

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SERA ÇATISINDAN HASAT EDİLEN YAĞMUR SULARININ SULAMADA
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAAN CAN DÖNMEZ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT KARAER

BİLECİK, 2025

10759617

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SERA ÇATISINDAN HASAT EDİLEN YAĞMUR SULARININ SULAMADA
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAAN CAN DÖNMEZ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT KARAER

BİLECİK, 2025

10759617

BEYAN

“Sera atısından Hasat Edilen Yağmur Sularının Sulamada Kullanım Olanaklarının Araştırılması” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİKKURUL onayı alınması durumunda ise ETİKKURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Kaan Can Dönmez

Tarih

.....

İmza

.....

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yolumu aydınlatan, akademik yolculuğuma ışık tutan, sadece bilgi birikimiyle değil aynı zamanda anlayışı, sabrı ve yapıcı yönlendirmeleriyle bu süreci benim için daha verimli ve anlamlı kılan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAER'e içten şükranlarımı sunarım.

Araştırma sürecimin çeşitli aşamalarında bana yol gösteren, fikirlerimi sabırla dinleyen, karşılaştığım zorluklarda çözüm yolları sunan ve akademik gelişimime büyük katkı sağlayan kıymetli kuzenim Doç. Dr. Elif ALTINTAŞ KAHRİMAN'a minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan, sevgisi, sabrı ve inancı ile bana güç veren sevgili aileme, akademik yolculuğumda bana ilham veren ve desteğiyle motivasyonumu daima yüksek tutan sevgilim Müge GÜREL'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen hocalarıma, aileme ve sevdiklerime katkıları ve manevi destekleri için gönülden teşekkür ederim.

Kaan Can Dönmez

2025

ÖZET

SERA ÇATISINDAN HASAT EDİLEN YAĞMUR SULARININ SULAMADA KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Dünyada ve ülkemizde kullanılabilir su miktarı ve su kaynakları üzerindeki olumsuz etkiler, küresel iklim değişikliği, artan nüfus, aşırı tüketim ve kirlenmenin etkisiyle her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, suyun etkin kullanımı, tasarrufu ve yönetimi günümüzde daha da önem kazanmış ve mevcut kaynakların yeni stratejilerle verimli ve akılcı kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Kaynakları en iyi şekilde kullanmak adına uygulanacak yeni stratejilerden birisi de yağmur suyu hasatıdır. Bu çalışmada, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Tarım Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan yüksek tünellerin çatısından toplanan yağmur sularının, serada sulama amaçlı kullanım potansiyeli incelenmiştir.

Çalışmada, örtüaltı içerisinde yıl boyunca domates, marul ve taze soğan yetiştiriciliğinin yapılacağı düşünülerek farklı senaryolar oluşturulmuş ve depolanan suyun ne kadar yeteceği tespit edilmiştir. Yetiştirilecek bitkilerin yıl boyunca bitki su ihtiyaçları Cropwat programı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, 2024 yılı iklim şartlarına göre sera çatısından yıllık depolanacak toplam su miktarı 115.45 m³ olarak hesaplanmıştır. Depolanan su yıl boyunca domates için gerekli suyun %35'ini, marul için gerekli olan suyun %33'ünü ve taze soğan için gerekli olan suyun %36'sını karşıladığı belirlenmiştir. Bu bulgular toplam sulama suyu ihtiyacının tamamının yağmurla karşılanamadığını fakat mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı büyük ölçüde azaltacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur Suyu Hasadı; Sera Sulaması; CROPWAT; Bilecik

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF USING RAINWATER HARVESTED FROM THE GREENHOUSE ROOF IN IRRIGATION

The amount of available water and the adverse impacts on water resources worldwide and in our country are increasing day by day due to global climate change, population growth, excessive consumption, and pollution. Therefore, the efficient use, conservation, and management of water have become increasingly important, making the rational and productive utilization of existing resources through new strategies inevitable. One of these strategies is rainwater harvesting. In this study, the potential use of rainwater collected from the roofs of high tunnels located at Bilecik Şeyh Edebali University, Agricultural Practice and Research Center, for irrigation in greenhouses was investigated.

Various scenarios were developed considering the year-round cultivation of tomato, lettuce, and green onion under high tunnels, and the extent to which the harvested water would meet irrigation needs was determined. The annual crop water requirements of the selected plants were estimated using the CROPWAT software. According to the calculations, under the climatic conditions of 2024, the total annual amount of water harvested from the greenhouse roofs was estimated at 115.45 m³. It was determined that the harvested water could enough 35% of the annual irrigation water requirement for tomato, 33% for lettuce, and 36% for green onion. These findings indicate that while the total irrigation demand cannot be fully met through rainwater harvesting, it can significantly reduce the pressure on existing water resources.

Keywords: Rainwater Harvesting; Greenhouse Irrigation; CROPWAT; Bilecik

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Deneme Alanı İklim Özellikleri.....	8
3.1.2. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri.....	9
3.1.3. Çalışma Alanı Sera Özellikleri.....	9
3.2. Yöntem.....	10
3.2.1. Çalışmada Kullanılan Sera Çatı Alanının Hesaplanması.....	10
3.2.2. Depolanabilecek Yağmur Suyunun Hesaplanması.....	10
3.2.3. Sera'da Üretimi Yapılacak Bitki Desenleri.....	11
3.2.4. Cropwat Programı ve Bitki Su Tüketimlerinin Hesabı.....	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	13
4.1. Depolanacak Yağmur Suyu Hesabı.....	13
4.2. Bitki Su İsteklerinin Belirlenmesi.....	13

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 20

KAYNAKÇA 22

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Bilecik İli 2024 Yılına Ait İklim Verileri.....	9
Tablo 3.2. Çalışma Alanının Bazı Toprak Özellikleri.....	9
Tablo 3.3. Bilecik İli Örtüaltı Tarım Potansiyeli.....	11
Tablo 4.1. Aylık Depolanacak Yağmur Suyu Miktarları	13
Tablo 4.2. Marul Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği	14
Tablo 4.3. Domates Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği.....	16
Tablo 4.4. Taze Soğan Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği.....	17

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma Alanında Yer Alan Seraların Uydu Görüntüsü.....	9
Şekil 3.2. Sera Çizimi ve Çatı Alanı Hesabı	10
Şekil 3.3. Cropwat Programıyla Bitki Su İsteği Hesabı.....	12
Şekil 4.1. Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Marul Sulama İhtiyacına Katkısı	15
Şekil 4.2. Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Domates Sulama İhtiyacına Katkısı.....	16
Şekil 4.3. Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Taze Soğan Sulama İhtiyacına Katkısı ...	18

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

% : Yüzde

m³ : Metre Küp

m² : Metre Kare

da : Dekar

mm : Milimetre

kg : Kilogram

pH : Bir Çözeltinin Asitlik veya Bazlık Derecesi

l : Litre

gal : Galon

USD : Dolar

°C : Santigrat

CaCO₃ : Kalsiyum Karbonat

EC : Tuzluluk Oranı

P₂O₅ : Fosfor Pentoksit

PVC : Polivinil Klorür (Plastik)

HDPE : Yüksek Yoğunluklu Poletilen

UV : Ultraviyole

ΣW : Toplam Yağmur Suyu Hasadı

A : Çatı Alanı

α : Çatı Katsayısı

β : Filtre Katsayısı

ETo : Belirli iklim koşullarında, standart referans bitkiden (genellikle çim) meydana gelen toplam buharlaşma + terleme miktarı.

kc : Belirli bir bitkinin su tüketimini, referans evapotranspirasyona (ETo) göre belirleyen katsayı.

1.GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi faktörler tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Kişi başına düşen küresel tatlı su miktarı 20. yüzyılın başlarında 16.800 m³ olarak hesaplanırken, günümüzde bu miktar 5.000 m³'ün altına düşmüştür (Gleick ve Cooley, 2021). Su kıtlığı, özellikle Afrika, Orta Doğu ve Güney Asya gibi kurak bölgelerde ciddi insani krizlere yol açmakta, içme suyu yetersizliği ve tarımsal üretim düşüşleri nedeniyle milyonlarca insanı etkilemektedir.

2050 yılına kadar 10 milyar insanı beslemek için tarımsal üretimde %50 artış (bugün su kaynaklarının %70'ini tüketmektedir) ve su çekimlerinde %15 artış gerekecektir. Bu artan talebe ek olarak, dünya nüfusunun %40'ından fazlası halihazırda su kıtlığı olan bölgelerde yaşamaktadır ve dünya GSYH'sinin yaklaşık dörtte biri bu riskle karşı karşıyadır. 2040 yılına kadar ise her dört çocuktan birinin aşırı su kıtlığı yaşanan bölgelerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Su güvenliği günümüzde birçok ülke için büyük ve giderek artan bir sorundur (World Bank 2021). Artan nüfus, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi etmenler, mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı artırarak özellikle tarımsal üretimde sürdürülebilir su yönetimini zorunlu hale getirmektedir. Geleneksel tarımsal sulama yöntemleri, suyun büyük bir kısmının buharlaşma ve drenaj yoluyla kaybolmasına neden olmakta ve bu durum küresel tatlı su kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmaktadır.

Bu bağlamda, küresel tatlı su tüketiminin %70'i tarımsal sulamaya, %20'si endüstriyel kullanıma ve yalnızca %10'u evsel tüketime ayrılmaktadır (England ve Connor 2024). Özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde tarımsal üretimin devamlılığı açısından su yönetiminde yeni teknolojilerin ve sürdürülebilir sulama yöntemlerinin uygulanması kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Geleneksel yöntemlerle yapılan sulama, suyun büyük oranda israf edilmesine neden olurken, akıllı sulama sistemleri, yağmur suyu hasadı gibi alternatif yöntemlerle desteklendiğinde, su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir ve tarımsal sürdürülebilirliği güçlendirebilir.

Özellikle sanayileşmiş ülkelerdeki yoğun su tüketimi, yeraltı ve yüzey su kaynaklarını hızla azaltmaktadır. Çin, Hindistan, ABD ve Avrupa ülkelerinde büyük nehirlerin bazılarında, aşırı tüketim nedeniyle su seviyeleri kritik seviyelere düşmüştür. Örneğin, Hindistan'daki Ganj Nehri, aşırı tarımsal sulama nedeniyle birçok noktada kuruma riski taşımaktadır.

ABD'deki Colorado Nehri de benzer şekilde aşırı tüketim nedeniyle kıyı bölgelerinde büyük ölçüde daralmıştır (Gleick, 2003).

Türkiye, su kaynakları açısından yarı kurak bir ülke olarak kabul edilmekte olup, kişi başına düşen yıllık tatlı su miktarı 1.350 m³ ile su stresi yaşayan ülkeler kategorisine girmektedir (MGM, 2023). Türkiye’de mevcut tatlı su kaynaklarının %74’ü tarımsal sulamada, %15’i endüstride ve %11’i evsel kullanımda tüketilmektedir (Holland vd. 2015). Tarımsal üretimin su tüketimindeki payı oldukça yüksek olup, Türkiye’nin yıllık toplam su tüketimi yaklaşık 54 milyar m³’tür ve bunun 40 milyar m³’ü doğrudan tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Endüstriyel ve evsel kullanımın toplam su tüketimindeki payı nispeten daha düşük olsa da, sanayileşmenin ve kentleşmenin artmasıyla birlikte, bu alanlardaki su ihtiyacı giderek büyümektedir.

Özellikle vahşi sulama yöntemlerinin hala yaygın kullanılması, tarımsal su tüketiminin büyük oranda verimsiz olmasına yol açmakta, bu da yeraltı ve yüzey su kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmaktadır. Geleneksel sulama yöntemlerinin yerini damla sulama, yağmurlama ve akıllı su yönetim sistemleri gibi daha verimli teknolojilere bırakması, su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Son yıllarda, Türkiye’de artan sıcaklıklar ve düzensiz yağış rejimleri, tatlı su kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır. Konya Kapalı Havzası, Burdur Gölü, Tuz Gölü ve birçok küçük su kaynağı kuruma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Ayrıca, İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde içme suyu rezervleri kritik seviyelere gerilemiştir.

Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre, Türkiye’nin toplam tatlı su rezervleri son 20 yılda %25 azalmıştır ve bu eğilim devam ederse 2050 yılına kadar kişi başına düşen tatlı su miktarının 1.000 m³’ün altına düşerek Türkiye’nin “su fakiri” statüsüne girmesi beklenmektedir (MGM, 2023).

Bu durum, Türkiye’de mevcut su yönetimi politikalarının yeniden değerlendirilmesini gerektirmekte olup, özellikle tarımsal sulamada daha verimli sistemlerin kullanılması ve alternatif su kaynaklarına yönelmesi zorunlu hale gelmiştir.

Tatlı su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımı için dünya genelinde birçok sürdürülebilir su yönetimi stratejisi uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- **Yağmur Suyu Hasadı:** Tarımsal ve evsel kullanım için yağmur suyunun toplanması ve değerlendirilmesi.
- **Damlama Sulama Sistemleri:** Geleneksel vahşi sulama yöntemlerine kıyasla suyu %50’ye varan oranlarda tasarruf eden sistemler.

- **Gri Su Kullanımı:** Evsel ve endüstriyel suyun arıtılarak tekrar kullanılması.
- **Yeraltı Su Yönetimi:** Aşırı su tüketiminin önlenmesi ve yeraltı sularının korunması için sürdürülen projeler.
- **Sulama Planlaması ve Dijital Takip Sistemleri:** Tarımsal üretimde sensör tabanlı sulama sistemleri ile suyun daha verimli kullanılması.

Özellikle kurak bölgelerde, yağmur suyu hasadı, bu sürdürülebilir su yönetimi yöntemlerinden en etkili olanlarından biri olarak kabul edilmekte ve birçok ülkede aktif olarak uygulanmaktadır.

Tatlı su kaynaklarının azalması, geleneksel su kullanım yöntemlerinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yağmur suyu hasadı, su yönetiminin önemli bir unsuru haline gelmiştir.

Yağmur suyu hasadı, atmosferden düşen yağmur suyunun çatılar, yüzeyler veya özel olarak tasarlanmış sistemler aracılığıyla toplanarak depolanması ve çeşitli amaçlarla kullanılması sürecidir. Bu yöntem, özellikle tarımsal sulama, içme suyu temini ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir alternatif su yönetimi çözümü sunmaktadır.

Dünya genelinde tatlı su kaynaklarının azalması, su yönetimi stratejilerinin çeşitlendirilmesini ve alternatif su kaynaklarına yönelmesini zorunlu hale getirmiştir. Yağmur suyu hasadı, bu alternatiflerden biri olup, suyun doğrudan atmosferden toplanarak kullanıma sunulmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, doğal su döngüsünü destekleyerek yüzey suyu tüketimini azaltır, yeraltı su kaynaklarının tükenmesini önler ve tarımsal üretimde su verimliliğini artırır.

Yağmur suyu hasadı, toplama alanı (genellikle bina çatıları veya açık araziler), taşıma sistemleri (oluklar, borular) ve depolama birimlerinden (tanklar, sarnıçlar) oluşur. Bu su, filtreleme ve arıtma süreçlerinden geçirilerek doğrudan sulama, içme suyu veya endüstriyel kullanım için değerlendirilebilir. Özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde ve kurak iklime sahip alanlarda, bu yöntem büyük önem taşımaktadır. Hindistan, Avustralya ve ABD gibi ülkelerde, yağmur suyu hasadı devlet politikalarıyla desteklenerek tarımsal sürdürülebilirlik açısından teşvik edilmektedir.

Geleneksel ve modern sistemler kullanılarak gerçekleştirilen yağmur suyu hasadı, su kaynaklarının korunmasına ve küresel iklim değişikliğinin su üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olan sürdürülebilir bir çözümdür.

Bu çalışmada da Bilecik ilinde sera çatısından toplanan yağmur sularının tarımsal sulama amaçlı kullanım potansiyeli araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Türkiye’de en çok sera alanına sahip Antalya’da sera çatılarına düşen yağışların depolanarak sulama amaçla kullanım olanaklarının incelendiği çalışmada uzun yıllar yağış verileri kullanılmıştır. Antalya’da, seralardan elde edilebilen yağmur hasadındaki su miktarı yıllık 224.992.795,8 m³ olarak hesaplanmıştır. Yıl boyunca yapılan aylık hesaplamalar sonucunda en az suyun Ağustos ayında (938.447,53 m³), en fazla suyun ise Aralık ayında (54.771.210 m³) hasat edilebileceği belirlenmiştir. Çalışmada sera yakın alanlarında oluşturulacak depolama alanları ile bitki su tüketiminin bir kısmının karşılanabileceği sonucuna varılmıştır (Ertop vd. 2023).

Kırşehir koşullarında ısıtmalı ve ısıtmasız domates seralarında çatılardan toplanan yağmur suyunun sulamada kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Çalışmada yıllık ortalama 388.3 L m⁻² yağıştan 349.57 L m⁻² suyun hasat edilebileceği belirlenmiştir. Nisan–Eylül tek ürün döneminde bitki su ihtiyacının %61.49’unun yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceği, yıllık bazda ise ısıtmalı serada ihtiyacın %47.74’ünün sağlanabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca depolama gereksinimi ısıtmasız sera için 0.21 m³ m⁻², ısıtmalı sera için 0.30 m³ m⁻² olarak hesaplanmıştır (Boyacı ve Kartal 2019a).

Antalya’nın Kumluca ilçesinde yürüttükleri çalışmada, ısıtmasız domates serasında çatıdan toplanan yağmur suyunun sulama ihtiyacını karşılama potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada 734.44 L m⁻² yağıştan 661.00 L m⁻² suyun hasat edilebildiği, Eylül–Haziran döneminde bitki su ihtiyacının (569.86 L m⁻²) tamamen karşılanabileceği belirlenmiştir. Bu koşullarda gerekli depo hacminin 0.40 m³ m⁻² olduğu ifade edilmiştir (Boyacı ve Kartal, 2019b).

Mersin koşullarında ısıtmasız domates seralarında FAO-Radiation ve FAO-Blaney-Criddle yöntemleriyle hesaplanan sulama ihtiyaçlarının yağmur suyu hasadıyla ne ölçüde karşılanabileceğini ortaya koymuşlardır. Sonuçlara göre FAO-Radiation yöntemine göre 0.25 m³ m⁻², FAO-Blaney-Criddle yöntemine göre ise 0.19 m³ m⁻² depo hacmiyle sırasıyla Kasım–Mayıs (7 ay) ve Kasım–Nisan (6 ay) dönemlerinde tüm sulama ihtiyacının yağmur suyuyla karşılanabileceği tespit edilmiştir (Baytorun vd. 2019).

Batı Akdeniz, Doğu Akdeniz ve karasal iklim bölgelerinde sera çatılarından yağmur suyu hasadı potansiyelini incelemek üzere yürütülen çalışmada Batı Akdeniz’de yağışın %90’ının hasat edilmesiyle yıllık bitki su tüketiminin %72’si, Doğu Akdeniz’de %45’i, karasal

bölgelerde ise %22–32’sinin karşılanabileceği ortaya konmuştur. Depo hacimleri Batı Akdeniz için $0.420 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, Doğu Akdeniz için $0.096 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ve Kırşehir için $0.044 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır (Baytorun vd. 2022).

Bursa Uludağ Üniversitesi yerleşkesindeki seralarda marul üretimi üzerinden yağmur suyu hasadı sisteminin uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada yıllık potansiyel 1179 ton yağmur suyunun toplanabileceği, bunun da yıllık marul su ihtiyacını %100 karşılayabileceği belirlenmiştir. Hasat edilebilir su miktarı 518 L m^{-2} , yıllık tüketim ise 468 L m^{-2} olarak hesaplanmıştır. Sistemin 25 yıllık ömründe geri ödeme süresi 12.5 yıl olarak belirlenmiştir (Kılıç vd. 2024).

Yunanistan’da begonya ve domates yetiştirilen iki farklı serada yağmur suyu hasadına dayalı tank boyutlandırması incelenen çalışmada günlük su dengesi modeline göre begonya için $100\text{--}200 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^2$ kapalı tankla %65–72 güvenilirlik, domates için ise $100\text{--}290 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^2$ kapalı tankla %90–100 güvenilirlik elde edilmiştir. Açık tanklarda güvenilirlik %91’e kadar çıkmış, daha sonra düşüş gözlenmiştir (Londra vd. 2021).

Hindistan’ın Ludhiana bölgesinde yürütülen bir çalışmada, araştırmacılar 560 m^2 sera çatısından 235.84 m^3 yağmur suyu hasat potansiyeli olduğunu belirlemişlerdir. 125 m^3 ’lük depo hacmiyle kapa biber sulama ihtiyacının yaklaşık %60’ının karşılanabileceği saptanmıştır (Singh vd. 2019).

ABD’nin farklı eyaletlerinde yürütülen yüksek tünel (ısıtmasız sera) çalışmasında, domates, salatalık ve pancar yetiştiriciliğinde yağmur suyu hasadıyla sulama ihtiyacının karşılanma oranları incelenmiştir. Vermont koşullarında 3000 gal (11.4 m^3) tank hacmiyle sulama ihtiyacının %99’u karşılanabilirken, Kaliforniya’da aynı tank hacmiyle sadece %17’sinin karşılanabildiği belirlenmiştir. Optimum depo hacminin birçok eyalet için 1500 gal (5.7 m^3) civarında olduğu, ekonomik faydanın ise yağış miktarı ve su fiyatına duyarlı olduğu vurgulanmıştır (Aydogdu, 2024).

Antalya, Adana, Afyonkarahisar ve Kırşehir illerinde yürütülen çalışmada sera çatılarından toplanan yağmur suyunun yıllık bitki su tüketimini karşılama oranları sırasıyla %80.79, %54.27, %27.47 ve %25.16 olarak hesaplanmışlardır. Yıllık su faturası tasarrufları ise Antalya için 901.3 USD, Adana için 835.3 USD, Afyonkarahisar için 247.6 USD ve Kırşehir için 210.2 USD olarak belirlenmiştir (Boyacı vd. 2024).

İtalya'da gerçekleştirilen bir çalışmada, binaların çatılarından hasat edilebilir yağmur suyunun, 2631 meyve sebze bahçesinin sulanması için kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada arazi kullanım durumlarına göre (bahçecilik, karma ürünler, zeytinlikler, meyve bahçeleri ve üzüm bağları) hasat edilen suyun yüksek veya düşük oranda kullanılabilirlik oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bahçelerin sırasıyla %19'un düşük, %33'ünün ise yüksek sulama verimliliğine sahip olduğunu kalan bahçelerin ise mevcut yağmur suları kullanılarak su ihtiyacının %22'sini (düşük verimlilik) ve %44'ünü (yüksek verimlilik) karşılayabileceğini ve bununla geleneksel su kaynaklarının kullanımında azalmaya yol açacağını sonucuna varmışlardır (Lupia vd. 2017).

Akdeniz iklim koşullarında yapılan bir yaşam döngüsü analizinde, sera çatılarında su toplama ve kullanma senaryoları değerlendirilmiştir. Çalışma Barselona'da iki sistem kıyaslamış: 1) tarım amaçlı su toplayan sera çatısı, 2) güneş paneli ile kombine sistem. Yağmur hasadı sisteminin özellikle yaz aylarında %40 su kazancı sağladığı ve karbon ayak izini %20 azalttığı tespit edilmiştir (Corcelli vd. 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama arazisinde bulunan yüksek tüneller örnek alınarak yürütülmüştür. Çalışmada sera çatısına düşen yağmur sularının depolanması halinde su kaynaklarımızdan ne kadar tasarruf edeceğimizi görmek amacıyla planlanmıştır.

3.1.1. Deneme Alanı İklim Özellikleri

Arazi, Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda, İç Anadolu ve Karadeniz bölgeleri ile geçiş zonunda bulunması nedeniyle karma iklimsel özellikler göstermektedir. Bu durum, hem seracılık hem de açık tarım uygulamaları için elverişli koşullar sunmakta olup, farklı iklim senaryolarının aynı lokasyonda modellenmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle yılın dört mevsiminde üretim yapılabilecek potansiyel bir alan olması, araştırma açısından bu bölgeyi stratejik kılmaktadır.

Bilecik ili, yıllık ortalama sıcaklık ve nem verileri açısından seracılığa uygun bir iklim sunmaktadır. Bilecik ilinin geçit bölgesinde bulunması, su kaynakları ve farklılık gösteren topografyasına paralel olarak 3 farklı iklim tipi görülür. Bilecik İlinde yıllık yağış toplamı 450 kg/m² dolayındadır. Yağış en çok ocak ve mayıs aylarında düşmektedir. Yıllık sıcaklık ortalaması 12,3 °C'dir. Çalışmayı planladığımız 2024 yılına ait iklim verileri temel alınarak yapılan değerlendirmede, yıl boyunca sıcaklık değerlerinin 4.6°C ile 24.9°C arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3.1). Seracılığın sürdürülebilirliği açısından bu değerler büyük önem taşımakta, özellikle yılın ilk çeyreğinde (Ocak–Mart) ve son çeyreğinde (Ekim–Aralık) örtü altı üretimi zorunlu hale getirmektedir. Nem oranları da üretimi doğrudan etkilemektedir. Nispi nem değerleri de %50,4 ile %79,5 arasında değişmektedir. Bu aralık, özellikle marul, ıspanak ve roka gibi nem seven yapraklı sebzeler için oldukça uygun bir ortam sağlamaktadır.

Yağış verilerine bakıldığında, toplam yağışın yılın ilk aylarında (Ocak: 98.8 mm) yoğunlaştığı, yaz aylarında ise şiddetli bir şekilde düştüğü (Temmuz: 2.6 mm) görülmektedir. Bu durum, yaz aylarında yağmur suyu hasadına olan ihtiyacı net biçimde ortaya koymaktadır.

Çalışmanın tasarlandığı 2024 yılına ait iklim verileri de Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bilecik İli 2024 Yılına Ait İklim Verileri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.6	7.8	9.2	16	15.1	24.5	24.9	24.2	20.8	14.2	8.2	6.3
Ortalama Nispi (%)	79.5	68.4	68.2	55.8	69.6	50.4	59	54.5	62.6	69.6	79.5	84.5
Toplam Yağış (mm=kg÷m²)	98.8	24.8	33.3	8.2	53.9	0	55.9	2.6	12.7	26.2	55.9	55.9
Toplam Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	0	0	3.6	111.9	117	227.2	213	217.4	112.8	57.9	1.2	0

Kaynak: Bilecik Meteoroloji Müdürlüğü (2024)

3.1.2. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri

Çalışma alanının toprağı killi tınlı yapıda olup su tutma kapasitesi orta düzeydedir. Toprak hafif alkali özellik göstermekte ve tuz içeriğı düşüktür. Kireç yönünden zengin olan toprak, organik madde bakımından fakirdir. Fosfor içeriğı oldukça yüksek seviyededir. Potasyum ve azot miktarları ise yeterli düzeydedir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Çalışma Alanının Bazı Toprak Özellikleri

pH	EC dS/m	Kireç (CaCO ₃) %	Organik Madde %	Fosfor (P ₂ O ₅) kg/da	Potasyum (K ₂ O) kg/da	Toplam Azot %
7,99	0,81	3,96	1,32	24,32	57	0,14

3.1.3. Çalışma Alanı Sera Özellikleri

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezinde (40.110404° N, 30.000733° E) bulunan yüksek tünellere göre tasarlanmıştır.



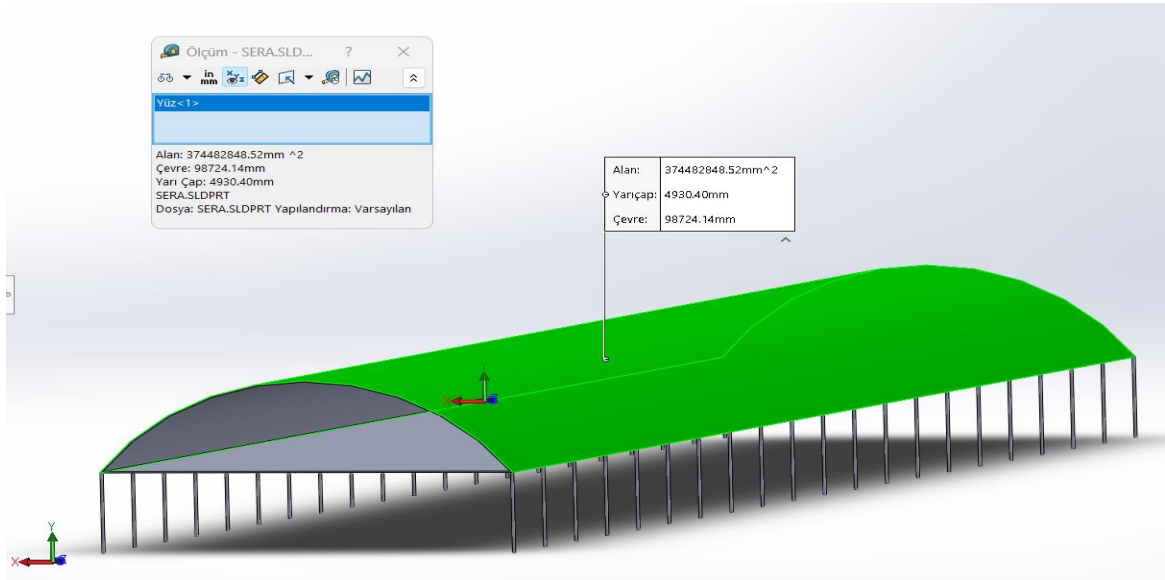
Şekil 3.1. Çalışma Alanında Yer Alan Seraların Uydu Görüntüsü

Araştırmada kullanılan sera, tünel tipi sera formunda olup, örtü materyali olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) esaslı şeffaf naylon kullanılmıştır. Bu malzeme, ışık geçirgenliği ve UV dayanımı bakımından seracılıkta yaygın şekilde tercih edilmektedir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Çalışmada Kullanılan Sera Çatı Alanının Hesaplanması

Çalışma alanında bulunan seranın ölçüleri alınmış ve bu ölçülere göre Solidworks 2016 paket programı kullanılarak sera çizilmiş ve çatı alanı hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Yapılan hesaplamalara göre de çatı alanı 374.48 m² olarak belirlenmiştir. Seranın eni 7.90 m, boyu 40 m, yerden yüksekliği 3.80 m, yay yüksekliği ise 2,80 m olarak ölçülmüştür. Seranın toplam taban alanı da 316 m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Sera Çizimi ve Çatı Alanı Hesabı

3.2.2. Depolanabilecek Yağmur Suyunun Hesaplanması

Yağış çatı yüzeye düştüğünde, çatı eğimi sayesinde su oluklara yönlendirilmekte, oradan da borular aracılığıyla kapalı bir depolama sistemine aktarılmaktadır. Kullanılacak oluklar çinko kaplı galvaniz sac ya da PVC esaslı olabilir. Sistemde, kirlilik ve partikülleri filtrelemek amacıyla basit bir ön filtre ve gerekirse ilk yıkama ünitesi (first flush diverter) yerleştirilebilir. Çatıya düşen suların depolanması bu esaslara göre yapılmaktadır. Depolanacak yağmur suyu miktarı, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Ball, 2001).

$$\sum W = A \times M \times \alpha \times \beta \quad (3.1.)$$

Eşitlikte; $\sum W$: Yağmur suyu verimi: toplam yağmur suyu hasadı (m³), A: Yağmur suyu toplanacak yapıya ait çatı alandır (m²), M: Hesaplama yapılacak dönemdeki toplam yağış miktarı (mm), α : Çatı katsayısı, β : Filtre etkinlik katsayısını ifade etmektedir. Çatı katsayısı

(0.75 – 0.90 arası) Polietilen çatı için 0.85 alınmıştır. Filtre etkinlik katsayısı, çatıdan depolanan yağmur sularının filtre verimlilik katsayısıdır. Yağmur suyunun bir miktarının filtreden geçerken kaybolacağı öngörülerek belirlenir. DIN (1989) standardına göre 0.9 olarak belirtilmektedir. Not: 1 mm yağış = 1 litre/m² su anlamına gelir. Bu nedenle formül sadeleştirilmiş haliyle litre cinsinden doğrudan hesap yapmaya uygundur.

3.2.3. Serada Üretimi Yapılacak Bitki Desenleri

Bu çalışmada, yağmur suyu hasadının sera koşullarında sulama suyu kaynağı olarak potansiyelini değerlendirmek amacıyla yıl boyunca örtü altında üretim yapılacağı öngörülerek farklı sebze türlerinden oluşan üç ayrı ürün senaryosu ile bitki desenleri oluşturulmuştur (Tablo 3.3).

Bitki seçimleri yapılırken Bilecik ilinin örtü artı tarım potansiyeli araştırılmış, en çok yetiştirilen ürünler temel alınarak farklı üretim senaryoları geliştirilmiştir. Bilecik ilinin toplam örtü altı potansiyeli baktığımızda 9827 dekar alanda tarım yapılmaktadır. En çok örtü altında tarımı yapılan ürünlerde ise marul, domates, hıyar, roka ve taze soğan ön plana çıkmaktadır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Bilecik İli Örtüaltı Tarım Potansiyeli

	Domates (Sofralık)	Marul (Kıvrıkcık)	Maydanoz	Roka	Tere	Hıyar (Sofralık)	Soğan (Taze)	Biber	Toplam
Ekilen alan (da)	2490	4970	18	248	16	1848	234	3	9827
Üretim miktarı (ton)	20733	16335	32	361	20	21884	2094	10	61469

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (2024)

Bu verilerden yola çıkarak Bilecik ilinde örtüaltında en çok tarımı yapılan ürünlerden marul, domates ve taze soğan bitkileri seçilmiş ve bunlara göre hesaplamalar yapılmıştır. Her bir üretim senaryosunda belirlediğimiz ürünlerin yıl boyunca üretiminin yapıldığı varsayılmıştır. Hazırlanan senaryolar yalnızca bitki desenine dayalı bir üretim planı değil, aynı zamanda yağmur suyu hasadı sisteminin mevsimsel verimliliğini analiz etmeye yönelik veri altyapısı sağlamaktadır. Her bir bitki için Bilecik iline ait yağış verileri karşılaştırılmış ve yağmur suyunun sulama ihtiyacını ne ölçüde karşılayabileceği analiz edilmiştir. Bu sistematik yaklaşım, gelecekteki tarımsal uygulamalarda sürdürülebilir su yönetimi stratejileri açısından örnek teşkil etmektedir.

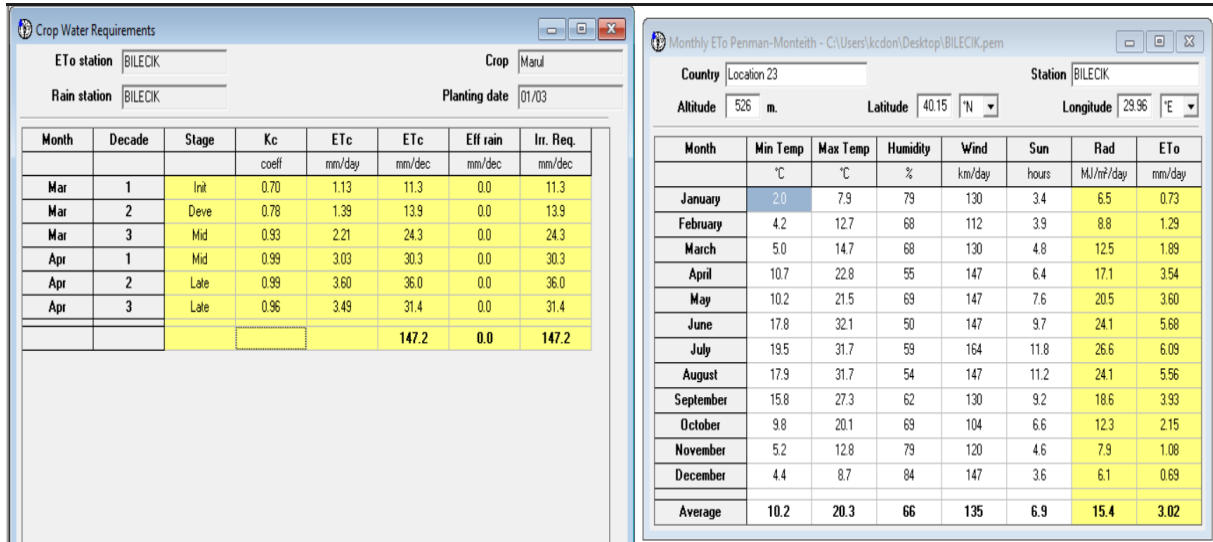
Çalışma kapsamında oluşturulan üç farklı bitki üretim senaryosu ile birlikte, bu ürünlerin su tüketim değerlerinin belirlenmesinde CROPWAT yazılımının hesaplama prensiplerinden yararlanılmıştır.

3.2.4. Cropwat Programı ve Bitki Su Tüketimlerinin Hesabı

CROPWAT, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş bir tarımsal su yönetimi programıdır (FAO, 1992). Bitkilerin su ihtiyacını belirleme, etkili sulama planlaması yapma ve çeşitli iklim ile toprak koşulları altında sulama stratejilerini simüle etme amacıyla kullanılmaktadır.

Yazılım, FAO Penman-Monteith yöntemi ile referans evapotranspirasyon (ET₀) hesaplamalarını esas alır ve farklı büyüme evrelerine ait bitki katsayısı (K_c) değerleriyle ayrıntılı analizler yapılmasına olanak tanır.

Programda kullanılan iklim verileri Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) kaynaklı olarak kullanılırken, bitki gelişim parametreleri FAO referans tablolarından alınmıştır. Böylece, Bilecik ili koşullarında sera çatılarından toplanan yağmur suyunun, örtü altı üretimdeki sulama ihtiyacını hangi düzeyde karşılayabileceği bilimsel temellere dayanarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Cropwat Programıyla Bitki Su İsteği Hesabı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Depolanacak Yağmur Suyu Hesabı

Çalışmayı yaptığımız 2024 yılı iklim verilerine baktığımız da yıl boyu Bilecik iline düşen toplam yağış miktarı 428.2 mm olmuştur. Yağmur suyu verimini hesaplama da kullandığımız formüle göre yıllık depolayacağımız toplam su miktarı 122.67 m³ olarak hesaplanmıştır. Aylık olarak baktığımızda ise en çok su miktarının Ocak ayında (28.30 m³), en düşük ise Ağustos ayında (0.74 m³) depolandığı belirlenmiştir (Tablo 4.1.)

Tablo 4.1. Aylık Depolanacak Yağmur Suyu Miktarları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
Depolanacak yağmur suyu miktarı (m ³)	28.30	7.10	9.54	2.35	15.44	0.00	16.01	0.74	3.64	7.51	16.01	16.01	122.67

4.2. Bitki Su İsteklerinin Belirlenmesi

Cropwat programı kullanılarak belirlenen her bir üretim senaryosu için bitki su istekleri hesaplanmıştır. Cropwat programında gerekli olan iklim verileri için meteoroloji istasyonun alınan veriler manuel olarak elle girilmiştir. Bitkiler için ekim dikim tarihleri ve kc katsayıları da belirlenmiş ve elle girilerek her bir bitki için tek tek bitki su isteği değerleri belirlenmiş ve bitki yetiştirme dönemleri için hesaplanan depolanacak yağmur suyu miktarları ile ne kadar suyun depolardan karşılanabileceği tespit edilmiştir.

Örtüaltında marul yetiştiriciliği yaptığımız senaryo 1 için depolanan su miktarı, sulama suyu ihtiyacı ve yağışlarla karşılanan ve karşılanamayan su miktarları Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablodaki veriler, sera çatılarından toplanan yağmur suyunun depolanarak marul üretiminde sulama amacıyla kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Bulgular, farklı üretim dönemlerinde yağış ve depolama miktarları arasında belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir. Örneğin, 01.01.2024 – 01.03.2024 döneminde depolanan 35.40 m³ suyun 17,54 m³’lük sulama ihtiyacını tamamen karşıladığı ve bu dönemin sonunda 17.86 m³ suyun depoda artı olarak kaldığı görülmektedir. Ancak, 29.04.2024–27.06.2024 ve 27.06.2024–25.08.2024 dönemlerinde yağışlarla karşılanan su miktarı (sırasıyla 15.44 ve 16.75 m³) sulama ihtiyacının oldukça altında kalmış, bu da 63.72 m³ ve 82.41 m³ ek sulama suyu gereksinimi doğurmuştur. Bu durum, yaz aylarında artan evapotranspirasyon ve azalan yağış miktarlarının su açığını artırdığını göstermektedir.

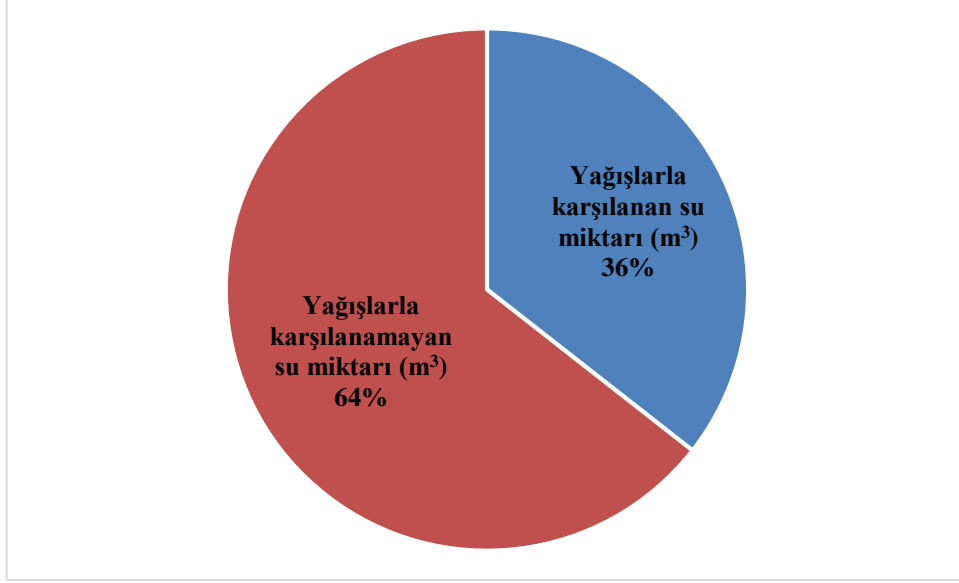
Ayrıca, tüm üretim dönemleri incelendiğinde yalnızca kış aylarında (01.01.2024–01.03.2024 ve 23.10.2024–21.12.2024) yağışlarla sulama ihtiyacının büyük oranda

karşılandığı, buna karşın ilkbahar ve yaz dönemlerinde yağmur suyunun tek başına yeterli olmadığı görülmektedir. Bu bulgu, sera ölçeğinde yağmur suyu hasadının su tasarrufuna önemli katkılar sağlayabileceğini, ancak özellikle yaz dönemlerinde ilave sulama kaynaklarının zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.2. Marul Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği

Üretim Tarihleri	Ürünler	Depolanan Su Miktarı (m ³)	Sulama Suyu İhtiyacı (m ³)	Yağışlarla Karşılanan Su Miktarı (m ³)	Yağışlarla Karşılanamayan Su Miktarı (m ³)	Depoda Kalan Su Miktarı (m ³)
01.01/01.03	Marul	35.40	17.54	17.54	0	17.86
01.03/29.04	Marul	29.75	46.52	29.75	16.77	0
29.04/27.06	Marul	15.44	79.16	15.44	63.72	0
27.06/25.08	Marul	16.75	99.16	16.75	82.41	0
25.08/23.10	Marul	11.15	55.93	11.15	44.78	0
23.10/21.12	Marul	32.02	46.52	32.02	14.50	0

Şekil 4.2. incelendiğinde, sera çatılarından toplanan yağmur sularının toplam sulama suyu ihtiyacının %36'sını karşılayabildiği, geri kalan %64'lük kısmın ise yağışlarla karşılanamadığı görülmektedir. Bu bulgu, yağmur suyu hasadının tarımsal sulamada tamamen bağımsız bir kaynak olamayacağını, ancak sulama suyu ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilecek tamamlayıcı bir kaynak olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, %36'lık karşılama oranı, sera ölçeğinde yağmur suyu hasadının su tasarrufu ve sürdürülebilir su yönetimi açısından dikkate değer bir katkı sunduğunu göstermektedir. Bu sonuç, yağmur suyu depolama kapasitesinin artırılması, yağış rejimine uygun üretim planlaması yapılması ve su verimliliğini artıracak sulama teknolojilerinin kullanılması halinde yağmur suyunun daha etkin değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1. Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Marul Sulama İhtiyacına Katkısı

Tablo 4.3 incelendiğinde, sera çatılarından toplanan yağmur sularının domates üretiminde sulama ihtiyacını karşılama düzeyinin dönemler arasında belirgin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. 01.01–05.05.2024 döneminde depolanan 47.29 m³ suyun tamamı sulamada kullanılmış ve bu miktar ihtiyacın %63.8’ini karşılamıştır. Ancak 26.91 m³’lük bir ek su gereksinimi doğmuştur. 05.05–06.09.2024 döneminde ise sulama ihtiyacı oldukça yükselmiş (197,69 m³), buna karşın depolanan 32.19 m³ su yalnızca ihtiyacın %16.28’ini karşılayabilmiştir. Bu dönem, yaz aylarına denk geldiğinden, artan evapotranspirasyon ve düşen yağış miktarları nedeniyle su açığının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir (165.50 m³ ek su ihtiyacı). 06.09–08.01.2024 döneminde ise yağışların artmasıyla birlikte depolanan 43.17 m³ su, sulama suyu ihtiyacının %77.3’ünü karşıladığı ve yalnızca 12.64 m³ ek suya ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

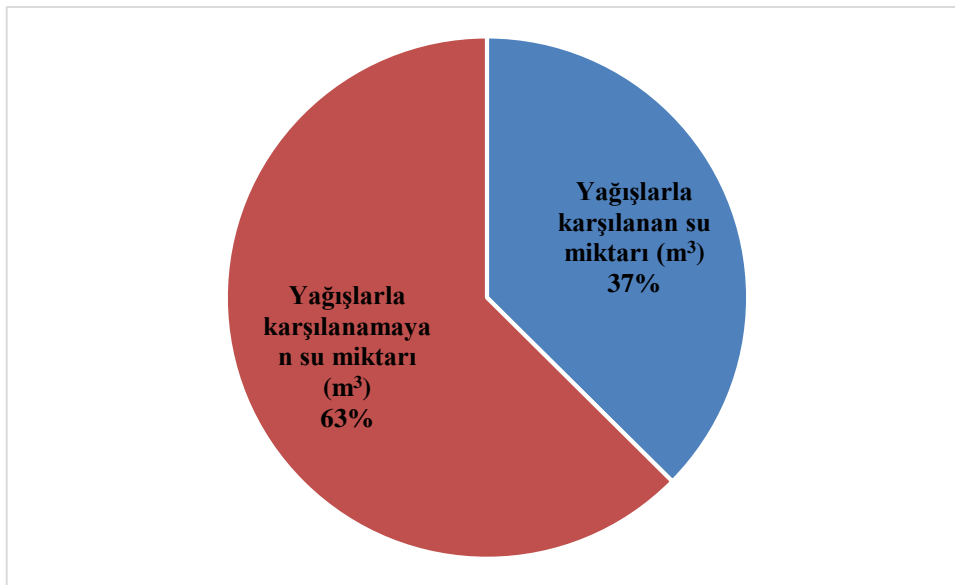
Genel olarak, domates üretiminde yağmur suyu hasadı sulama ihtiyacını tam olarak karşılayamamakla birlikte, özellikle ilkbahar ve sonbahar–kış dönemlerinde su talebini ciddi ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, yaz döneminde yüksek su ihtiyacının yağışlarla karşılanamaması, yağmur suyu hasadının tamamlayıcı bir kaynak olduğunu, üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilmesi için mutlaka ek sulama kaynaklarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca, depolama kapasitesinin artırılması veya yağışlı dönemlerde biriken suyun yaz aylarına taşınması gibi yöntemlerin uygulanması, bu açığın azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Tablo 4.3. Domates Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği

Üretim Tarihleri	Ürünler	Depolanan Su Miktarı (m ³)	Sulama Suyu İhtiyacı (m ³)	Yağışlarla Karşılanan Su Miktarı (m ³)	Yağışlarla Karşılanamayan Su Miktarı (m ³)	Depoda Kalan Su Miktarı (m ³)
01.01/05.05	Domates	47.29	74.20	47.29	26.91	0
05.05/06.09	Domates	32.19	197.69	32.19	165.50	0
06.09/08.01	Domates	43.17	55.81	43.17	12.64	0

Şekil 4.3'e bakıldığında toplanan yağmur sularının domates üretiminde toplam sulama ihtiyacının yalnızca %37'sini karşılayabildiği, buna karşılık %63'lük kısmın ise karşılanamadığı görülmektedir. Bu sonuç, yağmur suyu hasadının domates yetiştiriciliğinde tamamen bağımsız bir sulama kaynağı olamayacağını, ancak sulama suyu ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilecek tamamlayıcı bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Özellikle domatesin yaz aylarına denk gelen yetiştirme döneminde artan su talebi ve yüksek evapotranspirasyon değerleri nedeniyle yağışlarla karşılanamayan su miktarının yüksek oluşu dikkat çekmektedir.

Dolayısıyla, yağmur suyu hasadı domates yetiştiriciliğinde su tasarrufuna katkı sağlamakla birlikte tek başına yeterli değildir. Bu durum, ilave sulama kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmakta ve aynı zamanda yağmur suyu depolama kapasitesinin artırılması, suyun daha verimli yönetilmesi ve modern sulama tekniklerinin uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.2 Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Domates Sulama İhtiyacına Katkısı

Tablodaki bulgular, sera çatılarından toplanan yağmur suyunun taze soğan üretiminde sulama ihtiyacını karşılama potansiyelini ortaya koymaktadır. 01.01–18.03.2024 döneminde depolanan 40.17 m³ suyun 26.83 m³'lük sulama ihtiyacını tamamen karşıladığı, hatta 13.34 m³ suyun depoda arttığı görülmektedir. Benzer şekilde, 01.11–16.01.2024 döneminde 46.17 m³'lük depolama kapasitesinin ihtiyacın üzerinde olduğu ve sulama suyu gereksiniminin tamamının yağışlarla karşılandığı belirlenmiştir. Bu bulgular, kış aylarında yağış miktarının yüksek oluşu nedeniyle yağmur suyu hasadının sulama için oldukça elverişli olduğunu göstermektedir.

Buna karşın, 18.03–02.06.2024 döneminde 76.95 m³'lük ihtiyacın yalnızca %46.6'sı (35.90 m³) yağmur suyuyla karşılanabilmiş, 44.73 m³ ek sulama ihtiyacı doğmuştur. Daha kritik olarak, 02.06–17.08.2024 döneminde sulama ihtiyacı 132.09 m³'e ulaşmış, ancak yağmur suyuyla karşılanabilen miktar yalnızca %12.40 (16.38 m³) seviyesinde kalmıştır. Bu durum, yaz aylarında artan evapotranspirasyon ve azalan yağış miktarlarının taze soğan üretiminde yüksek su açığı oluşturduğunu göstermektedir. 17.08–01.11.2024 döneminde de benzer şekilde ihtiyacın yalnızca %15.6'sı karşılanabilmiş, 62.01 m³ ek su ihtiyacı doğmuştur.

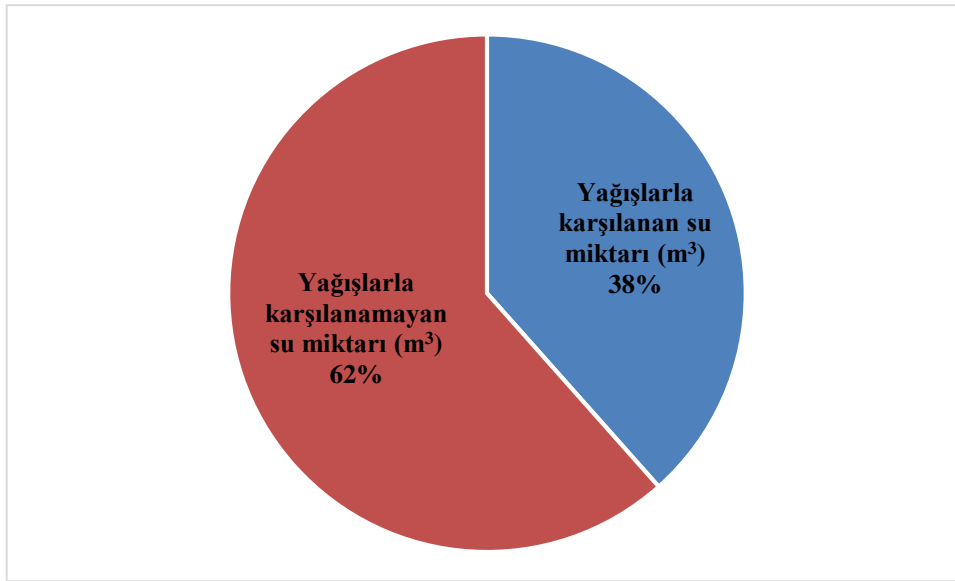
Genel olarak değerlendirildiğinde, yağmur suyu hasadı taze soğan yetiştiriciliğinde kış ve erken ilkbahar dönemlerinde sulama ihtiyacını büyük ölçüde karşılayabilmekte, ancak yaz ve sonbahar aylarında yetersiz kalmaktadır. Bu durum, yağmur suyu hasadının tamamlayıcı bir sulama kaynağı olarak önem taşıdığını, ancak üretimde sürdürülebilirlik için ilave sulama kaynaklarının zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, depolama kapasitesinin artırılması veya kış aylarında biriken fazla suyun yaz dönemine aktarılabilmesi halinde, su açığının azaltılabileceği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.4. Taze Soğan Üretim Dönemlerinde Sulama Suyu İhtiyacı ve Depolanan Yağmur Suyunun Kullanılabilirliği

Üretim Tarihleri	Ürünler	Depolanan Su Miktarı (m ³)	Sulama Suyu İhtiyacı	Yağışlarla Karşılanan Su Miktarı (m ³)	Yağışlarla Karşılanamayan Su Miktarı (m ³)	Depoda Kalan Su Miktarı
01.01/18.03	Taze Soğan	40.17	26.83	26.83	0	13.34
18.03/02.06	Taze Soğan	35.90	76.95	35.90	41.35	0
02.06/17.08	Taze Soğan	16.38	132.09	16.38	115.71	0
17.08/01.11	Taze Soğan	11.52	73.53	11.52	62.01	0
01.11/16.01	Taze Soğan	46.17	18.71	46.17	0	27.46

Hazırlanan pasta grafiği incelendiğinde, sera çatılarından toplanan yağmur sularının taze soğan üretiminde toplam sulama ihtiyacının yalnızca %38'ini karşıladığı, buna karşın %62'lik kısmın karşılanamadığı görülmektedir. Bu sonuç, yağmur suyu hasadının taze soğan yetiştiriciliğinde tamamen yeterli bir kaynak olmadığını, ancak sulama ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilecek tamamlayıcı bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Özellikle kış aylarında yağışların artmasıyla birlikte sulama suyu ihtiyacının büyük ölçüde karşılanabildiği, hatta depoda su fazlasının kaldığı dönemler bulunmasına rağmen; yaz ve sonbahar dönemlerinde artan evapotranspirasyon ve azalan yağış miktarları nedeniyle yağmur suyunun sulama ihtiyacını karşılamada yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, taze soğan üretiminde su yönetiminin mevsimsel olarak planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, yağmur suyu hasadı taze soğan üretiminde su tasarrufu ve sürdürülebilir tarım açısından önemli katkılar sunmakta, ancak tek başına yeterli olmadığı için ilave sulama kaynakları ve etkin su yönetim stratejileri ile desteklenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.3. Sera Çatılarından Hasat Edilen Yağışın Taze Soğan Sulama İhtiyacına Katkısı

Bu konuyla ilgili daha önce yapılan benzer çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Yapılan bir çalışmada sera çatılarından depolanan yağmur suyunun domates sulama ihtiyacının %47–61 aralığında karşılanabildiği bildirilmiştir (Boyacı ve Kartal 2019a). Bölgesel iklim farklılıkları ve sera altyapısı, bu değişkenliği ortaya çıkardığı düşünölmektedir. Endonezya'daki bir çalışmada, sistem %100 verimle çalışarak domatesin su ihtiyacını eksiksiz karşıladığı bildirilmiştir (Sirait vd. 2024). Bu nedenle sistemin teknik optimizasyonun, yağmur suyunun etkinliğini artırmada kritik önem taşımaktadır. Mersin ilinde yapılan bir çalışmada sera çatısına düşen yağmur sularının, domates bitkisinin su tüketimini FAO-Radyasyon yöntemine

göre hesapladıklarında depolanan suyun 7 ay boyunca bitki su ihtiyacını karşılayacağı, FAO-Blaney-Criddle yöntemine göre bitki su tüketimi hesaplandığında ise depolanan suyun 6 ay için yeteceğini bildirmişlerdir (Baytorun vd. 2019). Antalya, Adana, Afyonkarahisar ve Kırşehir illerinde yürütülen çalışmada sera çatılarından toplanan yağmur suyunun yıllık bitki su tüketimini karşılama oranları sırasıyla %80.79, %54.27, %27.47 ve %25.16 olarak hesaplamışlardır (Boyacı vd. 2024). Hindistan'ın Ludhiana bölgesinde yürütülen bir çalışmada, araştırmacılar 560 m² sera çatısından 235.84 m³ yağmur suyu hasat potansiyeli olduğunu belirlemişlerdir. 125 m³'lük depo hacmiyle kapa biber sulama ihtiyacının yaklaşık %60'ının karşılanabileceği saptanmıştır (Singh vd. 2019). Elde edilen bu sonuçlar çalışmanın yapıldığı bölge ve sera özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Fakat yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular Yağmur suyu hasadının önemli bir alternatif su kaynağı olduğunu fakat tek başına bitki su ihtiyacını karşılayamadığı mevcut su kaynaklarına destek olabileceği bildirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyamız dörtte üçü suyla kaplı olmasına karşın bu suyun sadece %3'lük kısmı içme suyu ve sulamada kullanılabilir. Kullanılabilir su kaynaklarımız bu kadar az olmasına karşın, hızla artan dünya nüfuslu birlikte suya olan talep daha da artmakta ve bu durumda su kaynakları üzerinde baskı yaratmaktadır. Bu yüzden iyi bir planlama ve mevcut su kaynaklarını akılcı kullanmamız gerekmektedir. Mevcut su kaynaklarımız üzerindeki baskıyı azaltmanın bir diğer yolu ise alternatif su kaynaklarına yönelmektir. Özellikle yağmur suyu hasatı ile hem sulama hem de evsel kullanım için yeni kaynak yaratılabilmektedir. Yağmur sularının da %30'luk kısmını kullanıp, %70'lik kısmının da boşa gittiğini düşünürsek yağmur hasadı yöntemi karşımıza önemli bir alternatif su kaynağı olarak çıkmaktadır. Özellikle son yıllar çatılara düşen yağmur sularının depolanıp ev ve iş yerlerinde musluk suyu olarak kullanımına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır.

Bu çalışmada da Bilecik ekolojik şartlarında sera çatılarından toplanan yağmur sularının farklı dönemlerde yetiştirilen marul, domates ve taze soğan bitkilerinin sulama suyu ihtiyacını karşılama potansiyeli değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yağmur suyu hasadının ürün ve mevsim bazında değişen düzeylerde katkı sağladığını göstermektedir. Marul yetiştiriciliğinde, sulama suyu ihtiyacının belirli dönemlerde büyük ölçüde yağmur suları ile karşılanabildiği, ancak yaz aylarında artan su ihtiyacının yağmur suyu ile karşılanmasının oldukça sınırlı kaldığı görülmüştür. Domates üretiminde, toplam sulama ihtiyacının yaklaşık %37'sini yağmur sularıyla karşılandığı, %63'lük kısmının ise ek su kaynaklarıyla desteklenmesi gerektiği belirlenmiştir. Taze soğan üretiminde ise sulama ihtiyacının %38'ini yağmur sularıyla karşılandığı, kalan %62'lik kısmın ise dış kaynaklara bağımlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, sera çatılarından toplanan yağmur sularının tek başına sulama için yeterli olmadığını, ancak su ihtiyacını önemli ölçüde azaltarak tamamlayıcı bir su kaynağı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kış ve ilkbahar aylarında yağışların yoğun olduğu dönemlerde su ihtiyacının önemli bir kısmının karşılandığı ve hatta depolarda su fazlası olduğu dikkate alındığında, suyun etkin şekilde depolanması ve yönetilmesiyle verimliliğin artırılacağı anlaşılmaktadır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda sera çatılarından toplanan yağmur sularının tarımsal üretimde tamamlayıcı bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Özellikle yağışların yoğun olduğu dönemlerde depolama kapasitesinin artırılması, suyun kaybolmadan etkin şekilde kullanıma aktarılmasını sağlayacaktır. Yaz ve sonbahar aylarında yağışların yetersiz kaldığı dönemlerde ise yağmur suyunun, damla sulama gibi su tasarrufu

sağlayan yöntemlerle birlikte kullanılması su verimliliğini artıracaktır. Ayrıca bitki deseninin planlanmasında da yağmur suyu potansiyeli dikkate alınmalı; marul gibi kışlık sebzelerde daha yüksek düzeyde karşılanan su ihtiyacı avantaj olarak değerlendirilirken, domates gibi yazlık ürünlerde ilave sulama kaynaklarının zorunlu olduğu göz önünde bulundurulmalı ve bitki su tüketimi daha düşük olan bitkilerin seçimine gidilmelidir. Bunun yanında yağmur suyu hasadı yalnızca sulama suyu ihtiyacını azaltmakla kalmayıp, yeraltı ve yüzey suyu kaynakları üzerindeki baskıyı azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır. Son olarak, bu yöntemin farklı iklim bölgelerinde ve farklı ürünlerde test edilmesi, yağmur suyu hasadının tarımsal sulamadaki potansiyelini daha kapsamlı şekilde ortaya koyacaktır.

KAYNAKÇA

- Aydogdu, M.** (2024). Assessing the Performance and Cost Effectiveness of Rainwater Harvesting for High Tunnel Production Across Climates in the Continental United States. *Electronic Theses and Dissertations*, 993. <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/993>
- Ball, T.** (2001). *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide*, Bristol: Aztec West Almondsbury.
- Baytorun, A. N., Zaimoğlu, Z., & Ünlü, M.** (2019). Sera İşletmelerinde Yağmur Sularının Hasadı ve Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(1), 22-29.
- Baytorun, A. N., Zaimoğlu, Z., Erkurt, F. E., Balcı, B., & Yeşiltaş, H. K.** (2022). Calculation of rainwater harvest in greenhouses for semi-arid and continental climate zones. *Environmental Research and Technology*, 5(2), 188-196.
- Boyacı, S., & Kartal, S.** (2019a). Rainwater harvesting on greenhouse roof and use in irrigation. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 7(2), 93-100.
- Boyacı, S., & Kartal, S.** (2019b). Rainwater Harvesting In Greenhouses Establishments and Use As Irrigation Water. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 5, 1-8.
- Boyacı, S., Atılğan, A., Kociğcka, J., Liberacki, D., & Rolbiecki, R.** (2024). Use of Rainwater Harvesting from Roofs for Irrigation Purposes in Hydroponic Greenhouse Enterprises. *Atmosphere*, 15(8), 884.
- Corcelli, F., Fiorentino, G., Petit-Boix, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X.** (2019). Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 321-336.
- DIN** (1989). *Regenwassernutzungsanlagen*. Deutsches Institut Normung DIN: 1989, German.
- England, M., & Connor, R.** (2024). *UN World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*.
- Ertop, H., Kociğcka, J., Atılğan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., & Rolbiecki, R.** (2023). The importance of rainwater harvesting and its usage possibilities: Antalya Example (Turkey). *Water*, 15(12), 2194.
- FAO. CROPWAT** (1992). *A computer program for irrigation planning and management*. FAO

Irrigation and Drainage Paper, 46. Rome: p. 126.

Gleick, P.H. (2003). Water use. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28:275–314.

Gleick, P. H., & Cooley, H. (2021). Freshwater scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 319-348.

Kılıç, U., Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2024). Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bünyesinde Bulunan Seralarda Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Belirlenmesi ve Ekonomik Analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(2), 313-324.

Londra, P. A., Kotsatos, I. E., Theotokatos, N., Theocharis, A. T., & Dercas, N. (2021). Reliability analysis of rainwater harvesting tanks for irrigation use in greenhouse agriculture. *Hydrology*, 8(3), 132.

Lupia, F., Baiocchi, V., Lelo, K., & Pulighe, G. (2017). Exploring rooftop rainwater harvesting potential for food production in urban areas. *Agriculture*, 7(6), 46.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2023). *Türkiye İklim Değerlendirmesi 2023*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Singh, K. G., Sharda, R., & Singh, A. (2019). Harvesting rainwater from greenhouse rooftop for crop production. *Agricultural Research Journal*, 56(3), 493-502.

Sirait, S., Suhardiyanto, H., & Saptomo, S. K. (2024). Enhancing water sustainability in greenhouses: A study on rainwater harvesting potential for crop water supply. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1386, No. 1, p. 012036.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2024). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim tarihi: 19.08.2025. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>

World Bank. Water Resources Management Overview (2021). Erişim tarihi: 19.08.2025 <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>