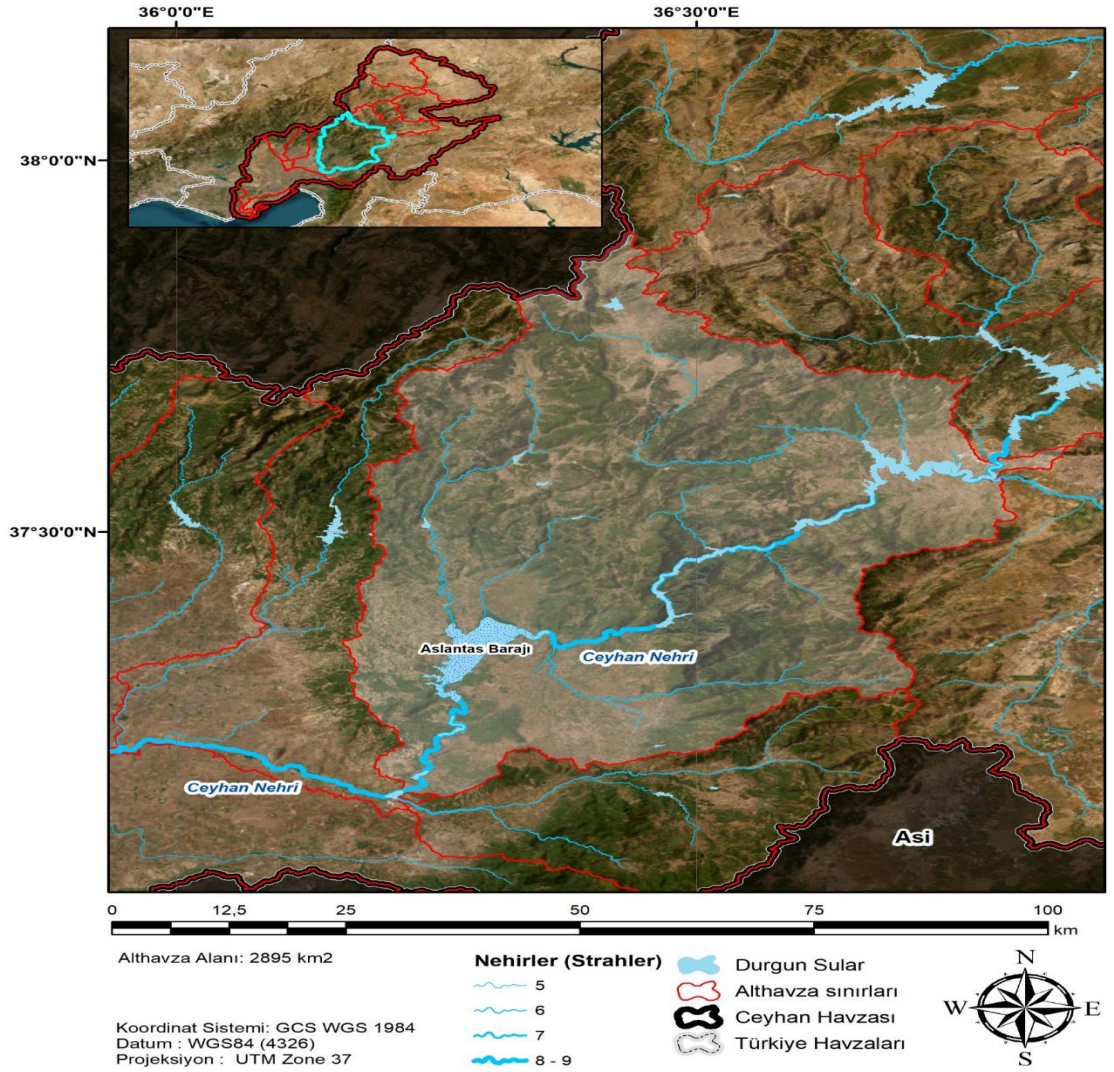


Şekil 3.6 RCP8.5 Senaryosuna göre Ceyhan Havzası toplam yağış anomali değerleri (Anonim 2016)

Sonuç olarak, RCP4.5 senaryosu altında, Ceyhan Havzası'ndaki toplam su potansiyelinde % 16,2'den % 22,3'e, yüzey suyu potansiyelinde % 12,1'den % 15,5'e ve yer altı suyu potansiyelinde % 16,9'dan % 23'e kadar azalma beklenmektedir. Kötümser RCP8.5 senaryosunda ise bu azalmalar daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Toplam su potansiyelinde % 20,1'den % 26,0'a, yüzey suyu potansiyelinde % 8,6'dan % 19,8'e ve yer altı suyu potansiyelinde % 27,5'ten % 32,9'a kadar bir azalma öngörülmektedir. Bu projeksiyonlar, gelecekte Ceyhan Havzası'nda su potansiyelinin ciddi oranda azalacağını göstermekte olup, bölgedeki su kaynakları yönetimi açısından acil ve uzun vadeli planlamalar yapılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Özellikle, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

3.3.4 Araştırma alanı su kaynakları

Ceyhan Nehri, Aşağı Ceyhan Alt Havzası'nın en uzun nehirlerinden biri olup, Çukurova'nın iki ana hayat kaynağından biridir. Elbistan'ın 3 km güneydoğusundaki Pınarbaşı Mevkii'nden doğan nehir, Elbistan'ın ortasından geçerek Akdeniz'e dökülür. Toplam uzunluğu 509 km olan Ceyhan Nehri, Akdeniz Bölgesi'nin en büyük akarsularından biridir ve Çukurova'da geniş bir delta oluşturarak İskenderun Körfezi'ne ulaşmaktadır. Ceyhan Nehri, Adana, Kahramanmaraş, Osmaniye ve Gaziantep gibi illerden geçer. Ceyhan Havzası'ndan gelen sulama kanalları, tarım arazilerine önemli bir su kaynağı sağlamaktadır. Aslantaş Barajı, Ceyhan Nehri üzerinde yer alan önemli su yapılarından biridir (Şekil 3.7). Aslantaş Barajı 1985 yılında işletmeye açılmış Osmaniye İlinin 30 km kuzey doğusunda Karatepe köyüne 3 km uzaklıkta maksimum 1.676,3 hm³ su depolama kapasitesine sahip kaya dolgu bir barajdır. Baraj, Adana ilinin Karaisalı ilçesinde ve Ceyhan Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Aslantaş Barajı, sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Ceyhan Nehri'nin sularını kontrol altına alarak tarımsal sulama için su sağlar ve hidroelektrik enerji üretimine katkıda bulunur. Bu sayede, Ceyhan Nehri'nin su kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılarak bölgenin tarımsal ve endüstriyel ihtiyaçları karşılanmaktadır. Aslantaş barajından sulanan 76.767 ha arazinin 10.926 ha'ı cazibeyle 65.841 ha'ı ise Pompajla sulanmaktadır (Anonim 2018). Aşağı Ceyhan Havzası'nda su kullanımı ağırlıklı olarak tarım sektöründe gerçekleşmektedir. Toplam su kullanımının % 91'i tarım için ayrılmıştır. Bunu % 6 ile içme suyu kullanımı, % 3 ile sanayi kullanımı takip etmektedir. Diğer kullanım alanları olan hayvancılık, turizm ve termik santral kullanımı ise toplam su kullanımının oldukça küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu dağılım, havzadaki su kaynaklarının büyük ölçüde tarımsal üretim için kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 3.7 Aşağı Ceyhan Havzası su kaynakları (Anonim 2019c)

3.3.5 Araştırma alanı sulama şebekesi özellikleri

Ceyhan Havzası'nda mevcut durumda yüzeysel su kaynaklarıyla toplam net 174.979 hektarlık bir saha fiilen sulanmaktadır. Bu sulanan sahaların % 67'si Aşağı Ceyhan Havzası'nda yer almaktadır. Aşağı Ceyhan Havzası'nda sulanan sahalar ile DSİ tarafından geliştirilen projelerle sulanan sahalar diğerlerine kıyasla çok daha geniştir (Anonim 2018).

Kösreli Sulama Birliği Aşağı Ceyhan Havzasında yer almakta olup 7139 Sayılı Kanun’un 51’inci maddesi ile 6172 sayılı Sulama Birlikleri Kanununa eklenen ek madde 1’in 8’inci fıkrası doğrultusunda, Tarım ve Orman Bakanlığının 25.01.2019 tarih ve 015 numaralı bakanlık oluruna istinaden, Çizelge 3.1 ile verilen sulama birlikleri ile Ceyhan Sulama Birliği bünyesinde birleştirilerek, adı “Ceyhan Sol Sahil Sulama Birliği” olarak değiştirilmiştir. Ceyhan Alt Havzası’nda yer alan Kösreli sulaması ekim alanı 18.300 hektardır. Ceyhan Nehri'nin sol sahilindeki sulama sistemleri, su ihtiyacını Aslantaş Barajı'ndan karşılamaktadır. (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Ceyhan sulama birliği bünyesinde birleştirilen sulama birlikleri (Anonim 2018)

Sulama Birliğinin Adı	İlçesi	Cazibe Alanı (ha)	Pompaj Alanı (ha)	Toplam Net Alanı (ha)
Ceyhan	Ceyhan- Yumurtalık	27.516	8.200	35.716
Kösreli	Ceyhan	18.300	0	18.300
Mustafabeyli	Ceyhan	8.604	0	8.604
Cevdetiye	Osmaniye	5.281	2.376	7.657
Erzin-Dört Yol	Erzin- Dört Yol	5.000	350	5.350
Kalecik Onköy	Osmaniye	1.140	0	1.140
Toplam		65.841	10.926	76.767

Kösreli sulama alanında 18.300 hektarlık alanın sulama sisteminin 3.300 hektarlık kısmı klasik kanal, 15.000 hektarlık kısmı ise kanaletlerden oluşmaktadır. Sulama yöntemlerine bakıldığında, sulama alanının % 99'u yüzey sulama yöntemi kullanılarak sulanmakta olup, % 1'lik bir kısımda ise yağmurlama ve damla sulama yöntemleri tercih edilmektedir. Ancak, sulama randımanı % 61 seviyelerinde olduğu için sulamanın verimliliği artırılabilir bir potansiyele sahiptir (Anonim, 2018). Aşağıda Çizelge 3.2’de Kösreli sulama alanına ilişkin sulama sahasındaki yıllık sulama performans verileri verilmiştir. 2012-2018 yılları arasında sulamaya açılan alan, birinci ve ikinci ürün ekim alanları, şebekeye alınan su miktarı, net ve brüt su ihtiyaçları gibi sulama etkinliği ile ilgili temel parametreler sunulmuştur. Ayrıca sulama oranı, sulama randımanı ve ihtiyacın karşılanma oranı gibi sulama verimliliği göstergeleri de yer almaktadır. Çizelgede sulama alanının sulama tipi, şebeke tipi ve sulama yönetiminden sorumlu kurum bilgileri de belirtilerek, sulamanın verimliliği ve su yönetimi uygulamaları hakkında genel bir değerlendirme sunulmaktadır.

Çizelge 3.2 Köşreli sulama alanı bilgileri (Anonim 2018)

Yıl	Sulamaya Açılması Planlanan Alan(ha)	1.Ürün Ekim Alanı (ha)	2.Ürün Ekim Alanı (ha)	Şebeke Dışı Alan (ha)	Şebekeye Alınan Su (m ³)	Net Su İhtiyacı (m ³ /ha)	Brüt Su İhtiyacı (m ³ /ha)	Hektara Düşen Su (m ³ /ha)	Sulama Randımanı (%)	İhtiyacın Karşılama Oranı	Ana Sulama Adı	Devralan Kurum	Sulama Tipi
2012	18.100	18.477	125	377	198.460.800	4.880	8.340	10.740	45	1,29	CEYHAN C+P	CEYHAN SOL SAHİL SULAMA BİRLİĞİ	Cazibe + Pompaj
2013	18.050	18.441	0	391	177.768.000	4.830	8.260	9.639	50	1,16	CEYHAN C+P		
2014	18.378	18.499	198	121	167.515.000	4.750	8.130	9.115	52	1,12	CEYHAN C+P		
2015	18.550	18.583	250	33	184.248.000	5.170	8.840	9.914	52	1,12	CEYHAN C+P		
2016	18.539	18.529	239	0	158.097.600	5.170	8.750	8.532	59	0,96	CEYHAN C+P		
2017	18.550	18.654	250	104	153.705.600	5.210	8.900	8.239	63	0,92	CEYHAN C+P		
2018	18.500	18.739	200	239	159.753.600	5.250	8.990	8.525	61	0,95	CEYHAN C+P		

3.3.6 Araştırma alanı toprak özellikleri

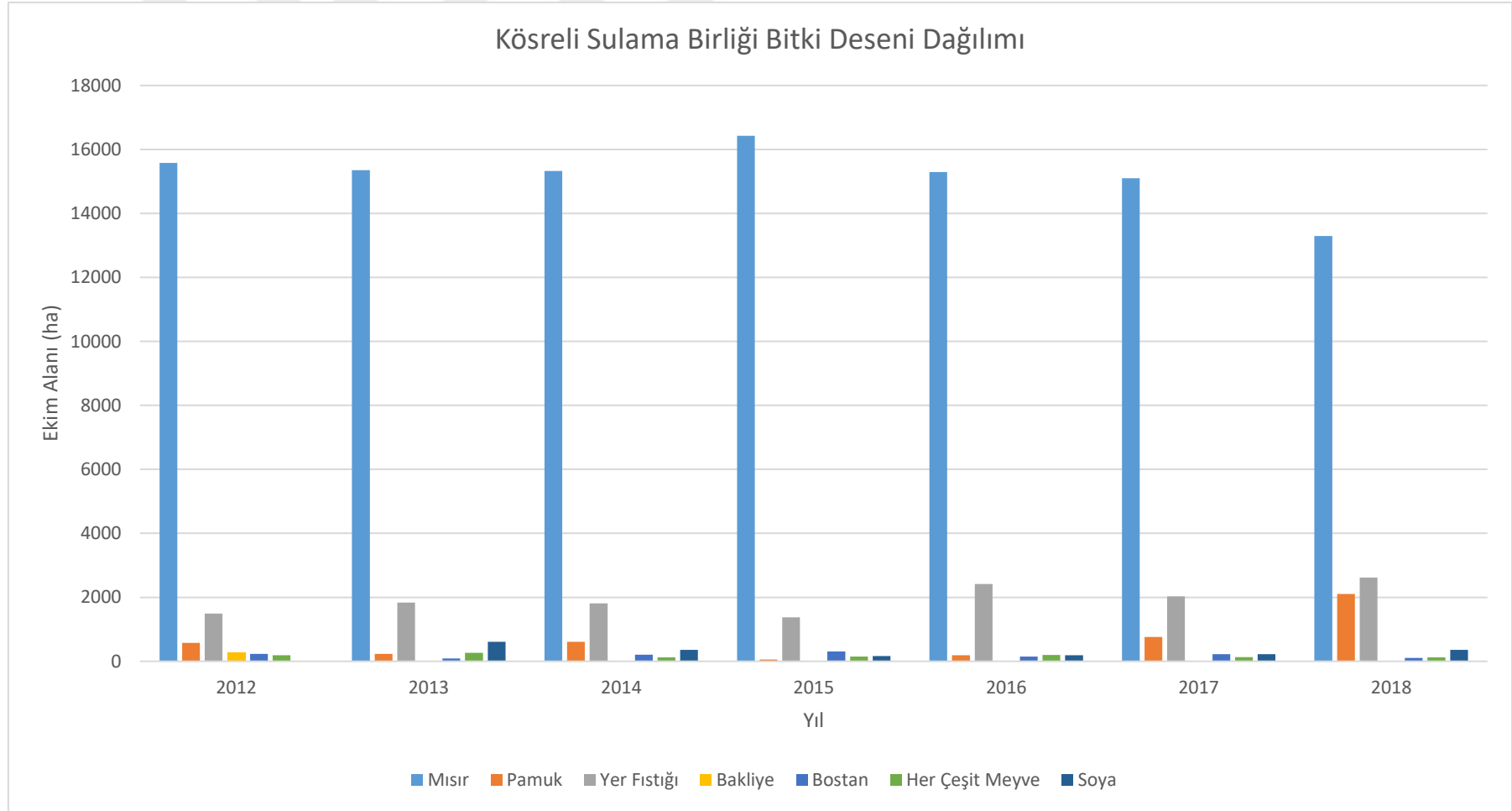
Kösreli Sulama Alanı, Aşağı Ceyhan Havzası'nda yer almakta olup, bölgenin toprak özellikleri, sulama ve tarımsal faaliyetler açısından oldukça önemlidir. Genel olarak Aşağı Ceyhan Havzası'ndaki topraklar alüvyal kökenli olup, özellikle nehir yataklarına yakın alanlarda derin ve organik madde bakımından zengin yapıya sahiptir. Bu alüvyal topraklar, iyi drene olan, su tutma kapasitesi yüksek ve bitki gelişimi için uygun besin elementlerine sahip topraklardır. Sulama alanındaki toprakların pH değeri genellikle nötr ile hafif alkali arasında değişmekte olup, tarımsal üretim için elverişlidir. Bununla birlikte, yer yer tuzluluk problemleri gözlemlenebilmektedir. Tuzluluk özellikle yetersiz drenaj ve uygun olmayan sulama uygulamaları nedeniyle bazı alanlarda üretim potansiyelini olumsuz etkileyebilmektedir. Kösreli sulama alanında bulunan toprakların yapısal özellikleri, sulama verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle su geçirgenliği iyi olan topraklar, suyun etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ancak killi topraklar, suyun hareketini yavaşlatabilir ve su birikimine neden olabilir. Bu da bitki kökleri için olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Anonim 2016).

Aşağı Ceyhan Alt Havzası toprak bünyesi açısından heterojen bir yapıya sahiptir, ancak genel olarak orta bünyeli topraklar baskındır. Orta bünyeli topraklar, kil, silt ve kum oranlarının dengeli bir bileşimini içerir ve bu nedenle hem su tutma kapasitesi hem de havalanma açısından tarımsal üretim için elverişli kabul edilmektedir. Bu topraklar, kök bölgesinde optimum su ve hava dengesini sağlayarak, bitkilerin suya erişimini kolaylaştırır. Ancak, bu toprakların su tutma kapasiteleri aşırı yüksek olmadığından, düzenli ve etkin sulama yönetimi gerektirir. Havzanın bazı bölgelerinde ağır bünyeli topraklar da yaygındır. Ağır bünyeli topraklar, yüksek kil içeriği nedeniyle geçirgenliği düşük, suyu uzun süre tutan ve drenaj problemlerine yol açabilen niteliktedir (Anonim 2016; Anonim 2018).

3.3.7 Araştırma alanı bitki deseni

Ceyhan Havzası, sahip olduğu iklim koşulları nedeniyle zengin bir ürün çeşitliliğine sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, havzada toplam 128 farklı ürün grubu bulunmaktadır. Bu ürün çeşitliliği; meyveler, tıbbi ve aromatik bitkiler, sebzeler, tahıllar ve diğer bitkisel ürünler gibi kategorilere ayrılmaktadır. Bu ürün gruplarından 47'si meyveler, 41'i sebzeler ve 40'ı tahıllar sınıfında yer almaktadır. Havzadaki tarım arazilerinin dağılımına bakıldığında, % 76 gibi büyük bir kısmın tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekildiği alanlardan oluştuğu görölmektedir. Türkiye genelinde bu oran % 66 iken, havzada bu oran % 76'ya yükselmektedir. Havza genelindeki tahıl üretimine bakıldığında, en fazla üretimi yapılan tahıl türünün yıllık 1.169.750 ton ile mısır (dane) olduğu belirtilmiştir (Anonim 2024b).

DSİ'ce İşletilen ve Devredilen Sulama Tesisleri Değerlendirme Raporlarına (2012-2018) göre, Kösreli sulama alanında yetiştirilen tarımsal ürünlere ait “Bitki Deseni” dağılımı Şekil 3.8'de sunulmaktadır. Şekil 3.8'den de göröldüğu üzere, sulama alanında mısır üretimi önemli ölçüde yaygındır. Son yıllarda desteklemelerin artmasıyla mısır üretimi önemli ölçüde artmış ve Kösreli sulama alanının yaklaşık % 85'ine yakın bir kısmında mısır ekimi yapılmaya başlanmıştır (Anonim 2024c). Bu nedenle, sulama alanına yönelik optimum çözümler üretmek ve su yönetim ile alakalı stratejiler geliştirmek amacıyla mısır bitkisi referans olarak seçilmiştir.



Şekil 3.8 Kösreli sulama birliği bitki deseni dağılımı (Anonim, 2018)

3.3.8 AquaCrop modeli

Bu çalışmada, Aşağı Ceyhan Alt Havzası'nda (Ceyhan Sol Sahil- Kösreli sulaması) mısır bitkisinin sulama yönetimi üzerine odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında 2012-2018 yılları arasında AquaCrop modeli kullanılarak farklı senaryolar (Çizelge 3.11) kapsamında model çalıştırması gerçekleştirilmiştir. AquaCrop modeli, FAO tarafından geliştirilen ve su kısıtlamalarının bitki büyümesi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılan bir simülasyon aracıdır. Model, kurak koşullarda su tüketimine dayalı mahsul verimi tahminleri sağlar ve su uygulama seviyelerini dikkate alarak Evapotranspirasyon (ET) oluşturan transpirasyon (Tr) ve evaporasyon (E) arasında ayrım yapar (Steduto vd. 2009). AquaCrop, su stresinin bitki gelişimi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde modelleyerek, suyun optimum kullanımını sağlar. Bu model, su kaynaklarının daha etkin bir şekilde yönetilmesine ve tarım uygulamalarının su verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

3.3.8.1 Model girdileri ve parametreler

Modelin girdileri arasında iklim, bitki, toprak ve yönetim verileri bulunur (Şekil 3.11).

İklim Verileri

Günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı, ortalama nispi nem, rüzgar hızı ve yağış verileri kullanılmıştır. AquaCrop modelinde kullanılan girdiler, Adana Ceyhan 17960 meteoroloji istasyonundan temin edilen iklim verileri ile belirlenmiştir.

İklim senaryoları olarak RCP4.5, CO₂ emisyonlarının 2100 yılında 650 ppm'e ulaşacağı varsayımıyla seçilmiştir (Thomson vd. 2011). Bu veri seti, iklim değişikliklerinin mısır verimi üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmede önemli bir rol oynar ve uzun vadeli iklim değişikliği etkilerini simüle etmek için kullanılmaktadır.

Toprak Verileri

Başlangıç toprak nem içeriği, toprak profili, solma noktası ve hidrolik iletkenlik modelde kullanılmıştır. Toprak verileri, suyun toprak içindeki hareketini ve bitkilerin suya erişimini modellemek için önemlidir. Ayrıca, toprak katmanları ve yapısı, su tutma kapasitesi ve drenaj özellikleri gibi parametreler de dikkate alınarak toprak profilinin su hareketi üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Bitki Verileri

Mısır bitkisi için büyüme derece gün (GDD), toprak su stresi, hava sıcaklığı stresi, toprak tuzluluk stresi gibi parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler, bitkinin büyüme süreçlerini ve çevresel stres faktörlerine olan tepkilerini değerlendirmek için kullanılır. Bitki verileri, mısırın farklı gelişim aşamalarındaki su ihtiyaçlarını ve verim potansiyelini doğru bir şekilde tahmin etmeye yardımcı olmaktadır.

3.3.8.2 Sulama ve tarla uygulamaları

Sulama uygulamaları yağmurlama, yüzey ve damla sulama gibi farklı yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı sulama yöntemleri kullanılarak model senaryoları oluşturulmuştur. Sulama yönetimi açısından önemli bir diğer unsur, farklı ekim tarihleri (15 Şubat, 1 Mart, 1 Nisan ve 15 Nisan) olarak belirlenmiştir. Bu çeşitlilik, sulama verimliliği ve mısır verimini etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve sulama uygulamalarının optimize edilmesine yönelik veri sağlamıştır.

Farklı sulama yöntemlerinin mısır bitkisi üzerindeki etkilerini analiz etmek için, her yöntemin su kullanım verimliliği ve verim potansiyeli ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.3.8.3 Model çıktıları

AquaCrop modelinin çıktıları şunları içermektedir:

Dane Verimi: Mısır bitkisinin verim tahmini ton/ha olarak hesaplanmıştır. Bu verim tahminleri, sulama uygulamalarının ve çevresel koşulların mısır üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmede önemli bir gösterge olarak kullanılır. Verim tahminleri, çiftçilere ve su yöneticilerine en verimli sulama ve ekim yöntemlerini belirlemede yardımcı olmaktadır.

Biyokütle: Toplam bitki biyokütlesi değerlendirilmiştir. Biyokütle verileri, bitkinin toplam büyüme potansiyelini ve biyolojik üretkenliğini ölçer. Bu, bitkinin su ve besin maddeleri kullanımının etkinliğini değerlendirmek için önemlidir ve tarımsal üretim verimliliği hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Su Kullanım Verimliliği (WP): Su kullanım verimliliği kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu veri, bitkilerin suyu ne kadar verimli kullandığını ve belirli bir su miktarı ile ne kadar ürün üretildiğini gösterir. Su kullanım verimliliği, sürdürülebilir tarım ve su kaynaklarının etkin kullanımı açısından önemli bir göstergedir.

Buharlaşma ve Bitki Terlemesi: Evapotranspirasyon (ET) bileşenleri olarak buharlaşma ve bitki terlemesi ayrıntılı olarak hesaplanmıştır. Evaporasyon (E) ve transpirasyon (T) ayrı ayrı analiz edilerek, suyun bitki tarafından nasıl kullanıldığı ve atmosfere nasıl geri döndüğü anlaşılmıştır. Bu, su yönetim uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek ve su tasarrufu sağlamak için önemlidir.

Sulama Suyu Miktarı: Mevsim boyunca gerekli olan sulama suyu miktarı mm/sezon olarak tahmin edilmiştir. Bu veri, bitkilerin büyüme sezonu boyunca ne kadar suya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

3.4 Yöntem

3.4.1 Köşreli sulama alanında sulama performansının değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Köşreli sulama alanında sulama sistemlerinin performansını değerlendirmek amacıyla Burton vd. (2000) ile Çakmak vd. (2004) tarafından önerilen

performans göstergeleri dikkate alınmıştır (Çizelge 3.3). Sulama sistemlerinin performans değerlendirmesi, suyun kaynaktan bitki kök bölgesine kadar olan iletim, dağıtım ve uygulama süreçlerini kapsayan su kullanım etkinliği; tarımsal üretim ve verimliliği içeren tarımsal etkinlik ve sulama sistemlerinin sürdürülebilirliğini ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan değerlendiren ekonomik etkinlik ve son olarak birim alan başına düşen sulama suyu miktarı göstergeleri ile yapılmıştır. Su kullanım etkinliği; toplam dağıtılan sulama suyu ($m^3/yıl$), birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı (m^3/ha), sulama randımanı ve sulama oranı gibi su yönetimiyle ilgili göstergeleri kapsamaktadır. Ekonomik etkinlik göstergeleri ise yatırımın geri dönüşüm oranı, bakım masrafının gelire oranı, birim alana düşen toplam işletme, bakım ve yönetim masrafı (TL/ha), su ücreti toplama performansı gibi kriterleri içermektedir. Tarımsal etkinlik ise yıllık toplam tarımsal üretim değeri (TL), birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha), sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir (TL/ha), şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/ m^3), tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/ m^3) ve su kullanım etkinliği gibi tarımsal üretimi doğrudan etkileyen faktörlere odaklanmaktadır. Birim alan başına düşen sulama suyu miktarı, birim sulama alanına düşen toplam su miktarını ifade eder ve suyun etkin kullanımını analiz etmek için önemli bir gösterge olarak dikkate alınmaktadır. Bu gösterge, sulama suyu kullanımının verimliliği ve suyun alana eşit ve uygun şekilde dağıtılıp dağıtılmadığını ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda, sulama sistemlerinin performansını değerlendirirken dikkate alınan veriler; su temini ve kullanım oranları, maliyetler, tarımsal verim ve diğer ekonomik göstergelerle ilişkilidir. Çizelge 3.3'te belirtilen bu veriler, sulama sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada, birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha) hesaplanmıştır. Her bitki için toplam yıllık üretim değeri (TL), sulanan alan büyüklüğüne (ha) bölünerek bu değer elde edilmiştir.

Çizelge 3.3 Çalışmada kullanılan performans göstergeleri ve gerekli veriler (Burton vd.2000, Cakmak vd.2004)

Alan	Performans Göstergesi	Gerekli Veri
Su Kullanım Etkinliği	Toplam yıllık dağıtılan sulama suyu miktarı ($m^3/yıl$)	Kullanıcılara dağıtılan toplam su miktarı
	Birim sulama alanına dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı(m^3/ha) = $\frac{\text{Sulama sistemine giren toplam su miktarı}}{\text{Sulama alanı}}$	Sulama sistemine giren günlük toplam su miktarı Sulama alanı
	Birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı(m^3/ha) = $\frac{\text{Sulama sistemine giren toplam su miktarı}}{\text{Sulanan alan}}$	Sulama sistemine giren günlük toplam su miktarı Sulanan alan
	Sulama Randımanı (%) = $\frac{\text{Net Su İhtiyacı} \times 100}{\text{Toplam Dağıtılan Sulama Suyu}}$	Net sulama suyu ihtiyacı Sulama sistemine giren toplam su miktarı
	Sulama Oranı= $\frac{\text{Sulanan Alan (ha)}}{\text{Sulama Alanı (ha)}} \times 100$	Sulanan alan Sulama alanı
Ekonomik Etkinlik	Yatırımın geri dönüşüm oranı = $\frac{\text{Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti}}{\text{Toplam işletme-bakım-yönetim masrafları}}$	Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti Toplam işletme-bakım-yönetim masrafları
	Bakım masrafının gelire oranı = $\frac{\text{Toplam bakım masrafı}}{\text{Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti}}$	Toplam bakım masrafı Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti
	Birim sulama alanına düşen toplam işletme – bakım – yönetim masrafı (TL/ha) = $\frac{\text{Toplam işletme- bakım-yönetim masrafları}}{\text{Sulama alanı}}$	Toplam işletme-bakım-yönetim masrafları Sulama alanı
	Su ücreti toplama performansı = $\frac{\text{Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti}}{\text{Alınması gereken toplam su ücreti}}$	Kullanıcılardan toplanan toplam su ücreti Alınması gereken toplam su ücreti
Tarımsal Etkinlik	Yıllık toplam tarımsal üretim değeri (TL) = Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı x Ürünün satış fiyatı	Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı Ürünün satış fiyatı
	Birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha) = $\frac{\text{Toplam üretim değeri}}{\text{Sulama alanı}}$	Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı Ürünün satış fiyatı Sulama alanı
	Birim Sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir (TL/ha) = $\frac{\text{Toplam üretim değeri}}{\text{Sulanan alan}}$	Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı Ürünün satış fiyatı Sulanan alan
	Şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/ m^3) = $\frac{\text{Toplam üretim değeri}}{\text{Şebekeye alınan toplam su miktarı}}$	Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı, Ürünün satış fiyatı Şebekeye alınan toplam su miktarı
	Tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/ m^3) = $\frac{\text{Toplam üretim değeri}}{\text{Bitki su tüketimi}}$	Her bitkiden elde edilen toplam ürün miktarı, Ürünün satış fiyatı Toplam bitki su tüketimi (ETc)
	Su kullanım etkinliği = $\frac{\text{Sulanan birim alandan elde edilen gelir}}{\text{Bitki su tüketimi}}$	Sulanan birim alandan elde edilen gelir, Bitki su tüketimi

3.4.1.1 Su kullanım etkinliği

Bu alışmada "Su Kullanım Etkinliği" göstergelerini değerlendirmek amacıyla çeşitli performans ltleri kullanılmış ve bu ölçütlere göre gerekli veriler elde edilmiştir (izelge 3.4). Bu göstergeler, toplam yıllık dağıtılan sulama suyu miktarı ($m^3/yıl$), birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı (m^3/ha), sulama randımanı ve sulama oranı gibi su yönetimiyle ilgili önemli parametreleri kapsamaktadır. Çalışmada elde edilen veriler, sulama sistemlerinin su dağıtımındaki etkinliğini analiz etmek için kullanılmış ve bu doğrultuda performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Çizelge 3.4'te sunulan verilere dayanarak yapılan hesaplamalar, sulama sistemlerinin su kullanım verimliliği açısından nasıl performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sulama sistemlerinin performans göstergeleri, izelge 3.3 ile verilen yöntemler doğrultusunda hesaplanmış olup, bu veriler sulama sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.4 Kösreli sulama alanı bilgileri (Anonim 2018)

Yıl	Sulama Alanı (ha)	Sulanan Alan Alanı (ha)	şebekeye Alınan Su (m^3)	Net Su İhtiyacı (m^3/ha)	Brüt Su İhtiyacı (m^3)	Hektara Düşen Su (m^3/ha)
2012	18.477	18.352	198.460.800	4.880	8.340	10.740
2013	18.050	18.441	177.768.000	4.830	8.260	9.639
2014	18.378	18.499	167.515.000	4.750	8.130	9.115
2015	18.550	18.583	184.248.000	5.170	8.840	9.914
2016	18.539	18.529	158.097.600	5.170	8.750	8.532
2017	18.550	18.654	153.705.600	5.210	8.900	8.239
2018	18.500	18.739	159.753.600	5.250	8.990	8.525

Çizelge 3.5, 2012-2018 yılları arasında sulama projeleri için planlanan ve gerçekleşen su ihtiyacı ile şebekeye alınan su miktarlarını göstermektedir. Her yıl için planlanan toplam sulama suyu miktarı, su kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak amacıyla belirlenmiştir. Gerçekleşen net su ihtiyacı, sulama alanındaki bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan su miktarını ifade ederken, gerçekleşen brüt su ihtiyacı sulama sırasında meydana gelen kayıpları da içermektedir. Şebekeye alınan su miktarı, sulama alanına dağıtılan toplam su miktarını temsil etmekte olup, sulama sisteminin verimliliğini değerlendirmek açısından önemlidir. Genellikle planlanan su miktarları, gerçekleşen net su ihtiyacından daha yüksek olup, sulama sisteminin verimliliğini ve etkinliğini değerlendirmede kullanılır. Ayrıca, şebekeye alınan su miktarının, gerçekleşen brüt su ihtiyacından yüksek olması, sulama sürecinde kayıpların meydana geldiğini göstermektedir.

Çizelge 3.5 Gerçekleşen sulama suyu ihtiyaçları ile şebekeye alınan su miktarları (2012-2018)
(Anonim 2012-2018; Anonim 2018)

Yıl	Planlanan (m ³)	Gerçekleşen		Uygulamada (Şebekeye Alınan Su (m ³))
		Net Su İhtiyacı (m ³)	Brüt Su İhtiyacı (m ³)	
2012	153.535.000	90.240.000	154.257.000	198.460.800
2013	153.529.000	89.319.000	152.680.000	177.768.000
2014	152.707.000	87.425.000	149.445.000	167.515.000
2015	155.485.000	96.144.000	164.349.000	184.248.000
2016	157.471.000	94.831.000	164.349.000	158.097.600
2017	157.045.000	97.231.000	166.208.000	153.705.600
2018	153.572.000	98.517.000	168.407.000	159.753.600

3.4.1.2 Ekonomik etkinlik

Ekonomik etkinlik göstergeleri, yatırımın geri dönüşüm oranı, bakım masrafının gelire oranı, birim alana düşen toplam işletme, bakım ve yönetim masrafı (TL/ha) ve su ücreti

toplama performansı gibi kriterleri içermektedir. Bu göstergeler, sulama sistemlerinin ekonomik verimliliğini değerlendirmek için kullanılmakta olup, Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7 ile verilen bilgiler doğrultusunda Çizelge 3.3'deki verilen yöntemlerin kullanılması ile hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen veriler, sulama sistemlerinin maliyet ve gelir dengesini analiz etmeye olanak sağlamaktadır ve bu kapsamda maliyetlerin yönetimi ve gelirlerin sürdürülebilirliği açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Çizelge 3.8, 2012-2018 yılları arasında sulama ücreti tahakkuku ve tahsil edilen tutarlar gösterilmektedir. "Sulama Ücreti Tahakkuku" sütununda, her yıl için belirlenen sulama ücretlerinin toplam miktarı yer almaktadır. "Sulama Ücreti Tahsil Edilen Tutar" sütunu, aynı dönemlerde bu tahakkuklardan fiilen tahsil edilen tutarları belirtmektedir. "Toplam Tahsilat Tutarı" sütunu ise, tahsil edilen sulama ücretlerinin yıllık toplamını ifade etmektedir. Bu çizelge, sulama hizmetleri için belirlenen ücretlerin ne kadarının tahsil edilebildiği ve bu hizmetlerin mali performansını değerlendirme açısından önemli veriler sunmaktadır.

Çizelge 3.6 2012-2018 yılları arasında sulama ücreti tahakkuku ve tahsil edilen tutarlar (Anonim 2012-2018)

Yıl	Sulama Ücreti Tahakkuku (TL)	Sulama Ücreti Tahsil Edilen Tutar (TL)	Toplam Tahsilat Tutarı (TL)
2012	2.347.258,80	1.613.161,04	3.163.937,15
2013	3.442.836,40	2.898.417,00	4.309.877,00
2014	3.586.628,96	3.146.179,12	4.470.785,53
2015	4.016.949,00	3.645.582,87	4.813.155,95
2016	4.345.657,60	3.734.568,93	4.380.741,03
2017	4.972.884,98	4.382.157,91	5.093.901,48
2018	5.755.715,26	4.968.615,22	5.965.582,66

Çizelge 3.7, 2012-2018 yılları arasında sulama sistemleri için yapılan bakım onarım harcamaları ve toplam işletme-bakım-yönetim masrafları gösterilmektedir. "Bakım

Onarım Gideri" sütununda, her yıl için sulama sistemlerinin bakımı ve onarımı için harcanan tutar yer almaktadır. "Toplam İşletme-Bakım-Yönetim Masrafı" sütunu ise, bu harcamaların yanı sıra işletme ve yönetim ile ilgili tüm masrafların toplamını ifade etmektedir. Bu çizelge, sulama sistemlerinin sürdürülebilirliği ve etkinliği açısından yıllık maliyetlerin analiz edilmesine yardımcı olacak önemli bilgiler sunmaktadır.

Çizelge 3.7 2012-2018 yılları arasında bakım onarıma harcanan tutarlar (Anonim 2012-2018)

Yıl	Bakım Onarım Gideri (TL)	Toplam İşletme -Bakım- Yönetim Masrafı (TL)
2012	469.789,83	3.081.549,50
2013	813.977,34	3.723.683,99
2014	744.045,73	3.131.816,01
2015	1.325.611,75	3.680.659,80
2016	2.378.095,72	5.164.164,28
2017	1.151.379,75	5.664.753,72
2018	1.827.141,57	4.260.213,83

3.4.1.3 Tarımsal etkinlik

Tarımsal etkinlik göstergeleri, tarım alanlarının verimliliğini ve sulama sistemlerinin etkinliğini ölçmek için kullanılan parametrelerdir. Bu göstergeler arasında, yıllık toplam tarımsal üretim değeri (TL) ve birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha) gibi ölçütler yer almaktadır. Özellikle, sulama yapılan birim alan başına elde edilen gelir (TL/ha) ve şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³), suyun

tarımsal üretimde ne kadar verimli kullanıldığını ortaya koymaktadır. Tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³) ve su kullanım etkinliği, sulama suyu kaynaklarının ne kadar verimli kullanıldığı hakkında daha ayrıntılı bir değerlendirme sağlamaktadır.

Bu göstergeler, tarımsal üretimle doğrudan ilişkilidir ve sulama alanlarının verimliliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Tarımsal etkinlik verileri, sulama sistemlerinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini analiz etmek ve farklı yıllar arasında karşılaştırma yapmak amacıyla hesaplanmıştır. Bu değerlendirmeler, ilgili dönem boyunca elde edilen üretim gelirleri üzerinden yapılmış ve sulama sistemlerinin performansının değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Hesaplamalar, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da yer alan üretim miktarları, satış fiyatları ve sulama verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çizelgeler, farklı yıllar ve ürünler bazında sulama alanlarındaki üretim desenini, ürün fiyatlarını ve üretim miktarlarını detaylandırmaktadır. Ayrıca, Çizelge 3.3'te belirtilen yöntemler doğrultusunda, tarımsal üretim ve sulama etkinliği ile ilgili göstergelerin hesaplanması yapılmış, böylece sulama sistemlerinin tarımsal üretim üzerindeki doğrudan etkileri ve su kullanım etkinliğinin ekonomik boyutu kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.

Kösreli sulama alanında farklı ürünlerin yıllar bazında ekim alanları (hektar olarak) detaylandırılmıştır (Çizelge 3.8). 2012-2018 yılları arasında, mısır, pamuk, yer fıstığı, bakliyat, bostan, her çeşit meyve ve soya gibi ürünlerin her yıl ne kadar alanda ekildiği belirtilmiştir. Çizelge 3.8 incelendiğinde, mısırın ekim alanında belirli bir azalma görüldüğü, soya ekim alanının özellikle 2014 yılından sonra artış gösterdiği görülmektedir. Yer fıstığı ekimi ise 2012'den 2018'e kadar genel bir artış eğilimi göstermektedir. Bu çizelge, sulama alanındaki ürün desenindeki yıllık değişimleri ve bu ürünlerin ekim alanlarının hangi yıllarda nasıl farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 3.8 Kösreli sulama alanı bitki deseni (ha) (Anonim 2012-2018; Anonim 2018)

Ürün	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mısır	15.579	15.351	15.324	16.430	15.290	15.102	13.294
Pamuk	579	231	613	52	191	760	2.109
Yer Fıstığı	1.496	1.836	1.813	1.377	2.415	2030	2615
Bakliyat	271	0	0	0	0	0	0
Bostan	232	91	209	307	150	220	109
Her Çeşit Meyve	194,4	268	122	145	199	134	121
Soya	0	606	362	165	194	225	360

Çizelge 3.9’da 2012-2018 yılları arasında farklı bitkilerin toplam üretim miktarları ve satış fiyatları incelenmektedir. Her yıl için mısır, yer fıstığı, pamuk, bakliyat, bostan ve her çeşit meyve gibi ürünlerin ortalama verimleri (kg/ha) ve kilogram başına satış fiyatları (TL/kg) listelenmiştir. Çizelge incelendiğinde, bu ürünlerin yıllık satış fiyatlarındaki değişimler gözlemlenebilir. Örneğin, yer fıstığı fiyatlarının 2012’den 2016’ya kadar genel olarak artış gösterdiği, pamuk fiyatlarının ise belirli yıllarda dalgalanma yaşadığı dikkat çekmektedir. Bu çizelge, ürünlerin ekonomik değerindeki yıllık değişiklikleri analiz etmek ve tarımsal gelirleri değerlendirmek için önemli veriler sunmaktadır. Ortalama Verim (kg/ha) ile Çizelge 3.8’de yer alan ürünlerin ekiliş alanları (ha) çarpılarak toplam üretim miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama, her bir ürün için hektar başına elde edilen ortalama verim değerinin (kg/ha) ekiliş alanı ile çarpılması yoluyla yapılmaktadır. Böylece, her bir ürünün toplam üretimi (kg) elde edilmiştir.

Çizelge 3.9 Köşreli sulama alanı bilgileri (Anonim 2018; Anonim 2024b)

Yıl	Bitki	Ortalama Verim (kg/ha)	Satış Fiyatı (TL/kg)
2012	Mısır	13.570	0,58
	Yer Fıstığı	4.250	3,16
	Pamuk	4.000	1,23
2013	Mısır	13.750	0,61
	Yer Fıstığı	4.250	2,82
	Pamuk	4.000	1,35
2014	Mısır	13.750	0,62
	Yer Fıstığı	4.250	2,76
	Pamuk	4.000	1,47
2015	Mısır	13.750	0,66
	Yer Fıstığı	4.250	4,38
	Pamuk	4.000	1,32
2016	Mısır	13.750	0,6
	Yer Fıstığı	4.250	4,16
	Pamuk	4.000	1,70
2017	Mısır	13.750	0,75
	Yer Fıstığı	4.250	4,09
	Pamuk	4.000	2,01
2018	Mısır	13.750	0,85
	Yer Fıstığı	4.250	4,69
	Pamuk	4.000	2,38

Çizelge 3.10’da, 2012-2018 yılları arasında farklı bitkilerin su tüketimi (ETC) değerleri milimetre (mm) cinsinden gösterilmektedir. Mısır, yer fıstığı, pamuk, bakliyat ve soya gibi ürünlerin yıllık su tüketimleri bu çizelgede detaylandırılmıştır. Bu bilgiler, TAGEM SUET Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi hesaplama sisteminden alınmıştır. Çizelge 3.10’da yer alan su tüketimi verileri, her bir bitkinin yetiştirme döneminde ihtiyaç duyduğu su miktarını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu sayede, bitkisel üretimde suyun verimli kullanımını planlamak ve sulama uygulamalarını optimize etmek mümkün hale gelmektedir.

Çizelge 3.10 Kösreli sulama alanında sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri (Anonim 2024d)

Bitki	Bitki Su Tüketimi (ETC) mm						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mısır	527,81	531,08	531,08	576,82	527,81	531,08	531,08
Yer Fıstığı	664,98	664,98	664,98	664,98	664,98	664,98	664,98
Pamuk	724,40	724,40	724,40	724,40	724,40	724,40	724,40

3.4.1.4 Birim alan başına düşen sulama suyu miktarı

Kösreli sulama alanında 2012-2018 yılları arasında uygulanan sulama yönetimlerini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Bölgedeki yaygın sulama yöntemi yüzey sulama olup, tam sulama (% 100) uygulaması esas alınmıştır. Çalışmanın amacı, farklı sulama uygulamalarının hektara düşen su miktarına etkilerini analiz etmek ve bu uygulamaların su kullanım etkinliklerini karşılaştırarak en uygun sulama planını belirlemektir. Çalışmada, Stewart Eşitliği sulama eksikliğinden kaynaklanan verim kayıplarını hesaplamak amacıyla kullanılmıştır. Stewart vd. tarafından 1977 yılında geliştirilmiş olan bu model, su tüketimi açığı ile verim kaybı arasındaki ilişkiyi bir verim tepki etmeni (ky) kullanarak açıklamaktadır. Tarımsal üretimde sınırlı su kullanımının, verim üzerindeki etkisini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan Stewart Eşitliği, farklı sulama uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada da Kösreli sulama alanında farklı sulama yöntemleri ve oranları ile hektara düşen su miktarı ve elde edilen verim ilişkilendirilmektedir.

Eşitlik şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\left(1 - \frac{Ya}{Ym}\right) = ky\left(1 - \frac{ET}{ETm}\right)$$

Ya: Gerçek verim,

Ym: Maksimum verim,

ky: Verim tepki etmeni,

ET: Gerçek evapotranspirasyon,

ETm: Maksimum evapotranspirasyon olarak tanımlanmaktadır.

Bu eşitliğin seçilmesinin başlıca nedeni, farklı sulama uygulamalarının verim üzerindeki etkilerini doğru bir şekilde tahmin etme kapasitesidir. Kısıntılı sulama (% 50 ve % 75) gibi uygulamaların yanı sıra, tam sulama (% 100) senaryolarında verim kaybı hesaplanarak sulama yönetiminin optimizasyonu hedeflenmiştir.

Çalışmada, mısır bitkisi için bitki su tüketimi (ET_c) değerleri 2012-2018 yılları arasında elde edilmiştir. Bu veriler, TAGEM (Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü) SUET (Anonim 2024d) sisteminden sağlanmış olup, her yılın meteorolojik koşulları ve mısır bitkisinin su ihtiyacı dikkate alınarak hesaplanmıştır. 2012-2018 dönemi boyunca bölgedeki iklim verilerine dayalı olarak hesaplanan bu ET_c değerleri, Köşreli sulama alanındaki sulama uygulamalarını analiz etmek için temel veri seti olarak kullanılmıştır. Sulama alanında yetiştirilen mısır için verim değerleri, Ceyhan ilçesi mutad ürün cetvelleri ve Ceyhan Havzası Master Planları (Anonim 2018) dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kaynaklar, mısır bitkisi için bölgesel verim potansiyelini yansıtan önemli referanslar olup, çalışmada kullanılan maksimum verim (Y_m) değerleri bu veriler temel alınarak hesaplanmıştır. Bu araştırmaya göre, mısır bitkisinin toprakların elverişli nem kapasitesinin % 55'i tüketildiği zaman sulanması halinde verim artışı sağlanacağı belirtilmiştir. Mısır, pamuk ve yer fıstığı bitkilerinin ky (bitki su tüketim katsayısı) değerleri; sırasıyla 1,25, 0,85 ve 0,70 olarak belirlenmiştir (Doorenbos ve Kassam 1979; Anonymous 1998).

Çalışmada Köşreli sulama alanında uygulanan farklı sulama yöntemleri ve uygulamaları analiz edilmiştir. Sulama alanında mevcutta kullanılan sulama yöntemi olarak yüzey sulama ve % 100 sulama uygulaması esas alınmıştır. Bu yöntemde su, tarla yüzeyinde

açılan kanallardan bitkiye iletilir ve bölgedeki yaygın sulama pratiğini temsil etmektedir. Ancak, yüzey sulama yöntemi su kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, çalışmada suyun daha etkin kullanılması amacıyla farklı sulama uygulamaları da değerlendirilmiştir.

Kısıntılı sulama (% 75), suyun kısmen azaltıldığı ve bitkinin ihtiyacının % 75'inin karşılandığı bir uygulama olarak kullanılmıştır. Bu uygulama, özellikle su tasarrufu sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Aynı şekilde, kısıntılı sulama (% 50) uygulaması da uygulanmış olup, burada bitki su ihtiyacının % 50'si sulama ile karşılanmıştır. Bu iki uygulama, sınırlı su kaynaklarının bulunduğu koşullarda suyun daha verimli kullanımı ve verim düşüşlerini minimize etmek için incelenmiştir.

Her bir sulama uygulamasının verim üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla, AquaCrop modeli kullanılarak hektara düşen su miktarları ve verim değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı sulama yöntemleri ve uygulamaları arasındaki bu karşılaştırmalar, su verimliliğini artırmak ve bölgedeki sulama yönetimini optimize etmek için temel bir referans sunmuştur.

Hektara düşen su miktarlarının hesaplanması, sulama verimliliği ve su kullanımının etkinliğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu hesaplamalar, her yıl için bitki su tüketimi (ETc) değerlerine ve sulama yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. TAGEM SUET verilerine dayalı olarak belirlenen ETc değerleri, Köşreli Sulama Alanı'ndaki meteorolojik koşullar ve mısır bitkisinin su ihtiyaçları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Mevcut yüzey sulama yöntemi ile tam sulama (% 100 sulama) uygulandığında hektara düşen su miktarları, tam sulama senaryosuna göre hesaplanmıştır. Aynı şekilde, kısıntılı sulama (% 75 ve % 50) uygulamalarında hektara düşen su miktarları, tam sulama değerlerinin % 75'i ve % 50'si alınarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalar, farklı sulama uygulamalarının su kullanım etkinliğini karşılaştırmak ve en uygun sulama yönetimini belirlemek için önemli bir temel oluşturmuştur.

Elde edilen verilere dayanarak, sulama yöntemlerine özgü etkinlik oranları dikkate alınarak hektara düşen su miktarları hesaplanmıştır. Bu kapsamda, damla sulama için %

85, yağmurlama sulama için % 70 ve yüzey sulama için % 50 etkinlik oranları kabul edilmiştir (Çakmak ve Gökalp, 2011). Bu oranlar, her sulama yönteminin su kullanım etkinliğini yansıtmaktadır. Bu etkinlik oranları ile farklı sulama uygulamaları için hektara düşen su miktarları yeniden hesaplanmış ve her yöntemin su tasarrufu ve verimlilik üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

3.4.2 AquaCrop modeli

Bu çalışmada, tarımsal üretimde su kullanım etkinliğini değerlendirmek amacıyla AquaCrop modeli (Şekil 3.11) kullanılmıştır. AquaCrop, bitki su tüketimini, verim ve su kullanım etkinliğini tahmin etmek için kullanılan bir modeldir. FAO tarafından geliştirilen AquaCrop, özellikle su sınırlamalarının ürün verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Model, bitki gelişimi, su tüketimi, verim ve su kullanım etkinliğini etkileyen çeşitli faktörleri dikkate alarak, sulama yönetiminde karar verme süreçlerini desteklemektedir.

Çalışma kapsamında, tarımsal üretimde suyun etkin kullanımını değerlendirmek için yüzey sulama, yağmurlama sulama ve damla sulama olmak üzere üç farklı sulama yöntemi incelenmiştir. Sulama uygulamaları ise bitki büyüme dönemindeki su ihtiyacına göre belirlenmiştir. Bu kapsamda, tam sulama (% 100) ve kısıntılı sulama (% 75 ve % 50) olmak üzere üç farklı uygulaması değerlendirilmiştir. Kısıntılı sulama, bitkilerin su ihtiyacının % 75'inin veya % 50'sinin sulama ile karşılandığı bir uygulama olup, su tasarrufu sağlarken verimi büyük ölçüde korumayı hedeflemiştir. Tam sulama, bitkilerin ihtiyacı olan suyun tamamının sulama ile karşılandığı bir olup, maksimum verimi hedeflemiş ancak su kullanımını da en üst düzeye çıkarmıştır. Çalışmada ayrıca, ekim zamanının ürün verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla dört farklı ekim tarihi belirlenmiştir. Bu tarihler, ekim zamanına bağlı olarak üç ana kategoriye ayrılmıştır: erken ekim (15 Şubat), normal ekim (1 Mart- 1 Nisan) ve geç ekim (15 Nisan).

Çalışmanın kapsamında modelde kullanılan senaryolar Çizelge 3.11’de detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Bu çizelge, her bir senaryonun özelliklerini ve analiz edilen parametreleri içermektedir.

3.2.2.1 Analiz süreci

Tanımlayıcı İstatistikler; bu analiz, verilerin temel özelliklerini özetlemek ve genel eğilimleri ortaya koymak için kullanılmıştır. Ortalama, medyan, standart sapma, varyans ve minimum-maksimum değerler gibi istatistiksel ölçütler hesaplanmış ve grafiklerle görselleştirilmiştir. Bu ölçütler, sulama suyu miktarı, dane verimi, biyokütle, evaporasyon ve transpirasyon gibi değişkenlerin dağılımını ve merkezi eğilimlerini anlamamıza yardımcı olmuştur.

Korelasyon Analizi; sulama suyu miktarı, dane verimi, biyokütle, evaporasyon ve transpirasyon gibi değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Bu analiz, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü ölçmek için Pearson korelasyon katsayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, değişkenler arasındaki pozitif veya negatif ilişkilerin gücünü ve istatistiksel anlamlılığını değerlendirmemizi sağlamıştır.

Regresyon Analizi; sulama suyu miktarı, sulama uygulaması ve ekim tarihinin dane verimi üzerindeki etkisini incelemek için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz, bağımsız değişkenlerin dane verimi üzerindeki katkılarını ve etkilerini ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Modelin açıklayıcılığı ve bağımsız değişkenlerin istatistiksel anlamlılığı değerlendirilmiş, tahmin edilen dane verimi ile gerçek dane verimi karşılaştırılmıştır.

Varyans Analizi (ANOVA); farklı sulama uygulamalarının biyokütle, su verimliliği (WP), evaporasyon ve transpirasyon gibi değişkenler üzerindeki etkisini incelemek için varyans analizi uygulanmıştır. Bu analiz, bağımsız değişkenlerin bu değişkenler üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, hangi sulama uygulamasının diğerlerine göre daha etkili olduğunu belirlenmesini sağlamıştır.

Kümeleme Analizi; sulama yöntemleri, uygulamaları ve sonuç değişkenleri arasındaki benzerlikleri belirlemek için kümeleme analizi yapılmıştır. K-Means algoritması kullanılarak veri setindeki gözlemler benzer özelliklere sahip gruplara ayrılmış ve kümeler PCA ile görselleştirilmiştir. Bu analiz, farklı sulama uygulamalarının verim ve su kullanımı açısından nasıl gruplandırıldığını ortaya koymuştur.

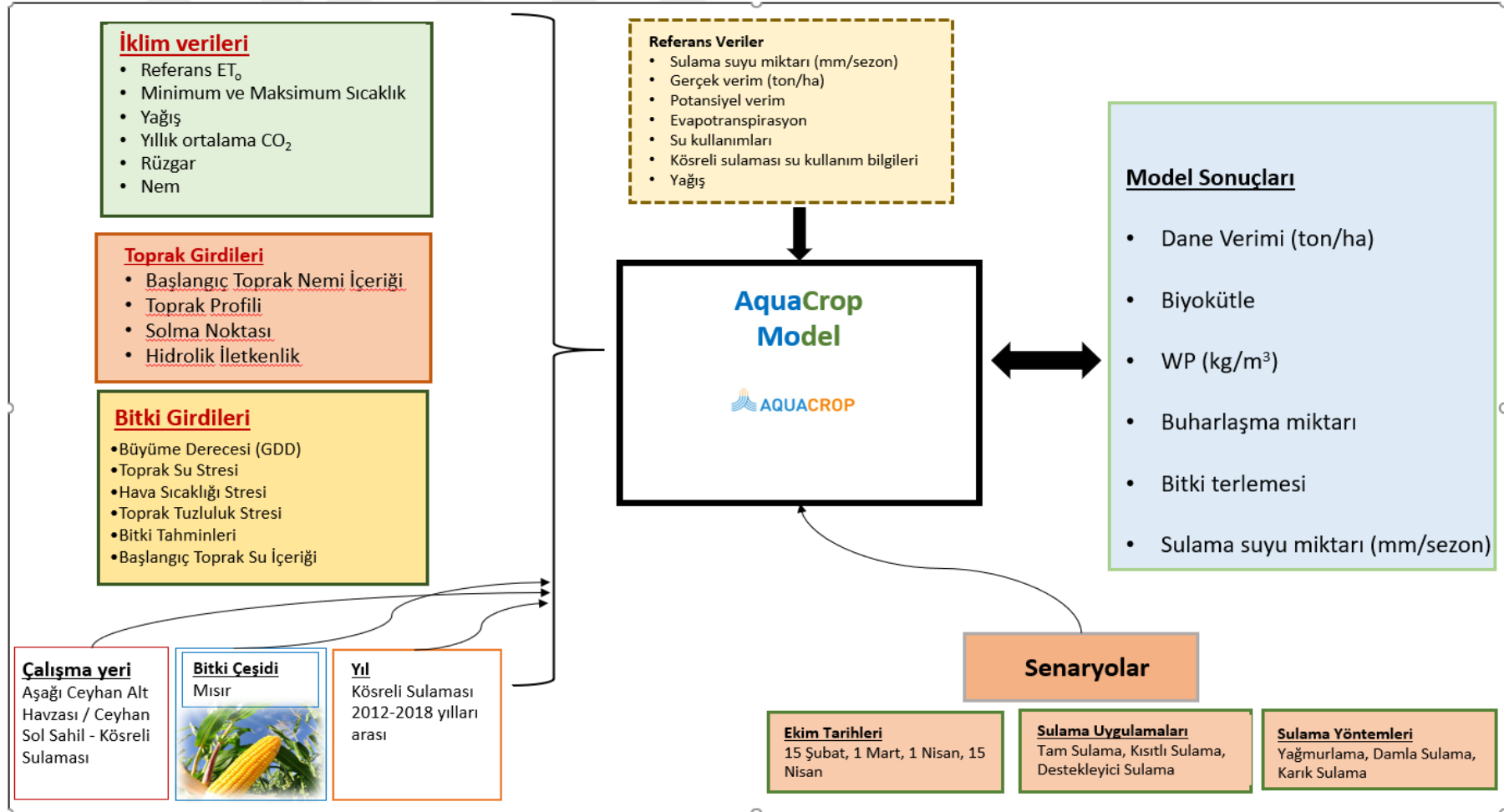
Su Kullanım Verimliliği Analizi; su kullanım verimliliğini değerlendirmek için farklı sulama uygulamaları ve ekim tarihlerine göre verim değerleri incelenmiştir. Su verimliliği (WP), sulama suyu miktarı ile elde edilen dane verimi arasındaki oran olarak hesaplanmış ve sulama uygulamaları ile transpirasyon miktarına göre karşılaştırılmıştır. Analiz, suyun en verimli şekilde kullanılabileceği uygulamaları belirlemeye yönelik önemli bilgiler sağlamıştır.

Çoklu Dağılım Analizi; sulama suyu miktarı, transpirasyon, evaporasyon ve su verimliliği (WP) arasındaki ilişkileri görselleştirmek için çoklu dağılım analizi (pairplot) yapılmıştır. Bu analiz, bu değişkenler arasındaki ikili ilişkileri inceleyerek sulama suyu miktarının artmasının transpirasyon, evaporasyon ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Sonuçlar, sulama uygulamalarının su kaybı ve verimlilik açısından değerlendirilmesine katkı sağlamıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, optimum sulama senaryosunu belirlemek için sulama suyu miktarı, sulama uygulaması ve ekim tarihinin dane verimi, biyokütle, evaporasyon, transpirasyon ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. İlk adım olarak, veri setindeki anahtar değişkenlerin temel özellikleri ve dağılımları tanımlayıcı istatistiklerle incelenmiştir. Bu analizde, sulama suyu miktarı, dane verimi ve WP gibi değişkenlerin ortalama, medyan, standart sapma gibi istatistiksel ölçütleri hesaplanmıştır. Bu ölçütler, verinin genel eğilimlerini ve merkezi değerlerini ortaya koyarak, değişkenler arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.

Sonraki aşamada, değişkenler arasındaki ilişkilerin yönünü ve gücünü belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Bu analiz, sulama suyu miktarı, dane verimi ve WP gibi değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri değerlendirmede kullanılmıştır.

Korelasyon matrisi, sulama suyu miktarının dane verimi üzerindeki pozitif etkisini ve su verimliliği (WP) ile olan zayıf negatif ilişkiyi ortaya koymuştur. Bu bulgular, sulama uygulamalarının bitkisel verim ve suyun etkin kullanımı üzerindeki olası etkilerini anlamada önemli bir rol oynamıştır. Farklı sulama uygulamalarının ve ekim tarihlerinin dane verimi ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için grup karşılaştırmaları yapılmıştır. Sulama uygulamaları (kısıntılı sulama ve tam sulama) ve farklı ekim tarihleri gruplandırılarak, bu grupların ortalama dane verimi ve WP değerleri analiz edilmiştir. Bu karşılaştırmalar, farklı uygulama ve tarihler arasında verim ve su verimliliği (WP) açısından anlamlı farklar olup olmadığını belirlemede kullanılmıştır. Analiz sonuçları, suyun daha verimli kullanıldığı uygulamaların ve uygun ekim tarihlerinin belirlenmesinde yol gösterici olmuştur. Optimum sulama suyu miktarını belirlemek için marjinal verim analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, sulama suyu miktarındaki artışın dane verimi ve WP üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sulama suyu miktarının artmasının verimde sağladığı artış oranının azaldığı noktalar tespit edilmiştir. Ayrıca, suyun verimli kullanımını optimize eden sulama suyu miktarı belirlenmiştir. Bu analiz, sulama suyu miktarı ile verim arasındaki dengeyi sağlayarak hem verim artışını hem de su verimliliğini optimize eden bir sulama suyu miktarının seçilmesini mümkün kılmıştır.



Şekil 3.11 AquaCrop akış şeması

Çizelge 3.11 Deneme konularına göre uygulanan senaryo değişkenleri

Deneme	Sulama Yöntemi	Sulama Uygulaması	Ekim Tarihi
Deneme 1	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Şubat
Deneme 2	Yağmurlama	Tam Sulama (% 100)	15 Şubat
Deneme 3	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Şubat
Deneme 4	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Mart
Deneme 5	Yağmurlama	Tam Sulama (% 100)	1 Mart
Deneme 6	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Mart
Deneme 7	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Nisan
Deneme 8	Yağmurlama	Tam Sulama (% 100)	1 Nisan
Deneme 9	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Nisan
Deneme 10	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Nisan
Deneme 11	Yağmurlama	Tam Sulama (% 100)	15 Nisan
Deneme 12	Yağmurlama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Nisan
Deneme 13	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Şubat
Deneme 14	Yüzey Sulama	Tam Sulama (% 100)	15 Şubat
Deneme 15	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Şubat
Deneme 16	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Mart
Deneme 17	Yüzey Sulama	Tam Sulama (% 100)	1 Mart
Deneme 18	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Mart
Deneme 19	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Nisan
Deneme 20	Yüzey Sulama	Tam Sulama (% 100)	1 Nisan
Deneme 21	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Nisan
Deneme 22	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Nisan
Deneme 23	Yüzey Sulama	Tam Sulama (% 100)	15 Nisan
Deneme 24	Yüzey Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Nisan
Deneme 25	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Şubat
Deneme 26	Damla Sulama	Tam Sulama (% 100)	15 Şubat
Deneme 27	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Şubat
Deneme 28	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Mart
Deneme 29	Damla Sulama	Tam Sulama (% 100)	1 Mart
Deneme 30	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Mart
Deneme 31	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	1 Nisan
Deneme 32	Damla Sulama	Tam Sulama (% 100)	1 Nisan
Deneme 33	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	1 Nisan
Deneme 34	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 75)	15 Nisan
Deneme 35	Damla Sulama	Tam Sulama (% 100)	15 Nisan
Deneme 36	Damla Sulama	Kısıntılı Sulama (% 50)	15 Nisan

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.3 Kösreli Sulama Birliği Performans Göstergeleri Bulguları

Adana'nın Ceyhan ilçesinde faaliyet gösteren Kösreli Sulama Birliği, bölgedeki tarımsal üretimde belirleyici bir öneme sahiptir. Sulama birliklerinin performans değerlendirmeleri, su kaynaklarının etkin yönetimi, ekonomik getirileri ve tarımsal verimliliğin artırılması açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Kösreli sulama alanının performans göstergeleri; su kullanım etkinliği, ekonomik etkinlik ve tarımsal etkinlik olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir. Su kullanım etkinliği, su kaynaklarının ne kadar verimli kullanıldığını, suyun tarımsal üretime sağlanan katkısını ve su kayıplarının minimize edilip edilmediğini değerlendirmektedir. Ekonomik etkinlik, sulama projelerinin bölge halkına sağladığı ekonomik getiriyi ve tarımsal üretimden elde edilen kazancı analiz etmektedir. Tarımsal etkinlik ise, sulama faaliyetlerinin ürün verimliliğine, bitki desenine ve sulama alanındaki çeşitliliğe etkisi üzerine odaklanmaktadır. Yapılan analizler, Kösreli Sulama Birliği'nin sürdürülebilir tarımsal faaliyetler için gerekli altyapıyı sunduğunu ve bölgenin ekonomik gelişimine önemli katkılar sağladığını ortaya koymuştur.

4.3.1 Su kullanım etkinliği

Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve tarımsal üretimde verimliliğin artırılması, su kullanım etkinliği değerlendirmeleriyle yakından ilişkilidir. Sulama sistemlerinin performansını analiz etmek, suyun hangi alanlarda ne kadar etkili kullanıldığını belirlemek için önemlidir. Su kullanım etkinliği göstergeleri, sulama sistemlerinin suyu ne kadar verimli dağıttığını ve tarımsal üretime sağladığı katkıyı değerlendirmek amacıyla bu çalışmada kullanılmıştır. Sulama alanlarındaki su tüketimi ve suyun etkin kullanımı hakkında bilgi veren dört temel gösterge dikkate alınmıştır.

Kösreli sulama alanında su kullanım etkinliğini ölçen dört temel göstergenin yıllara göre değişimini Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. “Birim Sulama Alanına Dağıtılan Yıllık

Sulama Suyu (m³/ha)” ve “Birim Sulanan Alana Dağıtılan Yıllık Sulama Suyu (m³/ha)” değerleri, sulanan alan başına ve genel sulama alanı başına düşen su miktarını ifade eder. Bu göstergeler, sulama suyu kullanımının yıllar içinde nasıl değiştiğini, hangi yıllarda daha fazla su dağıtıldığını ve suyun ne kadar etkin kullanıldığını göstermektedir. Sulama Randımanı (%), dağıtılan suyun ne kadarının etkili kullanıldığını, su kaybının minimize edilip edilmediğini ve su yönetiminde ne kadar verimli olduğunu değerlendirmek amacıyla bu çalışmada kullanılmıştır. Sulama Oranı (%) ise sulanan alanın, toplam sulama alanına oranını gösterir; % 100'e yakın değerler, tüm sulama alanının kullanıldığını ifade eder. Bu göstergeler, su yönetimi ve sulama sistemlerinin performansını değerlendirirken faydalı bir bakış açısı sunmakta ve yıllar içinde değişen sulama verimliliği hakkında fikir vermektedir. Bu göstergeler, su yönetimi ve sulama sistemlerinin performansını değerlendirirken önemli parametreler sağlayarak, sulama verimliliğinin yıllar içindeki değişimlerini analiz etme imkânı sunmaktadır.

Çizelge 4.1 Kösreli sulama alanı su kullanım etkinliği değerleri

Yıl	Toplam Yıllık Dağıtılan Sulama Suyu Miktarı (m ³)	Birim sulama alanına dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı (m ³ /ha)	Birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı (m ³ /ha)	Sulama Randımanı (%)	Sulama Oranı (%)
2012	198.460.800	10.814	10.740	45,5	99,3
2013	177.768.000	9.639	9.848	50,3	100
2014	167.515.000	9.055	9.114	52,1	100
2015	184.248.000	9.914	9.932	52,1	100
2016	158.097.600	8.532	8.527	59,9	100
2017	153.705.600	8.239	8.526	63,3	99
2018	159.753.600	8.525	8.635	61,7	100

“Birim Alana Dağıtılan Yıllık Sulama Suyu Miktarı (m^3/ha)” Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde sulama alanı başına dağıtılan yıllık sulama suyu miktarının genel olarak azalma eğiliminde olduğunu görülmektedir. 2012 yılında bu miktar $10.814 m^3/ha$ ile en yüksek seviyededir. 2013 yılında bu değerin $9.639 m^3/ha$ ’a düşmesi, sulama suyu kullanımında önemli bir azalmayı işaret etmektedir. 2014 yılında miktar $9.055 m^3/ha$ seviyesine gerilemiştir. 2015 yılında ise kısa süreli bir artış ile $9.914 m^3/ha$ ’a ulaşmış, bu artışın ardından 2016 yılında miktar yeniden düşüşe geçerek $8.532 m^3/ha$ olmuştur. 2017 yılında ise $8.239 m^3/ha$ ile en düşük seviyeye ulaşmış ve 2018 yılında $8.525 m^3/ha$ olarak kaydedilmiştir. Bu genel azalma eğilimi, suyun daha verimli kullanıldığına veya sulama suyu ihtiyacında bir azalma olduğuna işaret etmektedir. 2012’den 2018’e kadar yaşanan yaklaşık $2.289 m^3/ha$ ’lık azalma, sulama uygulamalarındaki iyileştirmelerin ve daha etkili su yönetimi uygulamaların etkisini yansıtmaktadır.

Birim Sulanan Alana Dağıtılan Yıllık Sulama Suyu Miktarı (m^3/ha), sulanan alan başına düşen su miktarının yıllar içinde dalgalı bir seyir izlediğini göstermektedir (Şekil 4.1). 2012 yılında bu miktar $10.740 m^3/ha$ ile başlamıştır ve 2013 yılında $9.848 m^3/ha$ ’a düşerek sulanan alan başına düşen su miktarında bir azalmayı göstermektedir. 2014 ve 2015 yıllarında bu miktarlar sırasıyla $9.114 m^3/ha$ ve $9.932 m^3/ha$ olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılında miktar biraz daha düşerek $8.527 m^3/ha$ olmuştur. 2017 yılında $8.526 m^3/ha$ olarak kaydedilmiştir ve 2018 yılında $8.635 m^3/ha$ ’a çıkarak artış göstermiştir. Bu dalgalanmalar, sulanan alan başına düşen su miktarının daha verimli kullanıldığını ve modern sulama tekniklerinin veya daha etkin su yönetiminin uygulanmaya başlandığını göstermektedir. Bu sonuçlar, sulama yönetimindeki gelişmelerin ve uygulanan modern tekniklerin, sulanan alan başına düşen su miktarının optimize edilmesine katkı sağladığını ve bu durumun sulama verimliliğini artırdığını göstermektedir.

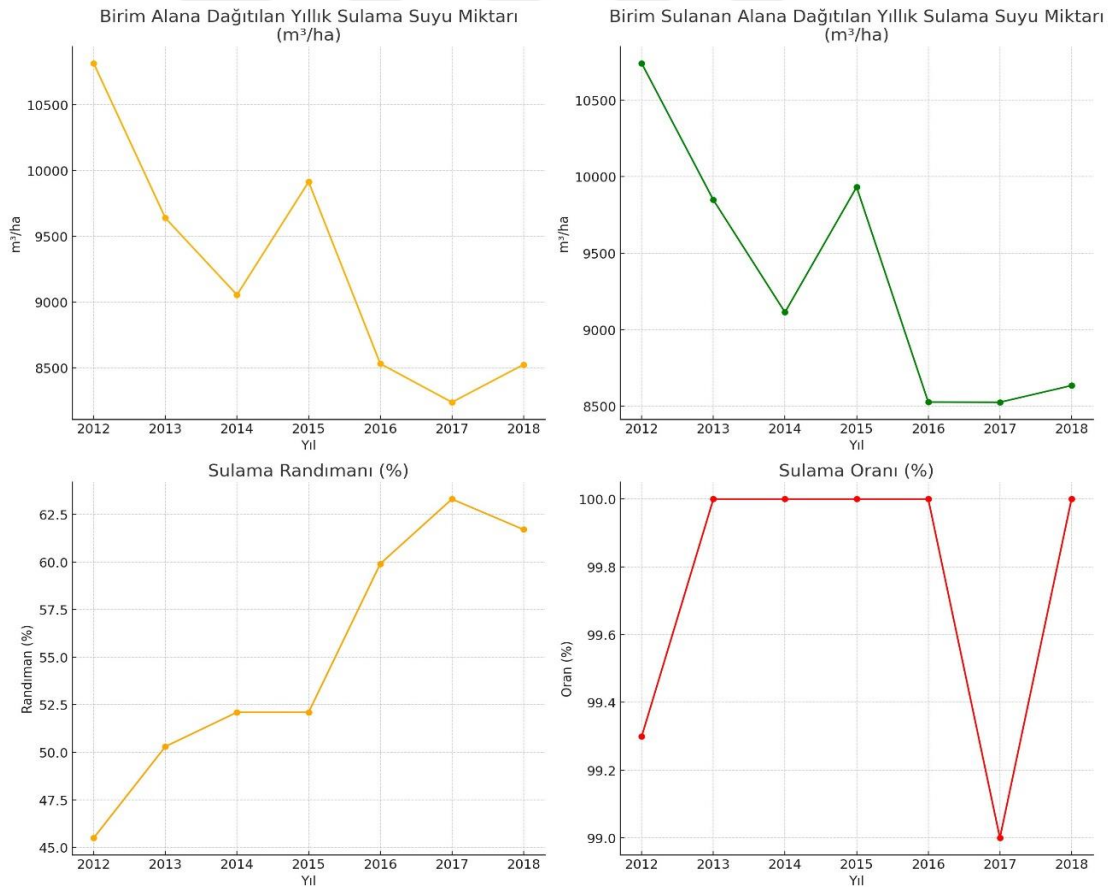
Sulama randımanı grafiği, yıllar boyunca sulama suyu verimliliğinde sürekli bir artış eğilimini göstermektedir. 2012 yılında % 45,5 olan sulama randımanı, 2013 yılında % 50,3’e yükselmiştir. Bu da sulama sisteminin daha verimli hale geldiğini ve su kayıplarının azaldığını göstermektedir. 2014 ve 2015 yıllarında sulama randımanı % 52,1 seviyesinde sabit kalmıştır. Ancak 2016 yılında randıman % 59,9’a yükselmiş ve 2017

yılında % 63,3 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2018 yılında ise % 61,7 olarak kaydedilmiştir. Genel olarak, 2012'den 2018'e kadar olan dönemde % 16,2'lik bir artış söz konusudur. Bu artış, sulama randımanının zaman içinde arttığını, yani daha az su ile daha fazla verim alındığını göstermektedir. Bu durum, sulama uygulamalarında yapılan iyileştirmeler, daha etkin su yönetimi uygulamaları ve modern sulama yöntemlerinin kullanılmasının bir sonucudur.

Sulama Oranı grafiği, Köşreli Sulama Alanı'ndaki sulama alanının toplam sulama alanına oranını göstermektedir ve bu oran, sulama sisteminin etkinliğini değerlendirmede önemli bir göstergedir. 2012 yılında % 99,3 olan sulama oranı, sulama alanının neredeyse tamamının sulandığını ancak % 0,7'lik bir kısmının sulama dışında kaldığını göstermektedir. 2013-2016 yılları arasında sulama oranı % 100 olarak kaydedilmiş ve sulama alanının tamamının etkin bir şekilde sulandığını ortaya koymuştur. Ancak, 2017 yılında sulama oranı % 99'a düşerek, sulama alanının tamamının sulanmadığını göstermiştir. Bu düşüş, sulama alanlarının tam kapasite kullanılmadığını veya bazı bölgelerde suya erişimde sorunlar yaşandığını gösterebilir. 2018 yılında ise sulama oranı tekrar % 100'e ulaşmış ve sulama alanının tamamının sulandığını göstermiştir. Genel olarak, sulama oranının % 99 ile % 100 arasında değişmesi, sulama altyapısının etkin bir şekilde kullanıldığını ve suyun büyük ölçüde tarımsal üretime yönlendirildiğini göstermektedir. Ancak, sulama oranındaki bu değişiklikler, altyapının düzenli olarak gözden geçirilmesi ve olası aksaklıkların önlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.1).

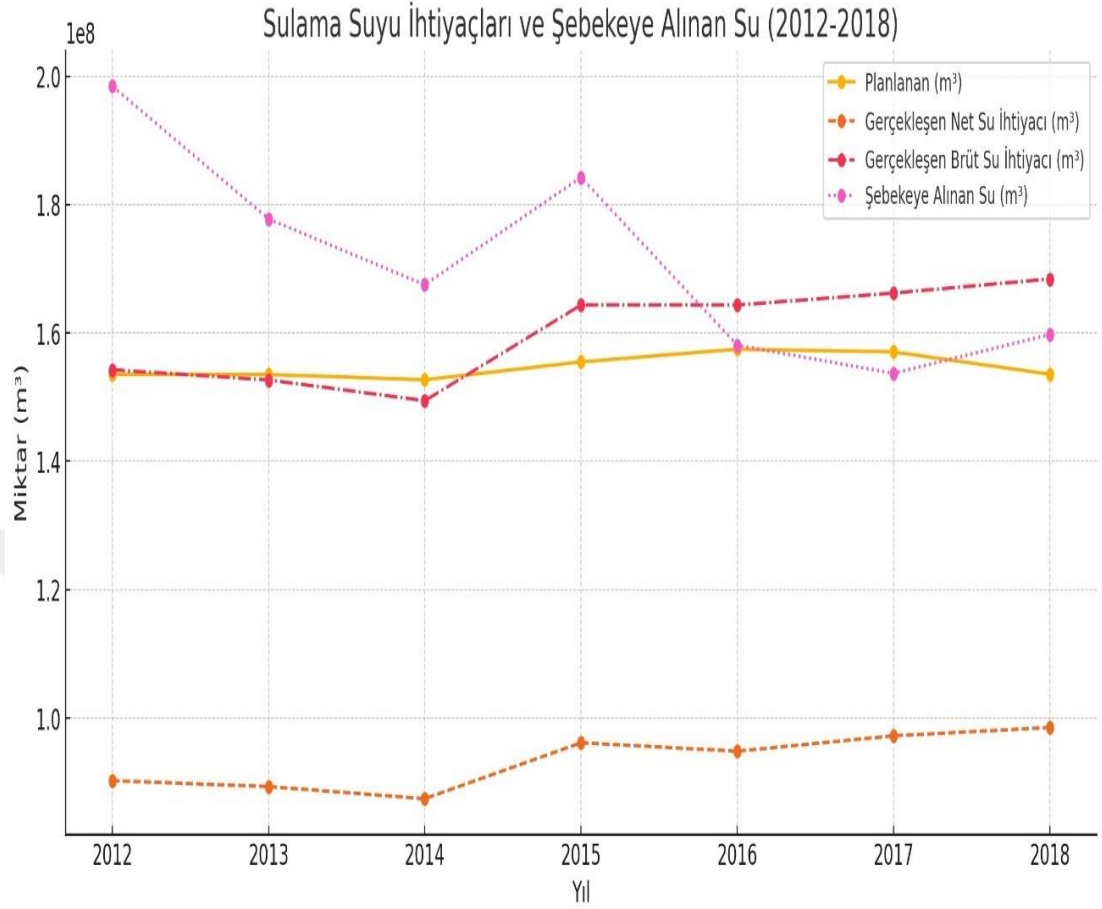
Sonuç olarak, Köşreli sulama alanındaki su kullanım etkinliğine ilişkin bu dört grafik, sulama suyu yönetimi ve verimliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Birim alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarı ve birim sulanan alana dağıtılan yıllık sulama suyu miktarının genel olarak azalması, suyun daha verimli kullanıldığını göstermektedir. Özellikle 2012'den 2018'e kadar yaşanan azalma, sulama uygulamalarındaki iyileştirmelerin ve daha etkili su yönetimi stratejilerinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Bu azalma, suyun etkin kullanımı sayesinde Köşreli Sulama Alanı'ndaki tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmuştur. Sulama randımanında görülen sürekli artış, suyun etkin bir şekilde bitkiler tarafından

kullanıldığını ve sulama sisteminde kayıpların azaldığını göstermektedir. 2012'de % 45,5 olan randımanın 2018'de % 61,7'ye yükselmesi, su kullanım etkinliğinin artırılması konusunda atılan adımların başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Sulama oranının % 99 ile % 100 arasında değişmesi, sulama alanının neredeyse tamamının etkin bir şekilde sulandığını gösterirken, 2017'deki kısa süreli düşüş dışında, alanın tam kapasite kullanıldığını göstermektedir. Genel olarak, bu dört grafik Kösreli sulama alanında suyun daha verimli kullanıldığını, sulama randımanının artırıldığını ve sulama alanlarının tam kapasite ile yönetildiğini ortaya koymaktadır. Ancak, su kaynaklarının uzun vadede sürdürülebilir kullanımı için bu eğilimlerin sürdürülmesi ve su yönetiminde daha etkili stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Sulama sisteminin modernizasyonu, su tasarrufu sağlayan teknolojilerin uygulanması ve su kayıplarının azaltılması gibi alanlarda ilave tedbirlerin alınması, su kaynaklarının korunması ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından faydalı olacaktır.



Şekil 4.1 Kösreli sulama alanı su kullanım etkinliği göstergeleri

Şekil 4.2, 2012-2018 yılları arasında sulama projeleri için planlanan su miktarı ile gerçekleşen net ve brüt su ihtiyaçları ve şebekeye alınan su miktarlarını göstermektedir. Planlanan su miktarı her yıl genellikle 150 milyon m³ seviyesinde olup, su kaynaklarının etkili kullanımını sağlamak için yapılan ön hesaplamalara dayanmaktadır. Örneğin, 2012 yılında 153.535.000 m³ olarak belirlenmiştir. Gerçekleşen net su ihtiyacı ise, bitkilerin büyüme ve gelişme süreçleri için ihtiyaç duyduğu su miktarını temsil eder ve 2012 yılında 90.240.000 m³ olarak kaydedilmiş, 2018 yılına gelindiğinde ise 98.517.000 m³'e kadar yükselmiştir. Bu artış, bitki türleri, sulama alanı veya iklim koşullarındaki değişikliklerle ilişkilendirilebilmektedir. Gerçekleşen brüt su ihtiyacı, sulama sistemi kayıplarını da içeren toplam su ihtiyacıdır ve 2012 yılında 154.257.000 m³ iken 2018'de 168.407.000 m³'e ulaşmıştır. Brüt su ihtiyacının net su ihtiyacından daha yüksek olması, sulama sırasında kayıpların olduğunu göstermektedir. Şebekeye alınan su miktarı ise her yıl brüt su ihtiyacından daha fazla olup, 2012 yılında 198.460.800 m³ ve 2018 yılında 159.753.600 m³ olarak gerçekleşmiştir. Bu fark, suyun dağıtım sürecindeki kayıplara işaret etmektedir ve sulama sisteminin verimliliğinin artırılması gerekliliğini göstermektedir. Sonuç olarak, suyun planlanandan daha verimli kullanıldığı gözlemlenmekle birlikte, sulama sistemi boyunca kayıpların varlığı dikkat çekicidir. Planlanan su miktarının gerçekleşen net su ihtiyacından daha yüksek olması, su kaynaklarının ihtiyatlı bir şekilde yönetildiğini göstermektedir. Ancak, şebekeye alınan su miktarının brüt su ihtiyacından daha fazla olması, suyun dağıtım aşamasında önemli miktarda kaybın meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, suyun daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için sulama sisteminin verimliliğinin artırılması gerektiğine işaret etmektedir. Özellikle 2012 ve 2015 yıllarındaki yüksek farklar, su yönetimi stratejilerinin yeniden değerlendirilmesi ve geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.2 Sulama suyu ihtiyaçları ve şebekeye alınan su miktarı (2012-2018)

4.3.2 Ekonomik etkinlik

Sulama projelerinin sürdürülebilirliği ve ekonomik başarıları, etkin bir mali yönetimle yakından ilişkilidir. Sulama birlikleri, yatırım geri dönüşleri, bakım ve yönetim masrafları, kullanıcı ücretlerinin tahsil performansı gibi ekonomik göstergelerle performanslarını analiz ederler. Bu ekonomik göstergeler, sulama projelerinin mali sürdürülebilirliğini sağlamak ve tarımsal üretim süreçlerinin kesintisiz işleyişini garanti altına almak açısından temel bir işlev görmektedir. Sulama birlikleri, elde ettikleri gelirlerle bakım ve işletme masraflarını karşılayabilmeli ve tahsilat oranlarını artırarak

maliyetleri minimize etmelidir. Bu çalışmada kullanılan ekonomik etkinlik göstergeleri, sulama birliklerinin mali performansını değerlendirmek için önemli birer araçtır.

Kösreli sulama alanındaki ekonomik etkinlik göstergeleri Çizelge 4.2 ile yıllar bazında sunulmaktadır. Çizelge, “Yatırımın Geri Dönüşüm Oranı (%)”, “Bakım Masrafının Gelire Oranı (%)”, Birim Alana Düşen Toplam İşletme-Bakım-Yönetim Masrafı (TL/ha) ve Su Ücreti Toplama Performansı (%)” olmak üzere dört ana göstergeden oluşmaktadır. Yatırımın Geri Dönüşüm Oranı, toplanan sulama ücretlerinin toplam işletme, bakım ve yönetim masraflarına oranını ifade etmektedir. “Bakım Masrafının Gelire Oranı”, bakım giderlerinin toplanan su ücretlerine oranını gösterir. “Birim Alana Düşen Toplam İşletme-Bakım-Yönetim Masrafı”, her hektar başına düşen işletme, bakım ve yönetim masraflarını yansıtmaktadır. “Su Ücreti Toplama Performansı” ise kullanıcılardan toplanan sulama ücretlerinin, alınması gereken toplam sulama ücretine oranını belirtmektedir. Bu göstergeler, sulama sistemlerinin ekonomik performansını değerlendirmek için önemli veriler sunmaktadır.

Çizelge 4.2 Kösreli sulama alanı ekonomik etkinlik göstergeleri

Yıl	Yatırımın Geri Dönüşüm Oranı (%)	Bakım Masraflarının Gelire Oranı (%)	Birim Alana Düşen Toplam İşletme-Bakım-Yönetim Masrafı (TL/ha)	Su Ücreti Toplama Performansı (%)
2012	52,35	29,12	168,4	68,73
2013	77,84	28,08	203,5	84,19
2014	100,46	23,65	171,13	87,72
2015	99,05	36,36	201,13	90,76
2016	72,32	63,68	282,19	85,49
2017	77,36	26,27	309,55	88,12
2018	116,62	36,77	232,8	86,32

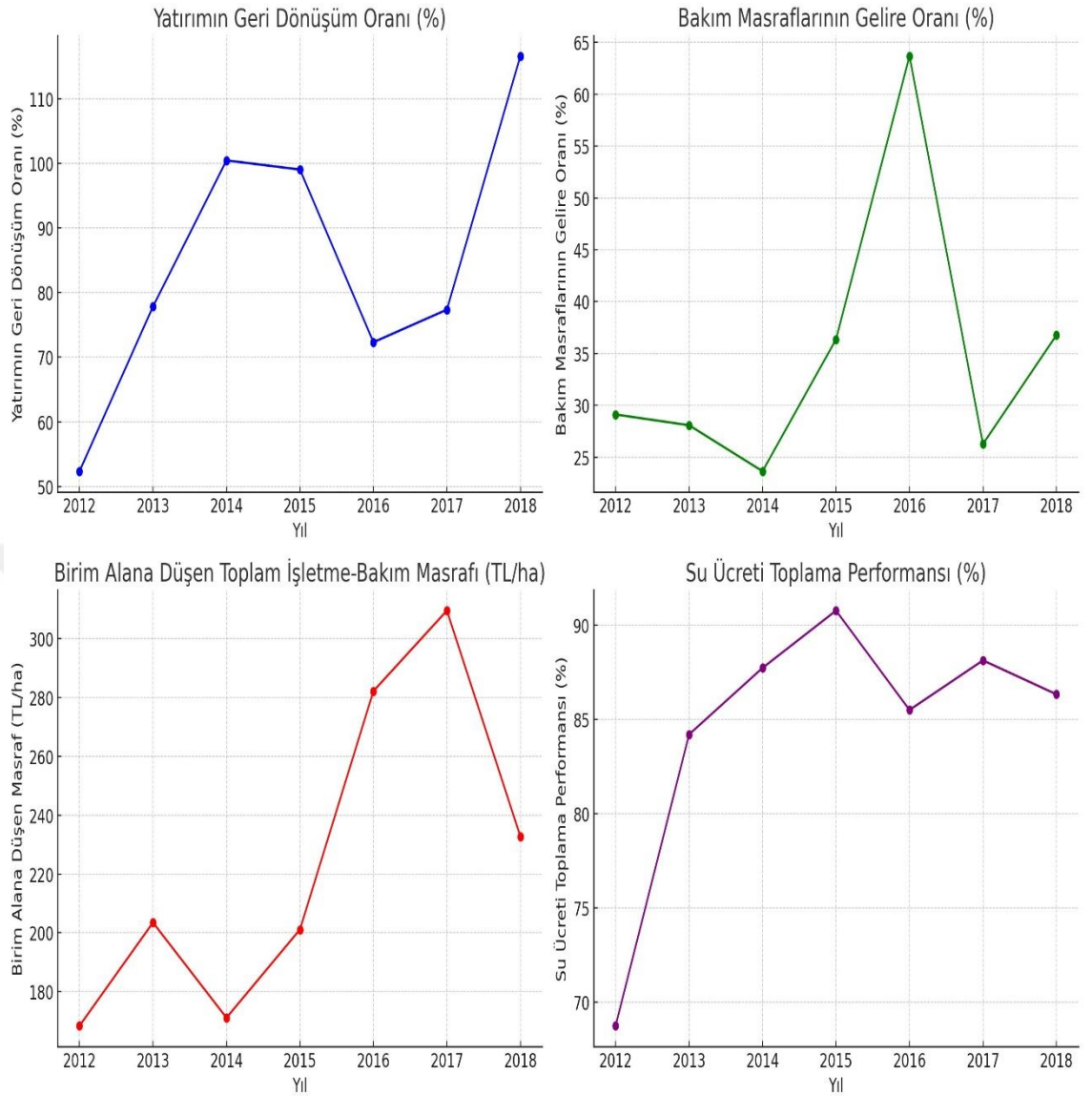
“Yatırımın Geri Dönüşüm Oranı (%)” grafiği sulama birliğinin toplanan su ücretlerinin, toplam işletme, bakım ve yönetim masraflarını karşılama oranını göstermektedir (Şekil

4.3). 2014 yılında oran % 100'ü aşarak, gelirlerin masrafları tamamen karşıladığını ve hatta fazladan gelir elde edildiğini göstermektedir. 2012 yılında ise oran % 52,35 ile en düşük seviyede olup, bu yıl masrafların önemli bir kısmının karşılanamadığını işaret etmektedir. 2016 yılında ise oran % 72,32 ile bir düşüş yaşasa da, 2018 yılında % 116,62 seviyesine çıkarak yüksek bir performans göstermiştir.

“Bakım Masraflarının Gelire Oranı (%)” grafiği ise bakım masraflarının toplanan su ücretlerine oranını göstermektedir (Şekil 4.3). 2016 yılında bu oran % 63,68 ile zirveye ulaşmış olup, bakım masraflarının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Diğer yıllarda ise oran genellikle % 30 civarında kalmıştır. Bu durum bakım masraflarının gelirlere oranla daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. 2014 yılı % 23,65 ile en düşük orana sahiptir. Bu yıl bakım giderlerinin gelir üzerinde daha az baskı oluşturduğunu göstermektedir.

Hektar başına düşen işletme, bakım ve yönetim masrafları “Birim Alana Düşen Toplam İşletme-Bakım Masrafı (TL/ha)” Şekil 4.3’de gösterilmektedir. 2016 ve 2017 yıllarında bu değer sırasıyla 282,19 TL/ha ve 309,55 TL/ha ile en yüksek seviyelere çıkmış olup, bu da masrafların birim alana göre arttığını göstermektedir. 2012 ve 2014 yıllarında ise sırasıyla 168,4 TL/ha ve 171,13 TL/ha ile en düşük seviyeler görülmüştür. Bu durum bu yıllarda daha az işletme ve bakım masrafı yapıldığını işaret etmektedir.

Toplanan su ücretlerinin tahsil edilmesi gereken toplam ücrete oranını “Su Ücreti Toplama Performansı (%)” grafiği ile gösterilmektedir (Şekil 4.3). 2015 yılında % 90,76 ile en yüksek seviyeye ulaşmış olup, bu yıl tahsilat performansının çok iyi olduğunu göstermektedir. 2012 yılı ise % 68,73 ile en düşük seviyeyi göstermekte ve tahsilat performansının zayıf olduğu bir döneme işaret etmektedir. 2016-2018 yıllarında ise performans % 85-88 aralığında sabit kalmıştır. Bu da su ücretlerinin tahsilatında genel bir iyileşme olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3 Kösreli sulama alanı ekonomik etkinliği göstergeleri

4.3.3 Tarımsal etkinlik

Tarımsal sulama sistemleri, üretimin devamlılığı ve verimliliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin etkinliğini değerlendirmek hem bölgenin tarımsal kapasitesini hem de su kaynaklarının verimli kullanımını anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, 2012-2018 yılları arasında Kösreli sulama alanında gerçekleştirilen sulama faaliyetleri analiz edilmiş ve bu faaliyetlerin performansı çeşitli göstergeler üzerinden incelenmiştir. Tarımsal verimliliği ölçmek için kullanılan göstergeler arasında, yıllık toplam tarımsal üretim değeri, birim sulama alanına karşılık

elde edilen gelir, şebekeye alınan ve tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir gibi unsurlar yer almıştır.

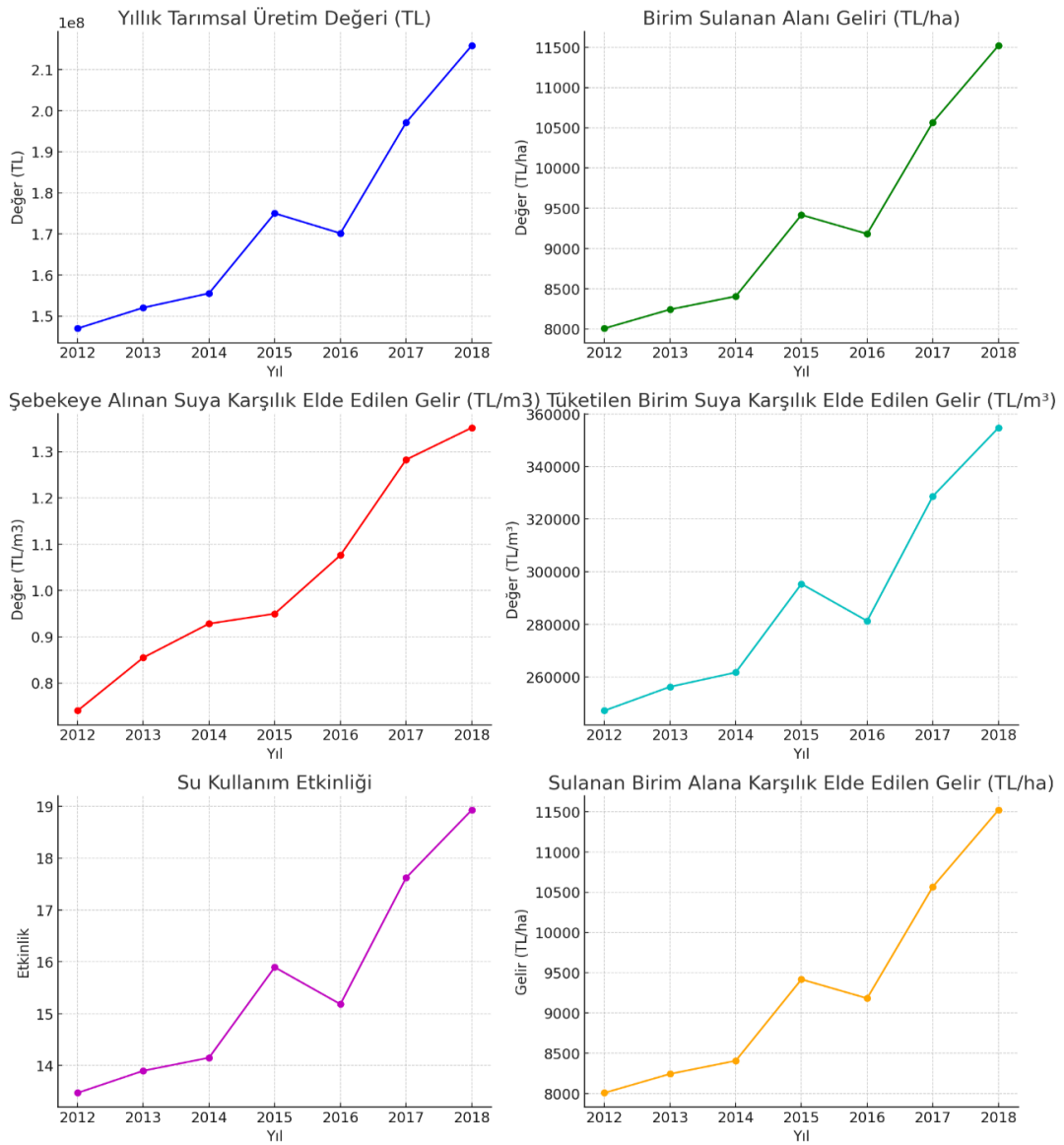
2012-2018 yılları arasında Köşreli sulama alanındaki tarımsal verimlilik ve su kullanım etkinliği ile ilgili temel performans göstergeleri Çizelge 4.3'de sunulmaktadır. "Yıllık Toplam Tarımsal Üretim Değeri (TL)" sütunu, her yılın tarımsal faaliyetlerinden elde edilen toplam ekonomik değeri göstermektedir. "Sulanan Birim Alana Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/ha)" ve "Birim Sulama Alanına Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/ha)" sütunları, sulama yapılan alan başına elde edilen ekonomik verimi ortaya koyarak sulama sistemlerinin etkinliğini değerlendirmektedir. "Şebekeye Alınan Birim Sulama Suyuna Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/m³)" ve "Tüketilen Birim Sulama Suyuna Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/m³)" sütunları ise su kullanımının ekonomik getirisini ve bitkilerin su kullanım etkinliğini göstermektedir. Son olarak, "Su Kullanım Etkinliği" sütunu, suyun verimli kullanımına yönelik önemli bir gösterge olarak suyun ne kadar verimli kullanıldığını değerlendirmektedir.

Çizelge 4.3 Tarımsal etkinlik hesaplamaları

Yıl	Toplam Tarımsa Üretim Değeri (TL)	Birim Sulama Alanına Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/ha)	Sulanan Birim Alana Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/ha)	Şebekeye Alınan Birim Sulama Suyuna Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/m ³)	Tüketilen Birim Sulama Suyuna Karşılık Elde Edilen Gelir (TL/m ³)	Su Kullanım Etkinliği (TL/m ³)
2012	146.947622	8.007	6.681	0,74	247.233	13,47
2013	152.008.372	8.242	6.982	0,85	256.303	13,89
2014	155.508.030	8.406	7.061	0,92	261.765	14,15
2015	175.009.665	9.417	8.023	0,94	295.403	15,89
2016	170.138.500	9.182	6.080	1,07	281.335	15,18
2017	197.136.250	10.568	8.406	1,28	328.725	17,62
2018	215.914.280	11.522	9.182	1,35	354.751	18,93

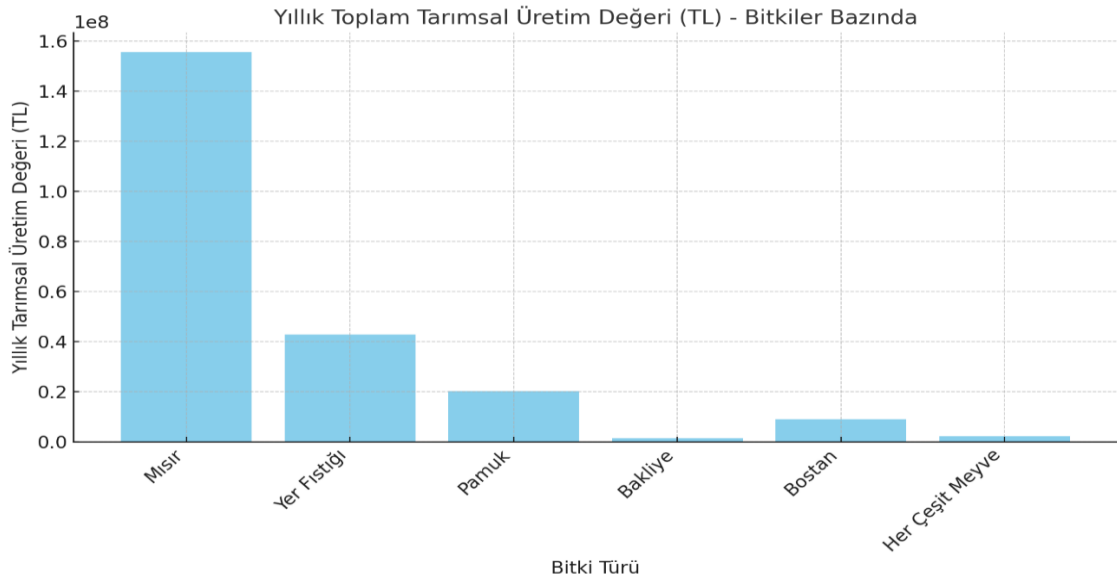
Şekil 4.4’de, 2012-2018 yılları arasında yıllık tarımsal üretim değeri TL cinsinden gösterilmiştir. 2012 yılında 146.947.622 TL olan üretim değeri, 2015 yılına kadar düzenli bir artış göstermektedir. 2015 yılında 175.009.665 TL ile zirveye ulaşmıştır. Bu artış, tarımsal verimlilikteki gelişmeler ve satış fiyatlarındaki yükselmelerle ilişkilidir. 2016 yılında üretim değeri 170.138.500 TL’ye düşmüş olup, bu düşüş verimlilikte geçici bir gerilemeye işaret etmektedir. Genel olarak, 2012-2018 döneminde tarımsal üretim değerinde % 15,7 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Birim sulanan alan geliri 2012 yılında 6,681 TL/ha iken, 2015 yılına kadar düzenli bir artış göstermiş ve 8.023 TL/ha ile zirveye ulaşmıştır. Bu artış, sulama alanlarının verimliliğinde iyileşmeler olduğunu göstermektedir. Ancak, 2016 yılında bu değer 6.807 TL/ha’a gerilemiştir. Bu düşüş, su kullanım etkinliğinde azalmaya veya hava koşullarındaki olumsuz değişimlere bağlıdır. Yıllar boyunca sulama alanı başına elde edilen gelirde % 20’lik bir artış gözlenmiştir. Şebekeye alınan birim sulama suyu başına elde edilen gelir, 2012 yılında 0,617 TL/m³ iken sürekli bir artış göstermekte ve 2016 yılında 0,798 TL/m³’ye ulaşmaktadır. Bu artış, su kaynaklarının verimli kullanıldığını göstermektedir. 2015 yılında % 10’luk bir artış ile 0.809 TL/m³’ye ulaşılmıştır. Su verimliliğinde % 29,3’lük bir artış kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, suyun etkin bir şekilde yönetildiğini ve ekonomik geri dönüşlerin arttığını ortaya koymaktadır. Tüketilen su başına elde edilen gelir 2012 yılında 212.573 TL/m³ iken, 2015 yılında 258.490 TL/m³’ye ulaşarak zirve yapmıştır. 2016 yılında ise bu değer 218.686 TL/m³’ye gerilemiştir. Bu gerileme, suyun ekonomik getirisine etki eden çeşitli faktörlerin (örneğin, üretim koşulları veya su tüketiminde verimsizlik) devreye girdiğini göstermektedir. Buna rağmen, 2012-2018 yılları arasında tüketilen birim su başına elde edilen gelirde genel olarak artış gözlenmiştir. Su kullanım etkinliği, birim su tüketimi başına elde edilen verimi ifade etmektedir. 2012 yılında 11,58 olan su kullanım etkinliği, 2015 yılına kadar sürekli artarak 13,91 seviyesine ulaşmıştır. 2016 yılında bu değer 11.80’e düşmüştür. Su yönetimi stratejilerinin 2015 yılına kadar etkin bir şekilde uygulandığını ve verimliliğin arttığını, ancak 2016’dan itibaren su kullanımında bazı zorluklar yaşandığını göstermektedir. Bu durum, su kaynaklarının daha verimli yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir, 2012 yılında 6.681 TL/ha iken, 2015 yılında 8.024 TL/ha’a yükselmiştir. Bu durum, sulama alanlarındaki verimliliğin arttığını ve daha yüksek ekonomik geri dönüş sağlandığını göstermektedir. Ancak, 2016 yılında bu gelir 6.808 TL/ha seviyesine

gerilemiştir. Bu düşüş, sulama verimliliğinin azaldığını veya üretim maliyetlerinin arttığını göstermektedir. 2012-2018 yılları arasında genel olarak sulanan birim alan başına elde edilen gelirde artış yaşanmış olsa da 2016 yılında gözlemlenen düşüş, sulama sistemlerinin daha etkin hale getirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, çalışmanın genel bulguları olarak, su kullanımının etkin bir şekilde yönetilmesinin tarımsal verimlilik ve ekonomik getiriler üzerinde doğrudan etkisi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının sürdürülebilir ve verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır.



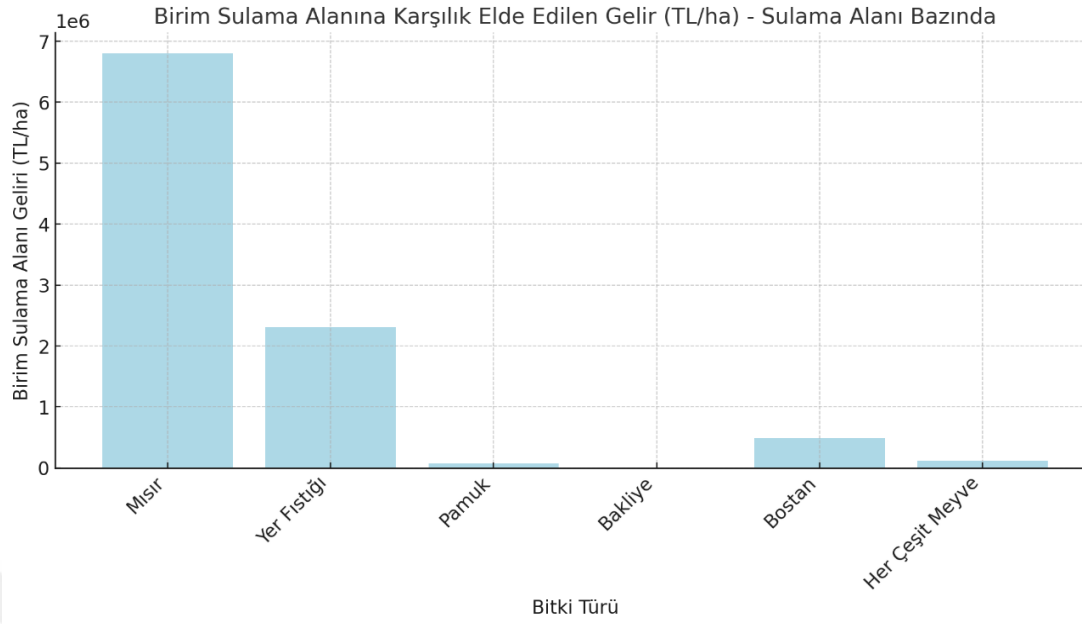
Şekil 4.4 Köseli sulama birliği tarımsal etkinlik değerleri

Yıllık toplam tarımsal üretim değerini bitkiler bazında gösteren Şekil 4.5, her bir bitkinin yıllık üretim değerini TL cinsinden karşılaştırmaktadır. Grafikte en yüksek değeri mısır bitkisi elde ederken, yer fıstığı ve pamuk da önemli üretim değerleriyle dikkat çekmektedir. Diğer bitkiler olan bakliyat, bostan ve her çeşit meyve daha düşük üretim değerlerine sahiptir. Bu grafik, hangi bitkilerin ekonomik olarak daha büyük bir katkı sağladığını görsel olarak öne çıkarmaktadır.



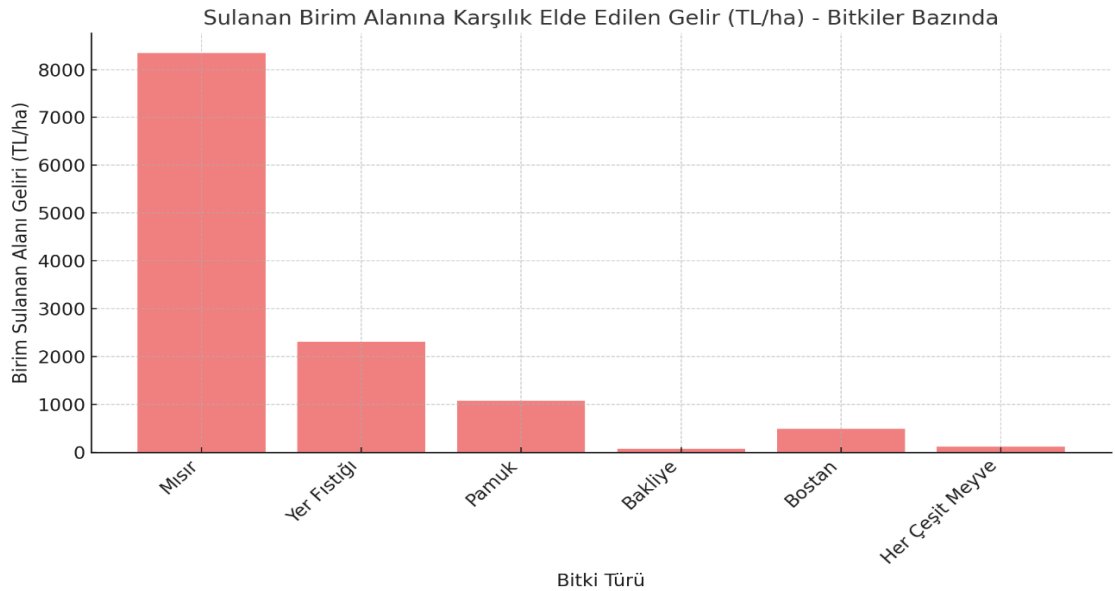
Şekil 4.5 Yıllık toplam tarımsal üretim değeri (TL)

Şekil 4.6’da her bitki için sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha) verilmiştir. Bu grafik, sulama alanı (ha) baz alınarak her birim alan başına ne kadar gelir sağlandığını vurgulamaktadır. Mısır bitkisi açık ara en yüksek gelir elde eden bitki olurken, yer fıstığı ikinci sırada yer almaktadır. Diğer bitkiler ise daha düşük gelir değerlerine sahiptir.



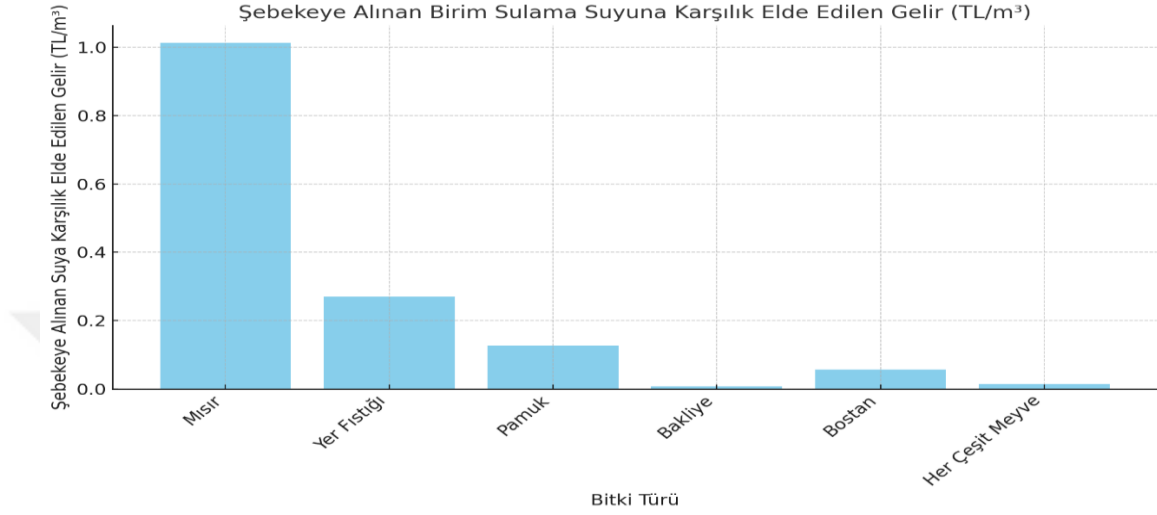
Şekil 4.6 Birim sulama alanına karşılık elde edilen gelir (TL/ha)

Her bitki için sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir (TL/ha) Şekil 4.7’de verilmiştir. Sulanan alan başına en yüksek gelir mısır bitkisinden elde edilirken, yer fıstığı ve pamuk da dikkat çekici oranlarda gelir sağlamaktadır. Diğer bitkiler ise nispeten daha düşük birim sulama geliri üretmektedir.



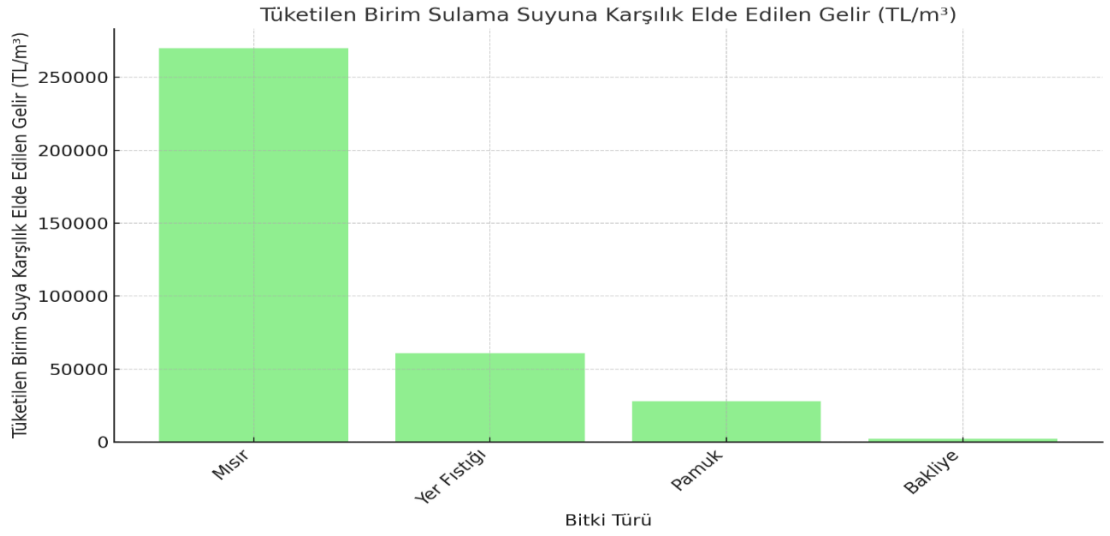
Şekil 4.7 Sulanan birim alana karşılık elde edilen gelir (TL/ha)

Şekil 4.8’de şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³) bitkiler bazında gösterilmiştir. En yüksek birim su başına gelir mısır bitkisinden elde edilirken, yer fıstığı ve pamuk da önemli miktarlarda gelir sağlamaktadır. Diğer bitkiler ise daha düşük oranlarda su verimliliği (WP) sergilemektedir.



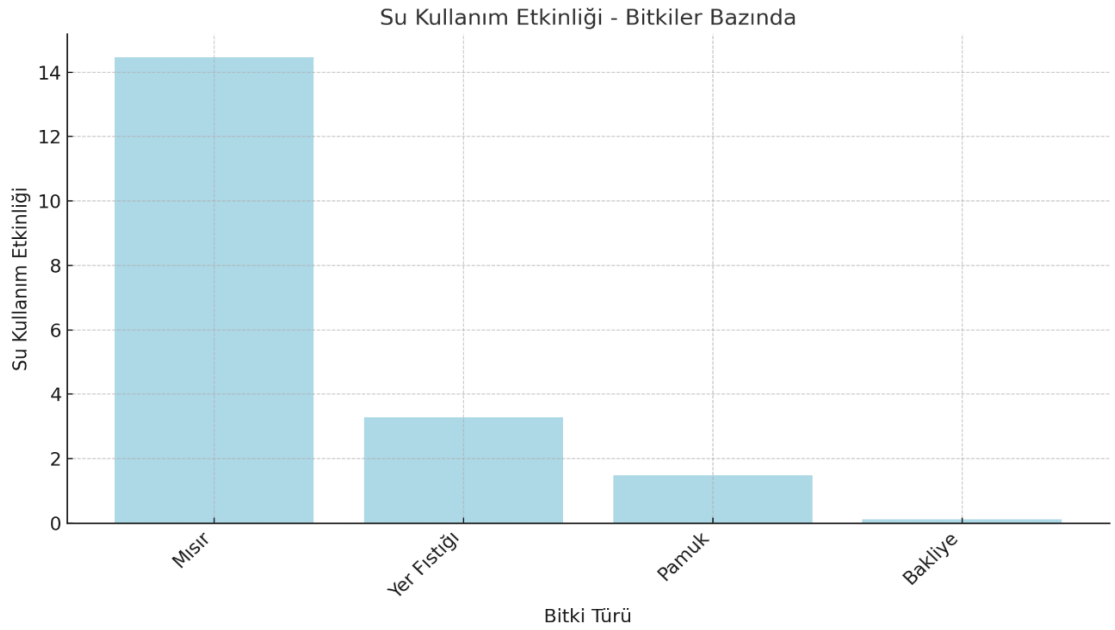
Şekil 4.8 Şebekeye alınan sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³)

Tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³) bitkiler bazında Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Mısır bitkisi, su tüketimi başına en yüksek gelir sağlayan bitki olup, bunu yer fıstığı ve pamuk takip etmektedir. Diğer bitkiler daha düşük su verimliliği (WP) sergilemektedir.



Şekil 4.9 Tüketilen birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³)

Şekil 4.10'da bitkiler bazında su kullanım etkinliği gösterilmektedir. Mısır, su kullanım etkinliği açısından en yüksek değere sahip bitki olup, bunu yer fıstığı ve pamuk takip etmektedir. Bakliyat ise en düşük su kullanım etkinliğine sahiptir.



Şekil 4.10 Su kullanım etkinliği

4.3.4 Birim alan başına düşen sulama suyu miktarı

Kösreli sulama alanında 2012-2018 yılları arasında mısır, yer fıstığı ve pamuk üzerinde uygulanan farklı sulama uygulamalarının bitki su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri Çizelge 4.4-4.6'da karşılaştırılmıştır. Kösreli sulama alanındaki mevcut tam sulama uygulaması (% 100), Stewart eşitliği kullanılarak hesaplanan % 75 ve % 50 kısıntılı sulama uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, tam sulama (% 100) uygulaması ile elde edilen maksimum verim (Ym) ve su tüketimi değerleri ile kısıntılı sulama stratejilerinin etkileri analiz edilmektedir. % 75 ve % 50 kısıntılı sulama uygulamaları, su tasarrufu sağlarken verimde kayıplar yaşandığını göstermektedir. Bu analiz, su tüketimi ve verim arasındaki ilişkiyi inceleyerek, su tasarrufunu sağlarken verim kayıplarını minimize edecek en uygun sulama uygulamasını belirlemeye katkı sunmaktadır.

Çizelge 4.4 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisi su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri

Yıl	Kösreli Sulama Alanı (% 100)		Kısıntılı Sulama (% 75)		Kısıntılı Sulama (% 50)	
	ETc (mm)	Ym (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)
2012	527,81	1357	395,86	932,94	263,91	508,88
2013	531,08	1357	398,31	932,94	265,54	508,88
2014	531,08	1357	398,31	932,94	265,54	508,88
2015	576,82	1357	432,62	932,94	288,41	508,88
2016	527,81	1357	395,86	932,94	263,91	508,88
2017	531,08	1357	398,31	932,94	265,54	508,88
2018	531,08	1357	398,31	932,94	265,54	508,88

Çizelge 4.5 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının yer fıstığı su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri

Yıl	Kösreli Sulama Alanı (% 100)		Kısıntılı Sulama (% 75)		Kısıntılı Sulama (% 50)	
	ETc (mm)	Ym (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)
2012	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2013	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2014	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2015	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2016	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2017	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00
2018	724,4	400	543,30	315,00	362,20	150,00

Çizelge 4.6 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamalarının pamuk su tüketimi (ETc) ve verim (Ya) üzerindeki etkileri

Yıl	Kösreli Sulama Alanı (% 100)		Kısıntılı Sulama (% 75)		Kısıntılı Sulama (% 50)	
	ETc (mm)	Ym (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)	ETc (mm)	Ya (kg/da)
2012	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2013	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2014	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2015	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2016	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2017	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38
2018	664,98	425	498,74	350,63	332,49	159,38

Çizelge 4.7'de, Kösreli sulama alanında tam sulama (% 100), kısıntılı sulama (% 75) ve kısıntılı sulama (% 50) uygulamalarına göre farklı sulama yöntemleri (damla sulama, yağmurlama, yüzey sulama) kullanılarak hektara düşen su miktarları yıllara göre karşılaştırılmıştır. Her sulama uygulaması için, hektara düşen su miktarı hem bölgede yaygın olarak kullanılan sulama yöntemi hem de damla sulama (% 85 randıman), yağmurlama (% 70 randıman) ve yüzey sulama (% 50 randıman) gibi diğer sulama yöntemlerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çizelge, farklı sulama uygulamaları altında kullanılan su miktarını ve sulama yöntemlerinin su kullanım etkinliklerini karşılaştırmak amacıyla hazırlanmıştır. Amacı, yöntemlerin ve uygulamaların su tüketimi üzerindeki etkilerini analiz ederek, su verimliliğini artıracak en uygun yöntemi belirlemektir.

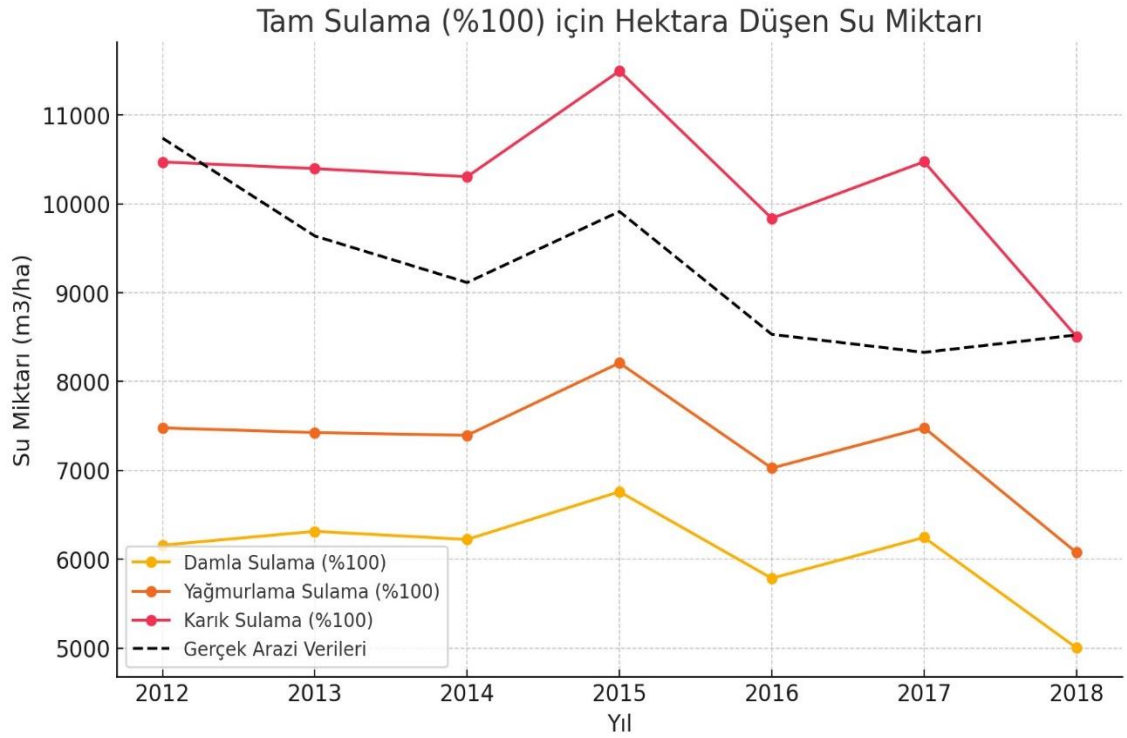
Çizelge 4.7 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamaları ve yöntemlerine göre hektara düşen su miktarları

Tam Sulama (% 100)			
YIL	Damla Sulama (% 85) (m ³ /ha)	Yağmurlama (% 70) (m ³ /ha)	Yüzey Sulama (% 50) (m ³ /ha)
2012	6.159,6	7.479,6	10.471,4
2013	6.115,9	7.426,4	10.397,0
2014	6.223,8	7.395,5	10.354,6
2015	6.761,2	8.209,9	11.494,9
2016	5.786,8	7.026,8	9.837,5
2017	6.246,6	7.481,7	10.474,3
2018	5.004,7	6.077,1	8.508,0
Kısıntılı Sulama (% 75)			
YIL	Damla Sulama (% 85) (m ³ /ha)	Yağmurlama (% 70) (m ³ /ha)	Yüzey Sulama (% 50) (m ³ /ha)
2012	4.619,7	5.609,7	7.853,5
2013	4.586,9	5.569,8	7.797,7
2014	4.667,9	5.546,7	7.764,9
2015	9.771,0	6.157,7	8.620,1
2016	4.340,1	5.270,1	7.378,1
2017	4.684,9	5.611,2	7.855,7

Çizelge 4.7 Kösreli sulama alanı'nda 2012-2018 yılları arasında farklı sulama uygulamaları ve yöntemlerine göre hektara düşen su miktarları (devam)

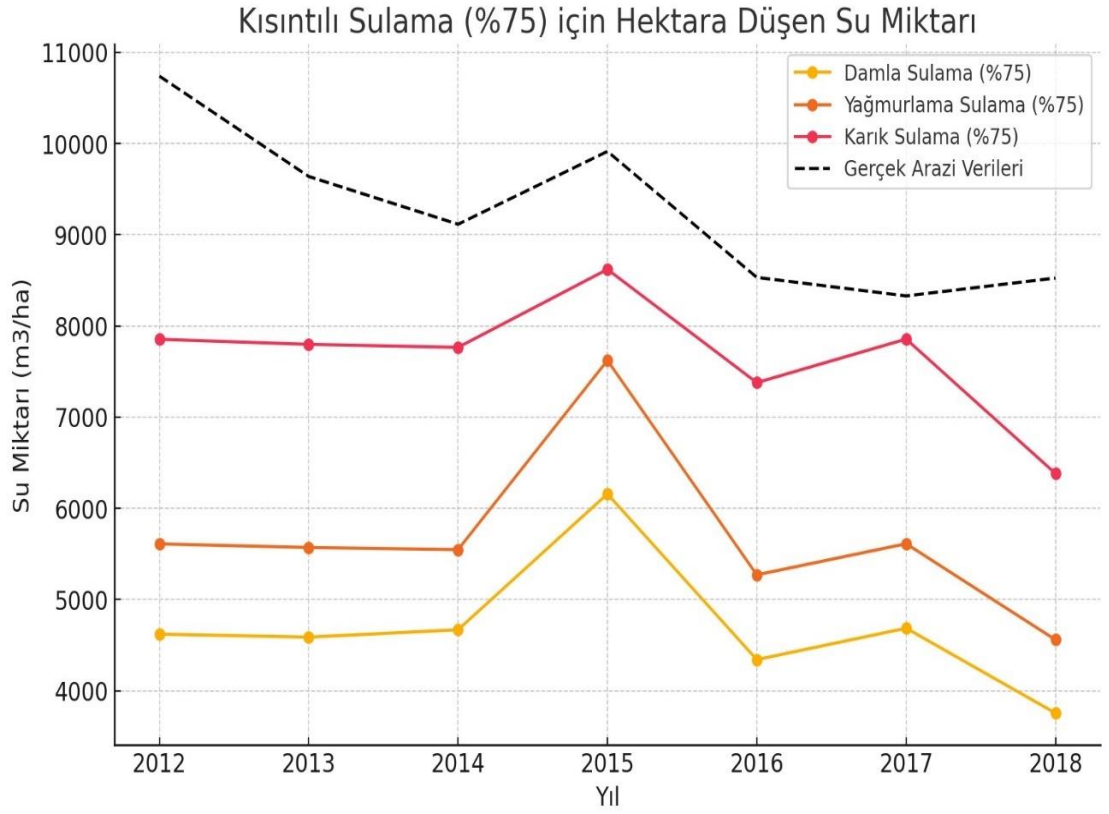
2018	3.753,5	4.557,8	6.381,0
Kısıtlı Sulama % 50)			
YIL	Damla Sulama (% 85) (m³/ha)	Yağmurlama (% 70) (m³/ha)	Yüzey Sulama % 50) (m³/ha)
2012	3.079,8	3.739,8	5.235,7
2013	3.143,2	3.816,7	5.343,4
2014	3.111,9	3.697,8	5.177,3
2015	3.495,7	4.245,2	5.943,0
2016	2.978,6	3.616,9	5.063,6
2017	3.080,7	3.740,8	5.237,2
2018	2.502,3	3.038,6	4.254,0

Tam sulama uygulamasında, damla sulama, yağmurlama sulama ve yüzey sulama yöntemleri arasında su tüketimi açısından önemli farklılıklar görülmüştür. Damla sulama yöntemi, suyun bitki kök bölgesine doğrudan uygulanmasıyla en düşük su tüketimine sahip yöntemdir ve bu nedenle en verimli sulama yöntemi olarak öne çıkmıştır. Yağmurlama sulama yöntemi, özellikle buharlaşma ve rüzgar etkisi nedeniyle damla sulamaya göre daha fazla su kaybına neden olmuştur. Yüzey sulama ise, suyun tarla yüzeyinde yayılmasına bağlı olarak en yüksek su tüketimi ile sonuçlanmıştır. 2015 yılı, her üç yöntem için de su tüketiminde belirgin bir artışın yaşandığı bir yıl olarak dikkat çekmiştir. Bu artış, muhtemelen o yılın iklim koşulları veya tarımsal faaliyetler nedeniyle daha fazla sulama yapılmasına bağlanabilir. Ancak 2015'ten sonra tüm sulama yöntemlerinde su tüketiminde kademeli bir azalma gözlemlenmiştir. Bu eğilim, tarım alanlarında suyun daha verimli kullanıldığını ve su tasarrufu stratejilerinin uygulandığını göstermektedir. Gerçek arazi verileri ile karşılaştırıldığında, 2018 yılına doğru tüm sulama yöntemlerinin arazi verilerine daha yakın su tüketimi değerlerine ulaştığı, dolayısıyla tam sulama uygulamalarının daha etkin hale geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Tam sulama (% 100) hektara düşen su miktarı

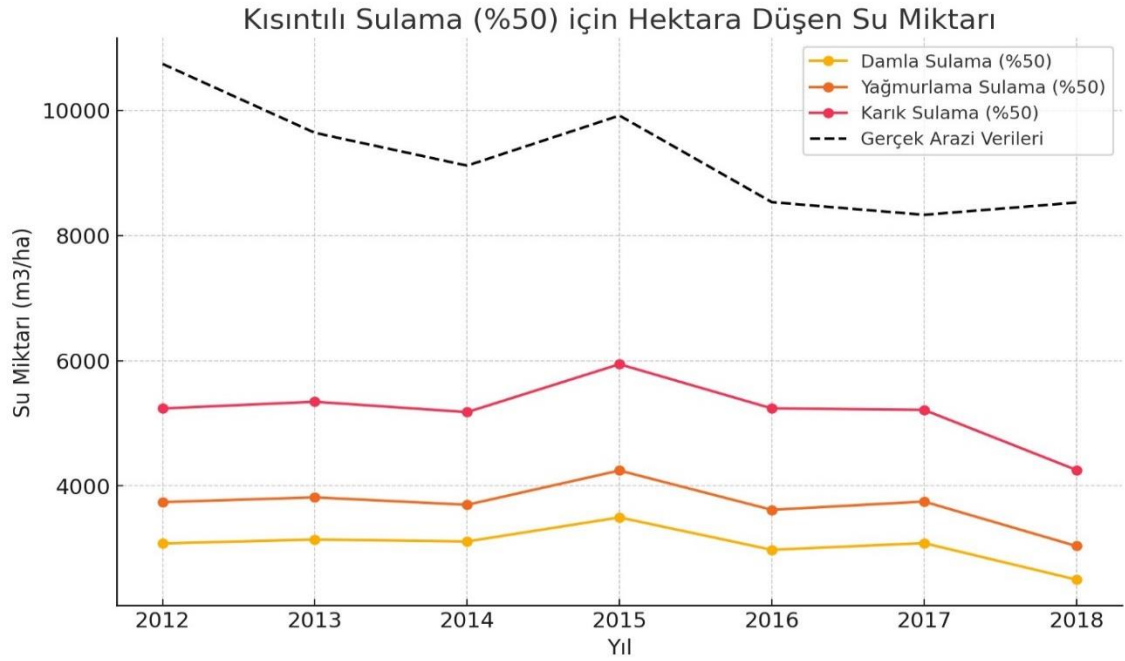
Kısıntılı sulama, tam sulamaya göre daha düşük su miktarı ile bitkilerin büyüme dönemlerinde su ihtiyacının karşılanması amacıyla uygulanmıştır. Bu uygulamada, damla sulama yöntemi yine en düşük su tüketimi ile öne çıkmıştır. Yağmurlama ve yüzey sulama yöntemleri ise daha yüksek su tüketimi göstermiştir. Tam sulamada olduğu gibi, 2015 yılında su tüketiminde belirgin bir artış yaşanmış ve bu durum, kısıntılı sulama uygulamalarında da su kullanımının o yıl içinde önemli ölçüde arttığını göstermektedir. 2015 sonrası yıllarda ise kısıntılı sulama uygulamalarında su tüketimi azalma eğilimi göstermiştir. Özellikle yüzey sulamada su tüketimi önemli oranda düşmüştür, bu da suyun daha verimli kullanıldığına işaret etmektedir. 2018 yılına kadar olan süreçte, kısıntılı sulama uygulamalarının arazi verilerine daha yakın sonuçlar vermesi, su tasarrufu uygulamalarının başarılı bir şekilde uygulanabildiğini ortaya koymuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Kısıntılı sulama (% 75) hektara düşen su miktarı

Kısıntılı sulama uygulamaları, suyun sadece bitkilerin kritik dönemlerinde verildiği ve toplam su miktarının % 50'sinin sağlandığı bir uygulamadır. Bu uygulamada da en düşük su tüketimi damla sulama yöntemi ile elde edilmiştir. Damla sulamanın, suyun sadece bitki kök bölgesine verilmesi ve kayıpların minimize edilmesi nedeniyle kısıntılı sulamada dahi oldukça verimli olduğu görülmektedir. Yağmurlama ve yüzey sulama yöntemlerinde, özellikle yüzey sulama yönteminde su tüketimi yüksek kalmaya devam etmiştir. 2015 yılı, diğer sulama uygulamalarında olduğu gibi kısıntılı sulamada da su tüketiminde bir artışın yaşandığı bir dönem olarak dikkat çekmektedir. Bu artış, o yılki tarımsal faaliyetlerin yoğunluğundan kaynaklanmış olabilir. Ancak bu yılın ardından, özellikle 2016 ve 2018 yılları arasında tüm sulama yöntemlerinde su tüketiminde belirgin bir azalma yaşanmıştır. Bu eğilim, suyun daha bilinçli ve etkin bir şekilde kullanıldığını ve kısıtlı su kaynaklarına rağmen tarımsal verimliliğin korunabildiğini göstermektedir. Gerçek arazi verileri ile karşılaştırıldığında, kısıntılı sulama uygulamasının tarla koşullarına daha uyumlu hale geldiği ve suyun verimli kullanımının sağlandığı açıkça

görülmektedir. Kısıntılı sulama, özellikle su kıtlığı olan dönemlerde tarımın sürdürülebilirliğini artırmada etkili bir uygulama olarak öne çıkmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Kısıntılı sulama (% 50) hektara düşen su miktarı

4.4 AquaCrop Modeli Bulguları

Modelde, farklı projeksiyonların (Çizelge 3.11) değerlendirilmesi ile dane verimi (ton/ha), biyokütle (ton/ha), su verimliliği (WP, kg/m³), bitki su tüketimi (ET) ve sulama suyu miktarı (mm/sezon) gibi elde edilen çıktılar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu projeksiyonlar, sulama uygulamaları, sulama yöntemleri ve ekim tarihleri gibi çeşitli tarımsal uygulamaların kombinasyonları kullanılarak oluşturulmuş ve bitkisel verim üzerindeki etkiler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Örneğin, üç sulama uygulaması (tam sulama (% 100), kısıntılı sulama (% 50 ve % 75), yağmurlama, yüzey ve damla sulama gibi farklı sulama yöntemleri altında test edilmiş ve her bir sulama yönteminin verim, su kullanımı ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkileri kıyaslanmıştır. Ayrıca, her uygulama dört farklı ekim tarihi (15 Şubat, 1 Mart, 1 Nisan ve 15 Nisan) ile ilişkilendirilmiş, bu tarihler bitkinin su ihtiyacı ve iklim koşulları üzerindeki etkileri açısından incelenmiştir.

Model sonuçları, dane verimi ve biyokütle üretimi gibi verimlilik parametrelerinin, sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi (ET) gibi su kullanım parametreleriyle olan ilişkisini ortaya koymuştur. Korelasyon analizleri sonucunda, sulama suyu miktarı ile dane verimi arasında genel olarak pozitif bir ilişki bulunurken, su verimliliği (WP) ile sulama suyu miktarı arasında zayıf bir negatif ilişki tespit edilmiştir. Bu durum, fazla sulamanın her zaman verimi artırmadığını, belirli bir seviyeden sonra suyun etkin kullanımını azalttığını göstermektedir. Ayrıca, transpirasyon ve evaporasyon gibi bitki su kayıplarının da dane verimi ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkileri değerlendirilmiş, özellikle transpirasyonun yüksek olduğu durumlarda bitki veriminin arttığı ancak su verimliliğinin (WP) azaldığı gözlemlenmiştir.

Modelin sonuçları, farklı sulama ve ekim senaryolarının bitkisel üretim üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla çeşitli istatistiksel yöntemlerle desteklenmiştir. Varyans analizleri (ANOVA) kullanılarak farklı sulama uygulamalarının biyokütle, transpirasyon ve su verimliliği (WP) gibi parametreler üzerindeki etkisi karşılaştırılmış, anlamlı farklar tespit edilmiştir. Ayrıca, regresyon analizleri ile sulama suyu miktarı, sulama uygulamaları ve ekim tarihleri gibi değişkenlerin dane verimi üzerindeki etkileri ölçülmüş, bu faktörlerin verimlilik üzerindeki katkıları değerlendirilmiştir. Örneğin, regresyon analizinde elde edilen yüksek R-kare değeri, sulama ve ekim tarihlerinin dane verimi üzerindeki belirgin etkilerini vurgulamaktadır.

Çalışmanın sonuçları, suyun etkin kullanımı ve optimum sulama uygulamalarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Elde edilen bulgular, kısıntılı sulama (% 50) ve 15 Şubat ekim tarihinin en yüksek su verimliliğini (WP) sağladığını, tam sulamanın ise en yüksek dane verimini sağladığını göstermiştir. Ayrıca, optimum sulama suyu miktarı olarak yaklaşık 218 mm/sezon belirlenmiş, bu seviyede hem verim hem de su verimliliği (WP) maksimum düzeyde tutulabilmektedir. Bu bulgular, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımsal üretimde optimum sulama uygulamaları için önemli bir rehber niteliğindedir.

Tanımlayıcı İstatistikler, veri setinin çeşitli istatistiksel ölçütlerini içerir ve veriyi daha iyi anlamak için kullanılmıştır. "Adet" değeri, veri setindeki gözlem sayısını gösterir ve bu

çalışmada 36 gözlem olduğunu ifade etmektedir (Çizelge 4.8) "Ortalama," verinin genel eğilimini belirtir. Örneğin, ortalama sulama suyu miktarı veya dane verimi, uygulamalarının genel etkisi hakkında fikir vermektedir. "Standart sapma," verilerin ortalamadan ne kadar saptığını gösterir ve yüksek bir standart sapma, verilerde daha fazla çeşitlilik olduğunu işaret etmektedir. Bu da sulama uygulamalarındaki farklılıkların bitki verimini nasıl etkilediğini değerlendirmek için önemlidir. "Minimum" ve "Maksimum" değerleri, veri setindeki en düşük ve en yüksek değerleri göstermekte olup, en az ve en çok su kullanılan denemeleri veya en düşük ve en yüksek verimi ortaya koymaktadır. "% 25" ve "% 75" değerleri, verilerin dörtte birlik ve dörtte üçlük dilimlerini temsil eder ve veri dağılımının alt ve üst kısımlarını anlamamıza yardımcı olurken, "% 50" yani medyan, veri setinin ortanca değerini gösterir ve özellikle uç değerlerin varlığında verinin merkezi eğilimini anlamak için önemli bir ölçüdür. Bu istatistikler, sulama uygulamalarının bitki büyümesi, su kullanımı ve verimlilik üzerindeki etkisini değerlendirmede kapsamlı bir bakış sağlamaktadır.

Çizelge 4.8 Tanımlayıcı istatistik sonuçları

	Sulama (mm/sezon)	Dane Verimi (ton/ha)	Biyokütle (ton/ha)	Evaporasyon (mm)	Transpirasyon (mm)	WP (kg/m ³)
Adet	36	36	36	36	36	36
Ortalama	195,5	12,95	21,41	77,11	374,4	2,87
Standart sapma	113,9	1,03	1,74	11,42	24,83	0,19
Min	46	10,44	17,26	58,1	318,6	2,55
% 25	68	12,38	20,38	69,65	361,52	2,72
% 50 (medyan)	199	13,23	21,82	75,05	372,9	2,88
% 75	321	13,66	22,59	81,8	389,07	3,06
Max	341	14,47	24,08	103,5	430,8	3,13

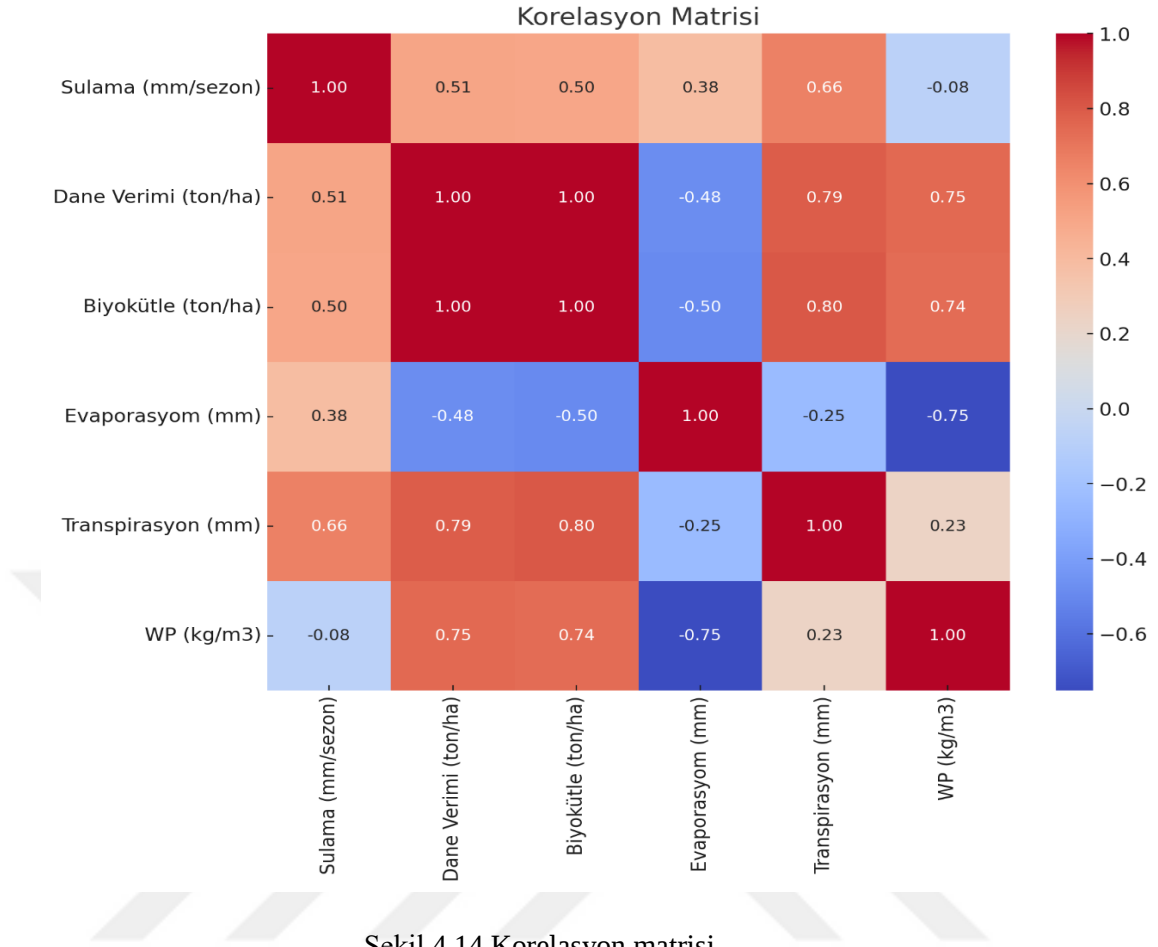
Korelasyon matrisi, veri setindeki çeşitli değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü gösteren bir çizelgedir. Bu matriste yer alan değerler, -1 ile +1 arasında değişen korelasyon katsayılarını temsil eder. Pozitif değerler, iki değişken arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ve biri arttıkça diğ erinin de artma eğiliminde olduğunu gösterir. Negatif değerler ise ters bir ilişki olduğunu, yani biri artarken diğ erinin azalma eğiliminde olduğunu belirtir. Örneğ in, sulama suyu miktarı (mm/sezon) ile dane verimi (ton/ha) arasında pozitif bir korelasyon görülmekte, bu da sulama suyu miktarının artmasının dane verimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yüksek korelasyon değerleri (yakın +1 veya -1) güçlü bir ilişkiyi, düşük değerler (yakın 0) ise zayıf veya hiç ilişki olmadığını belirtmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Korelasyon analizi sonuçları

	Sulama (mm/sezon)	Dane Verimi (ton/ha)	Biyokütle (ton/ha)	Evaporasyon (mm)	Transpirasyon (mm)	WP (kg/m ³)
Sulama (mm/sezon)	1	0,5	0,5	0,3	0,6	-0,07
Dane Verimi (ton/ha)	0,5	1	0,9	-0,4	0,7	0,7
Biyokütle (ton/ha)	0,5	0,9	1	-0,4	0,8	0,7
Evaporasyon (mm)	0,3	-0,4	-0,4	1	-0,2	-0,7
Transpirasyon (mm)	0,6	0,7	0,8	-0,2	1	0,2
WP (kg/m ³)	-0,07	0,7	0,7	-0,7	0,2	1

Isı haritası, değişkenler arasındaki korelasyonları hem görsel hem de sayısal olarak göstererek sulama uygulamalarının ve miktarlarının bitki büyümesi, verim ve su kullanımı üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Sulama (mm/sezon) ve dane verimi (ton/ha) arasındaki pozitif korelasyon (0,51) sulama suyu miktarının

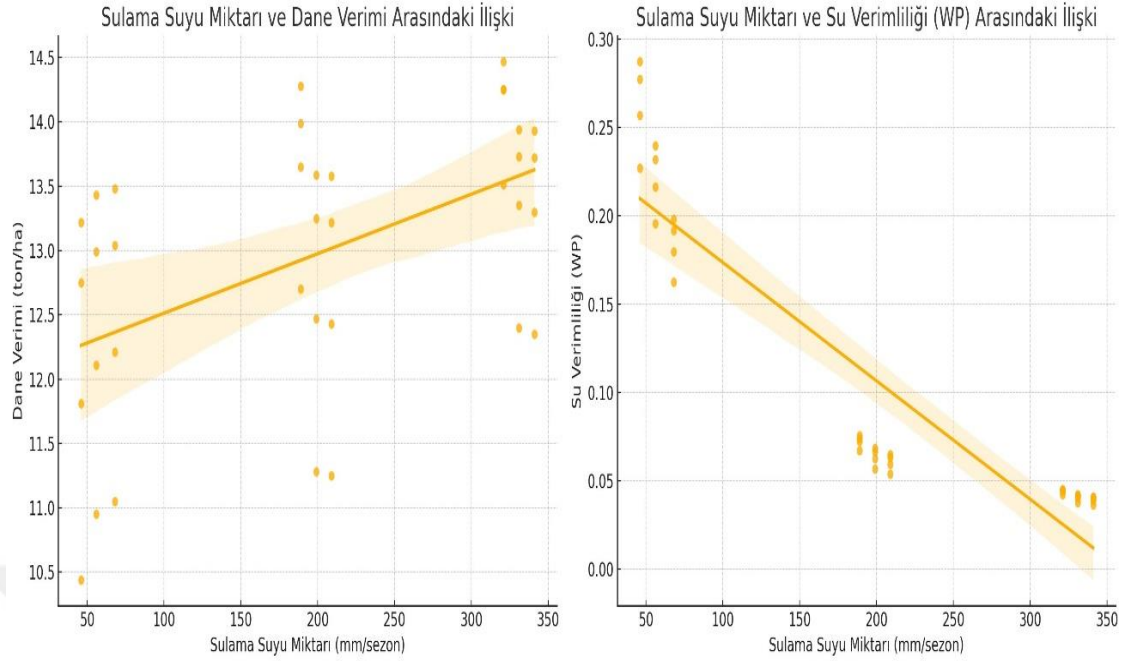
artmasının dane verimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu, daha fazla suyun bitkinin büyümesi ve verimliliğini artırdığını işaret ederken, korelasyonun mükemmel olmaması (1'e uzak olması), bu ilişkinin lineer olmadığını ve başka faktörlerin de devreye girdiğini göstermektedir. Sulama suyu miktarı (mm/sezon) ve Transpirasyon (mm) arasındaki daha güçlü pozitif korelasyon (0,67), artan sulama suyu miktarının bitkinin su tüketimini de artırdığını belirtmektedir. Transpirasyon, bitkinin büyüme sırasında yaptığı su kaybını ifade eder ve bu korelasyon, bitkinin büyüdükçe su ihtiyacının da arttığını ve bu nedenle daha fazla suyun buharlaştığını göstermektedir. Dane verimi (ton/ha) ile biyokütle (ton/ha) arasındaki yüksek korelasyon (0,90), bitkinin genel büyümesi ile verimi arasındaki güçlü ilişkiyi vurgulamaktadır. Bu, daha fazla biyokütle üreten bitkilerin genellikle daha fazla dane verimi sağladığını göstermektedir. Bu ilişki, bitkisel büyüme potansiyelinin doğrudan verime dönüştüğünü ifade etmektedir. Evaporasyon (mm) ve Transpirasyon (mm) arasındaki düşük pozitif korelasyon (0.40), buharlaşma ve bitkinin su kaybı süreçlerinin bir ölçüde ilişkili olduğunu, ancak doğrudan bağlı olmadığını göstermektedir. Bu, suyun bitki tarafından alınıp buharlaşmasının bitki dışı buharlaşma ile tamamen aynı olmadığına işaret etmektedir. Su verimliliği (WP) ve sulama suyu miktarı (mm/sezon) arasındaki negatif korelasyon (-0,66), artan sulama suyu miktarının su verimliliğinde bir azalmaya yol açtığını göstermektedir. Bu, suyun verimli kullanılmasının bitkisel verimdeki artış kadar önemli olduğunu belirtmektedir. Daha fazla sulama, her zaman daha yüksek verime dönüşmeyebilir ve suyun etkin kullanımının azalmasına yol açabilir. Dane verimi (ton/ha) ile su verimliliği (WP) arasındaki zayıf negatif ilişki (-0,28), dane veriminin su verimliliği (WP) ile doğrudan orantılı olmadığını göstermektedir (Şekil 4.14).



Regresyon analizi, sulama suyu miktarı, sulama uygulaması ve ekim tarihinin dane verimi üzerindeki etkilerini anlamak için yapılmıştır. Bu analiz sayesinde, bağımsız değişkenlerin dane verimi üzerindeki katkılarını ölçmek ve hangi faktörlerin daha etkili olduğunu belirlemek mümkün olmaktadır. Modelin R-kare değeri 0,850 olup, bağımsız değişkenlerin dane verimindeki varyansın % 85'ini açıkladığını göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre, sulama uygulamaları ve ekim tarihleri arasında dane verimi üzerinde anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, sulama suyu miktarı ile dane verimi arasında negatif bir ilişki bulunmakta olup, sulama suyu miktarının artması dane veriminde bir azalmaya neden olmaktadır. Bu durum, sulama uygulamalarının optimize edilmesi ve ekim tarihinin doğru belirlenmesinin bitki verimliliğini artırmada önemli olduğunu göstermektedir.

Sulama suyu miktarı ve dane verimi arasındaki ilişki (Sol Grafik) (Şekil 4.15), sulama suyu miktarı (mm/sezon) ile dane verimi (ton/ha) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, sulama suyu miktarı arttıkça dane veriminde de genel olarak bir artış eğilimi gözlenmektedir. Bu, sulama suyu miktarının artmasının bitki verimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Örneğin, sulama suyu miktarı 50 mm civarında iken dane verimi yaklaşık 11 ton/ha düzeyindedir. Sulama suyu miktarı 300 mm civarına çıkarıldığında ise dane verimi yaklaşık 13,5 ton/ha değerlerine ulaşmaktadır. Ancak, bu artış doğrusal bir ilişki değildir; sulama suyu miktarındaki artışa rağmen verimdeki artış nispeten azalmaktadır. Bu, belirli bir noktadan sonra eklenen suyun verim üzerindeki etkisinin azaldığını ve optimum sulama suyu miktarının belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Grafikteki belirsizlik alanı (regresyon çizgisinin etrafındaki açık renkli bölge) ise tahmin edilen dane verimi değerlerindeki değişkenliği göstermektedir. Bu alanın genişlemesi, sulama suyu miktarı arttıkça verimdeki belirsizliğin de arttığını ifade etmektedir.

Sulama suyu miktarı ve su verimliliği (WP) Arasındaki İlişki (Sağ Grafik) (Şekil 4.15), sulama suyu miktarı ile su verimliliği (WP) arasındaki negatif ilişkiyi göstermektedir. Regresyon çizgisinin eğimi, sulama suyu miktarı arttıkça su verimliliğinin (WP) azaldığını göstermektedir. Örneğin, sulama suyu miktarı 50 mm civarında iken su verimliliği (WP) oldukça yüksektir, yaklaşık 0,25 civarındadır. Bu, kullanılan her birim su başına 0,25 ton dane verimi elde edildiğini gösterir. Ancak, sulama suyu miktarı 300 mm civarına ulaştığında su verimliliği (WP) önemli ölçüde düşmektedir ve yaklaşık 0,05'e kadar inmektedir. Bu, sulama suyu miktarının artmasının her zaman sulama suyunun daha verimli kullanılmasına yol açmadığını göstermektedir. Daha fazla sulama, suyun etkin kullanılmasını azaltmakta ve birim su başına daha az verim elde edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, suyun verimli kullanımı ve optimum sulama suyu miktarının belirlenmesi su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından öneme sahiptir. Bu grafiklerdeki sayısal değerler, sulama suyu miktarının ve su verimliliğinin (WP) nasıl değiştiğini ve birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu göstermektedir. Sol grafikte, sulama suyu miktarının artmasının verimi artırdığı, ancak bu artışın belirli bir noktadan sonra azalabileceği görülmektedir.



Şekil 4.15 Sulama suyu miktarı, dane verimi ve WP arasındaki ilişki

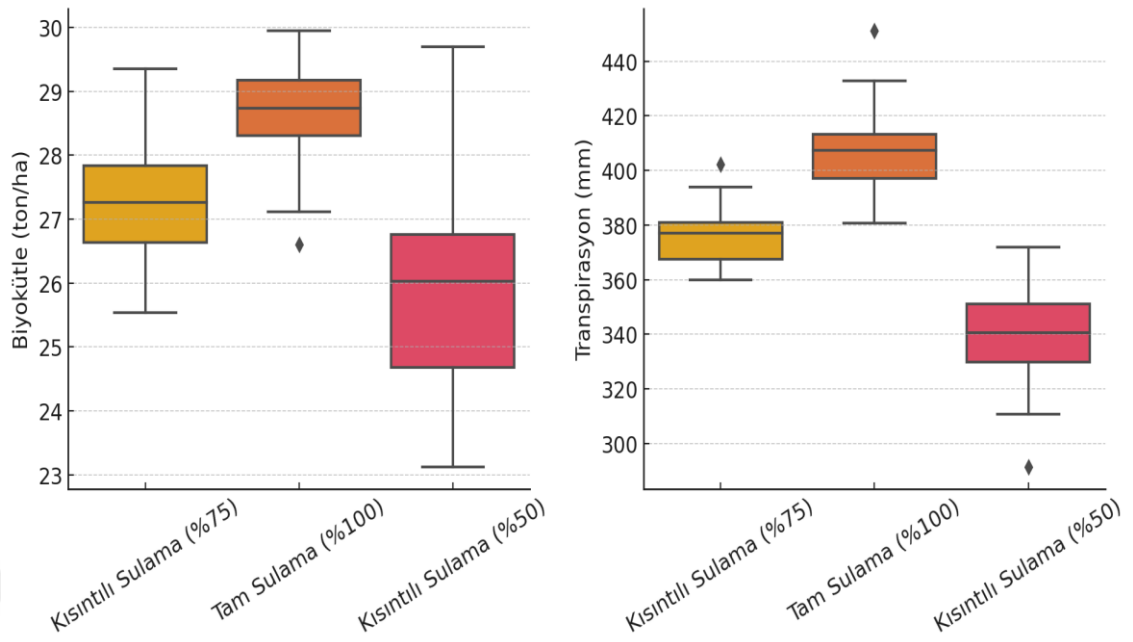
Varyans analizi (ANOVA), sulama uygulamalarının dane verimi dışında biyokütle, su verimliliği (WP), evaporasyon ve transpirasyon gibi diğer parametreler üzerindeki etkisini anlamak amacıyla yapılmıştır. Bu analiz, sulama uygulamalarının sadece verim değil, aynı zamanda bitkinin genel büyüme performansı ve su kullanım dinamikleri üzerindeki etkilerini de değerlendirmemizi sağlamaktadır. Özellikle biyokütle ve transpirasyon gibi değişkenler, bitkinin su kullanım etkinliği ve büyüme potansiyeli hakkında daha fazla bilgi sunmaktadır. ANOVA, farklı sulama uygulamalarının bu değişkenler üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, su yönetimi ve tarımsal üretim süreçlerinde daha bilinçli kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır.

ANOVA sonuçlarına göre:

- **Biyokütle (ton/ha):** F-istatistiği 6,12 ve p-değeri 0,0055 olarak bulunmuştur. P-değeri 0,05'ten küçük olduğu için, farklı sulama uygulamaları arasında biyokütle açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmaktadır.

- **Su Verimliliği (WP, kg/m³):** F-istatistiği 0,086 ve p-değeri 0,918 olarak elde edilmiştir. P-değeri 0,05'ten büyük olduğu için, farklı sulama uygulamaları arasında su verimliliği (WP) açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır.
- **Evaporasyon (mm):** F-istatistiği 2,51 ve p-değeri 0,096'dır. P-değeri 0,05 ile 0,10 arasında olduğu için, bu değişken için sınırda anlamlı bir fark olabilir, ancak kesin bir anlamlılık bulunmamaktadır.
- **Transpirasyon (mm):** F-istatistiği 14,71 ve p-değeri 2,70e-05 (yani 0,000027) olarak hesaplanmıştır. P-değeri 0,05'ten çok daha küçük olduğu için, sulama uygulamaları arasında transpirasyon açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda p-değerinin "2,70e-05" ifadesi, 0,000027 olarak yazılır ve bu değer, istatistiksel anlamlılık eşiği olan 0,05'ten oldukça küçüktür, bu da sonuçların güvenilir olduğunu gösterir.

Şekil 4.16, sulama uygulamalarının bitkinin transpirasyon miktarı üzerindeki etkisini ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. "Tam Sulama (% 100)" uygulamasında transpirasyon için medyan değer yaklaşık 390 mm olup, bu uygulamadaki bitkiler daha fazla su kaybetmektedir. Kutu grafiği, bu uygulama altında transpirasyon değerlerinin 25. ve 75. yüzdeleri arasında (yaklaşık 375-410 mm) daha dar bir aralıkta değiştiğini göstermektedir. Bu, tam sulama uygulamasının bitkilerin daha fazla su tüketimine neden olduğunu ve dolayısıyla daha yüksek transpirasyon değerlerine yol açtığını göstermektedir. "Kısıntılı Sulama (% 75)" uygulamasında medyan transpirasyon değeri yaklaşık 370 mm olup, bu uygulamada da bitkilerin su kaybı yüksek olmakla birlikte, tam sulama kadar fazla değildir. "Kısıntılı Sulama (%50)" uygulamasında ise transpirasyonun medyan değeri yaklaşık 360 mm olup, bu uygulama bitkilerin su kaybı en düşük seviyede kalmaktadır.

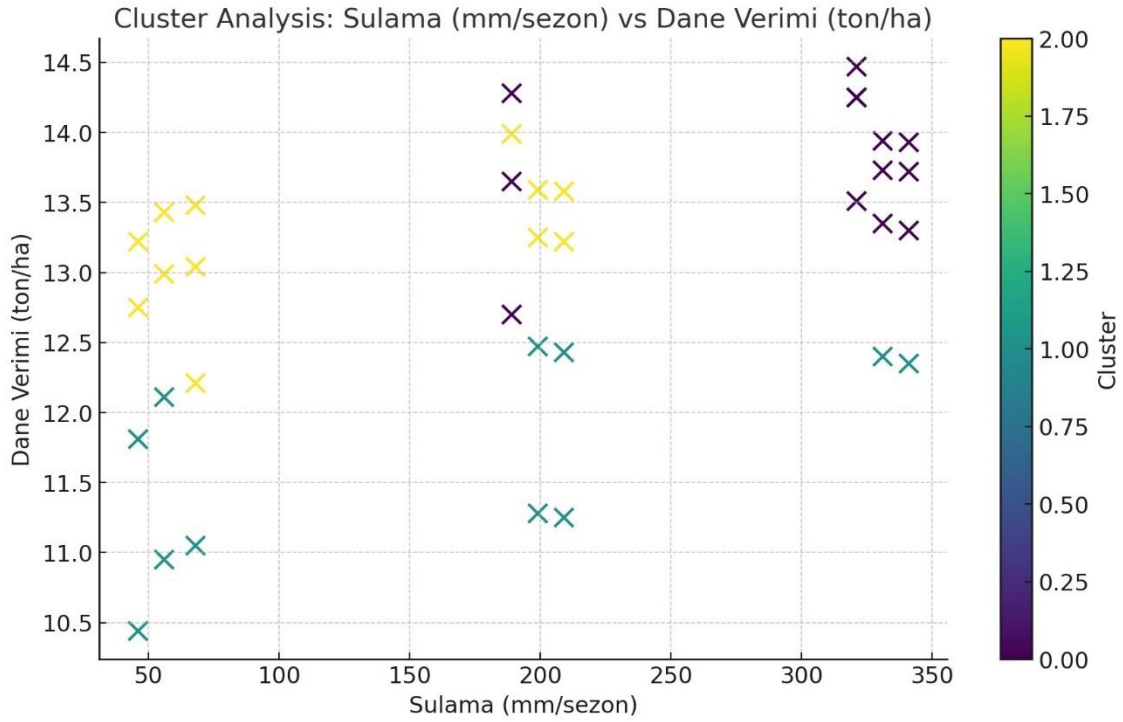


Şekil 4.16 Sulama uygulamalarına göre biyokütle (ton/ha) ve transpirasyon (mm)

Kümeleme Analizi (Cluster Analizi), sulama uygulamaları, sulama suyu miktarı, dane verimi, biyokütle, transpirasyon ve su verimliliği (WP) gibi değişkenler arasındaki benzerlikleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu analiz, veri setindeki gözlemleri benzer özelliklere sahip gruplara ayırarak, farklı sulama uygulamalarının verim ve su kullanımı açısından nasıl gruplandığını anlamamızı sağlamaktadır. Kümeleme analizi sayesinde, benzer sulama uygulamalarına sahip uygulamaları ve bunların sonuçlarını daha net bir şekilde görselleştirerek, tarımsal su yönetiminde daha etkili stratejiler geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, bu analiz farklı sulama yöntemlerinin ve uygulamalarının bitki büyümesi ve su kullanımı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır.

Şekil 4.17'de, sulama miktarı (mm/sezon) ve dane verimi (ton/ha) arasındaki ilişki K-Means kümeleme analizi ile incelenmiştir. Üç farklı küme, sulama uygulaması ve yönteminin dane verimi üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. İlk küme, düşük sulama miktarına sahip denemeleri içerir ve bu küme, düşük su temin edildiğinde bitki veriminin azaldığını gösterir. İkinci küme, orta düzeyde sulama ile daha yüksek dane verimine ulaşan denemeleri temsil eder. Bu grupta, suyun daha verimli kullanımı

sayesinde verimde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Üçüncü küme ise yüksek sulama miktarına sahip denemeleri içerir, ancak bu grupta verim artışı sınırlıdır ve belirli bir noktadan sonra sulama miktarındaki artışın verim üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığı görülür. Şekil 4.14, su kullanım etkinliğinin optimizasyonu açısından önemli bulgular sunmakta ve aşırı sulamanın verimde her zaman istenen sonuçları vermediğini ortaya koymaktadır.



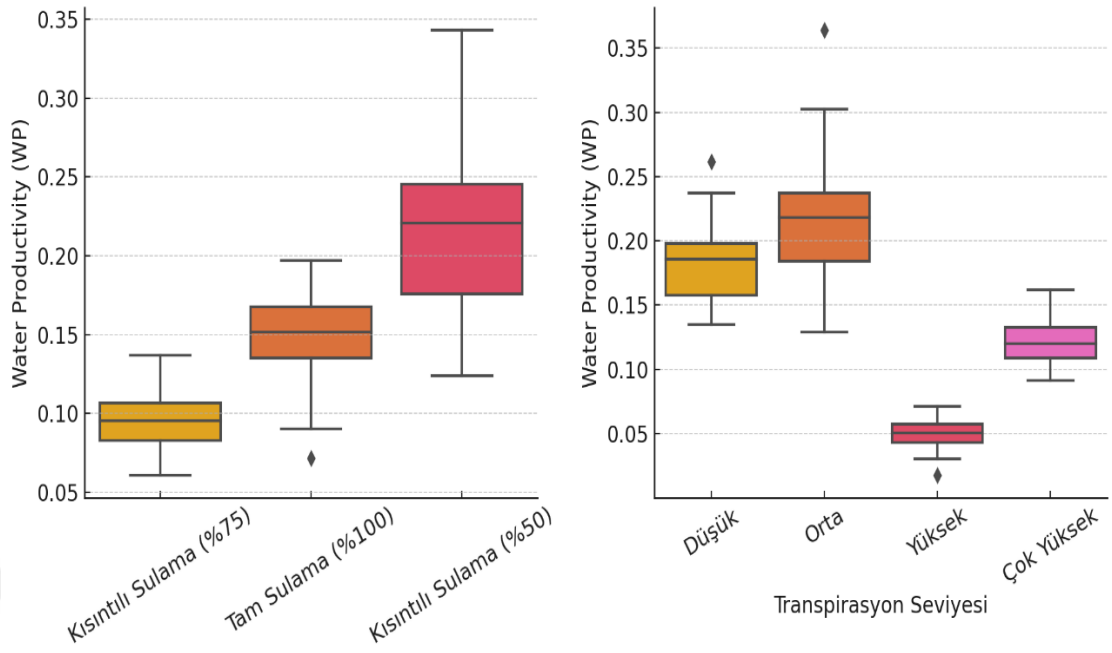
Şekil 4.17 Kümeleme analizi

Su kullanım verimliliği analizi, sulama uygulamalarının ve ekim tarihinin bitki verimi ile su kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sulama uygulamalarının etkinliğini değerlendirmede sadece elde edilen dane verimi değil, bu verimin sağlanması için kullanılan su miktarı da belirleyici bir öneme sahiptir. Bu analiz, suyun ne kadar verimli kullanıldığını ve sulama uygulamalarının su verimliliğini (WP) nasıl etkilediğini belirlememize olanak tanımaktadır. Özellikle su kıtlığının olduğu bölgelerde, su verimliliğini (WP) optimize etmek, sürdürülebilir tarımsal üretim için gereklidir. Bu nedenle, farklı sulama uygulamalarının su verimliliği (WP) üzerindeki

etkilerini analiz etmek, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını planlamak için gereklidir.

Şekil 4.18’de farklı sulama uygulamalarının su verimliliği (WP) üzerindeki etkisi gösterilmektedir. "Kısıntılı Sulama (% 50)" uygulamasının su verimliliği (WP) açısından en yüksek ortalamaya sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu uygulamaya ait medyan değer yaklaşık 0.20’dir. Bu, kısıntılı sulama ile daha az su kullanılarak daha fazla dane verimi elde edilebildiğini göstermektedir. "Tam Sulama (% 100)" uygulaması ise en düşük su verimliliğine (WP) sahiptir; medyan değeri 0.05’in altındadır. Bu, tam sulamanın su verimliliğini (WP) düşürebileceğini ve fazla suyun verim üzerinde optimal etkiler yaratmadığını göstermektedir. "Kısıntılı Sulama (% 75)" uygulamasının da su verimliliği (WP) düşüktür, ancak tam sulamaya kıyasla biraz daha yüksektir. Grafikteki kutuların genişliği, uygulamalara göre verimlilikteki varyasyonu göstermektedir; daha dar kutular, verilerin bu uygulama altında daha tutarlı olduğunu, geniş kutular ise daha fazla değişkenlik olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.18 ikinci grafikte, transpirasyon seviyelerine göre su verimliliği (WP) incelenmektedir. "Orta" transpirasyon seviyesinde (346,6 –374,7 mm arası) su verimliliği (WP) en yüksektir ve bu seviyedeki medyan değer yaklaşık 0,20’dir. Bu, bitkilerin orta düzeyde transpirasyon yapmasının su verimliliğini (WP) artırabileceğini göstermektedir. "Düşük" transpirasyon seviyesi, yaklaşık 0,15’lik bir medyan su verimliliği (WP) ile ikinci sıradadır. Ancak bu kategori içinde daha fazla varyasyon gözlemlenmektedir. "Yüksek" ve "Çok Yüksek" transpirasyon kategorilerinde ise su verimliliği düşmektedir. Özellikle "Çok Yüksek" seviyede su verimliliği (WP) oldukça düşüktür, medyan değeri 0,05’in altındadır. Bu, aşırı transpirasyonun bitkisel su kullanımının etkinliğini azaltabileceğini göstermektedir.

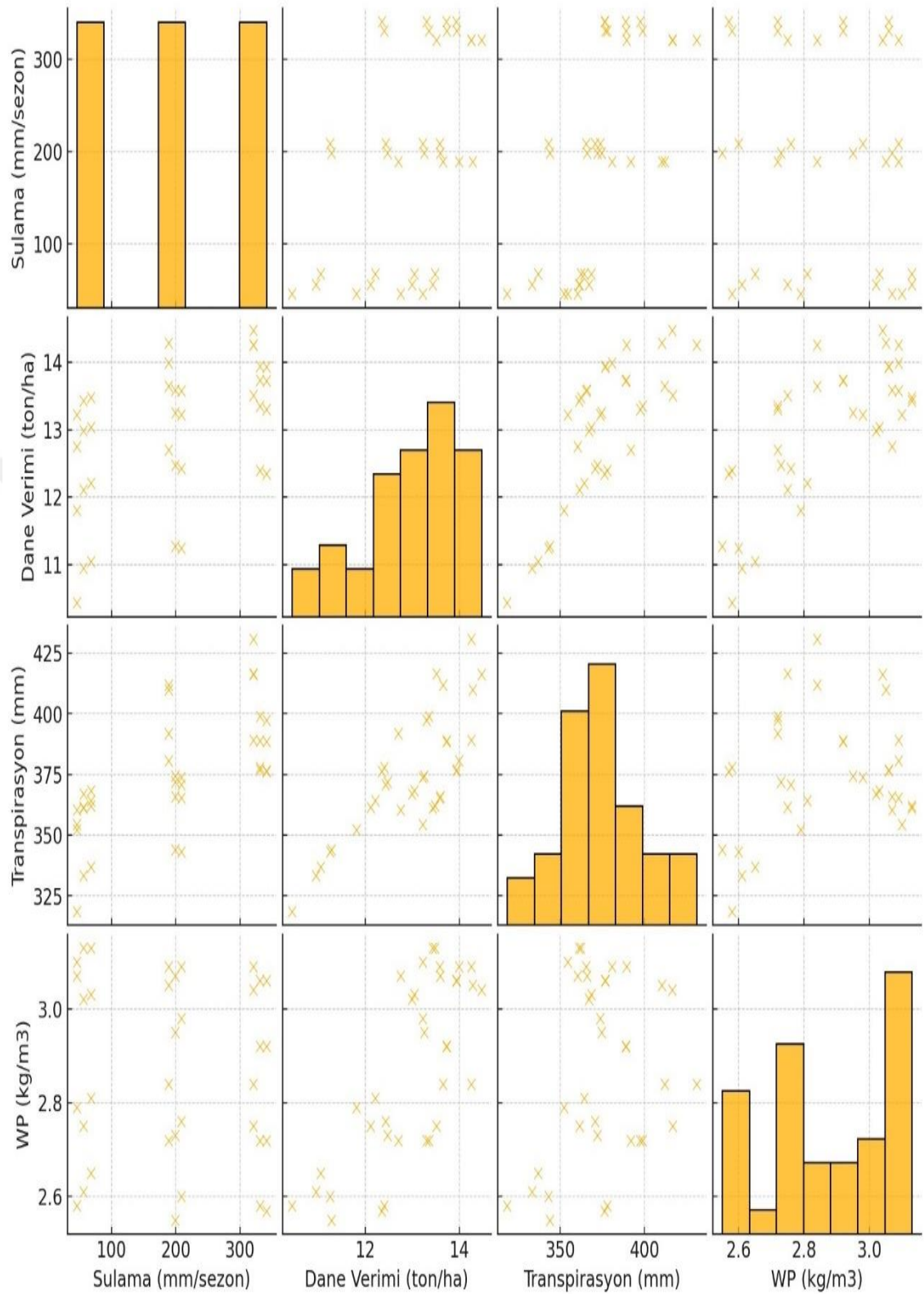


Şekil 4.18 Sulama uygulamalarına göre su verimliliği (WP)

Çoklu dağılım analizi, sulama suyu miktarı, transpirasyon, evaporasyon ve su verimliliği (WP) arasındaki ilişkileri daha iyi anlamak amacıyla yapılmıştır. Sulama suyu miktarının bitkisel büyüme ve su kullanımı üzerindeki etkileri doğrudan transpirasyon ve evaporasyon gibi süreçlerle bağlantılıdır. Bu analiz, sulama suyu miktarının artmasının sadece bitki verimi üzerinde değil, aynı zamanda bitkinin su kaybı ve suyun etkin kullanımı üzerindeki etkilerini de değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

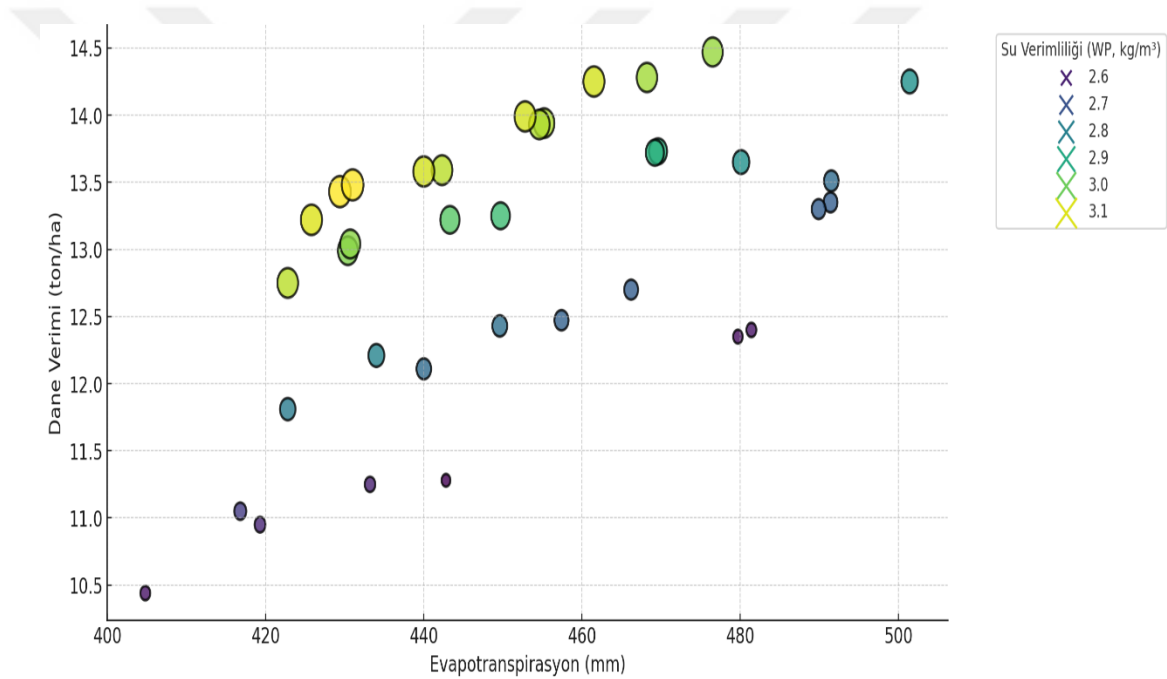
Şekil 4.19, sulama suyu miktarı, dane verimi, transpirasyon, ve su verimliliği (WP) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Sulama suyu miktarının artmasıyla dane veriminde genel bir artış eğilimi olduğu gözlemlenmektedir. Bu, sulama suyu miktarının artırılmasının dane verimini artırabileceğini gösterir. Ancak, bu ilişki doğrusal değildir; belirli bir sulama suyu miktarından sonra dane verimindeki artış oranı azalmaktadır. Bu, optimum sulama suyu miktarının aşılmasının verim artışını sınırlayabileceğini ve suyun etkin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Sulama suyu miktarının artması, transpirasyonun da artmasına yol açmaktadır. Sulama suyu miktarı 100 mm'den 300 mm'ye doğru arttıkça, transpirasyon değerleri de 300 mm'den 400 mm ve üzerine çıkmaktadır. Bu, sulamanın bitki su kaybını artırdığını gösterir. Artan transpirasyon,

bitkinin büyümesi için daha fazla suya ihtiyaç duyduğunu, ancak aynı zamanda suyun etkin kullanımının azalabileceğini göstermektedir. Sulama suyu miktarı ile su verimliliği (WP) arasında negatif bir ilişki görülmektedir. Sulama suyu miktarı arttıkça su verimliliği (WP) azalmaktadır. Bu, daha fazla sulama ile suyun verimliliğinin düştüğünü göstermektedir. Örneğin, sulama suyu miktarı 50-100 mm civarındayken WP yaklaşık 0,20-0,25 aralığında olabilirken, 300 mm civarında sulama yapıldığında WP değeri 0,05'in altına düşmektedir. Bu durum, suyun etkin kullanımı açısından aşırı sulamanın verimsiz olabileceğini ve optimum sulama seviyesinin önemini göstermektedir. Transpirasyon ile dane verimi arasında genel olarak pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Artan transpirasyon miktarı, dane veriminde bir artışa neden olmaktadır. Bu, bitkilerin su kaybı ile verim artışı arasında bir denge olduğunu göstermektedir. Ancak, bu artışın etkisi sulama suyu miktarına bağlı olarak değişebilir; aşırı sulama transpirasyonu artırırken, verim üzerindeki etkisi sınırlı kalabilir. Transpirasyon miktarı arttıkça su verimliliği (WP) azalmaktadır. Bu negatif ilişki, artan su kaybının suyun etkin kullanımını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Yüksek transpirasyon, bitkilerin daha fazla su kaybettiği anlamına gelir ve bu da suyun verimliliğini düşürebilir. Su verimliliği (WP) ile transpirasyon arasındaki negatif ilişki, artan transpirasyonun verimliliği düşürdüğünü gösterir. Bu, bitki su kaybının yönetiminin su verimliliği (WP) açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu grafik, sulama suyu miktarı, transpirasyon, dane verimi ve su verimliliği (WP) arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Özellikle, sulama suyu miktarının artırılması ile elde edilen verim artışının sınırlı olduğu ve su verimliliğini (WP) olumsuz etkileyebileceği görülmektedir. Transpirasyonun artması da benzer şekilde su verimliliğini (WP) düşürmektedir. Bu bulgular, sulama uygulamalarının optimizasyonunun ve bitkilerin su ihtiyacının dikkatli yönetiminin tarımsal üretimde suyun etkin kullanımı açısından önemli olduğunu göstermektedir.



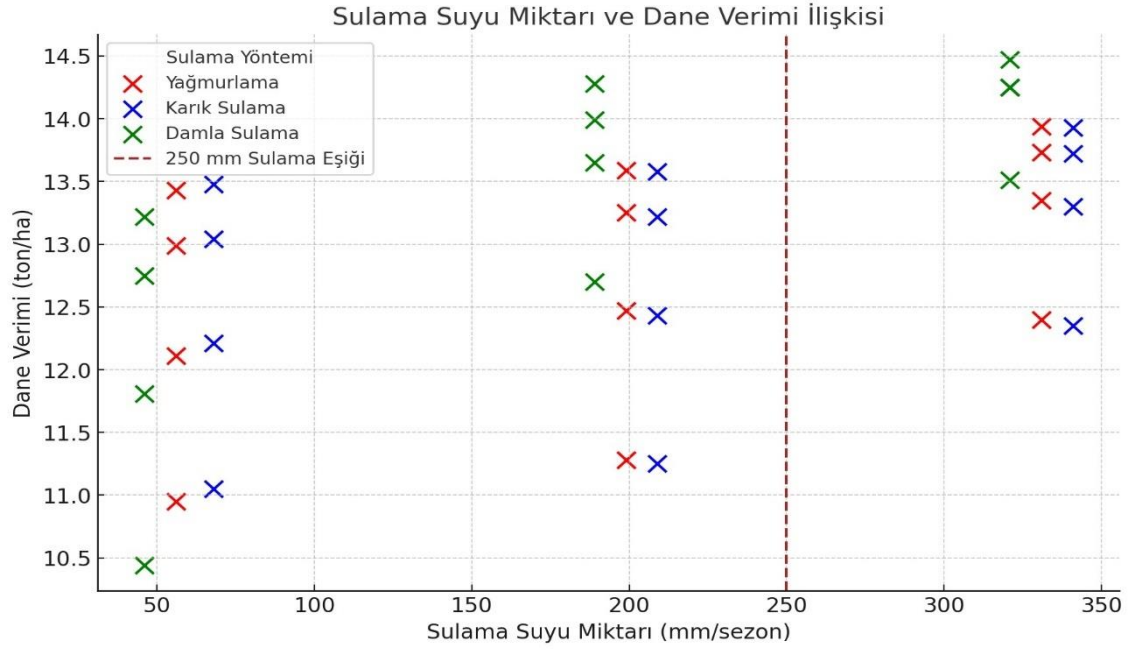
Şekil 4.19 Sulama suyu miktarı, dane verimi, transpirasyon ve su verimliliği (WP) arasındaki ilişki

Şekil 4.20’de evapotranspirasyon ile dane verimi arasındaki ilişki detaylandırılmıştır. Evapotranspirasyon (X eksen) arttıkça, dane veriminde (Y eksen) genel bir artış gözlemlenmektedir. Önemli bir gözlem, 300 mm ile 600 mm arasında değişen evapotranspirasyon değerlerinde verimin 10 ton/ha ile 15 ton/ha arasında değişmesi ve en verimli su kullanımının 400 mm civarında gerçekleşmesidir. Şekilde dikkat çekici nokta, su verimliliği (WP) ile evapotranspirasyon arasındaki ilişki olup, daha büyük noktalar suyun daha verimli kullanıldığı yerlerde görülmektedir. Özellikle 400 mm civarında, su verimliliği 3,0 kg/m³’e kadar çıkarken, dane verimi de yaklaşık 14 ton/ha seviyesine ulaşmaktadır. Bu bulgular, optimum evapotranspirasyon seviyesinin 350-450 mm arasında olduğunu ve bu aralıkta suyun en verimli şekilde kullanıldığını göstermektedir.



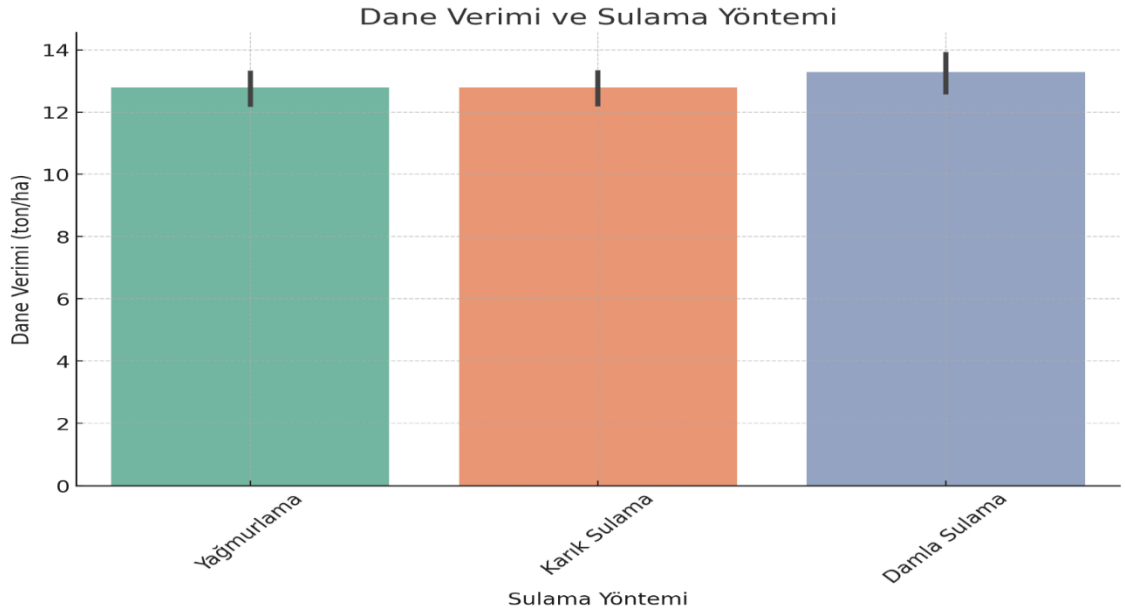
Şekil 4.20 Sulama suyu miktarı, dane verimi ve evapotranspirasyon arasındaki ilişki

Şekil 4.21, sulama suyu miktarı (mm/sezon) ile dane verimi (ton/ha) arasındaki ilişki, sulama yöntemlerine göre renklendirilmiştir. Kırmızı kesikli çizgi, 250 mm sulama suyu miktarını göstermektedir. Bu eşik, belirli bir sulama seviyesinden sonra eklenen suyun dane verimi üzerindeki etkisinin azaldığı ve su verimliliğinin (WP) düştüğünü vurgulamaktadır. 250 mm'nin üzerindeki sulama suyu miktarlarında verimdeki artış daha sınırlı olurken, su verimliliği (WP) düşebilir. Bu grafik, su yönetiminde dengeli sulama uygulamalarının önemini göstermektedir.



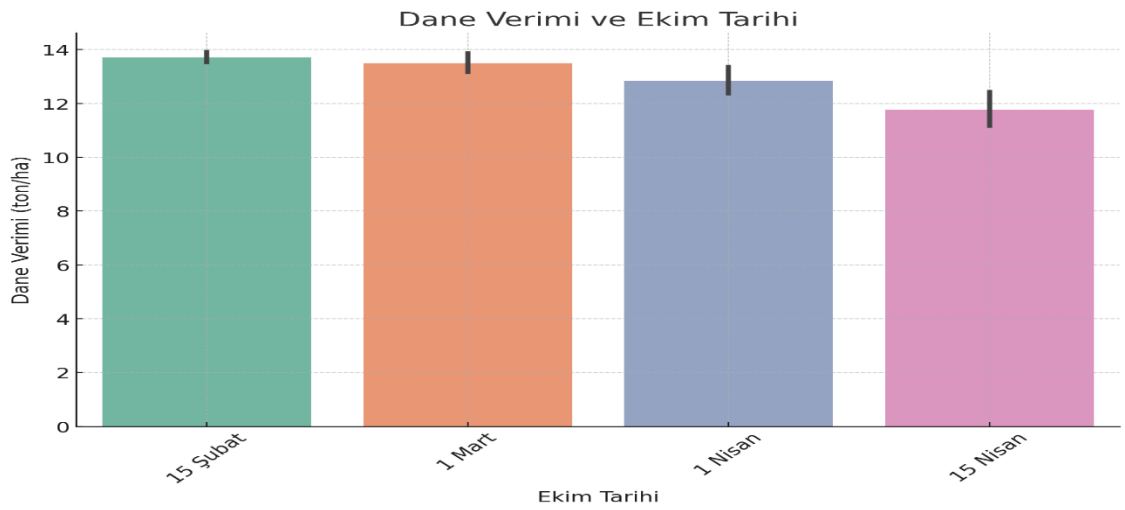
Şekil 4.21 Sulama suyu miktarı ve dane verim ilişkisi

Şekil 4.22’de farklı sulama yöntemlerinin dane verimi üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Tam sulama yöntemi, en yüksek ortalama dane verimini sağlayarak yaklaşık 13,6 ton/ha verim sunarken, bu yöntem daha fazla sulama suyu kullanmaktadır. Kısıntılı sulama (% 50) uygulaması ise yaklaşık 12,3 ton/ha dane verimi ile daha düşük bir verim sağlasa da, su kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Kısıntılı sulama (% 75), hem verim hem de su verimliliği (WP) arasında dengeli bir yaklaşım sunarak 12,97 ton/ha ortalama verim elde etmektedir. Bu grafik, su kaynaklarının sınırlı olduğu durumlarda, sulama uygulamalarının su verimliliği (WP) ve dane verimi üzerinde nasıl bir denge sağladığını göstermektedir. Sulama yöntemleri arasında en yüksek dane verimi, ortalama 13,5 ton/ha seviyesine ulaşan tam sulama uygulaması (% 100) ile elde edilmiştir. Diğer sulama yöntemlerine kıyasla tam sulama, bitkilerin su ihtiyacını tam olarak karşıladığı için verimi artırmaktadır. Kısıntılı sulama (% 50) uygulamasında ise dane verimi 12 ton/ha civarında kalmıştır. Bu da kısıntılı su kullanımının verim üzerinde sınırlayıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir.



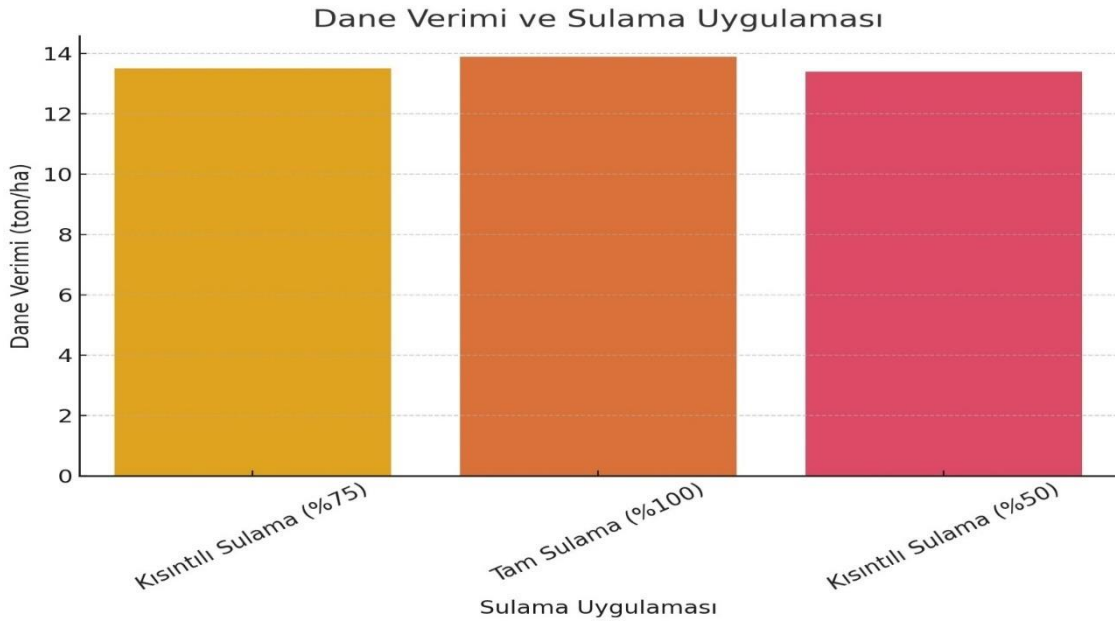
Şekil 4.22 Dane verimi ve sulama yöntemi

Ekim tarihi dane verimi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Erken ekim tarihleri, özellikle 15 Şubat ve 1 Mart, ortalama 13,7 ton/ha verim ile en yüksek sonuçları vermiştir. Geç ekim tarihlerinde ise verim düşüş göstermektedir. 1 Nisan ve 15 Nisan ekim tarihleri, dane verimini sırasıyla 12,5 ton/ha ve 12 ton/ha seviyelerine çekmiştir. Bu durum, erken ekim tarihleri ile bitkilerin büyüme döneminde daha uygun iklim ve su koşullarına eriştiğini, geç ekimlerin ise verim üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir (Şekil 4.23).



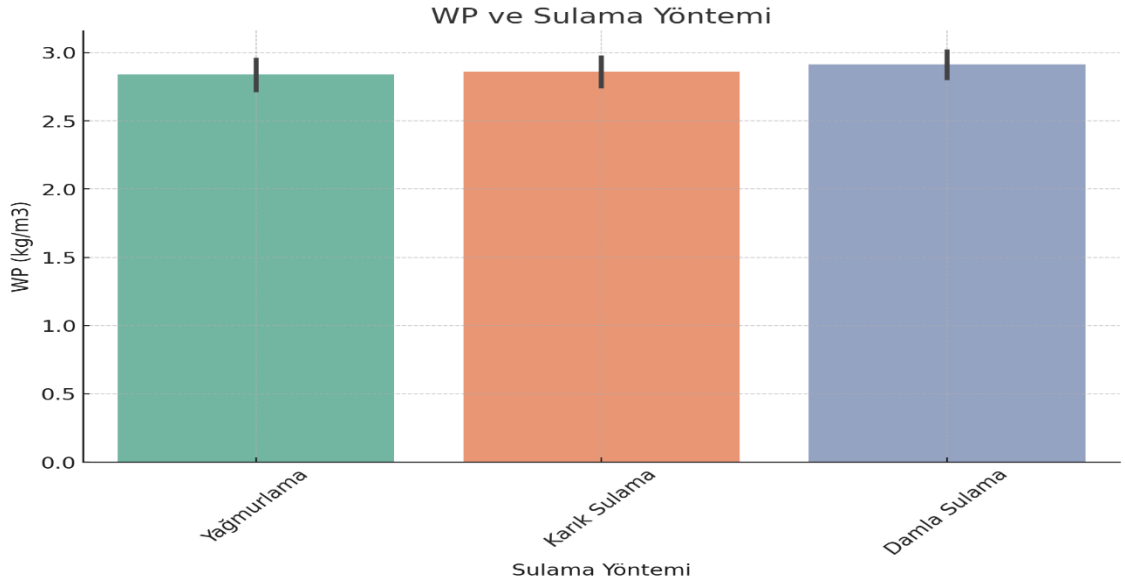
Şekil 4.23 Dane verimi ve ekim tarihi

Sulama uygulamalarına göre dane verimi farklılık göstermektedir. Tam sulama (% 100) uygulamasında dane verimi, ortalama 13,6 ton/ha ile en yüksek seviyededir. Kısıntılı sulama (% 50) uygulaması, ortalama 12,1 ton/ha verim sunarken, kısıntılı sulama (% 75) uygulaması ile elde edilen verim 12,9 ton/ha olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, suyun tam olarak sağlandığı uygulamaların bitki gelişimi ve verim üzerinde olumlu etkiler yarattığını, ancak kısıntılı sulama uygulamasının su kullanımını optimize ederken verimde bir miktar kayba yol açabileceğini göstermektedir (Şekil 4.24).



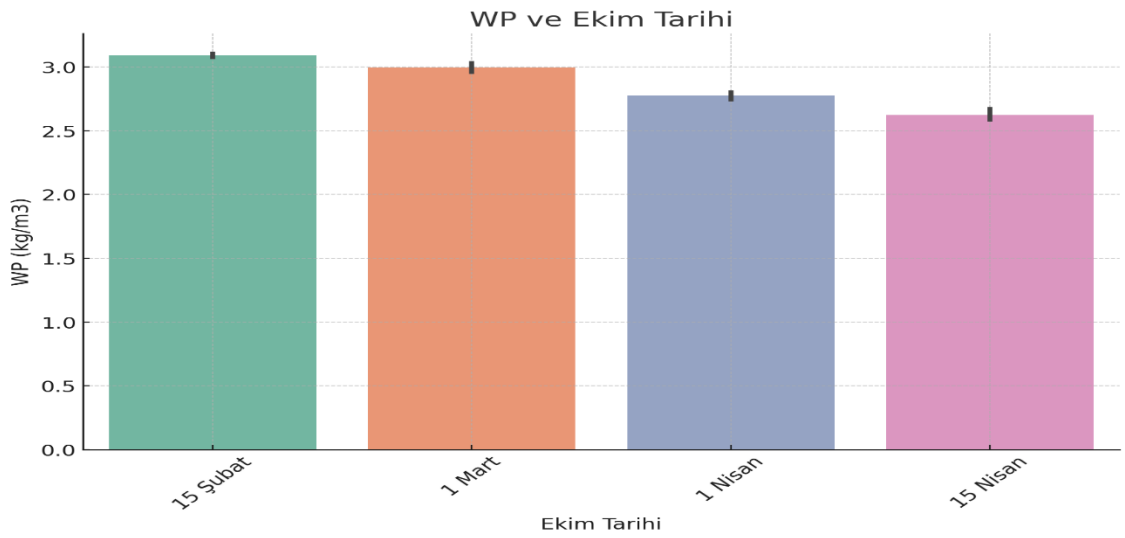
Şekil 4.24 Dane verimi ve sulama uygulaması

Şekil 4.25 ile sulama yöntemi ile su verimliliği (WP, kg/m³) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Sulama yöntemleri arasında en yüksek WP değeri, ortalama 3,1 kg/m³ ile kısıntılı sulama yönteminde elde edilmiştir. Kısıntılı sulama, suyu daha verimli kullanarak verimi makul seviyelerde tutmayı başarırken, su tüketimini azaltır. Tam sulama yöntemi ise ortalama 2,8 kg/m³ WP ile en düşük su verimliliğini sunmaktadır. Bu durum, tam sulamanın fazla su kullanımına bağlı olarak WP'yi düşürdüğünü ve suyun verimli kullanımında zorluklar olduğunu göstermektedir.



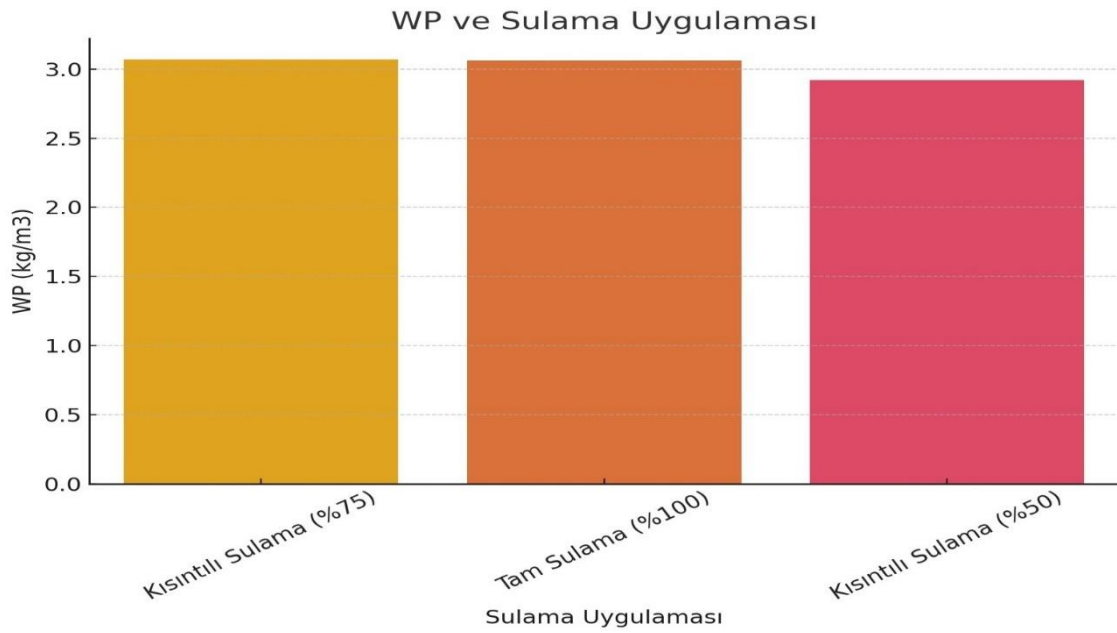
Şekil 4.25 Su verimliliği (WP) ve sulama yöntemi

Sulama uygulamaları açısından WP'nin en yüksek olduğu uygulama, kısıntılı sulama (% 50) ile elde edilmiştir. Bu uygulamada ortalama WP 3,05 kg/m³ seviyesindedir, suyun daha az miktarda kullanılması ile suyun etkinliği artırılmaktadır. Tam sulama (% 100) uygulaması ile WP değeri 2,85 kg/m³ olarak gözlemlenmiştir. Kısıntılı sulama (% 75) uygulaması ise 2,95 kg/m³ WP ile ortalama bir sonuç vermektedir. Bu sonuçlar, kısıntılı sulama uygulamasının su verimliliği açısından en verimli yöntem olduğunu, tam sulamanın ise daha düşük verimlilik sağladığını göstermektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Su verimliliği (WP) ve ekim tarihi

Ekim tarihi, su verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Erken ekim tarihleri olan 15 Şubat ve 1 Mart, sırasıyla 3,1 kg/m³ ve 3 kg/m³ WP değerleri ile en yüksek su verimliliğini sağlamıştır. Bu tarihlerde, bitkiler büyüme süreçlerinde daha uygun hava koşullarına erişerek suyu daha verimli kullanmaktadır. 1 Nisan ve 15 Nisan gibi geç ekim tarihlerinde ise WP değerleri sırasıyla 2,85 kg/m³ ve 2,75 kg/m³ seviyelerine düşmektedir. Bu durum, erken ekim tarihleri ile suyun daha etkin kullanıldığını ve geç ekimlerin verimliliği olumsuz etkilediğini göstermektedir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Su verimliliği (WP) ve sulama uygulaması

Bu çalışmada elde edilen bulgular, sulama suyu miktarı, sulama uygulaması, ekim tarihi ve bu değişkenlerin dane verimi, biyokütle, evaporasyon, transpirasyon ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmektedir. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, sulama suyu miktarının ortalama 195,56 mm/sezon, dane veriminin ortalama 12,95 ton/ha, biyokütlenin ortalama 21,41 ton/ha, evaporasyonun ortalama 77,11 mm, transpirasyonun ortalama 374,43 mm ve su verimliliğinin (WP) ortalama 2,87 kg/m³ olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, sulama uygulamalarının genel eğilimlerini ve değişkenlerin dağılımlarını göstermektedir. Korelasyon analizi, sulama suyu miktarı ile dane verimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu (0,51), ancak sulama suyu miktarı ile su verimliliği (WP) arasında zayıf negatif bir ilişki bulunduğunu (-0,08) ortaya

koymuştur. Ayrıca, transpirasyon ve dane verimi arasında güçlü bir pozitif ilişki (0.79) gözlemlenmiş, bu da artan su kaybının bitkisel verimle ilişkilendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Evaporasyon ile dane verimi ve WP arasında negatif korelasyonlar (-0.48 ve -0.75) bulunmuştur. Bu durum su kaybının artmasının verimliliği olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Grup karşılaştırmaları sonucunda, kısıntılı sulama uygulamasının su verimliliği (WP) açısından en iyi sonucu verdiği (WP: 2,89 kg/m³), tam sulama uygulamasının ise en yüksek dane verimini sağladığı (13,60 ton/ha) tespit edilmiştir. Ekim tarihleri açısından, 15 şubat ekim tarihinin hem dane veriminde (13,71 ton/ha) hem de su verimliliğinde (WP: 3,09 kg/m³) en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Optimum sulama senaryosunun belirlenmesi için yapılan marjinal verim analizi, sulama suyu miktarının yaklaşık 218 mm/sezon düzeyinde tutulmasının en yüksek dane verimi (13,72 ton/ha) ve su verimliliği ((WP): 3,02 kg/m³) sağladığını göstermiştir. Bu bulgular doğrultusunda, optimum senaryo olarak damlama sulama yöntemi, kısıntılı sulama (% 50) uygulaması ve 15 şubat ekim tarihi önerilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, sulama uygulamalarının verim ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerini değerlendirerek, optimum sulama uygulamalarının ve ekim tarihlerinin belirlenmesine katkıda bulunmuştur. Elde edilen bulgular, tarımsal üretimde su kaynaklarının etkin yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından önemli bilgiler sunmakta ve sulama uygulamalarının, verimlilik ile su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Kösreli sulama alanında su kullanım etkinliğini çok yönlü bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. 2012-2018 yılları arasındaki saha verileri incelenerek, sulama performansını değerlendirmek amacıyla su kullanım etkinliği, ekonomik etkinlik ve tarımsal etkinlik olmak üzere üç temel bileşen analiz edilmiştir. Hektara düşen su kullanımı ise, bu bileşenlerden farklı olarak, suyun kullanım verimliliğini ve sulama uygulamalarının etkinliğini detaylı bir şekilde analiz etmek amacıyla ayrıca ele alınmıştır. Bu yaklaşım, sulama performansını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmeye olanak sağlamış ve su yönetimi açısından mevcut uygulamaların optimizasyonuna yönelik önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Sulama yönetimlerinin mevcut durumunun analiz edilmesi amacıyla, farklı tarla ve sulama uygulamalarının bitki verimi ve su verimliliği üzerindeki etkileri AquaCrop modeli kullanılarak simüle edilmiştir. AquaCrop modelinin tercih edilme nedeni, bitki-su-iklim etkileşimlerini yüksek doğrulukla simüle edebilmesi ve tarımsal su yönetimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmasıdır. Sulama yönetimi konusunda optimum bir senaryo belirlemek amacıyla, mevcut şartlar dikkate alınarak üç farklı sulama yöntemi, üç farklı sulama uygulaması ve dört farklı ekim tarihi değerlendirilmiş ve çeşitli modelleme döngüleri oluşturulmuştur. Bu çalışma, Kösreli sulama alanında sürdürülebilir tarımsal uygulamalar için bilimsel temele dayalı bulgular sunmaktadır. Özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, su kullanım etkinliğini artırmaya yönelik somut uygulamaların geliştirilmesi, çalışmanın bulgularının yerel ve ulusal su yönetim politikalarına katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu çalışma, iklim değişikliği senaryoları altında tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ile ilgili önemli veriler sunarak, gelecekteki su ve tarım yönetimi kararlarının şekillendirilmesine katkıda bulunabilecek bir analiz sağlamaktadır.

Kösreli sulama alanında gerçekleştirilen bu çalışma, tarımsal su kullanım etkinliğini yıllar bazında değerlendirerek, su yönetimi stratejilerinin etkinliğini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, özellikle yarı kurak iklim bölgelerinde tarımsal üretimin devamlılığı için büyük önem taşımaktadır. Tarım sektöründe suyun verimli kullanımı, yalnızca verim artışını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda su kaynaklarının korunmasına da katkıda bulunur. Bu doğrultuda, Kösreli

sulama alanındaki su kullanım etkinliğinin incelenmesi, mevcut sulama uygulamalarının performansını ortaya koymak ve iyileştirilmesi gereken alanları tespit ederek, sürdürülebilir su yönetimi için bilimsel temellere dayalı stratejiler geliştirmek açısından önemlidir. İncelenen su kullanım verileri, su tasarrufu sağlama potansiyelini ve yıllar içinde suyun tarımsal üretime yaptığı katkıyı detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. 2012-2018 yılları arasında yaşanan yaklaşık 2.289 m³/ha'lık azalma, su yönetimi stratejilerinin iyileştirildiğini ve su kayıplarının minimize edildiğini göstermektedir. Ancak bu süreçte bazı yıllarda dalgalanmalar da dikkat çekmektedir. Özellikle 2016 yılı, su kullanım etkinliğinin arttığı bir yıl olarak öne çıkmış ve sulama randımanı % 59,9 seviyesine yükselmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, suyun daha etkin bir şekilde kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, 2012 yılında % 45,5 olan sulama randımanı, 2018 yılında % 61,7 seviyesine ulaşmıştır. Bu artış, suyun tarımsal üretime katkısının zamanla arttığını ve sulama yöntemlerinin daha verimli hale getirildiğini göstermektedir. Ancak, 2017 yılında sulama randımanının % 63,3'e kadar yükselmesine rağmen, 2018'de bu oranın bir düşüş göstermesi dikkat çekicidir. Bu tür dalgalanmalar, su yönetimi stratejilerinin sürdürülebilirliğinin uzun vadede optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu bağlamda, su kullanım etkinliği ile tarımsal verimlilik arasında önemli bir ilişki kurulmaktadır. 2012 yılında birim sulama alanına karşılık elde edilen tarımsal gelir 6.681 TL/ha iken, 2018 yılında bu değer 9.182 TL/ha'a yükselmiştir. Bu artış, suyun daha verimli kullanılmasının tarımsal üretime katkısının arttığını göstermektedir. Ancak, 2016 yılında su kullanım etkinliğinin düşmesi, tarımsal verimlilikte de gerilemeye yol açmıştır. Örneğin, 2016 yılında birim alandan elde edilen gelir 6.080 TL/ha seviyesine kadar gerilemiştir. Bu düşüş, su yönetimindeki aksaklıkların tarımsal üretimi olumsuz etkilediğini açıkça ortaya koymaktadır. Diğer yandan, şebekeye alınan birim sulama suyuna karşılık elde edilen gelir (TL/m³), suyun tarımsal üretim üzerindeki ekonomik etkisini yansıtan önemli bir göstergedir. 2012 yılında 0,74 TL/m³ olan bu değer, 2018 yılında 1,35 TL/m³'e yükselmiştir. Bu artış, su kaynaklarının verimli kullanımının hem tarımsal üretim hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Yıllar içinde gözlemlenen bu iyileşmelerin yanı sıra, sulama performansında dalgalanmalar da dikkate değerdir. Örneğin, 2016 ve 2017 yıllarında su kullanım etkinliği ve tarımsal verimlilikte belirgin iyileşmeler görülürken, bazı yıllarda bu göstergelerde düşüşler yaşanmıştır. Bu durum, sulama sistemlerinin düzenli bakım ve yenileme çalışmalarına ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Özellikle 2017 yılında yaşanan sulama randımanındaki düşüş, mevcut sulama altyapısının yetersizliklerinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Sulama kanallarındaki bakım eksiklikleri ve su dağıtımındaki verimsizlikler bu düşüşün başlıca sebepleri arasında yer almaktadır. Bu değişkenlikler, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için sulama sistemlerinin düzenli olarak değerlendirilmesi ve yenilikçi çözümlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bulgular, su kullanım etkinliğinin ekonomik sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini de net bir şekilde ortaya koymaktadır. 2012 yılında % 52,35 olan yatırımın geri dönüş oranı, 2018 yılında % 116,62'ye ulaşmıştır. Bu artış, su yönetim uygulamalarındaki iyileştirmeler sayesinde sulama projelerinin mali açıdan daha başarılı olduğunu ve ekonomik getirilerin arttığını göstermektedir. Benzer şekilde, su ücreti toplama oranında da yıllar içinde bir artış gözlenmiş olup, 2015 yılında bu oran % 90,76 seviyesine yükselmiştir. Bu veriler, suyun daha verimli kullanıldığı dönemlerde ekonomik performansın da olumlu yönde etkilendiğini işaret etmektedir. Öte yandan, bakım ve işletme giderlerindeki yükselişler ekonomik verimlilik üzerinde baskı meydana getirmektedir. 2016 ve 2017 yıllarında işletme maliyetlerinin hektar başına sırasıyla 28.219 TL/ha ve 30.955 TL/ha gibi yüksek değerlere ulaşması, sulama altyapısının maliyet etkin bir şekilde yönetilmesinin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir.

Sonuç olarak, Köşreli sulama alanında su kullanım etkinliğinde genel bir iyileşme görülmekle birlikte, bu başarının sürdürülebilir olması için su yönetim uygulamalarının sürekli izlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle sulama sistemlerinin modernize edilmesi ve su kayıplarını en aza indiren yenilikçi teknolojilerin hayata

geçirilmesi, uzun vadeli sürdürülebilir tarımsal üretim için önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, tarımsal üretimin istikrarlı bir şekilde devam edebilmesi ve iklim değişikliği gibi dışsal faktörlere karşı dayanıklılık kazanabilmesi için su yönetimi süreçlerine meteorolojik ve iklimsel verilerin dahil edilmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının verimli kullanılması ve tarımsal verimliliğin artırılması, tarım politikalarının başarısında önemli rol oynamaktadır. Gelecekteki tarımsal üretimde suyun etkin kullanımı, ekonomik getiriye artırırken aynı zamanda bölgesel su kaynaklarının korunmasına da önemli katkılar sağlayacaktır.

Su kullanım etkinliği üzerindeki bu gözlemler, sulama yöntemlerinin etkilerini daha ayrıntılı incelemeyi gerektirmiştir. Bu bağlamda, 2012-2018 yılları arasında hektar başına düşen su miktarları analiz edilmiş ve farklı sulama uygulamalarının su tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları, yüzey sulama yönteminin hem model verileri hem de gerçek arazi verilerine göre en yüksek su tüketimine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, suyun homojen dağıtılmaması, yüzey akışı ve buharlaşma gibi kayıplardan kaynaklanmaktadır. Yüzey sulama yöntemi, geleneksel bir sulama yöntemi olarak geniş ölçekte kullanılıyor olsa da yüksek su kayıplarına yol açması sebebiyle su verimliliği açısından sürdürülebilir bir yöntem değildir. Buna karşılık, damla ve yağmurlama sulama yöntemleri, model verilerinde de ortaya konduğu üzere suyun daha kontrollü uygulanmasını sağlayarak su tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Bu modern sulama yöntemleri, suyun doğrudan bitki kök bölgesine verilmesiyle su kaybını en aza indirir ve hektar başına düşen su miktarını azaltarak suyun daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Ancak bu sistemlerin tam anlamıyla hayata geçirilmesi için altyapı yatırımları ve çiftçilerin bu teknolojilere adaptasyonu gerekmektedir. Sonuç olarak, Köşreli sulama alanında hektar başına düşen su miktarlarının azaltılması, modern sulama tekniklerine geçiş ve su yönetiminin etkinleştirilmesi ile mümkün olacaktır. Bu çalışma, özellikle damla ve yağmurlama sulama yöntemlerinin su tasarrufunu sağlayabilecek en verimli yöntemler olduğunu ortaya koyarken, yüzey sulama gibi geleneksel yöntemlerin bölgenin uzun vadeli su sürdürülebilirliği için uygun olmadığını göstermektedir. Tarımsal su yönetiminde verimliliğin artırılması için su yönetimi planlamalarının güncellenmesi,

modern teknolojilerin entegrasyonu ve çiftçi eğitim programlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

AquaCrop modeli, su kullanımının bitki verimine olan etkisini detaylı bir şekilde analiz etmek ve tarımsal sulama uygulamalarının verimliliğini optimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu kapsamda AquaCrop modeli ile elde edilen bulgular, sulama suyu miktarı, sulama uygulamaları ve ekim tarihinin dane verimi, biyokütle, evaporasyon, transpirasyon ve su verimliliği (WP) üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Veriler, sulama suyu miktarının ortalama 195,56 mm/sezon, dane veriminin ortalama 12,95 ton/ha ve su verimliliğinin ortalama 2,87 kg/m³ olduğunu göstermiştir. Bu değerler, sulama uygulamalarının genel performansı ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin boyutlarını ortaya koymaktadır. Korelasyon analizleri, sulama suyu miktarı ile dane verimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu ($r = 0,51$), ancak sulama suyu miktarı ile su verimliliği arasında zayıf bir negatif ilişki bulunduğunu ($-0,08$) göstermiştir. Bu bulgu, daha fazla sulama suyu verilmesi ile dane veriminin arttığını ancak aynı zamanda su verimliliğinin azaldığını ortaya koymaktadır. Transpirasyon ile dane verimi arasında güçlü bir pozitif ilişki ($0,79$) bulunması, bitkisel su kayıplarının artan verimle ilişkili olduğunu göstermektedir. Evaporasyon ile dane verimi ($-0,48$) ve WP ($-0,75$) arasındaki negatif korelasyonlar ise su kayıplarının verimliliği olumsuz etkilediğini işaret etmektedir. Sulama uygulamalarının karşılaştırıldığı analizlerde, kısıntılı sulama uygulamasının (% 50) su verimliliği açısından en yüksek değeri (2,89 kg/m³) sağladığı, tam sulama uygulamasının ise en yüksek dane verimine (13,60 ton/ha) ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, sulama suyu yönetiminin etkinliğini artırmak için farklı uygulamaların dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Ekim tarihleri açısından, 15 Şubat tarihinin hem dane verimi (13,71 ton/ha) hem de su verimliliği (3,09 kg/m³) bakımından en verimli dönem olduğu belirlenmiştir. Optimum sulama senaryosu için yapılan marjinal verim analizleri, sulama suyu miktarının yaklaşık 218 mm/sezon düzeyinde tutulmasının hem en yüksek dane verimi (13,72 ton/ha) hem de su verimliliği (3,02 kg/m³) sağladığını ortaya koymuştur. Bu bulgular ışığında, kısıntılı sulama uygulaması (% 50) ve 15 Şubat ekim tarihi, optimum sulama senaryosu olarak önerilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, sulama uygulamaları ve ekim tarihlerinin tarımsal verim ve su verimliliği üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirerek,

optimum sulama uygulamaları ve ekim tarihlerini belirlemiş ve tarımsal üretimde suyun etkin kullanımına yönelik önemli bilgiler sunmuştur. Sulama yönetimi stratejilerinin, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini artırma potansiyeline sahip olduğu ve verimliliği artırdığı bu bulgularla net bir şekilde ortaya konmuştur.

Ancak, Köşreli sulama alanında mevcut durumda yüzey sulama yönteminin % 99 gibi yüksek bir oranda kullanılması, damla sulama sistemine geçişin hemen gerçekleşmeyeceğini göstermektedir. Bölgenin ekonomik koşulları da dikkate alındığında, bu geçişin maliyetli ve zaman alıcı olacağı açıktır. Bu nedenle, kısa ve orta vadede mevcut sulama yönteminin sürdürülebilirliğini artırmak için çeşitli önlemlerin alınması önemlidir. Özellikle, suyun daha etkin dağıtılması, yüzey buharlaşmasının azaltılması ve toprak nem seviyesinin korunması için sulama sıklığı ve süresinin optimize edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, suyun kontrolsüz akışını engellemek için arazi eğiminin düzenlenmesi, toprak yüzeyinde suyun daha iyi yönlendirilmesi ve sulama kanallarının etkin yönetimi gibi uygulamalar devreye alınmalıdır. Uzun vadede ise, damla sulama sisteminin yaygınlaştırılması, suyun daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu geçiş sürecinde çiftçilerin damla sulama sisteminin avantajları konusunda bilinçlendirilmesi ve bu sistemin kurulumu için gerekli altyapı çalışmalarının planlanması büyük önem taşımaktadır.

İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, su tasarrufu sağlayan damla sulama gibi yöntemlerin hızla benimsenmesi, suyun uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak açısından büyük bir önem taşımaktadır. Mevcut ekonomik ve altyapısal koşullar dikkate alınarak, yüzey sulama yönteminin kısa vadede gerekli iyileştirmelerle sürdürülebilir kılınması mümkün olsa da uzun vadede damla sulama sistemine geçiş kaçınılmazdır. Bu nedenle, geçiş sürecinde bir planlama ile damla sulama sisteminin yaygınlaştırılması ve çiftçilerin bu sisteme adaptasyonunun sağlanması gerekmektedir.

Çalışma, su kullanım etkinliğinin gelecekteki su yönetimi politikalarına katkı sağlayabileceğini belirtmekle birlikte, iklim değişikliği senaryolarına göre daha spesifik analizler sunmamaktadır. Özellikle AquaCrop modeli, iklim değişikliği altında bitki-su-

iklim etkileşimlerini simüle edebildiği için, bu tür simülasyonların da yapılması, gelecekteki su yönetiminde daha detaylı ve yol gösterici çıkarımlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, Ceyhan Havzası'na yönelik iklim projeksiyonları, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında su potansiyelinde önemli azalmalar öngörmektedir. RCP4.5 senaryosunda toplam su potansiyelinin % 16,2'den % 22,3'e, yüzey suyu potansiyelinin % 12,1'den % 15,5'e ve yer altı suyu potansiyelinin % 16,9'dan % 23'e kadar azalması beklenmektedir. Daha kötümser olan RCP8.5 senaryosunda ise bu azalmalar daha da belirginleşmektedir. Toplam su potansiyelinde % 20,1'den % 26,0'a, yüzey suyu potansiyelinde % 8,6'dan % 19,8'e ve yer altı suyu potansiyelinde % 27,5'ten % 32,9'a kadar azalma öngörülmektedir. Bu projeksiyonlar, Ceyhan Havzası'nda su potansiyelinin ciddi oranda azalacağını ve bölgedeki su kaynakları yönetimi açısından acil ve uzun vadeli planlamalar yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, sulama uygulamalarının etkinliği, su kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Bu çalışma, sulama yöntemleri, sulama uygulamaları ve ekim tarihleri dikkatli bir şekilde planlanması durumunda hem tarımsal verimliliğin hem de su verimliliğinin artırılabilceğini açıkça ortaya koymuştur. Tarımsal üretimde suyun daha etkin ve verimli kullanılması hem ekonomik getiriye artırmakta hem de bölgesel su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliği gibi su kaynaklarını tehdit eden gelecekteki koşullara karşı direnç geliştirilmesi, sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanabilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Çalışma bulguları, gelecekteki su yönetimi politikalarına ve tarımsal sulama uygulamalarına yön vermesi açısından değerli bir rehber niteliğindedir.

KAYNAKLAR

- Adeboye, O. B., Adelana, A. O., Awolalu, M. I., & Olowu, T. I. 2024. Assessment of the AquaCrop Model to Simulate the Impact of Soil Fertility Management on Evapotranspiration, Yield, and Water Productivity of Maize Zea May L. in the Sub-Humid Agro-Ecology of Nigeria.
- Ahmadi, S. H., Mosallaeepour, E., Kamgar-Haghighi, A. A., et al. 2015. Modeling Maize Yield and Soil Water Content with AquaCrop Under Full and Deficit Irrigation Managements. *Water Resources Management*, 29, 2837–2853.
- Akbaş, A. 2014. Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 122, Article 2. https://doi.org/10.1501/Cogbil_00000000155
- Akçakaya, A., Eskioğlu, O., Atay, H., & Demir, Ö. 2015. Yeni Senaryolarla Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Ankara.
- Akumaga, U., Tarhule, A., & Yusuf, A. 2017. Validation and Testing of the FAO AquaCrop Model Under Different Levels of Nitrogen Fertilizer on Rainfed Maize in Nigeria, West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 225-234.
- Ali, M., & Talukder, M. 2008. Increasing Water Productivity in Crop Production-A Synthesis. *Agricultural Water Management*, 1201-1213.
- Altan, K., Teksoy, A., & Solmaz, S. 2020. Türkiye'de Yağış ve Sıcaklığın Su Kaynakları Tarımsal Su Verimi ve Su Politikalarına Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1253-1270.
- Al-Said, F., Ashfaq, M., Al-Barhi, M., Hanjra, M., & Khan, I. 2012. Water Productivity of Vegetables Under Modern Irrigation Methods in Oman. *Irrigation and Drainage*, 61, 10.1002/ird.1644.
- Anonim. 2012-2018. Köşreli Sulama Birliği Planlı Dağıtım Uygulama Raporu. Adana: Köşreli Sulama Birliği. Adana.
- Anonim. 2014. Türkiye'nin Su Riskleri Raporu. Ankara: WWF-Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı. Ankara.
- Anonim. 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2018. Ceyhan Havzası Master Planı. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2019a. Ceyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2019b. 3. Tarım ve Orman Şurası. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara..

- Anonim. 2019c. Su Kaynaklarının Sayısallaştırılması; Tipoloji, Kütle ve Risk Çalışmalarının Yapılarak İzleme Programlarının Hazırlanması Projesi. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2021. 1. Su Şurası Tarımsal Sulama Grubu Çalışma Belgesi. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara.
- Anonim. 2022a. Küresel İklim Değişikliğinin Etkilerinin En Aza İndirilmesi, Kuraklıkla Mücadele ve Su Kaynaklarının Verimli Kullanılması İçin Alınması Gereken Tedbirlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu. TBMM. Ankara.
- Anonim. 2022b. Sürdürülebilir Tarım Pratiklerinin Yaygınlaştırılması için Politika, Uygulama ve İletişim Önerileri. Ankara: WWF-Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı. İstanbul.
- Anonim. 2022c. Türkiye Tarımsal Kuraklıkla Mücadele Stratejisi ve Eylem Planı 2023-2027. Ankara: Tarım Reformu Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2022d. Main Report_Improving Agricultural Water Use Efficiency in the Middle East.pdf. İstanbul: Türkiye Su Enstitüsü. İstanbul.
- Anonim. 2023a. On İkinci Kalkınma Planı. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Ankara.
- Anonim. 2023b. 2022 Yılı DSİ'ce İşletilen ve Devredilen Sulama Tesisleri Değerlendirme Raporu. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Ankara.
- Anonim. 2023c. Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2023-2033. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim. 2023d. Türkiye'de İklim Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Ankara.
- Anonim. 2023e. Su Riskleri AR-GE Projesi. Ankara: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği SKD Türkiye, Ankara Üniversitesi Su Yönetimi Enstitüsü Enstitüsü. Ankara.
- Anonim. 2024a. 2023 Yılı İklim Değerlendirmesi. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara.
- Anonim. 2024b. TÜİK Kurumsal. Ankara: TÜİK. Ankara.
- Anonim. 2024c. DSİ 2023 Yılı Faaliyet Raporu. Ankara: DSİ. Ankara.
- Anonim. 2024d, Eylül 15. TAGEM SUET Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi. <https://tagemsuet.tarimorman.gov.tr/pages/login> adresinden alındı.

- Anonymous. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper 56: Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO. Rome.
- Anonymous. 2015. Değişen Bir İklimde Yaşamak. Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayın Ofisi.
- Anonymous. 2019. Global Environment Outlook 6. UNEP - UN Environment Programme.
- Anonymous. 2023. Tarım Politikaları İzleme ve Değerlendirme Raporu. Roma: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü OECD.
- Aşık, M., Yetik, A. K., Candoğan, B. N., & Kuşçu, H. 2021. Determining the Yield Responses of Maize Plant Under Different Irrigation Scenarios with AquaCrop Model. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 53, 260-270.
- Burton, M. D., Molden, D., & Scutsh, J. 2000. Benchmarking Irrigation and Drainage System Performance. International Programme on Technology and Research in Irrigation and Drainage IPTRID, 49p.
- Camp, C., Sadler, E., & Edward, W. 1997. A Comparison of Uniformity Measures for Drip Irrigation Systems. Transactions of the ASAE.
- Chukalla, A., Krol, M., & Hoekstra, A. 2015. Green and Blue Water Footprint Reduction in Irrigated Agriculture: Effect of Irrigation Techniques, Irrigation Strategies, and Mulching. Hydrology and Earth System Sciences, 19, 4877–4891. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4877-2015>
- Conceição, C. G., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Parizi, A. R. C., & Ferreira, A. M. 2024. Simulation of Water Content in the Soil, Canopy Growth, and Biomass Production for the Maize Crop in Different Conditions of Water Replenishment with the AquaCrop Model. 227.
- Çakmak, B. M., Beyribey, Y. E., Yıldırım, S., & Kodal, S. 2004. Benchmarking Performance of Irrigation Schemes: A Case Study from Turkey. Irrigation and Drainage - The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, 532, 155-164.
- Çakmak, B., Yıldırım, M., & Aküzüm, A. 2008. Türkiye’de Tarımsal Sulama Yönetimi Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi, Ankara.
- Çakmak, B., & Gökalp, Z. 2011. İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 87-95.
- Değirmenci, H., & Kartal, S. 2019. Akdeniz Bölgesinde Bulunan Sulama Şebekelerinin Kalite İndeksi ile Değerlendirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24, 269-277.

- Dellal, İ., McCarl, B., & Butt, T. 2011. Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture. *Journal of Environmental Protection and Ecology*.
- Delmotte, V., & Zhai, P. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC.
- Dirwai, T., Senzanje, A., & Mabhaudhi, T. 2021. Calibration and Evaluation of the FAO AquaCrop Model for Canola Brassica napus Under Varied Moisture Irrigation Regimes. *Agriculture*, 11, 410.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. 1979. *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, 193 p.
- Eliçabuk, C., & Topak, R. 2016. Evaluation of Irrigation Performance in Gevrekli Irrigation Association. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32, 191–199.
- Estrella, T., Pérez-Martin, M., & Vargas, E. 2012. Impacts of Climate Change on Water Resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 1154-1167.
- Eroğlu, G., & Tekiner, M. 2023. Bayramiç Ezine Ovaları Sulama Birliği'nde Bakım Onarım Masraflarının Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 101, 39-46.
- Eşkinat, R. 2016. Binyıl Kalkınma Hedeflerinden Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine. *Anadolu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 267-282.
- Faloye, O. T., Ajayi, A. E., Alatise, M. O., et al. 2020. Maize Growth and Yield Modelling Using AquaCrop Under Deficit Irrigation with Sole and Combined Application of Biochar and Inorganic Fertilizer. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2440–2453.
- Farré, I., & Faci, J.-M. 2009. Deficit Irrigation in Maize for Reducing Agricultural Water Use in a Mediterranean Environment. *Agricultural Water Management*, 96, 383–394.
- Fereres, E., & Soriano, A. 2007. Deficit Irrigation for Reducing Agricultural Water Use. *Journal of Experimental Botany*, 58, 147-159.
- Geerts, S., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J., & Taboada, C. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 499-508.
- Gümüş, M. İ., & Tekiner, M. 2023. Bazı DSİ Bölgelerindeki Sulama Oranları ve Sulanmayan Alanların Sulanmama Nedenleri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 111, 87-95.
- Harman, E. 2023. Eskişehir Sulama Birliği Alanında Sulama Suyunun Etkin Kullanımının Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 443s., Ankara.

- Harman, E., & akmak, B. 2023. Sakaryabaşı Sulama Birliğinde Sulama Performansının Değerlendirilmesi. ÇOMÜ Ziraat Fakóltesi Dergisi, 112, 320-330.
- Howell, T., Schneider, A., & Evett, S. 1997. Subsurface and Surface Microirrigation of Corn - Southern High Plains. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 40-43.
- Howell, T. 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. Agronomy Journal.
- Huang, R., Birch, C., & George, D. 2011. Water Use Efficiency in Maize Production - The Challenge and Improvement Strategies. Proceedings of the 6th Triennial Conference Maize Association of Australia.
- Irmak, E. 2020. ukurova Koşullarında Danelik Mısırdaki Zea Mays L. Farklı Ekim Zamanlarının Dane Verimi ve Bazı Bitkisel Özellikler Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Jones, E., Oliphant, T., & Peterson, P. 2001. SciPy: Open Source Scientific Tools for Python. Research Gate.
- Kale, S., & Tarı, A. 2012. Sulu ve Kuru Koşullar Altında Kışlık Buğday İçin FAO-AQUACROP Modelinin Performansının Değerlendirilmesi. Toprak Su Dergisi, 119-131.
- Kaman, H., & Kırdar, C. 2008. Kısıntılı Sulama Altında Mısır Bitkisinin eşit Farklılığı. .Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 110-118.
- Kang, S., Zhang, L., Liang, Y., Hu, X., Cai, H., & Gu, B. 2002. Effects of Limited Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat in the Loess Plateau of China. Agricultural Water Management, 203-216.
- Kartal, S. 2019. Masat, Beyler ve Iğdır Sulama Şebekelerinin Performans Değerlendirmesi. Black Sea Journal of Agriculture, 22, 66-70.
- Kartal, S., Arslan, F., & Değirmenci, H. 2019. Boğaçay, amgazi ve Sarayköy Sulama Şebekelerinin İstatiksel Yöntemlerle Analizi. Black Sea Journal of Agriculture, 21, 37-34.
- Kartal, S., & Değirmenci, H. 2019. Performans Göstergelerine Göre Sulama Şebekelerinin Değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22, 222-229.
- Kartal, S., & Değirmenci, H. 2020. Antalya Bölgesi Sulama Şebekelerinin Değerlendirilmesi. Mediterranean Agricultural Sciences, 333, 381-388.
- Keller, A. A., & Keller, J. 1995. Effective Efficiency: A Water Use Efficiency Concept for Allocating Freshwater Resources. Center for Economic Policy Studies.

- Khaleghi, M., Karandish, F., & Chouchane, H. 2023. Assessing the Reliability of AquaCrop as a Decision-Support Tool for Sustainable Crop Production. *Theoretical and Applied Climatology*, 151, 209–226.
- Kijne, J., Barker, R., & Molden, D. 2003. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing.
- Kumar, V. 2018. Performance Evaluation of FAO-AquaCrop Model for Maize Crop in Eastern Part of Indo-Gangetic Plain. Doktora Tezi, Dr. Rajendra Prasad Central Agricultural University, Pusa Samastipur.
- Lithourgidis, A., Dordas, C., Damalas, C., & Vlachostergios, D. 2011. Annual Intercrops: An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 396-410.
- Liuzzo, L., Noto, L., Arnone, E., Caracciolo, D., & La Loggia, G. 2015. Modifications in Water Resources Availability Under Climate Changes: A Case Study in a Sicilian Basin. *Water Resources Management*, 1117-1135.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. 2011. The Green, Blue, and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1577-1600.
- Nur, A. 2019. Çukurova Koşullarında Lizimetre Yöntemiyle Mısır Bitki Su Tüketiminin ve Bitki Katsayılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Payero, J., Tarkalson, D., Irmak, S., Davison, D., & Petersen, J. 2009. Effect of Timing of a Deficit-Irrigation Allocation on Corn Evapotranspiration, Yield, Water Use Efficiency and Dry Mass. *Agricultural Water Management*, 1387-1397.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T., & Fang, J. 2010. The Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture in China. *Nature*, 4677311, Article 7311. <https://doi.org/10.1038/nature09364>.
- Olasehinde, R. B., Abegunrin, T. P., Olasehinde, D. A., Abass, L., Abioye, O. M., & Aniobi, M. M. 2024. Assessment of AquaCrop Model in Simulating Maize Yield and Biomass Response to Water Intake Under Rain-Fed Condition in Southwest Nigeria. 2024 International Conference on Science Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals SEB4SDG, Omu-Aran, Nigeria.
- Raeisi, L. G., Morid, S., Delavar, M., & Srinivasan, R. 2019. Effect and Side-Effect Assessment of Different Agricultural Water Saving Measures in an Integrated Framework. *Agricultural Water Management*.
- Sadras, V., & Milroy, S. 1996. Soil-Water Thresholds for the Responses of Leaf Expansion and Gas Exchange: A Review. *Field Crops Research*, 253-266.

- Saudy, H., & Bagoury, K. 2014. Quixotic Coupling Between Irrigation System and Maize-Cowpea Intercropping for Weed Suppression and Water Preservation. *African Crop Science Journal*, 97-108.
- Sears, L., Caparelli, J., Lee, C., Pan, D., Strandberg, G., Vuu, L., & Lawel, C. C. 2018. Jevons' Paradox and Efficient Irrigation Technology. *Sustainability*, 1-12.
- Sharma, B., Molden, D., & Cook, S. 2015. Water Use Efficiency in Agriculture: Measurement, Current Situation, and Trends. *AgEcon Search*, 39-64.
- Steduto, P., Hsiao, T., Raes, D., & Fereres, E. 2009. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, 426-437.
- Şen, B., Topçu, S., & Giorgi, F. 2008. Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, Ankara.
- Şen, B. 2009. Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresinde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi. *AGRIS - International System for Agricultural Science and Technology*.
- Şen, B., & Topçu, S. 2023. Çukurova Yöresi İçin Regcm Modelinin Gözlem Verileriyle Verifikasyonu. *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing*, 434-434.
- Takács, S., Csengeri, E., Pék, Z., Bíró, T., Szuvandzsiev, P., Palotás, G., & Helyes, L. 2021. Performance Evaluation of AquaCrop Model in Processing Tomato Biomass, Fruit Yield, and Water Stress Indicator Modelling. *Water*, 13, 3587.
- Tanışıklı, B., & Çakmak, B. 2023. Çorum Sulama Birliği'nde Su Yönetim Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 115, 994-1000.
- Taşçılar, D. 2008. Adana Koşullarında Yetiştirilen Bazı Mısır Zea Mays L. Çeşitlerinde Geleneksel ve Çift Sıralı Ekim Şekilleri İle Farklı Ekim Sıklıklarının Yeşil Ot, Tane Verimi ve Verim Öğelerine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa*.
- Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A. C., Patel, P. L., Delgado Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M. A., Clarke, L. E., & Edmonds, J. A. 2011. RCP4.5: A Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100. *Climatic Change*, 1091-2, Article PNNL-SA-75003.
- Todorovic, M., Albrizio, L., Saab, M.-T., Stöckle, C., & Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth Under Different Water Regimes. *Agronomy Journal*, 509-521.
- Topçu, E. 2018. Doğu Akdeniz Seyhan Ceyhan ve Asi Havzalarında Farklı Yöntemler Kullanılarak Kuraklık Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana*.

- Türkeş, M. 2020. İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim ve Gıda Güvenliğine Etkileri: Bilimsel Bir Değerlendirme. *Aegean Geographical Journal*, 125-149.
- Wang, Y., Li, S., Cui, Y., Qin, S., Guo, H., Yang, D., & Wang, C. 2021. Effect of Drip Irrigation on Soil Water Balance and Water Use Efficiency of Maize in Northwest China. *Water*, 13, 217.
- Weli, V., & Bajie, S. 2017. Adaptation of Root Crop Farming System to Climate Change in Ikwerre Local Government Area of Rivers State, Nigeria. *American Journal of Climate Change*, 61, 40-51.
- Yazgan, S., & Tatar, D. 2022. Bitki Gelişiminin Benzetimi Simülasyonu Ceres-Wheat Modeli. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 532, 161-166.
- Yılmaz, V. 2018. Sürdürülebilir Kalkınma ve Yeşil Büyüme Arasındaki İlişki. *Journal of International Management Educational and Economics Perspectives*, 79-89.
- Zwart, S., & Bastiaanssen, W. 2004. Review of Measured Crop Water Productivity Values for Irrigated Wheat, Rice, Cotton, and Maize. *Agricultural Water Management*, 69, 115-133.