

STRATEJİK TARIM VE YENİLİKÇİ ÇÖZÜMLER

Editörler:

Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK



STRATEJİK TARIM VE YENİLİKÇİ ÇÖZÜMLER

Editörler

Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK*

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK**

* Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü – abucak@siirt.edu.tr

** Malatya Turgut Özal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü – yesim.colak@ozal.edu.tr



Stratejik Tarım ve Yenilikçi Çözümler

Editörler: Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK, Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Temmuz 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-5885-76-0

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm 6

Dünya Taze/Kuru Kayısı Üretim ve Ekonomisi

Ahmet ASLAN

2. Bölüm.....19

Kaliteli Kaba Yem Üretimi ile Hayvansal Üretim Arasındaki Denge:

Malatya İli Örneği

Fatma AKBAY KILIÇ, Mustafa KIZILŞİMŞEK

3. Bölüm.....31

Damla Sulamada IoT Tabanlı Otomasyon Sistemi

Alper BAYDAR, Yeşim BOZKURT ÇOLAK, Burak DALKILIÇ

4. Bölüm.....43

Kayısı Üretiminde Modern Sulama Stratejileri ve

Su Kaynaklarının Etkin Kullanımı

Burak DALKILIÇ, Yeşim BOZKURT ÇOLAK, Alper BAYDAR

5. Bölüm.....65

Sulamanın Tarihsel Gelişimi

Ali Beyhan UÇAK

6. Bölüm.....73

Hava, Toprak ve Su Kirliliğinin

Tarımsal Üretim Faktörleri Açısından Değerlendirilmesi

Yasemin KUŞLU

İÇİNDEKİLER

7. Bölüm..... 85

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Bitki Paraziti Nematodlara Karşı Kullanımı: Biyoaktif Mücadele Stratejisi

Neziha Gamze AKBAY

8. Bölüm102

Günlük Güneşlenme Süresi ve Coğrafi Konuma Bağlı Olarak Solar Radyasyonun Tahmin edilmesi

Cafer GENÇOĞLAN, Serpil GENÇOĞLAN, Ali Beyhan UÇAK

9. Bölüm 116

Blaney & Criddle Yöntemi ile Referans Evapotranspirasyonun Tahmin Edilmesi: Kahramanmaraş Örneği

Cafer GENÇOĞLAN, Serpil GENÇOĞLAN

1. Bölüm

Dünya Taze/Kuru Kayısı Üretim ve Ekonomisi

Ahmet ASLAN¹

1. Giriş

Anavatanı Orta Asya, Batı Çin ve İran-Kafkasya olan dünya genelinde başta Akdeniz ülkeleri olmakla birlikte Dünya Gıda Örgütü (FAO) verilerine göre 69 ülkede yetiştiriciliği yapılan kayısı (*Prunus armeniaca L.*), sert çekirdekli meyve türleri arasında yer almaktadır. Kayısı üretiminde Türkiye, Özbekistan, İran, İtalya ve Cezayir gibi ülkeler ön sıralarda yer almaktadır.

İnsanoğlu gıda ürünlerini saklayarak ihtiyaç duyduğu dönemlerde tekrar tüketmek için farklı şekillerde muhafaza tekniklerini kullanmıştır. En yaygın muhafaza teknikleri arasında kurutma, tuzlama veya şekerleme, fermente etme, dondurma, tütsüleme, kireçleme ve konserve yapma gibi yöntemler gelmektedir. Kayısı yapısı gereği çabuk bozulan meyveler arasında yer almaktadır. Bu nedenle geçmiş dönemlerden itibaren taze tüketilmesinin yanında farklı şekillerde kurutularak tüketimi yaygındır. Bu nedenle günümüzde dünya genelinde üretilen kayısıların önemli bir bölümü kurutularak tüketilmekte ve dış ticarete taze kayısıya oranla daha fazla konu olmaktadır. Kayısı ekonomisi konusu ele alındığında taze ve kuru kayısının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye, dünya kayısı üretiminde ilk sırada yer almakla birlikte özellikle kuru kayısı üretiminde ve dış ticaretinde açık ara dünyanın en önemli ülkesi konumundadır. Bu bölümde, kayısının dünya geneli yetiştiricilik alanları ve taze/kuru üretim miktarları, ekonomik göstergelerini, dünyanın en önemli kayısı üreticisi, ihracatçısı ve ithalatçısı ülkelerin verileri analiz edilmiştir.

2. Dünya Kayısı Üretimi

Yetiştiriciliği yapılan önemli meyve türlerinden biri olan kayısı geniş bir yetiştirme alanına sahiptir. Dünya genelinde 1960 yılında 213bin hektar alanda kayısı üretilmekte iken 1980 yılında 294 bin hektar, 2000 yılında 435 bin hektar ve 2023 yılında 560 bin hektar üretim alanına ulaşılmıştır. Üretim miktarı ise 1960 yılında 1 milyon 317 bin ton iken 1980 yılında 1 milyon 735 bin tona, 2000 yılında 2 milyon 863 bin tona ve 2023 yılında 3 milyon 865 bin tona yükselmiştir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, ORCID: 0000-0002-0003-2358, ahmet.aslan@ozal.edu.tr

Bu veriler, geçen süreçte kayısı üretim alanının ve üretim miktarının artış trendine sahip olduğunu göstermekle birlikte 2010 yılından itibaren artış hızı durmuş ve kısmi bir azalma süreci başlamıştır (Çizelge 1). Üretim miktarındaki kısmi dalgalanmalar, büyük ölçüde, belirli bölgelerde üretimi olumsuz etkileyen ekolojik ve iklimsel koşullardan kaynaklanmaktadır. Uzun yıllar ortalamasına göre dünya kayısı verimi 660 kg/da olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 1. Dünya Kayısı Üretim Alanı ve Miktarı.

Yıllar	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Kayısı Üretim Alanı (1000 ha)	213.37	277.63	294.06	317.40	435.38	480.43	563.98	561.40	562.48	558.34
Üretim miktarı (milyon ton)	1.317	1.630	1.735	2.189	2.863	3.626	3.303	3.952	3.694	3.865

Kaynak: FAO 2024

Dünya genelinde ülkelerin kayısı üretim alanları incelendiğinde Türkiye %25.41 oranı ile dünya kayısı üretim alanları bakımından ilk sırada yer alırken Türkiye'yi İran İ.C. %9.70 ve Özbekistan %7.04 oranı ile takip etmektedir (Çizelge 2). Cezayir, Afganistan, İspanya, Çin H.C ve İtalya üretim alanları bakımından dünyanın diğer önde gelen kayısı üreticisi ülkeleridir.

Çizelge 2. Kayısı Üretiminde Önemli Ülkelerin Üretim Alanları (ha)

Ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022	%
Türkiye	125756	131178	132748	134879	141851	25.41
İran İ.C.	52879	56575	58515	44866	54167	9.70
Özbekistan	38694	43464	44262	36208	39332	7.04
Cezayir	32578	30861	29719	27185	29458	5.28
Afganistan	18510	17719	17481	27082	22650	4.06
İspanya	20570	20240	19780	19440	18430	3.30
Çin H.C.	17654	17554	17603	17724	17659	3.16
İtalya	17810	17910	17810	17740	17450	3.13
Diğer Ülkeler	218951	217695	224557	221957	217351	38.93
Dünya	543402	553196	562475	547081	558348	100.00

Kaynak: FAO 2024

Kayısı üretiminde son on yıllık süreç incelendiğinde üretim ortalamasının 4 milyon tonun hemen altında gerçekleştiği ve 2022 yılında dünya genelinde 3 milyon 865 bin ton kayısı üretiminin olduğu görülmektedir. Üretimde yıldan yıla meydana gelen dalgalanmalar kayısı üretimi üzerinde etkili olan ilkbahar geç donları başta olmak üzere doğal afetler ve iklim dengesizlikleri gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Kayısı üretimin miktarında önde gelen ülkeler arasında Türkiye, Özbekistan ve İran ilk üç sırayı almaktadır. Türkiye taze kayısı üretiminde 2018-2022 yılları arası beş yıllık ortalamalara göre Dünya toplam üretim miktarının %21.09'luk kısmını üreterek ilk sırada bulunmaktadır. Diğer önemli kayısı üreticisi ülkelerden Özbekistan %12.73 pay ile ikinci ve İran İ.C. %7.93'lük pay ile üçüncü sırada yer almaktadır (Çizelge 3). Dünya genelinde taze kayısı üreten ülkelerin verim ortalaması 661.59 kg/da olup önemli kayısı üreticisi ülkeler baz alındığında İspanya 925.17 kg/da ve Afganistan 900.29 kg/da verime sahip iken en önemli kayısı üreticisi Türkiye dünya ortalamasının altında 566.09 kg/da'lık bir verime sahiptir. Türkiye'nin verim düşüklüğünün başlıca sebepleri arasında yetiştiriciliği yapılan çeşitlerin önemli bir bölümünün kurutmalık özelliklere sahip verimi düşük yerel çeşitlerden oluşması, daha geleneksel bir üretim yapısının mevcut olması ve ilkbahar geç donlarının etkisinin özellikle son dönemlerde daha yoğun olarak ülkede yaşanmasıdır.

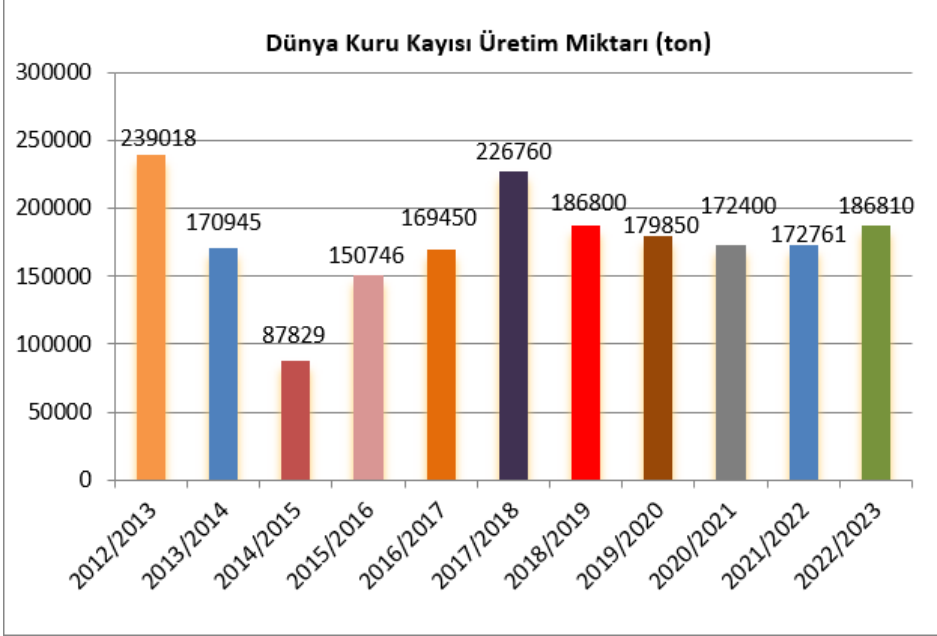
Çizelge 3. Dünya Kayısı Üretiminde Önde Gelen Ülkelerin Üretim Miktarları (ton).

Ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022	2018-2022 Ortalaması	%
Türkiye	750000	846606	833398	800000	803000	806601	21.09
Özbekistan	493842	536544	529109	424734	451263	487098	12.73
İran İ.C.	314012	329638	309348	257360	305932	303258	7.93
İtalya	229020	272990	173380	189570	230080	219008	5.73
Cezayir	242243	209204	187273	189724	203916	206472	5.40
Afganistan	109086	129363	131788	207490	170508	149647	3.91
İspanya	176290	145830	128700	114720	80870	129282	3.38
Fransa	112890	134800	85260	54590	128080	103124	2.70
Diğer	1467262	1447400	1315617	1384365	1489530	1420835	37.14
Dünya	3894645	4052375	3693873	3622553	3863180	3825325	100.00

Kaynak:FAO 2024

3. Dünya Kuru Kayısı Üretimi

Geçmiş dönemlerden beri tarım ürünlerinin muhafazasında kullanılan yöntemlerden biri olan kurutma işlemi çabuk bozulan yapıdaki kayısı için de kullanılmaktadır. Dünyada kuru kayısı üretiminin son yıllardaki ortalaması göz önüne alındığında yıllık ortalama 180 bin ton seviyesinde bir üretim söz konusudur (INC 2024). Üretim sezonları itibari ile son yıllardaki üretim miktarları Şekil 1 de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Yıllar İtibari ile Dünya Kuru Kayısı Üretim Miktarı Grafığı.
(INC 2024).

Uluslararası Fındık ve Kuru Meyve Konseyi (INC) verilerine göre kuru kayısı üreten ölkeler incelendiğinde Türkiye dünya kuru kayısı üretiminde 2019-2023 arası son beş yıllık üretim döneminde yıllık ortalama %52.15 payla ilk sırada yer almaktadır. Dünyada önemli kuru kayısı üreticisi ölkelerim son beş yıllık kuru kayısı üretim miktarları Çizelge 4’de gösterilmiştir. Türkiye’yi %13.87’lik üretim oranı ile İran İ.C. ve %5.04 oranı ile Özbekistan izlemektedir.

Çizelge 4. Dünyada Önemli Kuru Kayısı Üreticisi Ülkelerin 2019-2023 Yılları Arası Ortalama Kuru Kayısı Üretim Miktarları.

Ülkeler	Türkiye	İran	Özbekistan	Afganistan	Çin	Diğer	Toplam
Kuru Kayısı Üretim Miktarı Ortalama (ton)	93722	26660	9360	5400	5520	39062	179724
Üretim Oranı (%)	52.15	14.83	5.21	3.01	3.07	21.73	100.00
Ülkeler	Türkiye	İran	Özbekistan	Afganistan	Çin	Diğer	Toplam
Kuru Kayısı Üretim Miktarı Ortalama (ton)	93722	26660	9360	5400	5520	39062	179724
Üretim Oranı %	52.15	14.83	5.21	3.01	3.07	21.73	100.00

Kaynak: INC 2024

4. Dünya Taze Kayısı Ekonomisi

Dünya üzerinde yılda yaklaşık 4 milyon tonun üzerinde taze kayısı üretimi yapılırken taze kayısı genel olarak iç tüketime yönelik olarak yetiştiricilik alanlarına yakın pazarlara arz edilmektedir. Dünya üzerinde en önemli kayısı üreticisi ülkelerden olan Türkiye, İran ve Özbekistan’da üretilen kayısıların önemli bir kısmı ise kurutularak değerlendirilmektedir. Taze kayısının özel taşımaya ihtiyaç duyması ve hasat periyodunun kısa olmasının yanında çabuk bozulan yapısı ve raf ömrünün kısa olması nedeni ile dış ticarete sınırlı düzeyde konu olabilmektedir. Mevcut taze kayısı üretiminin uluslararası ticarete 2019-2023 yılları arasında sadece yıllık ortalama 380 bin ton civarındaki kısmı konu olmuştur. Dünyanın en önemli taze kayısı ihracatçı ülkeleri İspanya (%22.17), Türkiye (%19.51), İtalya (%8.95 ve Özbekistan (%8.39) olarak sıralanmaktadır. Dünya Taze kayısı ihracatçısı ülkelerin ihracat miktarı Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Dünya Taze Kayısı İhracatçısı Ülkelerin İhracat Miktarı (ton).

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
İspanya	92834	96026	97067	59513	75768	84242	22.17
Türkiye	67637	64733	69959	96842	71487	74132	19.51
İtalya	48292	17451	31568	45516	27287	34023	8.95
Özbekistan	58011	74534	9607	5952	11392	31899	8.39
Yunanistan	23030	21544	15081	21460	25731	21369	5.62
Afganistan	27447	15483	10687	28581	19374	20314	5.35
Fransa	21800	11461	13911	14564	27601	17867	4.70
Ürdün	11117	3898	12855	10127	11979	9995	2.63
Tacikistan	4038	3751	2156	3562	8921	4486	1.18
Diğer	126461	81544	63751	80450	56188	81679	21.49
Dünya	480667	390425	326642	366567	335728	380006	1000.00

Kaynak: ITC 2024

Dünya taze kayısı ihracatından elde edilen gelirlere bakıldığında 2019-2023 yılları arasında dünya ihracatının yıllık ortalama 485 milyon dolar seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu dönem içerisinde ihracatçı ülkelerin ihracat gelirleri sıralandığında 153.87 milyon \$ ihracat geliri ve %31.74 oranı ile İspanya ilk sırada yer alırken İspanya'yı sırası ile İtalya (61.54 milyon \$, %12.69), Türkiye (59.36 milyon \$, %12.24) ve Fransa (36.93 milyon\$, %7.62) takip etmektedir. Dünya taze kayısı ihracatçısı ülkelerin ihracat değeri Çizelge 6' da gösterilmektedir.

Çizelge 6. Dünya Taze Kayısı İhracatçısı Ülkelerin İhracat Değeri (1000 \$)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
İspanya	132517	169734	194062	117951	155075	153868	31.74
İtalya	64588	36410	68222	81519	56938	61535	12.69
Türkiye	38096	55640	61839	82571	58635	59356	12.24
Fransa	37150	29495	37844	31453	48689	36926	7.62
Özbekistan	67300	49086	8246	5927	7859	27683	5.71
Yunanistan	18770	23797	19031	22255	33145	23400	4.83
Ürdün	14042	7143	25042	17875	23089	17438	3.60
ABD	10561	8414	13110	10377	10964	10685	2.20
Afganistan	11477	12390	3732	12558	9254	9882	2.04
Avusturalya	3824	4929	5468	7545	11008	6555	1.35
Diğer	85439	73478	72810	88152	67288	77433	15.97
Dünya	483764	470516	509406	478183	481944	484763	100

Kaynak:ITC 2024

Dünya taze kayısı ihracat birim değeri 2019 yılında 1.01 \$/kg seviyesinden 2023 yılında 1.32 \$/kg olarak gerçekleşmiştir. Dünyanın önemli taze kayısı ihracatçı ülkelerinin birim ihracat değerleri arasında önemli farklılıklar söz konusudur. Dünyanın en fazla taze kayısı ihracatı yapan ülkeleri olan İspanya'nın birim ihracat değeri 2.05 \$/kg iken Türkiye'nin birim ihracat değeri 0.82 \$/kg olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 7). İspanya'nın taze kayısı satışından en fazla ihracat geliri elde ettiği ülkeler sırasıyla Almanya, Fransa, İtalya, Birleşik Krallık ve Polonya'dır. Türkiye'nin ihracat geliri elde ettiği ülkeler ise Rusya Federasyonu, Almanya, Ukrayna, Romanya ve Irak'tır.

Çizelge 7. Dünya Taze Kayısı İhracatçısı Ülkelerin Taze Kayısı Birim İhracat Değeri (kg/ \$)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023
İspanya	1.43	1.77	2.00	1.98	2.05
İtalya	1.34	2.09	2.16	1.79	2.09
Türkiye	0.56	0.86	0.88	0.85	0.82
Fransa	1.70	2.57	2.72	2.16	1.77
Özbekistan	1.16	0.66	0.86	1.00	0.66
Yunanistan	0.82	1.11	1.26	1.04	1.29
Ürdün	1.26	1.83	1.95	1.77	1.93
ABD	2.05	2.07	2.06	1.99	2.05
Afganistan	0.42	0.80	0.35	0.44	0.48
Avusturalya	3.03	3.51	5.28	3.29	4.44
Dünya	1.01	1.21	1.56	1.30	1.32

Kaynak:ITC 2024

Dünya taze kayısı ithalatçısı ülkelerin ithalat miktarı incelendiğinde en fazla ithalat yapan ülkelerin Rusya Federasyonu, Almanya, Irak, Kazakistan ve Pakistan olduğu görülmektedir. Dünya taze kayısı ithalat miktarının yarısından fazlasını bu ülkeler oluşturmaktadır (Çizelge 8).

Çizelge 8. Dünya Taze Kayısı İthalatçısı Ülkelerin İthalat Miktarı (ton)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
Rusya Federasyonu	50365	64874	49506	79396	100397	68907.60	19.06
Almanya	62585	46761	47356	52335	48900	51587.40	14.27
Irak	44034	32690	23229	31294	24447	31138.80	8.61
Kazakistan	36663	35614	8438	3799	13414	19585.60	5.42
Pakistan	17845	14992	10092	27793	17752	17694.80	4.89
Fransa	17143	21351	18647	11600	11802	16108.60	4.46
İtalya	15232	16776	13456	8402	20030	14779.20	4.09
Avusturya	14135	10415	10564	11569	13140	11964.60	3.31
Polonya	12860	6972	7902	8866	11215	9563.00	2.65
Romanya	10055	8902	6717	9903	11436	9402.60	2.60
Diğer	137950	104156	102092	109090	100734	110804.40	30.65
Dünya	418867	363503	297999	354047	373267	361536.60	100.00

Kaynak:ITC 2024

Dünya taze kayısı ithalatçısı ülkelerin ithalat değerlerine bakıldığında Almanya yıllık 100 milyon \$'ın üzerinde ithalat ödemesi gerçekleştirerek dünyada taze kayısı ithalatında ilk sırada yer alan ülke konumundadır. İthalat değerinde Almanya'yı Rusya Federasyonu, Fransa, İtalya ve Birleşik Krallık izlemektedir (Çizelge 9).

Çizelge 9. Dünya Taze Kayısı İthalatçısı Ülkelerin İthalat Değeri (1000\$)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	ort	%
Almanya	102631	102691	114187	110003	114911	108884.60	22.23
Rusya Federasyonu	49445	57390	55841	80876	76078	63926.00	13.05
Fransa	23989	35551	37434	22326	25258	28911.60	5.90
Avusturya	18842	21059	23627	21514	28970	22802.40	4.66
İsviçre	17981	20751	31405	17320	22280	21947.40	4.48
İtalya	15956	24957	20695	13976	28687	20854.20	4.26
Birleşik Krallık	20159	18534	17362	21184	17663	18980.40	3.88
Polonya	16940	11425	15134	13928	19967	15478.80	3.16
Çekya	13652	10242	13201	13599	13673	12873.40	2.63
Romanya	8647	10779	9692	11008	14575	10940.20	2.23
Diğer	181682	167099	155672	150865	165735	164210.60	33.53
Dünya	469924	480478	494250	476599	527797	489809.60	100.00

Kaynak:ITC 2024

5. Dünya Kuru Kayısı Ekonomisi

Yapısı gereği çabuk bozulan ürünlerin çeşitli işlemlere tabi tutularak daha uzun bir zaman diliminde tüketime sunulmasının yüzyıllardır dünya genelinde uygulandığı önceki bölümlerde belirtilmişti. Kayısı için de durum benzerdir. Kayısı yetiştiriciliğinde kurutma işlemi büyük oranda çiftçiler tarafından farklı metotlar kullanılarak uygulanmaktadır. Günümüzde kayısı genellikle doğrudan bir katkı maddesi kullanılmadan kurutulmakta veya kükürt başta olmak üzere farklı koruyucu maddeler kullanılarak kurutulmaktadır. Dünyada ortalama 180 bin ton seviyesinde kuru kayısı üretimi söz konusu iken kuru kayısı üretiminde olduğu gibi kuru kayısı ihracatında da Türkiye ilk sırada yer almaktadır. Taze kayısının aksine olarak üretilen kuru kayısıların büyük bir çoğunluğu ihracata konu olmaktadır. Üretilen taze kayısının sadece onda biri ihracata konu olurken bu oran kuru kayısıda neredeyse onda dokuz oranında gerçekleşmektedir. 2019-2023 yılları arasında ortalama yıllık 158 bin ton kuru kayısı ihracatı gerçekleştirilirken Türkiye (84107 ton) %53.20 ihracat oranı ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi Tacikistan (18935 ton) %11.98 ve Afganistan (16547 ton) %10.47 oranı ile takip etmektedir (Çizelge 10). Geçmiş yıllarda Türkiye'nin 100 bin tonun üzerinde ihracat yaptığı yıllar bulunmakla birlikte ilkbahar geç donları ve iç tüketimin artması ihracat miktarında düşüşe neden olmaktadır.

Çizelge 10. Dünya Kuru Kayısı İhracat Miktarı (ton)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
Türkiye	100304	88074	87740	74567	69854	84107.80	53.20
Tacikistan	8048	11110	20566	20854	34098	18935.20	11.98
Afganistan	9626	6764	13333	22334	30682	16547.80	10.47
Özbekistan	8909	11804	4940	2676	12999	8265.60	5.23
Kırgızistan	8595	13277	10850	3023	941	7337.20	4.64
İspanya	2451	2884	2222	2590	2857	2600.80	1.65
İran İ.C.	823	1346	2180	2864	5588	2560.20	1.62
Almanya	1483	1958	2063	1700	1952	1831.20	1.16
Hollanda	2254	1478	1780	1570	1673	1751.00	1.11
Fransa	1571	1323	1412	1283	1710	1459.80	0.92
Diğer Ülkeler	14548	16941	14314	9158	8515	12695.20	8.03
Dünya	158612	156959	161400	142619	170869	158091.80	100.00

Kaynak:ITC 2024

Dünya kuru kayısı ihracat değeri incelenecek olursa 2019-2023 yılları arasında ortalama yıllık 457 milyon \$ kuru kayısı ihracatı gerçekleşirken Türkiye (329 milyon \$) %71.89 ihracat oranı ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi Afganistan (24 milyon \$) %5.23 ve Özbekistan (12 milyon \$) %2.63 oranı ile takip etmektedir (Çizelge 11).

Çizelge 11. Dünya Kuru Kayısı İhracat Değeri (1000 \$)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
Türkiye	256129	260331	338351	393880	395533	328844.80	71.89
Afganistan	15464	15846	22028	30136	36148	23924.40	5.23
Özbekistan	11232	16798	6574	5803	19764	12034.20	2.63
Almanya	7693	9261	11495	10170	13479	10419.60	2.28
Tacikistan	3268	4628	9883	15119	17576	10094.80	2.21
Fransa	7981	6878	8414	9535	13367	9235.00	2.02
Hollanda	8030	6010	9087	10052	11956	9027.00	1.97
ABD	6496	5547	8052	6135	4790	6204.00	1.36
İran İ.C.	1864	2619	4712	6509	14011	5943.00	1.30
Güney Afrika	5009	5375	6060	5848	5013	5461.00	1.19
Diğer Ülkeler	34290	34864	43718	34459	33810	36228.20	7.92
Dünya	357456	368157	468374	527646	565447	457416.00	100.00

Kaynak:ITC 2024

Dünya kuru kayısı ihracat birim fiyatı 2019 yılında 2.25 kg/ \$ iken 2023 yılı itibari ile 3.31 kg/ \$ seviyesinde gerçekleşmiştir. Önemli ihracatçı ülkelerin birim değerleri incelendiğinde 1 kg kuru kayısıyı Fransa 7.82 kg/ \$' a ihraç ederken Türkiye 5.66 kg/ \$'a, Özbekistan 1.52 kg/ \$'a ve Tacikistan ise 0.52 kg/ \$'a ihraç etmektedir. Fransa'nın kuru kayısı birim satış fiyatı Tacikistan'ın kuru kayısı birim satış fiyatından on beş kat fazla olup fiyat farkının en önemli nedeni ürün kalite farkı ve ihracat yapılan bölge farklarıdır. Türkiye birim ihracat fiyatını 2019-2023 yılları arasında iki kattan fazla arttırmıştır (Çizelge 12).

Çizelge 12. Dünya Kuru Kayısı İhracatçısı Önemli Ülkelerin Kuru Kayısı Birim İhracat Fiyatı (kg/ \$)

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023
Türkiye	2.55	2.96	3.86	5.28	5.66
Afganistan	1.61	2.34	1.65	1.35	1.18
Özbekistan	1.26	1.42	1.33	2.17	1.52
Tacikistan	0.41	0.42	0.48	0.73	0.52
İran İ.C.	2.27	1.95	2.16	2.27	2.51
Almanya	5.19	4.73	5.57	5.98	6.91
Fransa	5.08	5.20	5.96	7.43	7.82
Hollanda	3.56	4.07	5.11	6.40	7.15
İspanya	1.35	1.66	1.82	1.81	2.12
ABD	4.84	3.99	4.46	4.35	4.37
Kırgızistan	0.52	0.44	0.90	0.88	1.22
Dünya	2.25	2.35	2.90	3.70	3.31

Kaynak:ITC 2024

Dünya kuru kayısı ithalat miktarı 2019-2023 ortalaması ele alındığında yıllık ortalama 150 bin ton kuru kayısı ithalatının yapıldığı ve en önemli ithalatçı ülkenin yaklaşık 14.93 bin tonun ithalat miktarı ve %9.92 oranı ile ABD olduğu görülmektedir. ABD'yi son yıllarda Kazakistan, Rusya Federasyonu, Fransa ve Almanya takip etmektedir. Bu ülkelerin Dünya kuru kayısı ithalatında oranları Kazakistan, için %9.05, Rusya Federasyonu için %7.79 ve Fransa için %5.44 ve Almanya için %5.09 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 13).

Çizelge 13. Dünya Kuru Kayısı İthalatçısı Önemli Ülkelerin İthalat Miktarı (Ton).

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
ABD	12527	13663	15694	18164	14719	14953.40	9.92
Kazakistan	4095	4881	16231	20248	22776	13646.20	9.05
Rusya F.	13411	11516	9859	12131	11772	11737.80	7.79
Fransa	8709	8659	9067	7080	7485	8200.00	5.44
Almanya	7297	8190	8648	6577	7688	7680.00	5.09
Çin H.C.	6748	4526	5870	8349	12787	7656.00	5.08
Irak	11613	9049	4922	3276	9241	7620.20	5.06
Birleşik Krallık	7592	8224	7324	7316	6021	7295.40	4.84
Pakistan	3860	1347	3768	6300	14792	6013.40	3.99
Hindistan	4143	3769	4472	5649	6085	4823.60	3.20
Diğer Ülkeler	68447	63370	62068	53824	57852	61112.20	40.54
Dünya	148442	137194	147923	148914	171218	150738.20	100.00

Kaynak:ITC 2024

Dünyada kuru kayısı ithalat değeri incelendiğinde 2019-2023 yılları arası ortalama 465 milyon dolar seviyesinde bir ithalat değeri olduğu görülmüştür. Önemli kuru kayısı ithalatçısı ülkelerin ithalat değerlerine bakıldığında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ortalama 63.15 milyon dolarlık ithalat değeri ve %13.58 ithalat oranı ile dünyada en önemli ithalatçı ülke konumundadır. ABD'yi %7.81 oran ile Almanya ve %7.87 oran ile Fransa takip etmektedir (Çizelge 14).

Çizelge 14. Dünya Kuru Kayısı İthalat Değeri (1000 \$).

Ülkeler	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama	%
ABD	38885	44952	65229	88017	78642	63145.00	13.58
Almanya	25288	32085	39537	35303	49343	36311.20	7.81
Fransa	27513	29578	38255	41505	46025	36575.20	7.87
Birleşik K.	23189	25666	28192	40374	36583	30800.80	6.63
Rusya F.	20300	18005	20800	32699	32375	24835.80	5.34
Hollanda	11693	13335	17366	20448	24193	17407.00	3.74
Brezilya	12890	14414	14530	18600	18867	15860.20	3.41
Avustralya	11040	14332	12324	16662	18428	14557.20	3.13
Hindistan	17302	11177	12807	17066	17587	15187.80	3.27
Diğer Ülkeler	178650	163244	200185	237388	271211	210135.60	45.21
Dünya	366750	366788	449225	548062	593254	464815.80	100.00

Kaynak:ITC 2024

6. Sonuç

Kayısı, dünya genelinde hem taze hem de kuru tüketimiyle ekonomik öneme sahip bir ürün olarak dikkat çekmektedir. Geniş bir üretim ve ticaret ağına sahip stratejik bir tarım ürünü olarak ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda kayısı üretimi ve ticaretinde iklim değişikliği, geç donlar ve doğal afetler gibi zorluklar yaşanmıştır. Bu durum, hem üretim miktarını hem de verimliliği olumsuz etkilemiştir. Türkiye, hem taze hem de kuru kayısı üretiminde ve ihracatında lider konumda bulunmakta, özellikle kuru kayısı ticaretinde açık ara farkla birinci sırada yer almaktadır. Ancak, Türkiye'nin taze kayısı ihracatındaki birim fiyatlarının düşük olması, ürün kalitesi, lojistik altyapı ve ihracat stratejilerinde iyileştirme ihtiyacını göstermektedir. İspanya, taze kayısı ihracatında en yüksek birim değerlerden birini elde etmekte olup Avrupa pazarında güçlü bir konuma sahiptir. Bu durumun başlıca sebepleri arasında kaliteli ve pazarın istediği ürün çeşitleri yetiştiriciliğinin yapılmasının yanı sıra etkili lojistik sistemlerin kullanılması ve hedef pazarlara yakınlık yer almaktadır. Benzer şekilde, Fransa da kuru kayısı ihracatında yüksek birim fiyatlar ile öne çıkmaktadır. Bu durum, kalite ve pazar odaklı bir üretim ve katma değerli ürünlere yönelik stratejilerin önemini ortaya koymaktadır. İran ve Özbekistan, Türkiye'den sonra en önemli kayısı üreticileri arasında yer almakta ve hem taze hem de kuru kayısı sektöründe önemli oyuncular olarak dikkat çekmektedir. Özellikle Özbekistan, son yıllarda ihracat hacmini artırma çabalarıyla bölgesel bir güç olma yolunda ilerlemektedir. Özbekistan'ın ürün kalitesi ve pazarlama stratejileri açısından gelişim fırsatları bulunmaktadır. Afganistan ve Tacikistan, kuru kayısı ticaretinde artan bir role sahiptir. Tacikistan'ın düşük birim fiyatlarla ihracat yapması, kalite ve katma değerli üretim stratejilerine odaklanması gerektiğini göstermektedir. ABD, Rusya ve Almanya gibi ülkeler, hem taze hem de kuru kayısı ithalatında başı çekmekte olup bu ülkeler, kayısı sektöründe önemli ticaret partnerleri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle ABD, ithalat değeri açısından lider olup kalite odaklı ürünlere talep göstermektedir.

Kayısı sektörünün sürdürülebilir gelişimi için bazı öneriler de burada sıralanabilir.

Türkiye: Ürün kalitesini ve verimliliği artırarak özellikle taze kayısı için lojistik sistemleri iyileştirerek kuru kayısıda katma değerli üretimlere yönelmelidir.

Avrupa Ülkeleri (İspanya ve Fransa): Yüksek kaliteli taze kayısı pazarının istediği üretimi sürdürerek mevcut pazar paylarını koruma ve genişletme imkanına sahiptir.

Orta Asya Ülkeleri (Özbekistan ve Tacikistan): Üretim alanları her geçen gün artmakla birlikte kaliteli üretim için iyileştirilmeler yapılarak pazardan daha fazla pay alabilme olanağına sahiptir.

Kaynaklar

- FAO 2024. FAOSTAT Statistical database. Food and Agriculture Organization, İtalya. <https://www.fao.org/faostat/en/#data> Erişim Tarihi: 20.10.2024
- INC 2024 International Nut and Dried Fruit Council. Dünya Kuru Kayısı İstatistikleri. <https://www.nutfruit.org/> Erişim Tarihi: 20.10.2024
- ITC 2024 International Trade Center. Dış Ticaret İstatistikleri. Trade map. <https://www.trademap.org> Erişim Tarihi: 20.10.2024

2. Bölüm

Kaliteli Kaba Yem Üretimi ile Hayvansal Üretim Arasındaki Denge: Malatya İli Örneği

Fatma AKBAY KILIÇ¹, Mustafa KIZILŞİMŞEK²

Özet: Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde konumlanan Malatya ili, tarım ve hayvancılığa dayalı ekonomik yapısıyla öne çıkan, geniş kırsal nüfusa sahip önemli bir yerleşim birimidir. Bu çalışmada, Malatya ilinde mevcut kaba yem üretim kapasitesi ile büyükbaş hayvan varlığı arasındaki ilişkinin analiz edilmesi, mevcut sorunların ortaya konulması ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Malatya ilinde büyükbaş hayvan birimine eşdeğer 226.025 hayvan varlığı mevcuttur. Bu hayvanların yıllık yaşama payı için ihtiyaç duyduğu kaba yem miktarı yaklaşık 1 031 239 ton olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, yem bitkileri ekilişlerinden elde edilen kaliteli kaba yem üretimi yalnızca ton düzeyindedir. Bu üretim miktarı, toplam kaba yem ihtiyacının yaklaşık %11.3'ü karşılayabilmektedir. Malatya ilinin toplam 2.852.383 dekarlık mera alanının %82'si zayıf verimli meralardan oluşmakta, kaliteli kaba yem ihtiyacının yaklaşık %19.4'ü karşılanmaktadır. Bu durum, önemli bir kalite kaba yem açığının varlığına işaret etmektedir. Bu kapsamda, mevcut çayır ve mera alanlarının ot verimliliği ile yem kalitesinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Literatürde bu konuda büyük bir eksiklik belirlenmiştir. Mera üretiminin artırılması için mera amenajman planlarına uyulması, sürdürülebilir ıslah çalışmalarının hızlandırılması ve bu doğrultuda teknik desteklerin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, yem bitkileri üretimini artırmak amacıyla mevcut ekim alanları genişletilmeli, özellikle nadasa bırakılan arazilerde ekim nöbeti sistemleri uygulanarak yem bitkileri tarımına öncelik verilmelidir. Bu yaklaşımlar, hem kaba yem açığının giderilmesine katkı sağlayacak hem de hayvansal üretimin sürdürülebilirliğini destekleyecektir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-0156-9974, fatma.akbay@ozal.edu.tr

² Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-0295-0603, mkizil@ksu.edu.tr

GİRİŞ

Hayvancılıkta verimliliğin temel koşullarından biri yeterli, ucuz ve kaliteli kaba yem teminidir. Kaba yem taze materyalde %14'ten fazla su içeriğine sahip veya kuru madde içeriğinde %16-18'den yüksek ham selüloza sahip olan materyaldir (Harmanşah, 2018) ve hayvanların rumen sağlığı için oldukça önemlidir (Tekce ve Gül, 2014) Kaliteli kaba yemler çayır-meralardan ve yem bitkileri tarımından olmak üzere iki önemli kaynaktan karşılanmaktadır (Alçiçek ve ark., 2003).

Çayır ve meralar, özellikle küçükbaş ve büyükbaş hayvanların otlatılması yoluyla doğrudan besin temini sağladığı için hayvancılığın en doğal yem kaynaklarıdır. Bilinçsiz otlatma ile mera alanlarındaki istilacı türlerin yayınlaşması (Sürmen ve ark., 2015), küresel ısınma nedeniyle mera alanlarında çölleşme ve kuraklığın artması (Karagüllü ve Kendüzler, 2008) ve mera alanlarının amaç dışı kullanılması zamanla çayır ve meraların verimliliklerinin düşmesine neden olmuştur. Bununla birlikte taşıma kapasitelerinin üzerinde hayvanla otlatılması ve ilkbaharda erken ya da sonbaharda geç otlatmaya başlanması, bitkilerin zayıf düşmesine neden olmakta; bu da zamanla meraların seyrek ve az sayıda bitki türüne sahip alanlara dönüşmesine yol açmaktadır (Ertuş, 2019). Türkiye'de ise hayvancılık büyük ölçüde doğal çayır ve meralardan, hasat sonrası bitki artıklarından ve saman gibi beslenme değeri düşük yemlerle yapılmaktadır. Bu nedenle hayvancılığın gelişmesi et ve süt veriminin artması için yem bitkileri tarımına büyük önem verilmesi gerekmektedir (Kuşvuran ve ark., 2011). Ancak ülkemizde, doğrudan insan ihtiyaçlarına yönelik kullanım alanları ile hayvan yemi üretim alanları arasındaki paylaşımda, zamanla hayvan yemi üretimine ayrılan alanların lehine bir değişim yaşanmıştır (Gökkuş ve Çoşkun, 2024). Kaba yem açığı olan bölgelerde hayvan besleme maliyetleri artmakta, bu durum hayvansal ürün fiyatlarına ve kırsal kalkınmaya olumsuz yansımaktadır.

Malatya sahip olduğu geniş mera alanları, su kaynakları ve hayvan varlığı sayesinde Türkiye'nin hayvancılık potansiyeli yüksek illerinden biridir. Özellikle bölgede nüfusun önemli bir kısmının geçim veya ek gelir kaynağı olan hayvancılık, sanayi sektörünün birçok koluna girdi sağlaması açısından da önemlidir. Bölgede çiğ süt üretim miktarı 22.130 ton, kırmızı et üretim miktarı 1.727 ton olduğu bilinmektedir (Malatya Valiliği, 2024). Ancak Türkiye'nin önemli tarım hayvancılık bölgelerinden biri olan Malatya ili 2003-2024 yılları arasında meraların özellikle konut, tarım ve toplu yapılaşma gibi faaliyetlerle işgal edildiği bilinmektedir. Dahası İkizce ve Cafana mahallerinde toplu konut, Bahri ve Merdivenler mahallesinde ise tarımsal faaliyetler ön plana çıkmıştır

(Ulubaba, 2025). Özellikle deprem afeti sonrasında bu konutlaşmanın giderek arttığı da gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Malatya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün 2024 yılına ait verileri doğrultusunda; Malatya ilindeki çayır-mera alanları, yem bitkileri ekim alanları ve üretim miktarları ile mevcut hayvan varlığını temel alarak, bölgedeki yem bitkileri üretimi ve hayvancılığın genel durumunu analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Malatya İlinin Özellikleri

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat havzasında yer alan Malatya ili, 35°54'-39°03' kuzey enlemleri ile 38°45'-39°08' doğu boylamları arasında konumlanmakta olup, 12.313 km² yüzölçümüne sahiptir. Ortalama rakımı 900 metre olan il, karasal iklim ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özellikleri gösteren mikroklimatik yapısı sayesinde tarımsal üretim açısından önemli avantajlara sahiptir. Güneyinde yer alan Güneydoğu Toroslari ve bu dağların kuzeyinde konumlanan geniş Malatya Ovası, ilin topoğrafik ve ekolojik çeşitliliğini belirleyen başlıca morfolojik unsurlar arasında yer almaktadır. Malatya tarımının temelini oluşturan bu ovanın sulama kaynakları arasında Tohma, Kuruçay ve Şiro çayları gibi önemli akarsular bulunmaktadır. Tarım arazilerinin %54'ünde sulu, %46'sında ise kuru tarım uygulamaları yapılmakta olup, özellikle sulanan alanlarda kayısı yetiştiriciliği ön plandadır (Anonim, 2025a). Bununla birlikte, ilin geniş çayır ve mera varlığı hayvancılık sektörü açısından da stratejik bir potansiyele sahiptir. Çayır ve mera alanlarının taşıdığı bu önem, hayvansal üretimde yem temininin sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemekte; bu alanlardan elde edilen kuru ot miktarı, kaba yem ihtiyacının karşılanmasında belirleyici rol oynamaktadır (Anonim, 2025b).

Malatya ili tarım arazileri, farklı üretim amaçlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Çizelge 1'e göre, Malatya ilinin toplam tarım arazi varlığının 2.687.137 da olduğu ve bu alanın önemli bir kısmının ise tarla bitkileri ve meyvecilik faaliyetlerine tahsis edildiği belirlenmiştir. Ekilen alanlar 1.030.469 da ile toplam tarım arazisinin yaklaşık %38,4'ünü oluşturarak tahıl, baklagil ve yem bitkileri gibi temel tarım ürünlerinin yetiştirildiği sahaları kapsamaktadır. Buna karşılık, nadasa bırakılan alan 571.862 da'dır (%21.3). Bu durum, özellikle kıraç alanlarda uygulanan geleneksel tarım yöntemlerinin hâlen yaygın olduğunu göstermektedir. Meyve, içecek ve baharat bitkileri alanı 1.048.366 da payıyla (%39) dikkat çekmekte olup, bu alan büyük ölçüde Malatya'nın iktisadi anlamda lokomotif tarım ürünü olan kayısı yetiştiriciliği ile ilişkilidir (Özüpekçe, 2021). Sebze bahçeleri 36.420 da (%1.4), süs bitkileri alanı ise sadece 20 da ile oldukça sınırlı düzeydedir.

Çizelge 1. Malatya ilinin Tarım Arazisinin Kullanımına Göre Sınıflandırılması

Toplam Arazi Varlığı Dağılımı (dekar)	
Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler	1 030 469
Nadas	571 862
Sebze Bahçeleri	36 420
Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri Alanı	1 048 366
Süs Bitkileri Alanı	20
Toplam Alan	2 687 137

Kaynak: TÜİK, 2025

Malatya İlindeki Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Sayısı

Çizelge 2’te yıllar itibarıyla sığır ve manda sayıları verilmiştir. Sığır sayısı, 2020 yılında 176.708 iken, 2024 yılında %2.96 oranında artarak 181.932’ye ulaşmıştır. Manda varlığı ise düşük düzeyde seyretmekte olup, 2020 yılında 21 olan manda sayısı 2024’te sadece 8’e gerilemiştir.

Çizelge 2. Yıllara göre Malatya ilindeki Büyükbaş Hayvan Sayıları

Yıl	Sığır	Manda	Toplam
2020	176.708	21	176.729
2021	174.970	16	174.986
2022	173.810	10	173.820
2023	178.121	9	178.130
2024	181.932	8	181.940

Kaynak: Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü

Sığır varlığı, genetik yapılarına göre kültür, melez ve yerli ırk olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Çizelge 3’te yıllar itibarıyla bu kategorilere ait hayvan sayıları sunulmaktadır. Kültür ırkı sığırların sayısı, 2020 yılında 106.083 iken, 2024 yılında %11.4 oranında artarak 118.225’e ulaşmıştır. Melez ırk sığırlar, genel olarak durağan bir seyir izlemekte olup, 2020 yılında 63.461 olan melez sığır sayısı, 2024’te 60.117’ye düşerek yaklaşık %5.3’lük bir azalma göstermiştir. Yerli ırk sığırlar ise 2020’de 7.164 sayısı, 2024’te 3.590’a gerileyerek %49.9 oranında azalmıştır. Bu düşüş, yerli genetik kaynakların korunması açısından önemli bir risk oluşturmaktadır.

Çizelge 3. Yıllara göre Malatya ilindeki Kültür, Melez ve Yerli Sığır Sayıları

Yıl	Sığır (Kültür)	Sığır (Melez)	Sığır (Yerli)	Toplam
2020	106.083	63.461	7.164	176.708
2021	106.957	61.375	6.638	174.970
2022	104.630	64.300	4.880	173.810
2023	113.810	59.980	4.331	178.121
2024	118.225	60.117	3.590	181.932

Kaynak: Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü

Çizelge 4’te 2020–2024 yılları arasında Malatya ilindeki koyun ve keçi varlığının yıllık değişimini göstermektedir. Koyun sayısı, 2020 yılında 295.035 iken, 2024 yılında %10,8 oranında artarak 326.818’e yükselmiştir. Bu artış, özellikle koyun yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini koruduğunu ve bölgesel hayvancılıkta hâlen önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir. Keçi varlığı ise aynı dönemde azalma eğilimi göstermiştir. 2020 yılında 64.564 olan keçi sayısı, 2024 yılı itibarıyla %18.4 oranında azalarak 52.644’e düşmüştür.

Çizelge 4. Yıllara göre Malatya ilindeki Küçükbaş Hayvan Sayıları

Yıl	Koyun	Keçi	Toplam
2020	295.035	64.564	359.599
2021	302.604	65.002	367.606
2022	307.737	61.525	369.262
2023	326.457	56.346	382.803
2024	326.818	52.644	379.462

Kaynak: Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü

Tarım ve hayvancılık politikalarının etkin biçimde planlanabilmesi için, farklı türden hayvanların ortak birim üzerinden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, Büyükbaş Hayvan Birimi (BBHB), hayvanların yem tüketimi ve mera kullanımı gibi kriterler esas alınarak farklı türlerin karşılaştırılmasını mümkün kılan standart bir ölçüttür. Malatya ilinde 2024 yılı itibarıyla toplam 561.394 adet hayvan bulunmakta olup, bu hayvanların BBHB cinsinden toplam karşılığı 226.025 birim olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Sığırlar 181.932 baş ile toplam hayvan varlığının %32.4’ünü oluştururken, BBHB bakımından %80.5’lik bir paya sahiptir. Bu durum, sığırların yüksek yem tüketimi ve otlatma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Koyunlar, sayıca en fazla hayvan türü olmasına rağmen (326.818 baş), BBHB’ye katkıları 32.6818 birim ile sınırlı kalmakta, yani sadece %14.5’lik bir orana sahiptir. Bu da koyunların mera ve yem tüketiminin görece düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Mandalar ve keçiler ise BBHB hesaplamalarında sırasıyla sadece 7.2 ve 4.2112 birimlik katkı sağlamaktadır.

Çizelge 5. Malatya ili için BBHB cinsinden hayvan varlığı (2024)

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Hayvan Birimi	BBHB
Sığır	181.932	1.00	181.932
Manda	8	0.90	7.2
Koyun	326.818	0.10	32.6818
Keçi	52.644	0.08	4.2112
Toplam	561.394		226.025

Kaynak: Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü

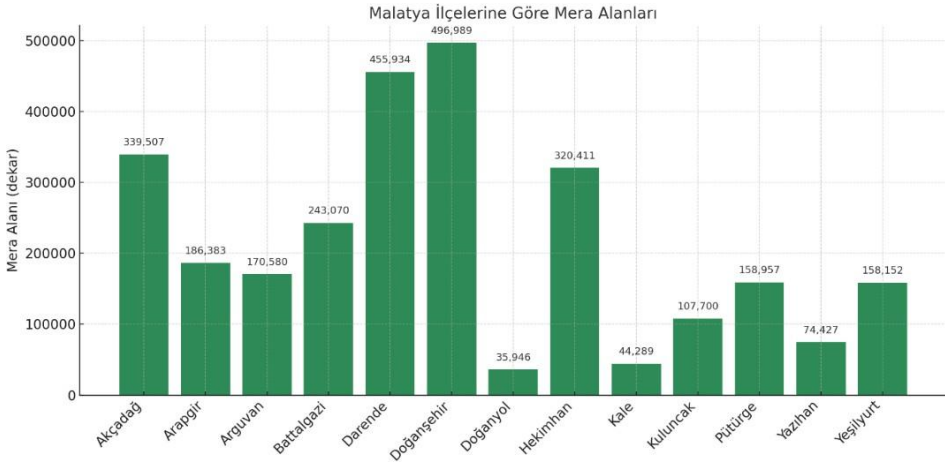
Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü’nden alınan bilgilere göre toplam 2.852.383 dekar mera varlığının yalnızca %5’inin “Çok iyi” ve “iyi” sınıf meralar oluşmaktadır (sırasıyla 122.957 da ve 36.989 da). Bu durum, yüksek verimli mera alanlarının sınırlı olduğunu ve yem üretiminde bu alanların stratejik biçimde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. “Orta sınıf” meralar 399.404 dekarlık alan ile %13’lük bir paya sahiptir. Bakım, ıslah, otlatma yönetimi gibi yöntemlerle daha yüksek verim seviyesine çıkarılabilir potansiyele sahip meralardır. Ancak “zayıf” sınıf meralar toplam meraların %82’sine denk gelen 2.293.031 dekarlık bir alanla en büyük kısmı oluşturmaktadır. Bu sınıftaki meralar aşırı otlatma, erozyon veya bakım eksiklikleri nedeniyle düşük verim kapasitesine sahiptir.

Çizelge 6. Malatya ili toplam mera alanı ve mera sınıfları

Mera Sınıfı				
Çok iyi (da)	İyi (da)	Orta (da)	Zayıf (da)	Toplam (da)
122.957	36.989	399.404	2.293.031	2.852.383
% 4	% 1	% 13	% 82	% 100

Kaynak: Malatya İl Tarım Orman Müdürlüğü

Malatya il Tarım Orman Müdürlüğü’nden elde edilen bilgilere göre en büyük mera alanına sahip ilçeler sırasıyla Doğanşehir, Darende, Akçadağ ve Hekimhan ilçelerinin sahip olduğu, ilde en düşük mera varlığına ise Yazihan, Kale ve Doğanlı ilçelerinin sahip olduğu Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Malatya ilçelerine göre mera alanları (da)

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre hazırlanan Çizelge 7 incelendiğinde, Malatya ilinde hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşıyan kaba yem üretimi, oldukça çeşitlendirilmiş ve yüksek verimlilikle yürütüldüğü görülmektedir. Malatya ilinde 115.564 dekar alanda kaba yem bitkisi üretimi yapılmaktadır. İlde toplam kaba yem bitkisi üretiminde en büyük payı (%71.4) 60.653 dekar ekili alanla yonca almakta olup, bu ürün 1.611 kg/da verimle 346.329 tonluk üretim sağlamaktadır.

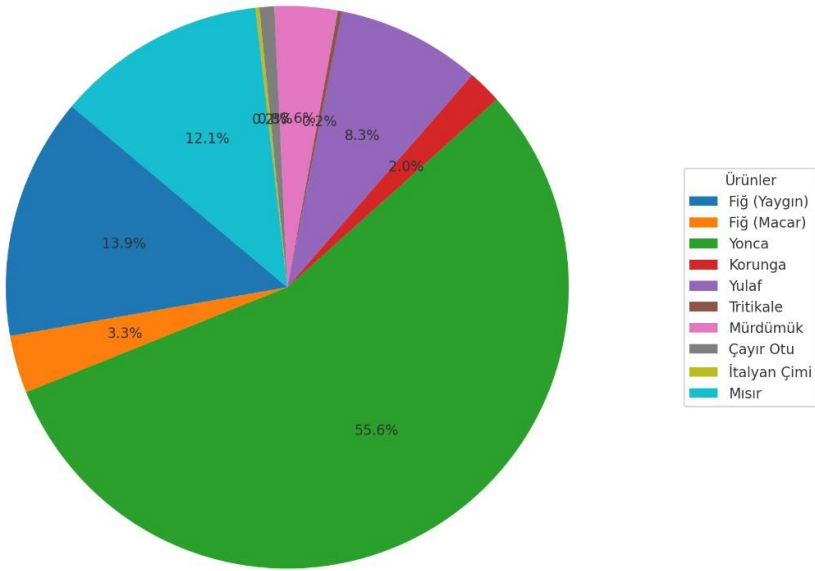
Çizelge 7. Malatya ili yetiştiriciliği yapılan yem bitkileri

Malatya ili Kaba Yem Üretimi	Ekilen Alan (da)	Yeşil Ot Üretim Miktarı (ton)	Kuru ot Üretim Miktarı (ton)
Fiğ (Yaygın)	15 161	23 188	5 797
Fiğ (Macar)	3 617	5 827	1 456
Yonca	60 653	346 329	86 582
Korunga	2 136	2 784	696
Yulaf	9 040	7 339	1 834
Tritikale	267	283	71
Mürdümük	3 948	2 442	611
Çayır Otu	927	332	83
İtalyan Çimi	245	784	196
Mısır	13 183	77 257	19 314
Toplam	109 177	466 565	116 640

TUİK, 2024 (Kuru ot üretim miktarının hesaplanması için kuru madde oranı %25 olarak alınmıştır)

Sırasıyla %12.1’lik payı ile mısır (13.183 da, 77.257 ton) ve %13.9’luk payı ile fiğ (yaygın türüyle 15.161 da, 23.188 ton) izlemektedir. Ayrıca yulaf (%8.3), macar fiği (%3.3), mürdümük (%3.5) ve korunga (%2) hem çeşitlilik hem üretim miktarı açısından önemli katkılar sunmaktadır (Şekil 2). Toplam kaba yem üretim miktarı 466 565 tona ulaşırken, bu değer Malatya’nın yem ihtiyacını karşılama kapasitesini ve hayvancılıkla entegre tarım yapısının gücünü açıkça ortaya koymaktadır. Mevcut üretim bölgedeki büyük ve küçükbaş hayvan varlığının yem ihtiyacını karşılayıp karşılamaması bakımından oldukça önemlidir.

Malatya İli Kaba Yem Üretimi - Ekilen Alan Dağılımı



Şekil 2. Malatya ili yem bitkileri üretimi dağılımı

Bir büyükbaş hayvan birimi (BBHB) 500 kg canlı ağırlık olarak kabul edilmekte ve BBHB cinsinden kaliteli kaba yem ihtiyacının hesaplanmasında; günlük canlı ağırlığının % 2.5'i kadar kuru ot veya % 10'u kadar yeşil ot yedirilmesi gerektiği esas alınmaktadır (Gökkuş ve ark., 1995; Sayar ve ark., 2010). Bu durumda Malatya ilinin hayvan varlığı dikkate alındığında 226 025 BBHB'ne karşılık gelen hayvan varlığının yaşama payı gereksinimlerinin giderilmesi için yıllık 1 031 239 ton kaliteli kaba yem ihtiyacı vardır. Hayvanlarımız için gerekli olan kaliteli kaba yem ihtiyacı iki kaynaktan sağlanmaktadır. Bunlardan birincisi nitelikli ve ucuz kaba yem sağlayan çayır, mera ve yaylalardan biçilmek veya otlatılmak suretiyle elde edilen otlar, ikincisi ise yetiştiriciliği yapılan yem bitkilerinden temin edilen kaba yemlerdir. Malatya ili 2 852 383 da çayır mera alanlarından karşılanmaktadır. Günümüzde Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki meraların ise kuru ot verimleri 40-45 kg/da arasında değiştiği bildirilmektedir (Anonymous, 2015). Bu durumda, Malatya'daki çayır ve meralardan sağlanabilecek yıllık kaba yem üretimi, bölgesel ortalamalar dikkate alındığında yaklaşık olarak 114.095 ila 128.357 ton arasında değişmektedir. Mera alanının 70 kg/da kuru ot verimi olduğu düşünüldüğünde 199.667 ton kuru ot üretmektedir. Dolayısıyla bu hayvanların

ihtiyaç duyduğu yemi karşılamada yeterli değildir. Bununla birlikte Malatya mera alanlarının %82'sinin zayıf meralar olduğu da unutulmamalıdır.

Malatya'da yıllık 1 031 239 ton kaliteli kaba yem ihtiyacının 97 327 tonu yem bitkileri tarımı ve 19 314 tonunu ise silajlık mısır üretiminden karşılanmaktadır. Bu durumda 1 031 239 ton ihtiyaç duyulan yemin 116 641 tonu kaliteli kaba yem bitkileri üretiminden ve yaklaşık 199 667 tonu mera alanlarından karşılanmaktadır (Çizelge 8). Ortaya çıkan senaryoya göre 717 931 ton kaba yeme ihtiyaç vardır.

Çizelge 8. Malatya ili kaba yem üretim miktarları ile hayvan varlığı dengesi

Kaba Yem Kaynağı	Alan (da)	Üretim Kuru Ot (ton)
Yem Bitkileri (Yonca, Fiğ, Korunga, Yulaf ve diğer)	95 994	97 327
Silajlık Mısır	13 183	19 314
Çayır Mera	2 852 383	199 667
Hayvan Varlığı	BBHB	
Büyükbaş	189.132	
Küçükbaş	36.893	
Toplam	226.025	
Yaşama Payı için Toplam Kaba Yem İhtiyacı (ton)	1 031 239	
Üretimi Muhtemel Olan Toplam Kaba Yem Miktarı (ton)	116 641	

Hayvancılık sektöründe sürdürülebilir ve ekonomik üretimin sağlanabilmesi için kaliteli kaba yem üretimi büyük önem taşımaktadır. Ancak Türkiye'de mevcut kaba yem üretimi, hayvanların ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalmakta ve bu durum yem açığına neden olmaktadır (Yavuz ve ark., 2020). Yem açığı, düşük kaliteli kaba yemlerle (saman, sap, kavuz vb.) veya pahalı yoğun yemlerle kapatılmaya çalışılmaktadır. Samanın ham protein oranının % 0.24-5.03 arasında olduğu ve besin madde unsurları bakımından çok yetersiz olduğu bilinmektedir (Acikbaş ve Ozyazıcı, 2019). Sap, saman gibi bitki artıkları yem maddesi olarak değerlendirilmeye devam edilmelidir; ancak yem kalitesini artırmak amacıyla bu artıkların bir kısmı üre, amonyak veya sodyum hidroksit (NaOH) gibi maddelerle işlenerek hayvanlara sunulmalıdır (Coşkun, 2021).

Ülkesel tarım politikalarının en önemli ve temel hedefi "kendine yeterlilik" ilkesinin sağlanabilmesi olmalıdır (Topçu ve Özkan, 2017). Öncelikli olarak Malatya ilinin çayır ve meralarının verim düzeyleri ve meraların ot kalitesi belirlenmelidir. Literatürde bu konu ile ilgili büyük bir eksiklik tespit edilmiştir. Ayrıca %82'si zayıf meralar olmasının yanı sıra aşırı ve erken otlatmaya bağlı olarak tahrip olmakta ve son derece yetersiz ve düşük kalitede ot üretmektedir. Bölgede mera ıslah projeleri yaygınlaştırılmalı ve ot verimliliği artırılmalıdır.

Sürünün yönetimi ve kontrolü, mera ıslahının korunması, hayvan sağılığı ve refahı için kalifiyeli çobanlı otlatma yapılmalıdır. Bölgede hayvancılıkla ilgili karşılaşılan önemli sorunlardan biri de kalifiye çoban eksikliğidir. Bu sorunun giderilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı'nın ilgili birimleri tarafından iş garantili kalifiye çoban eğitim programlarının düzenlenmesi gerekmektedir (Cam ve Sakarya, 2012). Yem bitkisi üretimini teşvik etmek amacıyla destekleme politikaları güçlendirilmeli ve bu bitkilerin ekim alanları genişletilerek hayvancılığın yem ihtiyacına daha sürdürülebilir çözümler sunulmalıdır. Sulama altyapısı iyileştirilmeli, özellikle sulamaya açılan alanlarda yem bitkileri ekim alanlarına da yer verilmelidir. Nadasa bırakılan arazilerin bir kısmı yem bitkileri üretimine yönlendirilmeli, böylece hem toprak verimliliği korunmalı hem de yem üretimi artırılmalıdır.

Kaynaklar

- Alçıçek A, Kılıç A, Ayhan V, Özdoğan M (2003) Türkiye’de kaba yem üretimi ve sorunları. http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/819fb9034f79627_ek.pdf
- Anonim, 2025a. <https://www.malatyatb.org.tr/cografi-konum> Erişim Tarihi: 17.05.2025
- Anonim, 2025b. <https://malatya.tarimorman.gov.tr/> Erişim Tarihi: 17.05.2025
- Anonymous, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Turkey/Turkey.htm> (Erişim tarihi: 03.02.2015).
- Can, M. F., Sakarya, E. 2012. Dünya ve Türkiye’de tarım ve hayvancılık kooperatiflerinin tarihsel gelişimi, iktisadi önemi ve mevcut durumu. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 83(1), 27-36.
- Coşkun, B. 2021. Hayvan beslemede hiç saman kullanmayalım mı? Türkiye Hayvancılığında Kaba Yem Sorunları ve Çözüm Yolları Çalıştayı, Türkiye. ss. 109-128.
- Ertuş, M. M. 2019. Hakkâri’de sürdürülebilir mera kullanımı ve yem bitkileri üretimi. *Doğu Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 47-53.
- Gökkuş, A., Coşkun, E. (2023). Geleceğin Türkiye'sinde Doğal Çayır ve Meraların Önemi. *Acta Natura & Scientia*, 4(1).
- Harmanşah, F. (2018). Türkiye’de kaliteli kaba yem üretimi sorunlar ve öneriler. *TÜRKTOB Dergisi*, 25, 9-13.
- Karagüllü, O., Kendüzler, M. 2008. CORINE sınıflandırması raporu. Orman Genel Müdürlüğü, Orman Harita ve Fotogrametri Müdürlüğü, Ankara.
- Kuşvuran, A., Nazlı, R.İ., Tansı, V., 2011. Türkiye’de ve Batı Karadeniz Bölgesi’nde çayır–mera alanları, hayvan varlığı ve yem bitkileri tarımının bugünkü durumu. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 28(2): 21–32.
- Özüpekçe, S. 2021. Malatyada Tarımsal Arazi Kullanımı ve Kayısının Önemi. *Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 62-77.
- Sayar, M.S., Anlarsal, A.E, Başbağ, M., 2010. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yem bitkileri tarımının mevcut durumu sorunları ve çözüm önerileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2): 59-67.
- Sürmen, M., Yavuz, T., Sürmen, B., & Kutbay, H. G. 2015. Samsun ili çayır ve mera alanlarında istilacı türlerin tespiti ve yoğunluklarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Weed Science*, 18(1), 1-5.
- Tekce, E., Gül, M. 2014. Ruminant beslemede NDF ve ADF’nin önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 9(1), 63-73.
- Topçu, G. D., Özkan, Ş. S. 2017. Türkiye ve Ege bölgesi çayır-mera alanları ile yem bitkileri tarımına genel bir bakış. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(1), 21-28.

Ulubaba, H. İ. 2025. Mera Alanlarındaki Zamana Bağlı İşgal ve Tecavüzlerin Tespiti ve Değerlendirilmesi: Malatya İli Örneği. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65ss.

3. Bölüm

Damla Sulamada IoT Tabanlı Otomasyon Sistemi

Alper BAYDAR¹, Yeşim BOZKURT ÇOLAK²
Burak DALKILIÇ²

1. GİRİŞ

Tarımsal sulama en genel tanımı ile bitkinin ihtiyaç duyduğu fakat doğal yollar ile karşılanamayan suyun çevreye zarar vermeden bitki kök bölgesine iletilmesi şeklinde ifade edilmektedir. Günümüzde en büyük doğal afetlerin başında iklim değişikliği ile kuraklık gelmekle birlikte tarımsal üretimde en fazla olumsuz etkinin ise su kaynakları üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklıklardaki dalgalanmalar, yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve aşırı hava olaylarının tarımsal verimlilik üzerinde olumsuz etkileri vardır (Candemir ve ark., 2025).

Yüzey ve yeraltı suyu yönetiminin optimizasyonu, başta kuraklık olmak üzere giderek artan sıklıkta meydana gelen aşırı olaylar karşısında bir öncelik haline gelmiştir (Uçak ve ark., 2023a). Bu olumsuz etkiler; sıcaklık artışı, yağışların düzensizliği, bazı yörelerde aşırı yağış bazılarında kuraklık beklentisidir. Bu etkilerin tarımda verim kayıplarına, dünyada nüfusun gıda güvenliğinin riske girmesine, salgın hastalıklara ve açlık sorunlarına yol açacağı öngörülmektedir (Gönültaş ve ark., 2008). Tarımda su kullanımı endüstriyel kullanımlarla sürekli bir rekabet halindedir (Uçak ve Arslan, 2023b). Tarımsal sulamada kullanılan suyun %70'i yüzeysel sulama adını verdiğimiz salma sulama yöntemiyle yapılmaktadır. İklim değişikliğine uyum bağlamında yapılacak en önemli çalışma tarımsal sulamada kullanılan suyun kontrol altına alınmasıdır. Bu açıdan yapılacak iki önemli uyum çalışmasının ilki doğal olarak sulama altyapısını geliştirerek yüzeysel sulamadan yağmurlama veya damla sulamaya geçiş olmalıdır. Bu çaba sırasında da temiz suyun tüm ülkenin doğal kaynağı olduğunun bilincinde davranılarak yüzeysel sulamadan geçiş çabalarının devlet tarafından finanse edilmesi gereklidir. Aksi takdirde çiftçilerin bunu kendi

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü,
ORCID: 0000-0002-1426-466X, alper.baydar@siirt.edu.tr

² Doç. Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü,
ORCID: 0000-0003-1836-3910, yesim.colak@ozal.edu.tr

² Araş. Gör., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü,
ORCID: 0000-0002-5317-2186, burak.dalkilic@ozal.edu.tr

başlarına gerçekleştirme imkanları bulunmamaktadır (Kurnaz, 2023). Orta Doğu'da su kaynaklarının sınırlı olması ve son yıllarda sanayi ve tarımda hızlı ve plansız su tüketimi mevcut kaynakları nitelik ve nicelik açısından tehdit etmektedir (Ali ve ark., 2021). Türkiye'de kişi başına düşen temiz su miktarı 1923'te senede 8000m^3 'ten 2023'te senede 1200m^3 civarına düşmüştür. Buradaki temel sebep nüfus artışı olup ülkemizin nüfusu da artmaya devam edeceği için normal beklentilere göre kişi başına düşen temiz su miktarı 2050 senesinde 1000m^3 'ün altına gerileyecektir. Bu durum, ülkemizin artık su fakiri olacağını ifade etmektedir. Bunun üzerine iklim değişikliğinin getireceği yağış azalmasını da kattığımızda yüzyılın ortasında önemli bir temiz su sorunu yaşayacağımız açıktır (Kurnaz, 2014; Spinoni, 2020). Küresel ısınmaya bağlı ortalama sıcaklıklardaki artış daha fazla buharlaşmaya ve dolayısı ile bitki su tüketiminin de artmasına sebep olması kaçınılmazdır. Bu durum, bitkilerde sulama suyu ihtiyacının artmasına ve dolayısı ile tarımsal suyu daha etkin kullanmamız gerektiği anlamına gelmektedir. Günümüzde sulama suyunun bitkilere iletilmesinde farklı yöntem ve sistemler kullanılmaktadır. Sulamada esas kural en uygun verimi elde edebilmek için en az kayıp ve en etkin yöntemle suyu bitkiye iletmektir. Bu anlamda uygulanacak olan sulama yönteminin seçiminde, su kaynağının türü, bitki çeşidi, arazinin topoğrafyası gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü daha yüksek randımanlı sulama sistemlerinin kullanılması, bunların geliştirilmesi ve böylece daha geniş alanların sulanabilmesi büyük önem arz etmektedir.

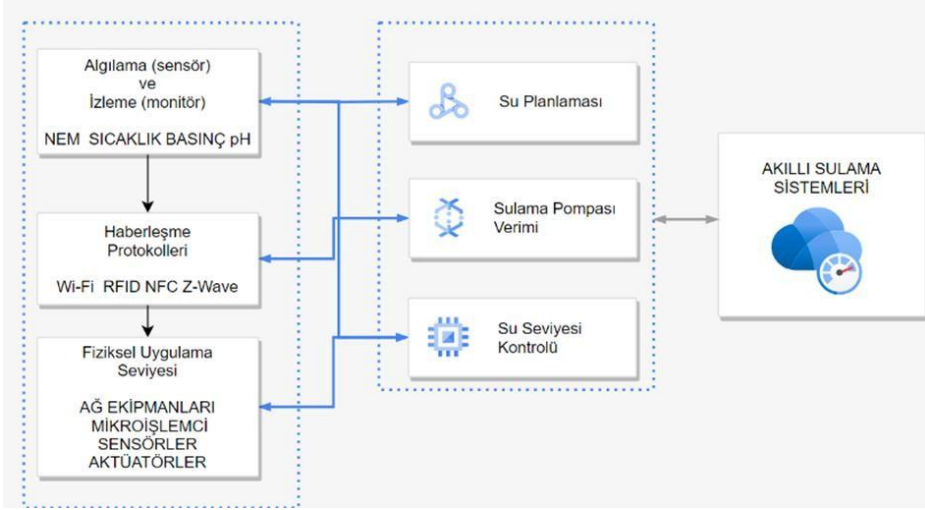
Sulama yöntemleri içerisinde damla sulama yöntemi, azar azar ve sık sık olacak şekilde suyun direk olarak bitki kök bölgesine uygulandığı, işçilik maliyetlerinin daha az ve su kayıplarının da en aza indirgendiği sulama yöntemidir. Ayrıca sadece bitki kök bölgesine suyun iletilmesi sağlandığı için arazinin tamamının sulanmaması sağlanmakta ve böylece su kullanım etkinliği de artmaktadır. Yüzey sulama yöntemleriyle karşılaştırıldığında damla sulama; yüzey akış ve derine sızma ile oluşan kayıpları da minimize ettiğinden sulama randımanı %70-95 arasında olabilmektedir. Bu yüzden damla sulama yüzey sulama için gerekli olan suyun bulunmadığı alanlarda bitkisel üretimin yapılmasına ve 1 birim su ile daha fazla gelir elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Westarp ve ark., 2003; Uçak ve ark., 2022). Damla sulama yönteminde gelişen teknolojinin de yardımı ile yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama yöntemleri her geçen gün daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar damla sulama yönteminin avantajları olsa da; bitki kök bölgesinde tuz birikimi, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve damlatıcıların tıkanması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Damla sulama yönteminin, doğru projeleme, yeterli ve teknik bakımlarının zamanında yapılması gibi durumlarda halen en etkin sulama yöntemi olarak, günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi gelecek yıllarda iklimsel değişikliklerin su kaynakları üzerindeki olası olumsuz etkileri göz önüne alındığında, sulama sistemlerinin sürdürülebilirliği önem arz etmektedir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında mevcut sulama sistemlerinin, teknolojinin de yardımı ile daha uzun ömürlü ve en etkin şekilde kullanılması için çalışmalar giderek artmaktadır. Sulama sistemlerinde otomasyon bu noktada üreticilere ve mühendislere büyük faydalar sağlamaktadır. Tarımsal alanlarda sulama ve gübrelemenin zamanında yapılması bitki gelişimi açısından son derece önemlidir. Tarım alanları bulundukları bölge nedeniyle genellikle yerleşim yerlerinden uzaktadırlar. Uzak olması nedeniyle sulama ve gübreleme yapılması oldukça zorlaşmaktadır. Ayrıca tarım arazisinin nem ve sıcaklık değerlerinin takibi de oldukça zor olmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı tarımsal alanlarda otomasyon sistemleri önem kazanmaktadır. Otomasyon sistemine sahip tarım alanlarında sisteme eklenecek çeşitli sensörler ile bitkilerin tüm değerleri ölçülebilmekte ve takip edilebilmektedir. Bunlara ilave olarak tarım alanından alınan veriler geçmişe dönük olarak kaydedilebilmekte ve rapor oluşturulabilmektedir (Kurt ve ark., 2022).

Ülkemizde tarımsal üretim alanlarının genellikle dağınık, parçalı ve yaşam alanlarına uzak olması nedeniyle farklı yerlerdeki üretimin aynı anda kontrol edilebilmesi zordur. Bu durum bilişim/haberleşme teknolojisinin kullanılması için önemli bir fırsat vermiştir. Gelişmiş ülkeler ile birlikte birçok gelişmekte olan ülke bu tip uygulamaları tarımda yenilikçi teknolojiler olarak kabul ve tercih etmektedir. Özellikle kablosuz teknoloji uygulamaları tarım sektöründe yaygınlaşmıştır (Çakmak ve Mercan, 2017). Son zamanlarda, tarımsal sulamada yapay zekâ (AI) yönetimi, derin öğrenme (DL) teknikleri ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarından faydalanılmaktadır. Akıllı sulama sistemleri orta ölçekli çiftçiler için de önerilebilmektedir ancak sistemin verimliliği; sulanan tarım alanının büyüklüğü, arazi topoğrafyası, ürün çeşidi, su kaynağı, çevresel faktörler gibi farklı parametrelere bağlıdır (Şahin, 2024). Damla sulama sisteminin otomasyonunda, suyun alındığı noktadan araziye iletildiği noktaya kadar tüm bileşenlerin birbirileri ile uyum içinde çalışması halinde en etkin biçimde yararlanılır. Bu anlamda damla sulama sisteminin bileşenleri olan damlaticılar, filtrasyon sistemi, fertigasyon ekipmanları, sistem kontrolcüler (mikro denetleyiciler), basınç düzenleyici vanalar ve verilerin analizi ile yazılım sistemin en temel elemanlarını oluşturmaktadır. Bu elemanlar içerisinde otomasyonun en önemli parçasını sistem kontrolcülerini oluşturmaktadır. Sistem kontrolcülerinde, özellikle açık su kaynaklarında kullanılan ve su seviyesi azaldığında pompanın

kapanmasını sağlayan su seviye ölçeri, nem sensörleri ve iklimsel verilerin kaydedildiği sulama otomasyon kontrolcüsü bulunmaktadır. Kontrolcüler (denetleyiciler), sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen verilere göre sulama sisteminde gerekli ayarlamalar yaparak sistemi yöneten elemanlar olarak tanımlanmaktadır (Şahin, 2024). Şekil 1’de bir akıllı sulama sisteminin temel bileşenleri görülmektedir.



Şekil 1. Akıllı sulama sistemlerinin temel bileşenleri (Şahin, 2024).

Tarım 4.0 ile, sürdürülebilir ve akıllı endüstriyel tarım gerçek zamanlı olarak elde edilecektir. Mekansal-zamansal verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi tarım endüstrisinin gıda üretiminden tüm yönleriyle, tüketiciye dağıtımına kadar ele alınır. Gerçek zamanlı çiftlik yönetimine sahip böyle bir endüstriyel tarım ekosistemi, yüksek derecede otomasyon ve veriye dayalı akıllı karar verme, üretkenliği, tarımsal gıda arzını, gıda güvenliği ve doğal kaynakların kullanımını büyük ölçüde artıracaktır (De Clercq, 2018). Tarım 4.0 dönüşümü ile birlikte, tarım sektöründe yeni bir süreç ortaya çıkmış ve bu kapsamda bilgisayar destekli kontrol sistemleri, çeşitli yazılım ve donanım araçları, dijital sensörlerle donatılmış tarım makineleri ve tarım ekipmanları ile bunların birbirleriyle iletişimi, görüntü işleme teknolojileri, coğrafi bilgi sistemleri, insansız hava araçlarının kullanımı gibi akıllı sistemlerin kurulması ve yaygınlaştırılması önem kazanmıştır (Aydın, 2022). Tarım 4.0 ile bilgi ve iletişim teknolojisi kullanımı ve uygulamaları yaygınlaşması sonucu takip edilebilen bir tarım sistemine geçilmiştir. Bu sayede tarımda dijitalleşme, denetim mekanizmalarının artmasını sağlamış ve tarımda verimliliği maksimum hale getirmiştir. Tarımda teknolojinin

yoğun olarak kullanımı ile beş farklı alanda inovasyon artışı da dikkat çekmektedir (USB, 2017);

- 1- Değer zincirinin etkinliğinin artırılması (Tüketiciye doğrudan teslimat, yemek kitleri, gıda e-ticareti gibi).
- 2- Ürün verimliliğini artırmak için, dronlar, robotlar, büyük veri ve paylaşım platformları yanı sıra sulama, toprak ve ürün teknolojileri.
- 3- Ekolojik ayak izinin azaltılması için, agro-kimyasallar, biyo-materyaller ve biyoenerji konusunda inovasyonlar.
- 4- Sürdürülebilir protein ihtiyacı için bitki bazlı gıdalar.
- 5- Kapalı ve dikey tarım, Akıllı seralar.

Tarımsal uygulamalarda sensörlerin kullanımı her geçen gün geliştirilerek artmaktadır. Son zamanlarda tarımsal amaçlı sensörler özellikle IoT (Internet of Things) gelişmesi ile birlikte uydu ve ağ yardımı ile gerçek zamanlı olacak şekilde veri aktarımı sağlayabilmekte ve daha etkin kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Chavare ve ark., 2025). Bunun nedeni, temel iletişim altyapısı (sensörlerden araçlara ve kullanıcı mobil cihazlarına kadar akıllı nesneleri İnternet'i kullanarak birbirine bağlamak için kullanılır) ve yerel veya uzaktan veri toplama, bulut tabanlı akıllı bilgi analizi ve karar verme, kullanıcı arayüzü ve tarımsal otomasyon gibi hizmet yelpazesi dahil olmak üzere IoT tarafından sunulan yeteneklerdir (Akbaş ve Bağcı, 2021).

IoT kullanım alanları tarım, güvenlik, enerji, otomasyon, lojistik, sağlık, çevre, ulaşım ve endüstri gibi sektörlerde yaygındır. Nesnelerin internetinin birçok tarım uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalar temelde sensörlerden veri olarak çiftçilerin sulama ve izleme işlemini gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır. Özellikle sulama sistemi otomasyonu çiftçilerin tercih ettiği bir sistemdir. Tarım uygulamalarında diğer IoT kullanım alanları; akıllı sulama sistemleri, hassas tarım, tarımda drone kullanımı, akıllı seralar ve hayvancılık izleme ön plana çıkmaktadır (Kurt ve ark., 2022). Karar destek sistemleri, akıllı tarım içerisinde verilerin analiz edilmesi, çıkarımlar yapılması ve bilgi kaynağı oluşturulmasını sağlamaktadır. Tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı özellikle, su kaynaklarının yönetiminde, görev planlamasında, iklim değişikliğine uyum sağlanmasında, israfın önlenmesi ve atık yönetiminde, tarımsal tedarik zincirlerinde ve sürdürülebilirlik konularında öne çıkmaktadır (Zhai ve ark., 2020).

Nesnelerin İnterneti (IoT), benzersiz bir şekilde tanımlanabilen nesneler olarak bilinen sensörleri, bilgi işlem cihazlarını, algoritmaları ve fiziksel nesneleri entegre eden dağıtılmış bir bilgi ve iletişim teknolojisidir (Khan, 2019). IoT teknolojisinde herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde, her nesne, herhangi bir ağ üzerinden birbirine bağlanabilmektedir (Guillemin ve Friess, 2009). IoT'nin

nihai hedefi, her alanda her şeyi internete bağlayarak yeni uygulamalar ve hizmetler üretmektir. Milyarlarca IoT cihazının internet üzerinden bağlanacağı ve bulut ve/veya sis bilişim (fog computing) teknikleri ile işlenmesi gereken çok büyük miktarda veri (Büyük Veri) oluşturarak birbirleriyle etkileşime girebilecekleri tahmin edilmektedir (Khan ve Yuce, 2019). Nesnelerin interneti (IoT) veri toplayan, birbirleriyle iletişim kuran ve internet üzerinden uzaktan izlenebilen veya kontrol edilebilen birbirine bağlı sensör donanımlı elektronik cihazların bir arada olduğu ağ teknolojisidir. Tarım arazilerinde su kaynağının optimum kullanılmasına, maliyetlerin düşürülmesine, ürünlerin kalitesinin artırılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamasından dolayı IoT tabanlı sulama sistemleri bu alandaki en önemli uygulamalardandır. IoT teknolojisi ile tarım alanında birçok araştırma yapılmakta ve çoğu çeşitli düğümlerde konumlandırılmış farklı sensörlerden veri toplayan ve kablosuz protokol aracılığıyla bu verileri gönderen kablosuz sensör ağının kullanımını ifade eder. Aynı zamanda toplanan verileri çevresel faktörler hakkında bilgi sağlar (Babayiğit ve Büyükpatpat, 2019). Nesnelerin interneti, üretim süreci boyunca cihazların birbiriyle iletişim halinde olmasını sağlamaktadır. Dijital sensörlerle donatılmış tarım ekipmanları ve araziler, ne kadar ve ne tür gübreye ihtiyaç duyulduğunu, hava koşullarını, bitkilerin ihtiyaç duyduğu bitki besin elementlerini, toprağın durumunu ve tahmini hasat zamanını ayrıntılı ve gerçek zamanlı bir şekilde göstererek üreticilere yardımcı olmaktadır (Akbaş ve Bağcı, 2021). Tarımsal otomasyonda kullanılan sensörler ve özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Tarımda kullanılan sensörler (Elijah ve ark., 2018).

Sensör türü	Fonksiyonlar	Uygulama alanları
Optik	Işıktan yararlanarak toprak nemini ölçmek	Kil, organik madde ve toprağın nem içeriğini belirlemek için fotodiyotlar ve fotodetektörler
Mekanik	Toprak sıkışması ve mekanik direnci ölçmek için problemlerin kullanılması	Tansiyometreler ile köklerin suyu absorbe gücünü belirler
Elektrokimyasal	Sudaki spesifik iyonları belirlemek için elektrotların kullanımı	Topraktaki azot fosfor potasyum (NPK) miktarını tespit etmek için iyon seçici elektrotların (ISE) ve iyon seçici alan etkili transistör sensörlerinin (ISEFT) kullanımı
Dielektrik toprak nemi	Topraktaki dielektrik sabitini ölçerek nem seviyelerini değerlendirmek için elektrotların kullanılması	Toprak su içeriğini algılamak için frekans alanı reflektometrisi (FDR) veya zaman alanı reflektometrisi (TDR)
Hava akışı	Toprak-hava geçirgenliğinin ölçümü	Sıkıştırma, yapı, toprak tipi ve nem seviyesi gibi özellikler ölçülebilir
Konum	Enlem, boylam ve yüksekliği belirlemek için Küresel konumlandırma sistemi (GPS) uydularının kullanılması	GPS, hassas tarım için köşe noktalarında hassas konumlandırma sağlar.

Akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte kullanımı artan nesnelerin interneti ve blok zincir teknolojilerinin, karar destek sistemleri ile entegre edilmesi kararları daha iyi hale getirerek önemli rol oynamaktadır. Geliştirilen akıllı tarım uygulamaları ile verimin artırılması, maliyetlerin azaltılması, israfın önlenmesi sağlanabilmektedir. Entegre karar destek sistemleri, ekin alanlarından sensörler tarafından toplanan verileri tarım yönetimi hakkında bilgi elde etmek için analiz ederek öneriler sağlar (Munir ve ark., 2019). Sensör teknolojileri ve nesnelerin interneti (IoT) akıllı tarım uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve farklı tespitlerin yapılmasını sağlayan yeni teknolojilerden biridir. IoT ve sensörlerin kullanıldığı su yönetim sistemleri sayesinde oluşturulan akıllı sulama sistemleri, temiz su kaynaklarının korunmasını sağlarken aynı zamanda verimli sulama çözümleri oluşturulmasını sağlamıştır (Huong ve ark., 2018; Munir ve ark., 2019). Çizelge 2’de otomasyona dayalı damla sulama sistemlerinin karşılaştırılması yer

almaktadır. Yapay zeka destekli otomasyon sistemleri diğer sistemlere göre en yüksek maliyeti oluşturmakta ve daha çok araştırma alanında kullanılmaktadır. Solar tabanlı sistemler ise günümüzde daha çok seralarda sulama otomasyonlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Sensör ve IoT tabanlı otomasyon sistemleri ise günümüzde en çok tercih edilen sistemlerin başında gelmektedir. Her ne kadar maliyetleri orta ve yüksek olsa da gerekli desteklemeler ile daha da yaygınlaştırılması büyük önem arz etmektedir. IoT tabanlı sistemler internet ve mobil uygulamalar aracılığıyla sulamanın uzaktan yönetimini ve kontrolünü kolaylaştırarak üreticilere sulamayı her yerden yönetme ve değişen koşullara hızlı bir şekilde yanıt verme olanağı sağlamaktadır (Godase ve ark., 2025).

Çizelge 2. Otomasyonlu damla sulama sistemlerinin karşılaştırılması
(Godase ve ark., 2025)

Sistemin türü	Otomasyon seviyesi	Kontrol mekanizması	Kullanılan teknoloji	Maliyet	Uygulama alanı
Manuel damla sulama	Yok	Manuel vana kontrolü	Boru ve damlaticılar	Düşük	Küçük işletmeler ve düşük maliyetli alanlar
Zamanlayıcı	Düşük	Zaman ayarlayıcı	Programlanabilir zamanlama	Düşük-orta	Ev ve bahçeler, düzenli sulama alanları
Sensör tabanlı	Orta	Nem sensörü tabanlı	Nem sensörü ve röle	Orta	Çiftlikler ve seralar
IoT tabanlı	Yüksek	Uzaktan kontrol ve izleme	IoT sensörleri, mobil ve internet tabanlı göstergeler	Yüksek	Ticari üretim alanları ve akıllı tarım uygulamaları
Yapay zeka tabanlı	Çok yüksek	Tahminleme ve uyarlanabilir kontrol	Yapay zeka modelleri ve iklim entegrasyonu	Çok yüksek	Gelişmiş araştırma alanları
Solar tabanlı	Orta yüksek	Çevre tabanlı	Solar paneller ve nem sensörü	Orta-yüksek	Uzak ve kurak araziler

Damla sulama sistemlerinin otomasyonu etkin bir tarımsal sulama yönetimi açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar otomasyon sistemi ile yaklaşık %40 su tasarrufu sağlandığını ve bunu buharlaşma kayıplarını azaltarak elde edildiğini göstermektedir.

Bu durum iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında büyük bir avantaj sağlamaktadır (Godase ve ark., 2025). Damla sulama sisteminde gübrenin sulama suyu ile bitki kök bölgesine iletilmesi (fertigasyon) bitki gelişimi açısından vazgeçilmezdir. Otomasyon sistemi ile gübrenin istenilen miktar ve sürede bitki kök bölgesine ulaştırılması sağlanabilmektedir. Avantajlarının yanında otomasyon sisteminin dezavantajları da bulunmaktadır. En büyük dezavantaj ilk yatırım maliyetidir. Yüzey üstü sistemlerde 150-500 USD maliyeti var iken yüzey altı sistemlerde bu maliyet daha da fazla olacaktır. Yüksek maliyetler, özellikle küçük bütçelerle çalışan birçok çiftçinin, su kullanımı ile verimlilikte uzun vadede potansiyel tasarruflar sağlamasına rağmen yatırımı geri kazanımını zorlaştırmaktadır (Godase ve ark., 2024; Godase ve ark., 2025). Tarıma ve sulamaya yönelik sistemler için ticari sensörler çok pahalı olduğundan küçük çiftçilerin bu tür bir sistemi işletmelerinde uygulamaları neredeyse imkansız hale gelmektedir. Bununla birlikte, günümüzde firmalar üreticilere sulama yönetimi ve tarımın izlenebilmesi için düşük maliyetli sensörler sunmaktadır. Ayrıca, tarım ve suyun izlenmesi amacıyla ve düşük maliyetli sensörlere olan ilgi nedeniyle, araştırmalarda yaprak su stresi izleme sensörü, PVC boru boyunca yerleştirilmiş bakır halkalardan oluşan çok seviyeli toprak nem sensörü, bakır bobinlerle yapılan bir sulama suyu tuzluluğu izleme sensörü veya renkli ve kızılötesi led yayıcılar ve reseptörlerle yapılan bir su bulanıklığı sensörü gibi yeni düşük maliyetli sensörler önerilmektedir (Daskalakis ve ark., 2018; Guruprasadh ve ark., 2017; Parra ve ark., 2013). IoT, tüm süreci çok daha etkili ve verimli hale getirmek için tarımın tüm yönlerinin ve üretim yöntemlerinin otomasyonu ile ilişkilendirilirken, duyuusal sistemlerin çiftçiler tarafından ürünleri daha iyi anlamak, çevresel etkileri azaltmak ve kaynakları korumak için kullanılabilir. Akıllı sulama sistemi, kuruluşların performans hedeflerine ulaşmak için teknolojiden yararlandığı günümüz ortamında bir ihtiyaç haline gelmiştir. Hem IoT hem de sensör sistemlerinin olumlu sonuçları son derece zorunlu bir hal almaktadır. IoT, sulama süreçlerinin izlenmesinde, sistemini yönetme fırsatı veren toplam teknoloji maliyetini düşürmektedir. Ayrıca kablosuz sensör ağı (WSN) hassas tarım ve sulama faaliyetleri için gerçek zamanlı izlemeye katkıda bulunmaktadır. Akıllı sulama sistemlerinin uygulanmasında yönetim ve güvenlik konularına daha fazla odaklanılmalıdır. Düğümün gerekli faaliyetleri gerçekleştirmesini sağlamak için etkili bir iletişim sistemi son derece önemlidir (Obaideen ve ark., 2022).

Kaynaklar

- Akbaş, G.G., Bağcı, A., 2021. Economic Growth and Smart Farming. *Gazi Journal of Economics and Business*, 7(2): 104-121.
- Ali, M., Gençoğlu, C., Gençoğlu, S., Uçak, A.B. 2021. Yield and Water Use of Eggplants (*Solanum melongena* L.) Under Different Irrigation Regimes and Fertilizers. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 533-544.
- Aydın, N. 2022. Tarım Sektöründe Bilgi Teknolojileri. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 8.
- Babayiğit, B., Büyükpatpat, B., 2019. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sulama ve Uzaktan İzleme Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirimi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(2):13.
- Candemir, S., Ağızan, K., Doğan, H.G., Bayramoğlu, Z. 2025. Evaluating Energy Efficiency and Carbon Emissions in Banana Cultivation: the Case of Antalya Province in Türkiye. *Applied Fruit Science* 67, 99. Doi: 10.1007/s10341-025-01322-w.
- Chavare, S.M., Nanaware, P.P., Wagh, S.S., Jadhav, A.T., Yogesh, Y., Khadake, S.B., 2025. Smart Plant Monitoring and Automated Irrigation System Using IOT. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 5(4):688-706.
- Çakmak, B., Mercan, E., 2017. Tarımsal Üretimde Örnek Bir IoT Uygulaması ve Yaşlı Tarım Çalışanlarının İzlenebilirliği. *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, 10(1): 29.42.
- Daskalakis, S.N., Goussetis, G., Assimonis, S.D., Tenzeris, M.M., Georgiadis, A.A. 2018. Uw Backscatter-Morse_Leaf Sensor for Low-Power Agricultural Wireless Sensor Networks. *IEEE Sens. J*, 18: 7889–7898.
- De Clercq, M., Vats, A., Biel, A. 2018. “Agriculture 4.0: The future of farming technology,” in *Proc. World Government Summit*, pp. 11–13.
- Elijah, O., Rahman, T.A., Orikumhi, I., Leow, C.Y., Hindia, M.N. 2018. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5):3758-3773.doi: 10.1109/JIOT.2018.2844296.
- Godase, V., Mulani, A., Ghodake, R., Birajadar, G., 2024. A MapReduce and Kalman filter based secure IIoT environment in Hadoop. (Erişim: 12.06.2025). <https://www.researchgate.net/publication/383941977> ..
- Godase, V., Mulani, A., Takale, S., Ghodake, R., 2025. A Holistic Review of Automatic Drip Irrigation Systems: Foundations and Emerging Trends. *Journal of Instrumentation and Innovation Sciences*. 10(1): 38-47.

- Gönültaş, G., Boyacı, H., Uygan, D., 2008. Küresel Isınma Gerçeği Çerçevesinde Türk Tarımı. *Türktarım Dergisi Ocak-Şubat, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Dergisi*, 179: 8-12.
- Guillemin, P., Friess, P. 2009. Internet of Things Strategic Research Roadmap, The Cluster of European Research Projects, Tech. Rep., September 2009. http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf.
- Erişim: tarihi: 18.06.2025.
- Guruprasadh, J.P, Harshananda, A., Keerthana, I.K., Krishnan, K.Y., Rangarajan, M., Sathyadevan, S. 2017. Intelligent Soil Quality Monitoring System for Judicious Irrigation. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Udipi, India, 13–16 September 2017.
- Huong, T.T., Huu Thanh, N., Van, N. T., Tien Dat, N., Long, N. Van, Marshall, A. 2018. Water and Energy-Efficient Irrigation Based on Markov Decision Model for Precision Agriculture. 2018 IEEE 7th International Conference on Communications and Electronics, ICCE 2018, 51–56. <https://doi.org/10.1109/CCE.2018.8465723>.
- Khan, J.Y., ve Yüce, M.R. 2019. Preface. In J. Y., Khan ve M. R., Yüce (Editörler), *Internet of Things (IoT): Systems and applications*. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd. Singapore. ISBN 978-0-429-39908-4.
- Kurnaz, M.L., 2014. Drought in Turkey. <https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20200323-16034017.pdf> (Erişim: 12.06.2025).
- Kurnaz, M.L., 2023. İklim Değişikliği ve Uyum Süreçlerinde Türkiye. *Resilience Journal*, 7(1):199-208.
- Kurt, C., Yılmaztürk, İ., Okur, F., Menemen, A., Bahtiyar, B., İplikçi, S., 2022. Development of Internet of Things Based Agricultural Irrigation Automation System. *Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi*, 1(1):149-153.
- Munir, M.S., Bajwa, I.S., Cheema, S.M. 2019. An Intelligent and Secure Smart Watering System Using Fuzzy Logic and Blockchain. *Computers ve Electrical Engineering*, 77, 109–119. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2019.05.006>.
- Obaideen, K., Yousef, B. A., AlMallahi, M.N., Tan, Y.C., Mahmoud, M., Jaber, H., Ramadan, M. 2022. An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7, 100124.

- Parra, L., Ortuño, V., Sendra, S., Lloret, J. 2013. Low-Cost Conductivity Sensor based on Two Coils. In Proceedings of the First International Conference on Computational Science and Engineering, Valencia, Spain, 6–8 August 2013.
- Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., Christensen, O. B., Coppola, E., Evans, J., Geyer, B., Giorgi, F., Hadjinicolaou, P., Jacob, D., Katzfey, J., Koenigk, T., Laprise, R., Lennard, C. J., Kurnaz, M. L., Li, D., & Llopart, M. (2020). Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, 33(9), 3635–3661. Doi: 10.1175/jcli-d-19-0084.1
- Şahin, H., 2024. Artificial Intelligence, Deep Learning, and Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 41-60.
- Uçak, A.B., Atılgan, A., Korytowski, M., Kociğcka, J., Liberacki D., Stachowski, P., Saltuk, B., Rolbiecki, R. 2023a. Derinkuyu dry bean irrigation planning in semi-arid climate by utilising crop water stress index values. *Journal of Water and Land Development*, 10, 1-8., Doi: 10.24425/jwld.2023.147239.
- Uçak, A.B., Arslan, H. 2023b. Drought stress resistance indicators of chickpea varieties grown under deficit irrigation conditions. *PeerJ* 11:e14818. Doi: /10.7717/peerj.14818.
- Uçak, A.B., Arslan, H., Özçınar, A.B., & Arslan, D. (2022). Determination of Irrigation Time by Utilizing Plant Water Stress Index (CWSI) Values of II. Crop Sesame Genotype in Siirt Conditions. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* ISSN:2454-1850, 8 (1)
- University of Stellenbosch Business School (USB) 2017. The Future of The Western Cape Agricultural Sector In The Context of The 4th Industrial Revolution. <http://www.elsenburg.com/sites/default/files/24.%204IR%20%20AGRICULTURE%20LITERATURE%20REVIEW%20%281%29.pdf> (Erişim: 18.06.2025)
- Westarp, S., Chieng, S., Schreier, H., 2003. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. *Agricultural Water Management*, 64:143-160.
- Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V., Martínez, N.L. 2020. Decision Support Systems for Agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. Doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105256.

4. Bölüm

Kayısı Üretiminde Modern Sulama Stratejileri ve Su Kaynaklarının Etkin Kullanımı

**Burak DALKILIÇ¹, Yeşim BOZKURT ÇOLAK¹,
Alper BAYDAR²**

Özet: Dünya genelinde tatlı su kaynaklarının sınırlı olması ve dağılımının dengesizliği, tarımda sürdürülebilir su kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Tarımsal faaliyetler, küresel tatlı su kullanımının yaklaşık %70'inden fazlasını tüketmektedir; Türkiye'de ise bu oran %73 düzeyindedir. Türkiye, dünya kayısı üretiminde öncü konumda bulunmakla birlikte, verimlilik açısından diğer ülkelerin gerisindedir. Bu durumun temel nedenleri arasında, ilkbahar donları, geleneksel sulama uygulamaları ve yetersiz sulama yönetimi yer almaktadır. Kayısı üretiminde fenolojik dönemlere göre uygulanan kısıntılı sulama (RDI), su kullanımını azaltırken meyve kalitesini ve verimini artırabilir. Ayrıca damla sulama ve yağmurlama gibi modern sulama yöntemleri ile yenilenebilir enerji entegrasyonu (güneş ve rüzgâr enerjisi), enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Sonuç olarak, kayısı üretiminde sürdürülebilirlik için bilimsel temelli sulama stratejileri ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı kritik öneme sahiptir.

¹ Araş. Gör., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-5317-2186, burak.dalkilic@ozal.edu.tr

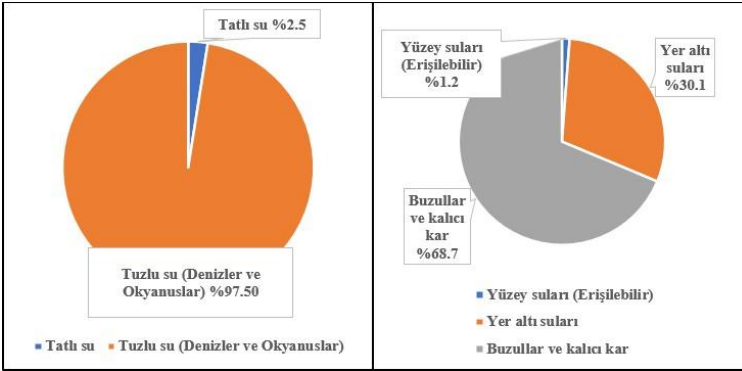
¹ Doç. Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-1836-3910, yesim.colak@ozal.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-1426-466X, alper.baydar@siirt.edu.tr

1. Giriş

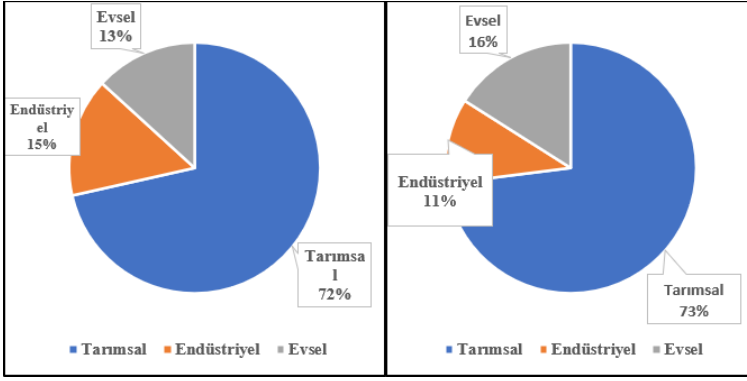
1.1. Suyun Stratejik Önemi ve Sulama Programlamasına Bilimsel Yaklaşım

Dünya genelinde su kaynakları, miktar ve dağılım açısından eşitsiz ve sınırlıdır. Şekil 1’ de görüldüğü üzere Dünya’daki su kaynaklarının varlığının yaklaşık %97.5’i deniz ve okyanuslarda yer almakta, yalnızca %2.5’i tatlı su niteliği taşımaktadır. Bu tatlı suyun da %68.7’si buzullarda ve kalıcı kar örtüsü içinde, %30.1’i yer altı suyu rezervlerinde, yalnızca %1.2’si doğrudan erişilebilir yüzey sularında (nehirler, göller, barajlar) bulunmaktadır (UNESCO, 2024). Bu dağılım, tarım, sanayi ve içme suyu gibi yaşamsal alanlarda kullanılabilir suyun dünya genelindeki toplam su varlığının sadece %0.03’ünü oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Dünya su kaynaklarının durumu (UNESCO., 2024)

Şekil 2’de de görüldüğü üzere Dünya su kaynaklarının sektörel kullanımında tarım sektörü başı çekmektedir. Küresel ölçekte tatlı su kullanımının %70’inden fazlası tarımsal sulamaya ayrılmakta (Şekil 2); Türkiye özelinde ise bu oran %73’e ulaşmaktadır (AQUASTAT, 2025; DSİ, 2023). Artan nüfus, iklim değişikliği, yağış rejimindeki düzensizlikler ve buharlaşma oranlarındaki yükselme gibi nedenler tarımsal üretimde suya olan ihtiyacı artırırken, mevcut kaynakların korunması yönünde etkin stratejiler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularının optimizasyonu, özellikle kuraklık gibi aşırı artan olaylar karşısında bir öncelik haline gelmiştir (Uçak ve ark., 2023). Tarım, hem iklim değişikliğine katkıda bulunan önemli sektörlerden, hem de iklim değişikliğinden en çok etkilenen sektörlerden biridir (Candemir, 2024).



Şekil 2. Dünya su kaynaklarının sektörel durumu (AQUASTAT., 2025; DSİ., 2023)

Bu gereklilik çerçevesinde öne çıkan uygulamalar arasında en etkili olanları ise basınçlı sulama metotları ve sulama programlamasıdır. Sulama programlaması, suyun bitkiye zamanında, doğru miktarda ve en uygun yöntemle uygulanmasını esas alan bir karar yönetim sistemidir (Allen ve ark., 1998). Sadece verim artışı değil; aynı zamanda ürün kalitesinin korunması, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve maliyetlerin kontrol altına alınması gibi çok boyutlu yararlar sağlamayı amaçlar.

Sulama programlamasının teknik etkinliğini artıran yöntemlerden biri de kısıntılı sulama stratejisidir “RDI (Regulated Deficit Irrigation – Planlanmış Kısıntılı Sulama)”. Tarımsal üretimde kısıntılı sulama uygulamaları, suyun kısıtlı olduğu ve uzun süreli kuraklıkların hakim olduğu alanlarda su üretkenliğini en üst düzeye çıkarmak için bir yaklaşımdır (Ali ve ark., 2021). RDI uygulamaları, özellikle kurak bölgelerde suyun daha verimli kullanılmasını sağlar. Yapılan çalışmalar, suyu daha verimli kullanırken ürün kalitesini artıran stratejilerin de sulama yönetiminde başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Feres & Soriano, 2007; Torres-García ve ark., 2024). Literatürde, kayısı gibi meyve türlerinde belirli fenolojik dönemlerde (özellikle çekirdek sertleşmesi evresi) uygulanan su kısıntısının, toplam su tüketiminde %20–30 oranında azalma sağlarken, verimde anlamlı bir düşüşe neden olmadığı belirtilmiştir (Torres-García ve ark., 2024). Ayrıca bu tür stratejilerin meyve kalitesi üzerinde olumlu etkiler yarattığı, özellikle kuru madde içeriği, şeker oranı ve meyve sertliği gibi niteliksel parametreleri geliştirdiği ifade edilmektedir (Feres & Soriano, 2007; Behboudian & Mills, 1997). Bunlara ek olarak, toprak nemini yerinde muhafaza etmek amacıyla toprak rutubeti koruma yöntemleri geliştirilmiş; su hasadı, yüzey akışı önleme gibi tedbirlerle sulama sırasında su kaybı en aza indirgenmiştir (Pérez-Pastor ve ark., 2007). Ayrıca, alternatif bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve kuraklığa dayanıklı ürünlerin yetiştirilmesi, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde sulama suyu gereksinimini düşürmektedir (Torres-García ve ark., 2024).

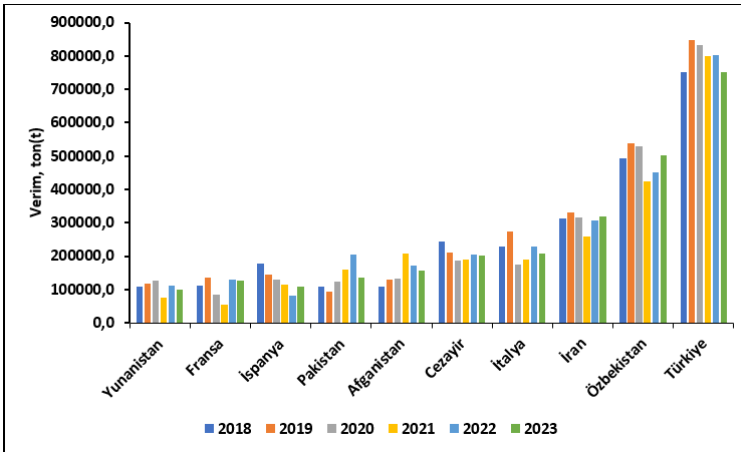
Sulama yönetiminde yalnızca toplam su miktarı değil, suyun hangi gelişim evresinde verildiği de belirleyici öneme sahiptir. Kayısı bitkisi gibi su stresine duyarlı meyve türlerinde, çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi kritik evrelerde yapılan kısıntılar verim ve meyve tutum oranlarında ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Buna karşılık, daha toleranslı evrelerde yapılan bilinçli ve kontrollü su kısıntıları, bitki fizyolojisinin bozulmasına yol açmaksızın üretim sürecine entegre edilebilmektedir (Torres-García ve ark., 2024).

İklim değişikliği çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlardaki etkileri bakımından küresel bir tehdit haline gelmiştir (Candemir ve ark., 2025). Bu anlamda su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri de göz önüne alındığında, elde edilen bulgular, sulama programlamasının yalnızca su tasarrufu değil, aynı zamanda bitki gelişimini yönlendiren dinamik bir araç olduğunu göstermektedir. Tarımsal üretimde yüksek girdi verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, bitki–toprak–iklim etkileşimini merkeze alan sulama programlarının oluşturulması kaçınılmaz hâle gelmiştir.

2. Dünya Geneline Kayısı Üretimi ve Türkiye’nin Konumu

2.1. Toplam Üretim Miktarı Açısından Değerlendirme

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), dünya genelinde ılıman iklim kuşağında yaygın olarak yetiştirilen, ekonomik değeri yüksek bir meyve türüdür. 2022 yılı itibarıyla dünya genelindeki toplam kayısı üretimi yaklaşık 4 milyon ton düzeyindedir. Bu üretimin önemli kısmı, Akdeniz Havzası, Orta Doğu ve Orta Asya ülkelerinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. 2018-2023 yılları arası dünya kayısı üretimi (FAO, 2023)

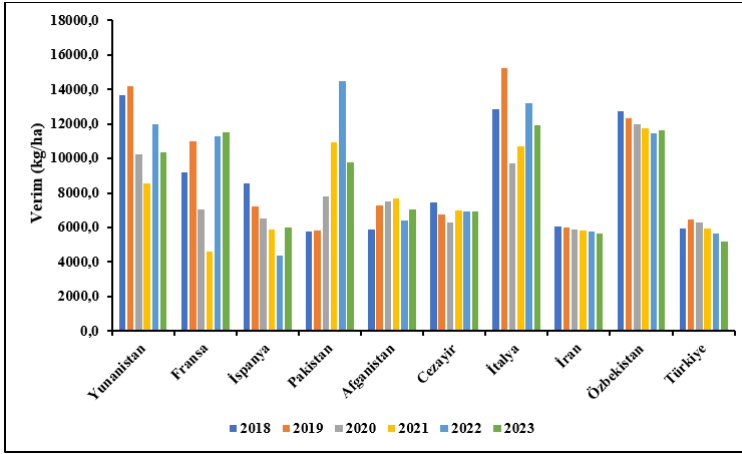
Şekil 3’de görüldüğü üzere 2018 – 2023 yılları arasında dünya kayısı üretiminde en fazla kayısı üreten ülkeler arasında Türkiye, Özbekistan, İran, İtalya, Cezayir, Pakistan ve Çin öne çıkmaktadır. Türkiye, bu ülkeler arasında genellikle ilk sırada yer almakta ve özellikle kuru kayısı üretiminde dünya lideridir. Malatya ili, Türkiye kayısı üretiminin yaklaşık %50’sini karşılayarak hem ülke içinde hem de uluslararası pazarda belirleyici bir merkez işlevi görmektedir.

Türkiye’nin dünya toplam kayısı üretimindeki payı yıllara göre değişmekle birlikte, bazı yıllarda %20’ye yaklaşmaktadır. Bu üretim gücü, Türkiye’yi küresel kayısı ticaretinde stratejik bir aktör konumuna getirmiştir.

2.2. Verimlilik Açısından Karşılaştırmalı Durum

Toplam üretim bakımından dünya liderliği taşıyan Türkiye, verimlilik açısından ise bazı ülkelerin gerisinde kalmaktadır. Türkiye’de 2018–2023 döneminde hektar başına kayısı verimi yıllık ortalama 5.800–6.000 kg/ha (580–600 kg/da) düzeyindedir (Şekil 4.). Bu verim seviyesi, dünya ortalaması olan 8.500 kg/ha’nın altında kalmaktadır.

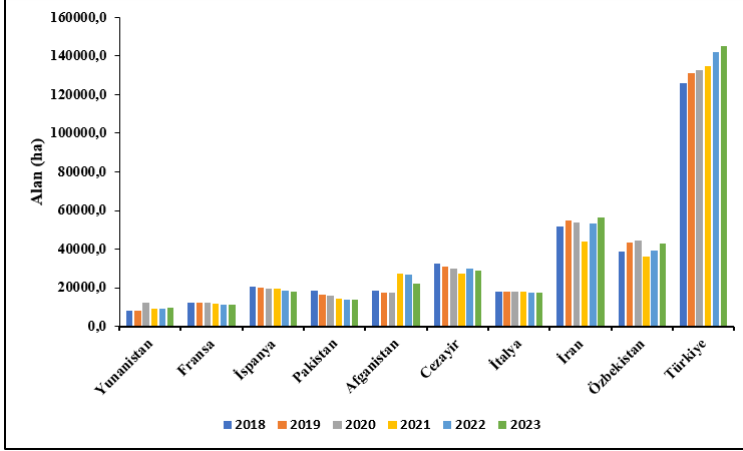
İtalya, İspanya ve Fransa gibi Avrupa ülkelerinde modern entansif bahçecilik sistemleri sayesinde dekar verimlilik genellikle Şekil 4’ de görüldüğü üzere 1.200–2.000 kg/da aralığına ulaşmaktadır.



Şekil 4. 2018-2023 yılları arası dünya kayısı verimi (FAOSTAT., 2023)

Türkiye’nin kayısı üretimindeki toplam üstünlüğü, büyük ölçüde Şekil 5’ de de görüldüğü üzere ekili alan genişliğine dayanmaktadır. 2023 yılı itibarıyla Türkiye’de kayısı yetiştirilen alan yaklaşık 144.940 hektar (1.49 milyon dekar) civarındadır. Bu alan, diğer üretici ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça geniştir.

Buna karşın birim alanda alınan verimin düşük olması, üretim başarısının sistematik sulama yönetimi, modern bahçe yapısı ve entansif tarım sistemlerine geçiş ile desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5. 2018-2023 yılları arası dünya kayısı ekili alanı (FAOSTAT., 2023)

Bu karşılaştırmalar, Türkiye'nin toplam üretimdeki üstünlüğünün büyük ölçüde üretim alanlarının genişliği ve ağaç sayısının fazlalığına dayandığını göstermektedir. Buna karşın, birim alanda alınan verim açısından hâlâ gelişim potansiyeli mevcuttur. Bu farkın kapatılabilmesi için sulama programlamasının bilimsel temellere dayalı olarak yürütülmesi, yalnızca su tasarrufu sağlamak için değil; aynı zamanda üretim verimliliğini artırmak amacıyla da öncelikli bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

2.3. Türkiye’de Kayısı Üretimi ve Sulama Yönetimi İlişkisi

Türkiye, iklimsel çeşitliliği ve uygun agroekolojik yapısı sayesinde dünya genelinde kayısı üretiminde ön sıralarda yer almaktadır. Şekil 6’da da görüldüğü üzere 2024 yılı itibarıyla ülke genelindeki toplam kayısı üretimi 1.269.000 ton olarak kaydedilmiş, bu miktarın %54.4’ü Malatya ilinden sağlanmıştır. Türkiye’de meyve veren toplam kayısı ağacı sayısı 20.375.880 olup, bunların 8.425.928 adedi Malatya’da bulunmaktadır. Bu oran, Türkiye’deki kayısı üretiminin yaklaşık %41’inin bu ilde yoğunlaştığını göstermektedir.

3. Türkiye’de Kayısı Yetiştiriciliği Yapılan İllerde Referans Bitki Su Tüketimi (ET_0 , mm) Değerleri

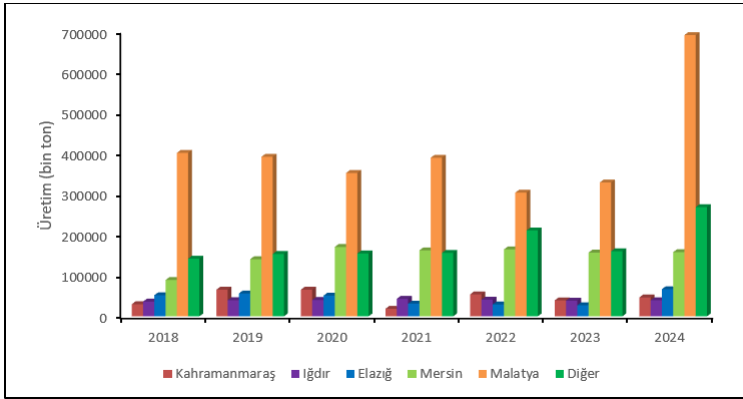
Türkiye’nin farklı bölgelerindeki iklim koşulları, tarımsal sulamada önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon (ET_0), bitkilerin sulama ihtiyacını belirleyen önemli parametrelerden biridir ve bölgesel iklim

koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Türkiye’de kayısı yetiştiriciliği yapılan illerde referans bitki su tüketimi (ET_0 , mm) değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye’de kayısı yetiştiriciliği yapılan illerde ortalama referans bitki su tüketimi (ET_0 , mm) değerleri

Şehirler	ET_0 , mm	Şehirler	ET_0 , mm	Şehirler	ET_0 , mm	Şehirler	ET_0 , mm
Adıyaman	924	Diyarbakır	917	Kırıkkale	786	Siirt	920
Afyon	742	Elazığ	915	Kırşehir	809	Sivas	709
Antalya	764	Erzincan	686	Konya	720	Şanlıurfa	1012
Batman	932	Erzurum	678	Malatya	804	Şırnak	1034
Bingöl	728	Hakkari	732	Manisa	912	Tunceli	837
Bitlis	673	Iğdır	721	Maraş	734	Van	713
Burdur	789	Isparta	776	Mardin	973	Yozgat	688
Denizli	902	Kayseri	769	Muş	694		

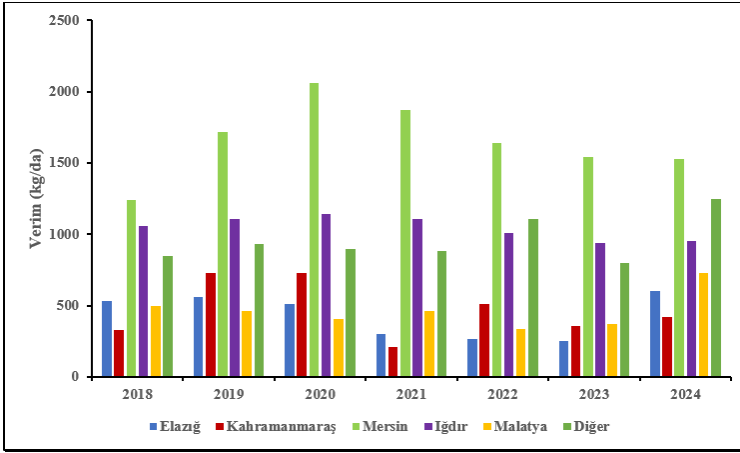
Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2017



Şekil 6. 2018-2024 yılları arası Türkiye kayısı üretimi (bin ton) (TÜİK., 2025)

Ağaç sayısının fazla olması, her zaman doğrudan yüksek verim anlamına gelmemektedir. Malatya ilinde 2022 yılında dekara ortalama verim 340 kg/da düzeyine kadar düşmüş, 2024 yılında ise 730 kg/da’a yükselmiştir (Şekil 7). Bu değişim, yalnızca yıllık iklimsel farklılıklarla açıklanamamaktadır. Sulama yönetimi, verimdeki bu dalgalanmaların önemli belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle erken ilkbahar donları, yaz aylarında görülen kuraklık ve su teminindeki güçlükler, sulama planlamasının verim üzerindeki etkisini belirginleştirmektedir.

Şekil 7’ deki 2018-2024 yıllarına ait alan ve ağaç başına ortalama verim verileri iller arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, kayda değer farklar göze çarpmaktadır



Şekil 7. 2018-2024 yılları arası Türkiye kayısı verimi (kg/da) (TÜİK., 2025)

Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere, bazı illerde dekara verim oldukça yüksekken, aynı ilde ağaç başına verim daha düşük olabilmektedir. Örneğin Mersin’de yoğun ağaç dikimiyle dekara verim artarken, ağaç başına düşen meyve miktarı görece olarak sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık Iğdır’da seyrek dikim ve daha hassas bireysel sulama yönetimiyle ağaç başına verim yüksek düzeyde seyretmektedir.

Çizelge 2’ de görüldüğü üzere Malatya’da dekara düşen meyve veren ağaç sayısı, diğer üretici illere göre daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu durumun başlıca nedenleri arasında geleneksel seyrek dikim alışkanlıkları, eğimli ve sulama altyapısı sınırlı arazilerin varlığı ve meyve vermeyen genç fidanların toplam alana dahil edilmesi yer almaktadır. Son yıllarda artan yeni bahçe tesisi çalışmaları ile birçok genç kayısı fidanı üretim alanına dâhil edilmiştir. Ancak bu fidanlar henüz meyveye yatmadığı için, istatistiklerde “meyve veren ağaç” kategorisinde yer almamakta; buna karşın toplam alan içerisinde değerlendirilmekte, bu da dekara düşen meyve veren ağaç sayısının daha düşük görünmesine neden olmaktadır.

Çizelge 2. İllere göre alana düşen meyve veren ağaç sayısı (ağaç/da) (TÜİK., 2025)

Yıl	Elazığ	Kahramanmaraş	Mersin	Iğdır	Malatya
2018	9.39	6.29	26.81	10.49	6.58
2019	9.38	6.28	26.78	10.47	6.60
2020	9.30	6.21	26.58	10.42	6.46
2021	9.21	6.10	26.26	10.36	6.22
2022	9.12	6.01	25.97	10.30	6.00
2023	9.05	5.92	25.70	10.25	5.78
2024	9.00	5.85	25.52	10.20	5.65

Bu durum, yalnızca ekolojik farklılıklarla değil, aynı zamanda sulama sistemlerinin tipi ve yönetim stratejileriyle de doğrudan ilişkilidir. Modern sulama sistemlerinin yaygın olduğu bölgelerde hem verim hem de kalite daha istikrarlı biçimde sürdürülebilmektedir. Damla sulama gibi basınçlı sistemler, özellikle kısıntılı sulama stratejileri (RDI) ile entegre çalışmaya uygun oldukları için su verimliliğini artırırken, üretim sürecinde esneklik de sağlamaktadır.

Sulama yönetiminin verime olan etkisini daha bütüncül olarak değerlendirebilmek için yalnızca toplam su miktarına değil, sulama programlamasına ve sistem tipine de odaklanmak gerekmektedir. Kısıntılı sulama uygulamalarının, doğru zamanlamayla uygulandığında verimi düşürmeden su tasarrufu sağlayabildiği ve bazı durumlarda kalite parametrelerini de olumlu etkileyebildiği farklı literatür çalışmalarında ifade edilmiştir (Torres-García ve ark., 2024).

4. Kayısı Ağaçlarında Sulama Yönetimi: Su İhtiyacı ve Verimlilik Stratejileri

Kayısı ağaçları, gelişim süreçlerinde farklı su ihtiyaçlarına sahiptir ve bu ihtiyaçların doğru zamanda karşılanması, verim ve meyve kalitesinin artırılmasında kritik rol oynar. İlkbahar, yaz ve sonbahar dönemi su gereksinimleri, kayısı yetiştiriciliğinde dönemsel sulama stratejilerinin önemini vurgulamaktadır.

İlkbaharda, kayısı fidanlarına uygun toprak nemi sağlandığında uyanır ve büyüme süreci başlar. Bu dönemde yapılan ilk sulama, toprağın nem dengesini sağlar ve ağaçların sağlıklı büyüme sürecine girmesini destekler. Mayıs ayı sonları veya Haziran başında yapılacak ilk sulama, kayısı ağacının nem ihtiyacını karşılayarak, olgunlaşma sürecinin sağlıklı bir şekilde başlamasını sağlar (UC ANR, 2023).

Yaz dönemi, kayısının çiftçi için en yoğun sulama dönemi olduğu, mevcut suyun doğru şekilde yönetilmesi gereken bir evredir. Çiçeklenme ve meyve büyüme dönemlerinde kayısının daha fazla suya ihtiyacı vardır ve bu dönemde doğru sulama zamanlaması, verimin artırılması için önemlidir. Bununla birlikte, fazla su uygulaması kök çürümesine ve meyve dökümüne yol açabilir, bu nedenle sulama miktarının toprak nem ölçerleri ve sulama sistemleriyle sıkça kontrol edilmesi gereklidir (Shirgure ve ark., 2001).

Sonbaharda, kayısı ağaçları kış uykusuna geçmeden önce yapılacak son sulama, köklerin donmasını engeller ve ağaçların dinlenme dönemi için yeterli su rezervini, Eylül sonu veya Ekim başı gibi geç sulama tarihleri ise ağaçların kışa sağlıklı bir şekilde girmesini sağlamaktadır. Erken yapılan sulamalar ise, gelecek yılın çiçek sayısını azaltabilir ve verim kayıplarına yol açabilir. Bu durum,

özellikle toprak yapısına ve sulama zamanlamasına bağlı olarak bitki fiziolojisini etkileyen önemli bir faktördür (Pérez-Pastor ve ark., 2007; Pérez-Sarmiento ve ark., 2020).

Sulama stratejileri, toprak yapısı, iklim koşulları ve ağaç yaşına göre değişkenlik göstermektedir. Derin, killi topraklar daha seyrek sulama gerektirirken, kumlu topraklarda suyun hızlıca geçiş yapabilmesi nedeniyle daha sık sulama yapılmalıdır. Bu koşullar dikkate alınarak sulama miktarları ayarlanmalıdır (Hassan ve ark., 2022)

4.1. Fenolojik Dönemlere Göre Sulama Programlaması

Kayısı bitkisinin gelişim süreci, belirgin fizyolojik ve morfolojik değişimlerin yaşandığı ardışık evrelerden oluşmaktadır. Bu evreler, su ihtiyacı açısından birbirinden farklı özellikler gösterdiği için, sulama kararlarının bitkinin fenolojik takvimine göre şekillendirilmesi gerekmektedir. Fenolojiye dayalı sulama programlaması, yalnızca verim ve kalite artışı sağlamakla kalmaz; aynı zamanda suyun doğru zamanda ve etkin biçimde kullanılmasını mümkün kılar.

Kayısı yetiştiriciliğinde genel olarak kabul gören altı temel fenolojik dönem aşağıda tanımlanmıştır:

1. Tomurcuk patlaması ve çiçeklenme (Mart–Nisan): Meyve tutumu ve çiçek canlılığı açısından en hassas dönemdir.
 2. Meyve tutumu ve ilk gelişim (Nisan sonu–Mayıs): Hücre bölünmesinin yoğun olduğu evredir.
 3. Çekirdek sertleşmesi (Haziran): Bitkinin su stresine görece toleranslı olduğu dönemdir.
 4. Meyve gelişimi ve renklenme (Temmuz): Meyve iriliği, şeker birikimi ve renk oluşumu açısından kritiktir.
 5. Hasat sonrası sürgün gelişimi (Ağustos–Eylül): Gelecek yılın tomurcuk oluşumu açısından önemlidir.
 6. Sonbahar – dormansiye geçiş (Ekim–Kasım): Su ihtiyacı minimal düzeye iner.
- Kayısı ağacının fenolojik dönemlerine göre belirlenen su ihtiyacı düzeyleri ve sulama stratejilerine göre aşağıdaki Çizelge 3’ de verilmiştir.

Çizelge 3. Kayısı bitkisinin fenolojik dönemlerine göre su gereksinimi ve sulama önerileri

Fenolojik Dönem	Su Gereksinimi	Kısıntılı Sulama Stratejileri (RDI)	Teknik Yorum	Bilimsel Kaynaklar
Tomurcuk patlaması – Çiçeklenme	Çok yüksek	Uygun değil	Su stresi çiçek dökümüne ve tutum azalmasına yol açar.	Fereres & Soriano (2007); Torres-García ve ark., (2024)
Meyve tutumu – İlk gelişim	Yüksek	Uygun değil	Hücre bölünmesi bozulursa meyve iriliği azalır.	Pérez-Pastor ve ark. (2007); Behboudian & Mills (1997)
Çekirdek sertleşmesi	Orta–düşük	Uygun	Su kısıntısı verimi düşürmeden su tasarrufu sağlar.	Fereres & Soriano (2007); Torres-García ve ark., (2024)
Meyve gelişimi – Renklenme	Çok yüksek	Uygun değil	Kalite ve şeker birikimi olumsuz etkilenebilir.	Pérez-Pastor ve ark. (2007); Behboudian & Mills (1997)
Hasat sonrası – Sürgün gelişimi	Orta	Kısmen uygun	Su eksikliği tomurcuk gelişimini sınırlandırabilir.	Torres-García ve ark. (2024); Pérez-Pastor ve ark. (2007)
Dormansiye geçiş	Düşük	Sulama gereksiz	Su verilmeden doğal nem korunabilir.	Allen ve ark. (1998); Pérez-Pastor ve ark., (2007)

Bu yapı, bitkinin fizyolojik döngüsüne uygun biçimde sulama kararlarının planlanmasına olanak tanımaktadır. Özellikle çekirdek sertleşmesi dönemi, RDI stratejilerinin en uygun şekilde uygulanabildiği evre olarak tanımlanmakta; yapılan denemelerde %25–60 oranındaki su kısıntılarının, hem vegetatif gelişim hem de meyve kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmadığı ifade edilmektedir (Torres-García ve ark., 2024).

Meyve gelişimi döneminde ise düzenli ve yeterli su temini, meyve iriliği ve içeriğinde biriken şeker konsantrasyonu açısından belirleyici rol oynamaktadır. Bu dönemde yapılan kısıntılı sulama uygulamalarında verim düşüşü ve kalite kayıplarının kaçınılmaz olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Naor, 2000; Intrigliolo & Castel, 2005). Öte yandan hasat sonrası sürgün gelişimi döneminde, toprak nemi yeterli düzeyde korunabildiğinde düşük düzeyli kısıntı uygulanabileceği bildirilmektedir (Girona ve ark., 2003).

Bu bulgular, sulama programlarının yalnızca dönemsel ihtiyaçlara göre değil, aynı zamanda bölgesel toprak su tutma kapasitesi ve iklim koşulları ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.2. Toprak ve Bitki Belirteçlerine Dayalı Sulama Programlaması

Sulama uygulamalarında suyun ne zaman verilmesi gerektiği sorusu, yalnızca takvime dayalı rutinlerle değil; bitki, toprak ve iklim verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle yanıtlanmalıdır. Geleneksel uygulamalarda sulama zamanlaması çoğu zaman üretici deneyimine veya görsel gözleme dayanmakta; bu durum, hem verim hem de su kullanımı açısından önemli sapmalara yol açabilmektedir. Günümüzde geliştirilen bitki ve toprak temelli karar destek sistemleri, bu süreci ölçülebilir ve optimize edilebilir bir yapıya kavuşturmuştur.

4.2.1. Bitki belirteçleri

Bitki belirteçleri, bitkinin fizyolojik tepkilerini esas alarak su stresi durumunu doğrudan izlemeye imkân tanır. Bu yöntemler, su eksikliğinin ürün üzerindeki olumsuz etkileri ortaya çıkmadan önce müdahale edilmesini sağlar.

- Yaprak su potansiyeli (Ψ_{leaf}): Basınç odacığı kullanılarak ölçülür. -1.0 MPa seviyesinin altı su stresinin başladığını gösterir (Naor, 2000).
- Yaprak sıcaklığı: Termal kızılötesi ölçüm cihazlarıyla belirlenir. Su stresi sırasında transpirasyon azaldığı için yaprak sıcaklığı yükselir.
- Stoma iletkenliği: Porometre ile ölçülür. Düşük iletkenlik, bitkinin gözeneklerini kapatmak suretiyle su kaybını azaltmaya çalıştığını gösterir.
- Özsü akış hızı: Sap bazlı sensörlerle ölçülür ve bitkideki anlık su taşınımını takip etmeye imkân tanır.

Bu göstergeler, bitki tabanlı sulama yönetiminde kullanılabilecek en güvenilir veri kaynakları arasında yer almakta, özellikle çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi kritik evrelerde sulama kararlarının doğruluğunu artırmaktadır.

4.2.2. Toprak belirteçleri

Toprak nemi, doğrudan kök bölgesindeki su mevcudiyetini temsil ettiğinden, toprak belirteçleri sulama kararlarında vazgeçilmez parametreler arasında yer alır.

- Tansiyometre: Toprak su potansiyelini ölçer. 0–85 cb (kPa) aralığında çalışır. Sulama için kritik eşik genellikle 30–40 cb olarak kabul edilir (Shock & Wang, 2011).
- Gravimetrik nem tayini: Toprak numunesinin tartılarak kurutulması yöntemiyle yapılan doğrudan ölçümdür.

- TDR (Time Domain Reflectometry): Elektromanyetik sinyal ile hacimsel su içeriğini belirler. Otomasyonla uyumlu çalışır.
- Kapasitif sensörler: Yüzey ve derinlik bazlı noktasal veri sağlar. Gerçek zamanlı nem takibi için tercih edilir.

Toprak belirteçleri, üreticilerin sulamaya başlaması veya son vermesi gereken eşik koşulları tanımlamasını sağlar. Bu ölçümler, bitki belirteçleriyle birlikte değerlendirildiğinde sulama kararlarının doğruluk düzeyi yükseltilir.

4.2.3. Optimum Sulama Programlaması Uygulamaları

Toprak su potansiyelinin 30–40 cb seviyesini aşması durumunda kayısı gibi hassas meyve türlerinde su stresinin başladığı kabul edilmektedir. Yaprak su potansiyelinin ise -1.2 MPa seviyesine ulaşması, stomaların kapanmasına ve fotosentez oranının düşmesine neden olabilmektedir (Naor, 2000). Bu değerler, sulama sistemlerinin zamanlamasının sayısal veri temelli olarak yapılmasına imkân tanır.

Özellikle modern basınçlı sulama sistemleriyle entegre çalışabilen sensörler, tarımsal üretimde su kaynaklarının daha verimli kullanımını mümkün kılarken, aynı zamanda iş gücü ve enerji tasarrufuna da katkı sağlar. Doğru eşik değerlerinin belirlenmesi ve bu değerlere göre sulama zamanlamasının düzenlenmesi, verimlilik açısından yüksek katkı sağlamaktadır.

5. Sulama Sistemleri ve Kayısı Yetiştiriciliğinde Uygulama Farklılıkları

Kayısı yetiştiriciliğinde sulama sisteminin tipi, yalnızca suyun uygulanma yöntemi değil; aynı zamanda verim, kalite ve su kullanım verimliliğini doğrudan etkileyen bir üretim stratejisidir. Türkiye’de farklı bölgelerde kullanılan sulama sistemleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar yalnızca iklim ve arazi yapısıyla değil, aynı zamanda üreticinin teknik bilgi düzeyi ve altyapı yatırımlarıyla da ilişkilidir.

Genel olarak kullanılan başlıca sulama sistemleri aşağıdaki gibidir:

Çanak sulama yöntemi, meyvecilikte en yaygın kullanılan sulama yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, su ağaç taç izdüşümüne açılan çanağa doldurularak yapılır. Çanak, toprağın etrafına açılır ve bu çanak suyu ağaç kök bölgesine dağıtarak, bitkinin su ihtiyacını karşılar. Ağaç gövdesinin kök boğazına su değmemesi için gövde etrafına küçük bir ikinci çanak yapılır. Bu, toprak ısınması nedeniyle gövdenin çürümesini ve ağacın kurummasını engeller.

Avantajlar:

- Uygulama kolay ve maliyet açısından düşük.
- Ağaçların su ihtiyacı kolayca karşılanabilir.
- En basit ve yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Dezavantajlar:

- Toprağın suyu verimli bir şekilde emmesi için doğru çanak boyutunun belirlenmesi önemlidir.
- Toprak nemini çok hızlı bir şekilde kaybeden bölgelerde bu yöntem verimsiz olabilir.

En İyi Kullanım Koşulları:

- Düz arazilerde ve orta derinlikteki topraklarda ideal bir yöntemdir.
- Ağaçların suya düzenli ihtiyacı olduğu dönemlerde kullanılabilir.

Tava sulama yöntemi, genellikle ağır ve killi topraklarda uygulanan bir sulama yöntemidir. Düz fakat geçirgen olmayan topraklarda her ağaç için bir tava yapılır ve bu tavalara su ile doldurulur. Tavalara verilen su, toprak tarafından belli bir sürede emilir. Bu yöntem, toprağın suyu emme kapasitesine göre değişen sürelerde uygulanır (Shirgure ve ark., 2001).

Avantajlar:

- Ağaç köklerine doğrudan su verilir, bu da su kaybını en aza indirir.
- Ağır topraklarda suyun yayılmasını sağlar.

Dezavantajlar:

- Toprak türüne bağlı olarak sulama süresi uzayabilir, bu da verimlilik kaybına yol açabilir.
- Sulama sıklığı ve süreyi dikkatli ayarlanmalıdır.

En İyi Kullanım Koşulları:

- Killi ve ağır topraklar üzerinde kullanılır.
- Su kaybının yüksek olduğu geçirgen olmayan topraklarda idealdir.

Damla sulama yöntemi, suyun doğrudan kök bölgesine verilmesini sağlayan bir basınçlı sulama sistemidir. Bu sistem, suyu ağacın kök bölgesine tek tek damla damla ulaştırarak su kaybını en aza indirir. Yağmurlama sulama gibi büyük alanlarda su sağlanmasına gerek kalmaz. Düşük iş gücü gerektirir ve suyun verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar (Hassan ve ark., 2022).

Avantajlar:

- Su kaybını en aza indirir.
- Az su ile daha geniş alanların sulanması sağlanır.
- İyi iş gücü verimliliği sağlar.

Dezavantajlar:

- İlk tesis masrafları yüksektir.

- Ağaçların kök sistemi daha yaşlıysa bu sisteme uyum sağlamak zor olabilir.
- Fidan dikiminden sonra en iyi verim alınır. En İyi Kullanım Koşulları:
- Suyu kıt olan yerlerde veya engebeli arazilerde uygundur.
- Kumlu ve suyun hızlıca geçiş yaptığı topraklarda etkilidir.

Yağmurlama sulama yöntemi, basınçlı su sağlanarak sabit veya seyyar yağmurlama başlıkları ile yapılır. Bu sistemde, su geniş alanlara eşit olarak dağılır ve genellikle düz arazilerde etkili bir şekilde uygulanır. Ancak, sıcak yaz günlerinde su buharlaşmasını önlemek için gece sulaması yapılması uygundur. Yağmurlama sistemleri, özellikle büyük alanlar için uygun bir çözümdür.

Avantajlar:

- Su kaybını azaltır.
- Basınçlı su sistemleri sayesinde geniş alanlarda etkili sulama yapılabilir.
- Uygulama kolaylığı sağlar.

Dezavantajlar:

- Yüksek ilk tesis maliyetleri.
- Rüzgarlı bölgelerde suyun kaybı artabilir.
- Buharlaşma kayıpları önlenmelidir. En İyi Kullanım Koşulları:
- Düz arazilerde ve büyük alanlarda kullanılması uygundur.
- Yağışlı olmayan bölgelerde, özellikle sulama sıklığının arttığı dönemde etkilidir.

6. Sulama Programlaması ve Kayısı Yetiştiriciliğinde Uygulama Farklılıkları

Kayısı yetiştiriciliğinde sulama sisteminin tipi, yalnızca suyun iletim yöntemi değil; aynı zamanda verimlilik, kalite ve su kullanım etkinliğini doğrudan etkileyen stratejik bir üretim bileşenidir. Türkiye’de farklı bölgelerde uygulanan sulama sistemleri arasında kayda değer çeşitlilik bulunmaktadır; bu çeşitlilik, yalnızca iklim ve toprak özelliklerinden değil, aynı zamanda üreticilerin bilgi düzeyinden ve altyapı yatırımlarının niteliğinden kaynaklanmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan sulama sistemleri arasında yüzey sulama, damla sulama, mikro yağmurlama ve yağmurlama sistemleri yer almaktadır. Bu sistemlerin her birinin su dağılımı homojenliği, işletme maliyeti ve modern sulama stratejileriyle uyum düzeyi farklıdır. Özellikle kısıntılı sulama stratejileri (RDI) ile birlikte çalışabilirlik, sistem tercihlerinde belirleyici faktörlerden biri hâline gelmektedir.

6.1. Sulama Programlamasının Vegetatif Gelişim Üzerindeki Etkileri

Sulama sisteminin bitki üzerindeki etkisi yalnızca verimle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda gövde gelişimi, sürgün uzunluğu, yaprak alanı ve gölgeleme hacmi gibi vegetatif parametreler üzerinde de belirleyici olmaktadır. Bu bağlamda, farklı dönemlerde uygulanan RDI uygulamalarının vegetatif gelişim üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular aşağıdaki Çizelge 4’de verilmiştir:

Çizelge 4. RDI uygulamalarının kayısı bitkisinde vegetatif gelişim üzerine etkileri

RDI Uygulama Dönemi	ETc Seviyesi (%)	Gövde Gelişimi (TCSA)	Sürgün Uzunluğu	Gölgeleme Alanı / Hacim	Yorumlanan Etki	Kaynakça
Çiçeklenme – Meyve tutumu	25–50	Azalma	Belirgin azalma	Azalma / kapanma eğilimi	Vegetatif gelişim baskılanır	Fereres & Soriano (2007); Torres-García ve ark. (2024)
Çekirdek sertleşmesi	25–60	Minimal değişim	Sabit	Stabil	Kontrollü uygulamaya uygundur	Fereres & Soriano (2007); Pérez-Pastor ve ark. (2007)
Meyve gelişimi – renklenme	40–60	Hafif azalma	Hafif azalma	Kısmen etkilenebilir	Dikkatli planlama gerekir	Fereres & Soriano (2007); Behboudian & Mills (1997)
Hasat sonrası – sürgün gelişimi	0–50	Gelişim sınırlı olabilir	Azalma	Gelecek dönem tomurcuk riski	Bölgesel değerlendirme önerilir	Pérez- Pastor ve ark. (2007); Torres-García ve ark. (2024)

Çizelge 4’ de, vegetatif gelişimin farklı RDI stratejilerine verdiği tepkileri özetlenmektedir; özellikle çekirdek sertleşmesi döneminde yapılan su kısıntısının bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemeden uygulanabileceğini göstermektedir. Diğer yandan, çiçeklenme ve ilk meyve büyümesi dönemlerinde yapılan su kısıntıları, hem sürgün gelişimini hem de yaprak alanını olumsuz etkileyerek ağaçların genel sağlığı üzerinde negatif etkiler yaratabilmektedir.

6.2. Sulama Stratejilerinin Verim ve Kalite Üzerindeki Etkileri

Kayısı üretiminde sulama stratejilerinin seçimi, yalnızca büyüme parametreleriyle sınırlı kalmayıp; aynı zamanda meyve verimi ve kalite kriterleri üzerinde de belirleyici olmaktadır. RDI stratejileriyle yapılan denemeler, bazı çeşitlerde verimi artırıcı etki gösterirken, bazı çeşitlerde ise meyve tutum oranlarında azalma yaşanabileceğini göstermektedir. Farklı kayısı çeşitlerinin bu stratejilere verdiği tepkilere dair derlenmiş genel eğilimler aşağıdaki Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. RDI uygulamalarının verim ve kalite üzerindeki eğilimsel etkileri

Çeşit	Uygulama Dönemi	ETc (%)	Verim Etkisi	Meyve Kalitesi	Uygulama Notu	Kaynakça
Sundrop	Meyve gelişimi I-II	0-25	Genellikle artış	Kuru madde ↑	RDI’ye duyarlı değil	Fereres & Soriano (2007); Behboudian & Mills (1997)
Búlida	Tüm evrelerde	25-60	Değişken	Çatlama riski ↑	Sınırlı ve kontrollü önerilir	Pérez-Pastor ve ark. (2007); Torres-García ve ark. (2024)
Canino	Meyve gelişimi + erken hasat sonrası	25-50	Hafif artış	Kalite korunabilir	Orta düzey RDI uygun	Fereres & Soriano (2007); Pérez-Pastor ve ark. (2007)
Ninfa	Meyve gelişimi I	25-50	Verim artışı	Pozitif kalite etkisi	RDI uygulaması verimli	Pérez-Pastor ve ark. (2007); Fereres & Soriano (2007)

Bu veriler ışığında değerlendirildiğinde, RDI uygulamalarının başarı düzeyi yalnızca sistem tipiyle değil, aynı zamanda kullanılan çeşit, uygulama dönemi ve iklim koşullarıyla da doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sulama sistemleri, yalnızca teknik altyapı olarak değil; bütüncül bir üretim stratejisi olarak değerlendirilmelidir.

Damla sulama sistemleri, sulama programlarının yürütülmesinde ve RDI stratejilerinin uygulanmasında en uygun yöntem olarak öne çıkmaktadır. Basınç kontrollü ve bölgeye özel uygulama esnekliği sayesinde, hem su verimliliği sağlanmakta hem de kalite parametreleri korunabilmektedir. Geleneksel yüzey sulama sistemleri ise bu avantajlardan yoksun oldukları için RDI gibi hassas stratejilerle uyumlu olmamaktadır.

6.3. Sulama Programlamasında Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar ve Politika Önerileri

Kayısı üretiminde yüksek verim ve kalite düzeyine ulaşmak, yalnızca çeşit seçimi ve budama gibi kültürel uygulamalara değil; aynı zamanda su yönetiminin bilimsel esaslara dayalı olarak gerçekleştirilmesine bağlıdır. Sulama programlaması, bu bağlamda üretim sistemine entegre edilmesi gereken stratejik bir planlama aracıdır. Özellikle iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve girdi maliyetlerinin artışı, sulama planlarının daha hassas, izlenebilir ve dinamik hâle getirilmesini zorunlu kılmaktadır.

6.4. Fenoloji Temelli Sulama Programlarının Yaygınlaştırılması Gerekmemektedir

Kayısı bitkisinin fenolojik evrelerine göre su ihtiyacının farklılaştığı bölümler önceki bölümlerde ayrıntılı biçimde sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında, çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi yüksek hassasiyet gerektiren dönemlerde suyun eksiksiz sağlanması, çekirdek sertleşmesi gibi daha toleranslı dönemlerde ise kısıntılı sulama uygulanması önerilmektedir. Böylece hem verim ve kalite korunmakta, hem de toplam su kullanımı azaltılabilmektedir (Torres-García ve ark., 2024; Uçak ve ark., 2022).

6.5. Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı Yaygınlaştırılmalıdır

Tansiyometre, TDR ve yaprak su potansiyeli gibi belirteçlerin düzenli takibi ile sulama kararları, gözleme dayalı yöntemlerin ötesine taşınabilir. Bu sensörlerin otomatik veri kaydı yapabilmesi, özellikle sulama zamanlamasının eşik değerler üzerinden hassas biçimde kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Modern damla sulama sistemleri ile entegre çalışan bu teknolojiler, kaynak verimliliğini artırmakta ve çevresel etkiyi azaltmaktadır.

6.6. RDI Uygulamalarının Bölgeye Özgü Planlanması Gerekmemektedir

Kısıntılı sulama stratejilerinin başarısı, yalnızca teorik uygulanabilirliğe değil; aynı zamanda uygulandığı bölgenin toprak yapısı, su tutma kapasitesi, iklim özellikleri ve çeşidin fizyolojik tepkisine de bağlıdır. Bu nedenle her bölgede aynı RDI oranlarının uygulanması yerine, yerel veri ve deneme sonuçlarına göre planlanmış bölgesel rehberlere ihtiyaç vardır. Özellikle çekirdek sertleşmesi dönemine odaklanan uygulamalar, kontrollü yapıldığında verimde anlamlı düşüşe neden olmadan su tasarrufu sağlayabilmektedir (Fereses & Soriano, 2007).

6.7. Sulama Sistem Modernizasyonu ve Teşvikleri Gözden Geçirilmelidir

Yüzey sulama sistemlerinin verimsizliği, hem su kayıplarını hem de eşit olmayan su dağılımını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle üreticilerin damla

ve mikro yağmurlama sistemlerine geçiş yapması, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından desteklenmelidir. Bu geçişin yalnızca altyapı yatırımı ile değil, aynı zamanda üretici eğitimiyle de desteklenmesi önem taşımaktadır.

6.8. Üretici Eğitimleri, Yayım Faaliyetleri ve Dijital Platformlar Etkinleştirilmelidir

Sulama programlamasının bilimsel yöntemlere dayandırılması, sahada uygulayıcı olan üreticilerin bu bilgiye erişimiyle mümkündür. Tarla günü etkinlikleri, çevrim içi eğitim modülleri ve mobil uygulamalarla desteklenen yayım hizmetleri, hem bilgiye erişimi kolaylaştırmakta hem de saha başarısını artırmaktadır.

6.9. İleri Teknoloji ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu

Son yıllarda, tarımsal sulama sistemlerinde ileri teknoloji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu hız kazanmıştır. Bilişim teknolojileri, uzaktan algılama teknikleri ve kablosuz ağlar kullanılarak bitki su tüketimi, toprak nemi ve tuzluluk gibi veriler sürekli izlenebilmektedir. Bu veriler ışığında, sulama takvimi zamanında ayarlanarak, verimlilik ve su verimliliği sağlanabilmektedir (Hassan ve ark., 2022; Marino ve ark., 2023).

Gelişmiş sulama sistemleri ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi, tarımsal sulamada kullanılmaya başlanmıştır. GAPTAEM ve ilgili kalkınma ajansları, bu enerji kaynaklarının basınçlı sulama sistemleri ile entegrasyonuna yönelik projeler yürütmektedir. Mobil güneş pilleri kullanılarak, özellikle su sıkıntısının yaşandığı bölgelerde sulama sistemlerinin enerji ihtiyacı güneş enerjisiyle karşılanmaktadır (GAPTAEM, 2023). Ayrıca, GAP Bölgesi'nde yapılan projelerle, güneş enerjisi ile çalışan ilk tarımsal işletmeler kurulmuş olup, bu tür projeler sulama verimliliği sağlarken çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır (Kaya ve ark., 2023).

Bu tür yenilikçi uygulamalar, tarımda su ve enerji kullanımını optimize ederek, gıda üretiminde sürdürülebilirliği artırmaktadır. Güneş enerjisinin sulama sistemlerine entegrasyonu, özellikle enerji maliyetlerini azaltmakta ve karbon ayak izini minimize etmektedir (Kaya ve ark., 2023).

7. Sonuç

Kayısı üretimi, dünya genelinde büyük ekonomik öneme sahip bir sektördür ve Türkiye, bu alandaki üretim gücüyle küresel pazarda lider konumdadır. Kayısının yüksek verimliliği ve kaliteli meyve üretimi için sulama, kritik bir yer tutmaktadır. Kayısı ağaçları, suya duyarlı bitkiler olarak, doğru sulama zamanı ve miktarına bağlı olarak verimlilikleri artırılabilir. Sulama yönetiminin etkinliği, yalnızca suyun miktarıyla değil, aynı zamanda sulama programlaması ve sulama yönteminin tipi ile doğrudan ilişkilidir.

Fenolojik dönemlere dayalı olarak sulama programlaması, suyun en verimli şekilde kullanılmasını sağlarken aynı zamanda kayısı bitkisinin sağlıklı gelişimini desteklemektedir. Kısıntılı sulama stratejileri (RDI), belirli fenolojik dönemlerde uygulandığında, su tasarrufu sağlamakla birlikte meyve kalitesinde de artış gözlemlenmiştir. Bu stratejiler, özellikle çekirdek sertleşmesi döneminde verim kaybı yaşanmadan uygulanabilmektedir, ancak çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi hassas dönemlerde aşırı sulamadan kaçınılmalıdır.

Bununla birlikte, sulama yöntemlerinin toprak yapısı, iklim koşulları ve ağaç yaşı gibi faktörlere göre özelleştirilmesi gerekmektedir. Damla sulama ve yağmurlama sulama sistemlerinin entegrasyonu, su verimliliğini artırmakta ve su kaybını minimize etmektedir. Bu yöntemlerin doğru bir şekilde uygulanması, hem çevresel sürdürülebilirliği hem de ekonomik verimliliği artırmaktadır.

Gelecekte, dijital teknolojiler ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sulama yönetiminin daha da iyileştirilmesi beklenmektedir. Uzaktan algılama teknikleri, kablosuz sensörler ve yapay zeka tabanlı karar destek sistemleri, sulama sistemlerinin daha hassas yönetilmesini sağlayarak su tasarrufu ve enerji verimliliği açısından önemli katkılar sunmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemlerinin entegrasyonu, özellikle enerji maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde sürdürülebilir sulama çözümleri sunmaktadır.

Sonuç olarak, kayısı üretiminde su kullanımının etkin yönetimi, sadece verimliliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlayarak ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan büyük faydalar sağlayacaktır. Bu bağlamda, bilimsel temellere dayalı sulama programlarının uygulanması, sulama teknolojilerinin geliştirilmesi ve yenilikçi sulama yöntemlerinin kullanılması, kayısı üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel rol oynayacaktır.

Kaynaklar

- Ali, M., Gençoğlu, C., Gençoğlu, S., Uçak, A.B. 2021. Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under different irrigation regimes and fertilizers. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (3), 533-544.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- AQUASTAT., 2025. Water withdrawal by sector.
- Behboudian, M. H., & Mills, T. M. (1997). Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality. Australian Journal of Agricultural Research, 48(6), 823-832.
- Behboudian, M. H., & Mills, T. M. (1997). Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality. Australian Journal of Agricultural Research, 48(6), 823-832.
- Candemir, S., Ağızan K., Doğan, H.G., Bayramoğlu, Z., Akdoğan, A. 2024. Energy use and carbon emissions of walnut production in Türkiye. Appl Fruit Sci 66(4):1347–1354. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01142-4>.
- Candemir, S., Ağızan, K., Doğan, H.K., Bayramoğlu, Z. 2025. Evaluating Energy Efficiency and Carbon Emissions in Banana Cultivation: the Case of Antalya Province in Türkiye. Applied Fruit Science, 67,99. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01322-w>.
- Devlet Su İşleri (DSİ)., 2023. Faaliyet Raporu.
- FAOSTAT., 2023. Erişim Adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, 58(2), 147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- GAPTAEM. (2023). Mobil güneş pillerinin tarımsal sulamada kullanımı ve yaygınlaştırılması projesi. GAP Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı (2017). Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri.
- Girona, J., Mata, M., & Rufat, J. (2003). Effects of regulated deficit irrigation on apricot tree performance. Agricultural Water Management, 62(3), 241-253. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00157-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00157-1)
- Hassan, R., Al Zahrani, K., & Khan, M. (2022). Remote sensing and irrigation management: Innovative technologies in agricultural water management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 148(8), 04022030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001523)
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2005). Regulated deficit irrigation in fruit trees and vines. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 80(5), 444-451.

- Kaya, A., Yılmaz, T., & Gürkan, M. (2023). Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemleri ve uygulama örnekleri. *GAP Tarımsal Kalkınma ve Enerji Araştırma Dergisi*, 15(3), 56-72.
- Marino, A., Clark, K., & Perez, M. (2023). Advances in irrigation technology: Integrating renewable energy and sensor networks. *Agricultural Water Management*, 247, 106746. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106746>
- Naor, A. (2000). Irrigation scheduling and its effect on fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 85(3-4), 247-259. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00181-0)
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M. C., Martínez, J. A., Nortes, P. A., Artés, F., & Domingo, R. (2007). Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(13), 2409–2415. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2905>
- Pérez-Sarmiento, J. A., Nortes, P. A., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2020). Physiological response of apricot trees to regulated deficit irrigation under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 240, 106281. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106281>
- Shirgure, A. S., & et al. (2001). Drip irrigation advantages in fruit crops. *Journal of Agricultural Research*.
- Torres-García, M., Lichtenberg, E., & Paterson, R. (2024). Effects of regulated deficit irrigation on apricot trees under Mediterranean climates. *Agricultural Water Management*, 227, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.105117>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)., 2025. Bitkisel Üretim İstatistikleri.
- Uçak, A.B., Atılğan, A., Korytowski, M., Kociğcka, J., Liberacki D., Stachowski, P., Saltuk, B., Rolbiecki, R. 2023. Derinkuyu dry bean irrigation planning in semi-arid climate by utilising crop water stress index values. *Journal of Water and Land Development*, 10, 1-8., Doi: 10.24425/jwld.2023.147239.
- Uçak, A.B, Arslan, H., Özçınar, A.B., & Arslan, D. (2022). Determination of Irrigation Time by Utilizing Plant Water Stress Index (CWSI) Values of II. Crop Sesame Genotype in Siirt Conditions. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* ISSN:2454-1850, Vol-8, Issue-1,
- UC ANR. (2023). Apricot: Irrigation and water management. UC Agriculture and Natural Resources. Retrieved from <https://ucanr.edu/sites/irrigation/>
- UNESCO., 2024. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace.

5. Bölüm

Sulamanın Tarihsel Gelişimi

Ali Beyhan UÇAK¹

1. Giriş

Tarım, insanlık tarihinin en eski ve en temel ekonomik faaliyetlerinden biridir. Bu faaliyet, doğal kaynakların etkin kullanımını zorunlu kılarken, üretim sürecinin en kritik girdilerinden biri olan suyun doğru ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini gerektirir. Su talebinin hızla artmasından dolayı su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi, artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için hayati önem taşımaktadır (Dalkılıç ve ark., 2024). Tarımsal üretimde verimlilik ve ürün kalitesini artırmak için gerekli olan su, doğrudan yağışla sağlanamadığı durumlarda sulama sistemleri devreye girer. Bu bağlamda sulama, yalnızca su temini değil; aynı zamanda tarım politikaları, iklim değişikliğiyle mücadele, su yönetimi ve kırsal kalkınma gibi çok boyutlu etkileri olan bir mühendislik ve planlama süreci haline gelmiştir. Sulama, tarımsal üretimin verimliliğini artırmak ve doğal iklim şartlarının yetersiz kaldığı durumlarda bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu sağlamak için kullanılan bir tekniktir. Dünya nüfusunun artması ve iklim değişikliklerinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda, sulama sistemlerinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu anlamda tarımsal üretimde kuraklığa dayanıklı çeşitlerin seçilerek su kaynaklarının daha etkin kullanılması gerekmektedir (Baydar, 2025a).

Sulama sistemlerinin tarihsel gelişimi, insanlık medeniyetlerinin evrimiyle paralel ilerlemiştir. Nehir taşkınlarından faydalanılarak yapılan ilkel sulama uygulamalarından, günümüzde yapay zekâ ve sensör destekli akıllı sistemlere kadar uzanan süreçte, suyun verimli ve sürdürülebilir kullanımı hep öncelikli bir konu olmuştur. Bu çalışma, sulamanın geçmişten günümüze nasıl bir dönüşüm geçirdiğini analiz ederek, güncel sistemleri teknik açıdan değerlendirip gelecekteki olası gelişmelere dair çıkarımlarda bulunmayı amaçlamaktadır. Sulama sistemleri, tarımda kullanılan en önemli kaynaklardan biri olup, bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için çeşitli yöntemler ve teknolojiler kullanılarak tasarlanır.

Sulama sistemlerinin teknik gelişimiyle birlikte ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri de ele alınarak bütüncül bir bakış açısı sunulacaktır.

¹ Prof. Dr., Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü,
ORCID: 0000-0003-4344-2848, abucak@siirt.edu.tr

2. Sulamanın Tarihsel Gelişimi

Sulama sistemlerinin ilk örnekleri Mezopotamya, Antik Mısır ve Hint uygarlıklarında ortaya çıkmıştır. M. Ö. 6000'li yıllara kadar uzanan bu sistemler, nehir taşkınlarından yararlanarak bitki su ihtiyacını karşılamaya yönelik basit kanal yapılarından oluşmaktaydı (Altınbilek, 2002). Antik Mısır'da Nil Nehri taşkınlarının tarım için kullanılması, yıllık tarım takviminin belirlenmesini de sağlamıştır (Unver, 2005).

Orta Çağ'da İslam coğrafyasında suyun verimli kullanımına yönelik yapılar olan sarnıçlar, dolaplar ve noralar yaygınlaşmıştır. Endülüs medeniyetlerinde geliştirilen su kemerleri ve yer altı galerileri, suyun uzun mesafelere ulaştırılmasını sağlamıştır. Osmanlı Dönemi'nde ise İstanbul gibi büyük şehirlerin su ihtiyacını karşılayan sistemler tarımsal alanlara da hizmet etmiştir. Sulama, tarımda su kaynaklarının kontrollü bir şekilde bitkilere yönlendirilmesi işlemidir. Gelişmiş sulama yöntemleri, sadece suyun sağlanmasını değil, aynı zamanda suyun verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. Su, tarımda en önemli üretim faktörlerinden biri olup, sulama sistemleri doğru yönetilmediğinde çevresel sorunlara yol açabilir (Yılmaz, 2020).

3. Günümüzde Sulama Sistemleri ve Teknolojik Uygulamalar

Günümüzde sulama sistemleri, tarım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte verimliliği artıracak şekilde evrilmiştir. Bu sistemler genel olarak dört ana kategoride incelenebilir:

3.1. Yüzey Sulama En eski sulama yöntemlerinden biridir. Su, yerçekimi yardımıyla arazide dağıtılır. Su kullanım verimliliği düşüktür ve buharlaşma kayıpları fazladır (DPT, 2001).

3.2. Yağmurlama Sulama Su, tazyikli borular yardımıyla yağmur damlaları şeklinde tarlaya dağıtılır. Orta düzeyde verimlilik sağlar, fakat rüzgar ve buharlaşma etkilerine açıktır (Yazar, 2008).

3.3. Damla Sulama Su, bitkinin kök bölgesine doğrudan uygulanarak verimliliği maksimuma çıkarır. Kurak ve su kıtlığı yaşanan bölgelerde öncelikli tercih edilen sistemdir (FAO, 2020).

3.4. Basınçlı ve Akıllı Sistemler Sensör destekli, zamanlayıcı ve otomasyon sistemleriyle entegre çalışan modern sistemlerdir. Su, sadece gerektiği zaman ve miktarda uygulanarak kaynak tasarrufu sağlanır (Evet ve ark., 2011).

3.5. Sulamanın Önemi

Sulama, tarımda su kaynaklarının kontrollü bir şekilde bitkilere yönlendirilmesi işlemidir. Gelişmiş sulama yöntemleri, sadece suyun sağlanmasını değil, aynı zamanda suyun verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. Su, tarımda en önemli üretim faktörlerinden biri olup, sulama sistemleri doğru yönetilmediğinde

çevresel sorunlara yol açabilir (Yılmaz, 2020).

3.6. Sulama Sistemlerinin Türleri

Sulama sistemleri, kullanım amaçlarına ve yerel koşullara göre farklı türlerde sınıflandırılabilir. Başlıca sulama sistemleri şu şekildedir:

- **Yüzeysel Sulama (Flood Irrigation)**

Yüzeysel sulama, suyun yer yüzeyinde yayılmasını sağlayan geleneksel bir sulama yöntemidir. Bu sistemde su, toprağın yüzeyine yayılır ve bitkilerin köklerine ulaşır. En yaygın yüzeysel sulama türü, sulama kanalları veya suyun akışına dayalı sulama sistemleridir. Bu sistemin verimliliği düşük olabilir ve suyun gereksiz yere israf edilmesine yol açabilir (Karahan, 2020).

- **Yağmurlama Sulama (Sprinkler Irrigation)**

Yağmurlama sulama, suyun küçük damlalar halinde hava yoluyla bitkilere dağılmasını sağlayan bir sistemdir. Bu sistem, tarladaki suyu daha eşit bir şekilde dağıtarak sulama verimliliğini artırır. Ancak, yüksek enerji maliyetleri ve su kayıpları gibi bazı zorluklar da bulunmaktadır (Demirtaş, 2019).

- **Damla Sulama (Drip Irrigation)**

Damla sulama, suyun doğrudan bitkilerin kök bölgesine damla damla verilmesini sağlayan bir sistemdir. Bu yöntem, suyu en verimli şekilde kullanarak su israfını minimize eder ve özellikle suyun kıt olduğu bölgelerde etkili bir çözümdür. Ayrıca, bu sistem toprağın tuzluluk oranını kontrol etmeye yardımcı olur (Yılmaz, 2020). Damla sulama yöntemi, etkin su ve gübre kullanımında en yüksek potansiyele sahiptir (Baydar ve ark., 2025b).

4. Gelecekte Sulama: Yenilikler ve Sürdürülebilirlik

4.1. Dijital Tarım ve Akıllı Sulama Gelecekte sensör teknolojileri, veri analizi ve yapay zekâ destekli karar destek sistemleri yaygınlaşacaktır. Bu sistemler sayesinde toprak nemi, bitki su ihtiyacı ve meteorolojik veriler çevrim içi olarak analiz edilerek sulama kararları optimize edilecektir (Kozai, 2013).

4.2. Gri Su Kullanımı Tarımda geri kazanılmış evsel atık suların (gri su) kullanımı, tatlı su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltacak bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Al-Jayyousi, 2003).

4.3. Güneş Enerjili Sulama Sistemleri Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan sulama sistemleri, enerji verimliliği ve maliyet azaltımı bakımından önem kazanmaktadır (Sharma & Chandel, 2013).

4.4. Sulama Verimliliği ve Tasarım Kriterleri

Sulama sistemlerinin verimliliği, kullanılan suyun etkinliği ve toprakta kaybolan su miktarına göre değerlendirilir. İyi bir tasarım, sulama suyu kayıplarını minimize etmeli ve bitkilerin ihtiyacı olan suyu doğru zamanlarda ve doğru miktarda sağlamalıdır (Çetin & Arslan, 2019).

4.5. Su Tasarrufu Yöntemleri

Su tasarrufu, sulama sistemlerinin etkinliğini artırmak ve doğal su kaynaklarını korumak için önemlidir. Damla sulama, suyun bitkilere doğrudan verilmesi sayesinde su tasarrufu sağlar. Ayrıca, akıllı sulama sistemleri ve sensör teknolojileri, sulama zamanlamasını ve su miktarını optimize ederek su tasarrufu sağlar (Yılmaz, 2020).

4.6. Ekonomik Yönler ve Sürdürülebilirlik

Sulama sistemlerinin ekonomik etkileri, başlangıç maliyetlerinden uzun vadeli işletme maliyetlerine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Modern sulama teknolojileri, başlangıçta yüksek maliyetli olabilir ancak uzun vadede su tasarrufu ve artırılmış verimlilik ile maliyetleri dengeleyebilir (Demir, 2018).

5. Çevresel Etkiler ve Sulama Sistemleri

5.1. Toprak Tuzluluğu ve Aşırı Sulama

Aşırı sulama, toprağın tuzluluk oranını artırabilir ve bu durum, tarımsal verimliliği olumsuz etkileyebilir. Sulama sistemlerinin tasarımında suyun doğru miktarda verilmesi ve toprak yapısının korunması önemlidir (Okan, 2022).

5.2. Su Kaynakları ve Ekosistem Etkileri

Sulama sistemlerinin yanlış kullanımı, su kaynaklarının tükenmesine yol açabilir. Bu nedenle, sulama sistemlerinin doğru yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamalıdır (Yılmaz, 2020).

6. Sulama Sistemlerinin Geleceği ve İnovasyonlar

6.1. Akıllı Sulama ve Dijital Tarım

Akıllı sulama sistemleri, sensörler ve yapay zeka teknolojileri kullanarak sulama süreçlerini optimize eder. Bu sistemler, hava durumu verilerini ve toprak nemini analiz ederek sulama zamanlamasını belirler ve su israfını engeller (Çetin & Arslan, 2019; Aydın, 2018)

6.2. Sürdürülebilir Su Yönetimi

Gelecekte, suyun sürdürülebilir yönetimi daha da önem kazanacaktır. Yeni sulama teknolojileri ve stratejileri, su kaynaklarını daha verimli kullanmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla geliştirilmektedir (Demir, 2018).

7. Sonuç

Sulama sistemlerinin tarihsel gelişim süreci, yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda sosyoekonomik ve çevresel değişimlerin de aynasıdır. Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, küresel iklim değişikliği, su kaynaklarının kıtlığı ve artan nüfus baskısı gibi güncel sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, sulama artık sadece bir teknik müdahale değil; stratejik bir yönetim aracı olarak değerlendirilmektedir.

Modern sulama sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte su verimliliği artmakta, kaynak israfı azalmaktadır. Özellikle akıllı sistemlerin entegrasyonu, tarımsal üretimde dijitalleşmenin bir göstergesi olup, gelecekteki su yönetimi politikalarının temelini oluşturacaktır. Ancak bu teknolojik ilerlemelerin yaygınlaştırılabilmesi için altyapı yatırımları, çiftçi eğitimi ve sürdürülebilir tarım politikalarının birlikte yürütülmesi gerekmektedir.

Gıda arz güvenliğini sağlamak adına tarımsal üretimdeki büyüme, doğal kaynaklar üzerinde ciddi bir baskı yaratmaktadır (Candemir ve ark., 2025). Sulamanın dünü, bugünü ve geleceği; sadece tarımsal üretimi değil, aynı zamanda çevresel dengeyi, kırsal kalkınmayı ve gıda güvenliğini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, sulama sistemlerine yönelik her adım, çok boyutlu ve disiplinlerarası bir perspektifle ele alınmalı; bilimsel verilerle desteklenmiş planlamalar ve politikalarla şekillendirilmelidir.

Sulama sistemleri, günümüz tarımının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Dünya nüfusunun hızla arttığı ve su kaynaklarının giderek daha sınırlı hale geldiği bu dönemde, suyun verimli kullanımı, sürdürülebilir tarım için büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, sulama sistemlerinin etkinliği, yalnızca bitkilerin büyümesi için gerekli suyun sağlanması açısından değil, aynı zamanda çevresel denge ve su kaynaklarının korunması bakımından da kritik bir rol oynamaktadır.

Sulama sistemlerinin doğru tasarımı, sadece tarımsal verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda su kayıplarını minimize ederek çevre üzerindeki baskıyı azaltır. Özellikle damla sulama ve yağmurlama gibi modern sulama yöntemleri, suyun bitkilerin köklerine doğrudan ulaşmasını sağlamakta ve suyun daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, her sulama yöntemi kendi içinde avantajlar ve dezavantajlar barındırmaktadır. Örneğin, yüzeysel sulama yöntemleri daha düşük maliyetli olabilirken, verimlilik açısından yüksek kayıplara yol açabilir. Bu nedenle, sulama sistemlerinin tasarımında, su kaynağının durumu, toprak yapısı ve iklim koşulları gibi faktörlerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çevresel etkiler, sulama sistemlerinin verimliliği üzerinde doğrudan etki yapmaktadır. Aşırı sulama ve yanlış yönetilen sulama yöntemleri, toprak

tuzluluğunun artmasına ve su kaynaklarının tükenmesine yol açabilir. Bu da, uzun vadede tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit edebilir. Bu nedenle, sulama sistemlerinin sadece verimliliği artırmayı hedeflemekle kalmaması, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurması gerekmektedir. Akıllı sulama sistemleri, bu noktada büyük bir potansiyel sunmaktadır. Su kaynaklarının ve toprak neminin dijital ortamda izlenmesi, sulama zamanlarının ve miktarlarının optimize edilmesini sağlayarak su tasarrufu ve verimliliği artırabilir. Ancak, bu teknolojilerin geniş çapta benimsenmesi, başlangıç maliyetlerinin yüksekliği gibi engellerle karşılaşabilir.

Gelecekte, sulama sistemlerinin daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesi, tarımsal üretimin artan talepleri karşılaması için büyük bir gereklilik olacaktır. Teknolojik yenilikler, tarıma dayalı su kullanımını daha verimli hale getirirken, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik için fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda, sulama sistemlerinin dijitalleşmesi ve akıllı tarım uygulamaları, tarımsal üretimdeki su verimliliğini önemli ölçüde artıracaktır. Bunun yanı sıra, sulama sistemlerinin tasarım ve yönetim süreçlerinde, yerel ekosistemlerin korunmasına yönelik daha fazla önlem alınması, gelecekteki su kıtlıklarının önüne geçilmesinde büyük rol oynayacaktır.

Sonuç olarak, sulama sistemlerinin verimli ve sürdürülebilir kullanımı, sadece tarım sektörünün geleceği için değil, aynı zamanda küresel su krizinin önlenmesi için de kritik öneme sahiptir. Tarımda suyun etkin bir şekilde yönetilmesi, tüm dünyada gıda güvenliğini sağlamak adına büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu nedenle, sulama sistemlerinin geliştirilmesi ve bu sistemlerin uygulanabilirliğinin artırılması, gelecekte tarım ve su yönetimi alanlarında daha fazla yenilikçi yaklaşımın ortaya çıkmasını gerektirecektir. Suyun doğru yönetilmesi, yalnızca tarımda değil, tüm ekosistemlerin korunmasında da önemli bir rol oynayacaktır.

Teşekkür

*Bu çalışmada Siirt Üniversitesinin sağladığı maddi kaynak için teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: Towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1–3), 181–192.
- Altınbilek, D. (2002). Türkiye’de Sulama Uygulamaları ve Yönetimi. TMMOB Su Politikaları Kongresi Bildirileri.
- Aydın, E. (2018). *Tarımsal Sulama Sistemlerinin Yönetimi ve Su Kaynakları Yönetimi*. Ankara: Tarım Yayıncılık.
- Baydar, A., Bozkurt Çolak, Y., Küçükyumuk, C., Dalkılıç, B., 2025a. Evaluation of Hydraulic and Irrigation Performances of Drip Systems in Nectarine Orchards (*Prunus persica* var. *nucipersica*) in The Mediterranean Region. *Water*. 17(5):758. <https://doi.org/10.3390/w17050758>.
- Baydar, A., Bozkurt Çolak, Y., Özfidaner, M. 2025b. Simulating the Effects of Climatic Changes on Tomato Using Regional Climate Model and DSSAT Crop Simulation Model. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 9(2), 484–499. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15038117>.
- Candemir, S., Ağızan, K., Doğan, H.G., Bayramoğlu, Z., 2025. The Impact of Mandarin Production on the Ecosystem: Analysis of Energy Consumption and Carbon Emissions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 13(5):1292-1298. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i5.1292-1298.7635>.
- Dalkılıç, B., Bozkurt Çolak, Y., Baydar, A. 2024. Su Ayak İzi. Tarımda Güncel Araştırma Konuları II. Bölüm 1. S. No: 3-21. ISBN: 978-625-367-776-3.
- Demirtaş, H., & Çelik, M. (2019). Damla Sulama Sistemlerinin Verimlilik ve Su Tasarrufu Açısından Değerlendirilmesi. *Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 45(2), 23-40.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Sulama Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- Evelt, S. R., O’Shaughnessy, S. A., & Colaizzi, P. D. (2011). Advances in soil water sensing: Accuracy, cost, and automation. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1505–1518.
- FAO. (2020). The State of Food and Agriculture 2020 – Overcoming water challenges in agriculture. Rome.
- Karahan, S. (2020). *Modern Sulama Yöntemleri ve Uygulamaları*. Tarımsal Teknolojiler Kitapları. İstanbul: Akademi Yayınları.
- Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light. *Acta Horticulturae*, 1004, 27–36.
- Okan, K. (2022). *Sürdürülebilir Tarımda Akıllı Sulama Sistemlerinin Rolü*. *Sürdürülebilir Tarım ve Teknoloji Dergisi*, 18(3), 134-150.
- Sharma, N., & Chandel, S. S. (2013). Performance analysis of a solar

- photovoltaic water pumping system. *Energy Reports*, 1, 135–142.
- Şahin, M., & Öztürk, B. (2020). *Sulama Sistemlerinin Çevresel Etkileri ve Geleceği*. *Çevresel Etkiler ve Su Yönetimi*, 30(5), 89-102.
- Ünver, İ. (2005). *Su Medeniyetleri ve Sulama Tarihi*. Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Yazar, A. (2008). *Tarımda Modern Sulama Sistemlerinin Önemi*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Yılmaz, A. (2021). *Sulama Sistemlerinin Tarımsal Verimlilik Üzerindeki Etkileri ve Su Yönetimi*. *Tarım ve Su Yönetimi Dergisi*, 22(4), 56-78.

6. Bölüm

Hava, Toprak ve Su Kirliliğinin Tarımsal Üretim Faktörleri Açısından Değerlendirilmesi

Yasemin KUŞLU¹

1. GİRİŞ

Canlı yaşam ortamlarını oluşturan her bir öge, iç içe geçmiş büyüklü küçüklü birimlerden oluşmakta ve sürekli birbiriyle etkileşim göstermektedir ki; buna çevre diyoruz. Kısaca “doğal denge” olarak tanımlanan bu sürekli etkileşim ortamı canlıdır ve dışarıdan özel bir baskı olmadığında kendini yenileyebilme yeteneğine sahiptir. Ancak, bu ortamlardan biri veya birkaçı doğal olmayan nedenlerle bozulmaya başladığında, kendini yenileme yeteneği azalmaya başlar. Bozulma sürecinin yoğunluğuna bağlı olarak kendini yenileme yeteneği de değişkenlik gösterir. Aslında “çevre sorunu” olarak karşımıza çıkan bu durum, bozulan doğal dengenin ortaya çıkmış bir sonucudur.

Dünyada doğal dengenin bozulmasına artan nüfus baskısı ve kentleşmeye bağlı olarak, hızla tüketilen orman ve diğer karbon yutak alanları ve çölleşme; sayıları gitgide azalan veya tamamen yok olacak canlı türleri; sürekli kirlenen hava, su ve toprak kaynakları başlıca örneklerdir.

2. Toprak ve Su Kaynakları Üzerinde Antropojenik Etkiler

Bozulan doğal dengedeki bozulmanın çok önemli bir bölümü insan kaynaklı kirlenmeler (antropojenik) olup, en acımasız sonuçları hiç şüphesiz temel besin kaynaklarının üretim faktörleri üzerinde görülmektedir. Bitkisel ve hayvansal üretimin gerçekleştirileceği tarım alanlarının yitirilmesi; solunabilir havanın kalitesindeki bozulmalar; tarımsal amaçlı kullanılacak suyun nicelik ve nitelik olarak değerinin düşmesi; kısaca tüm canlı ortamlarının sürdürülebilirlik sorunu ile karşı karşıya kalması anlamına gelmektedir.

¹ Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü,
ORCID: 0000-0003-4008-1004, ykuslu@atauni.edu.tr

2.1. Hava Kirliliği

Hava kirliliği, yoğunluk ve miktar bakımından normal sınırı aşan, canlı organizmaların sağlığını olumsuz yönde etkileyebilen ve maddi hasara yol açabilen yabancı maddelerin havada bulunmasıdır (Şahin ve Külekçi, 2022). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) hava kirliliğini, miktar, özellik ve zaman bakımından çevredeki atmosferde, insanlara, bitkilere ve hayvanlara zarar verebilen ve ayrıca yaşam biçimlerini aşırı derecede etkileyebilen kum, toz, kül, duman, sis, buhar, gaz, koku gibi maddelerin varlığı olarak tanımlamaktadır (WHO, 2025).

En sık rastlanan kirlletici elementlerden olan NO_x ve SO_2 , atmosfere salınım yaptıktan sonra gaz çevrimi sonucu nitrik asit (HNO_3) ve sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturarak zincirleme reaksiyonlarını tamamlar ve son olarak asit yağmurları olarak toprak yüzeyine düşer (Der Duh ve ark., 2008; Al-Khashman, 2009). Partikül maddelerin (PM) zararlı etkisi fiziksel ve kimyasal içeriklerine göre değişmektedir. Bu maddeler atmosferdeki nemle birleşerek aside dönüşmekte ve asit hasarına neden olmaktadır. Ni ve Cd gibi ağır metalleri bünyesinde taşıması durumunda ise toprak ve suya karışarak canlı organizmalar üzerinde toksik etki göstermektedir. Kirli havanın bünyesindeki kirlletici unsurlar, hava akımları aracılığıyla şehirler, ülkeler ve hatta kıtalar boyunca hızlı ve yatay bir şekilde hareket edebilir (Givati ve Rosenfeld, 2004).

Atmosferik kirlilik birikimi, birikim yüzeylerine ve meteorolojik parametrelere göre farklı olabilir. Islak birikim herhangi bir hidrometeor etkisiyle, kuru birikim ise bu etki olmadan gerçekleşir; bu tür birikimde sadece yerçekimi kuvveti etkilidir. Islak birikimde PM ve diğer gazlar bir yandan su damlaları için yoğunlaşma çekirdeği şeklinde karışma/kaynaşma, diğer yandan da yere düşen damlalarla süpürme (yıkama) yoluyla oluşan bir mekanizma sonucu atmosferden uzaklaşır. Böylece bitki, su ve toprak yüzeyleri kirlenir.

2.2. Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği, toprağın zararlı maddeler nedeniyle kirlenmesidir. Tarım toprağının kendi ekosisteminden kaynaklı kirlilik unsurları arasında, toprakta sürekli nem ve yaşlılık bulunması yani drenaj sorunu önem taşımaktadır. Kirlenmiş toprak, bitki yetiştirmek için uygunsuz hale gelir ve genellikle su kirliliğiyle birlikte görülür. Tarımsal etkinliklerin büyük bir bölümü toprak ve su kaynaklarına zarar verecek şekilde yürütülmektedir. Toprak kirliliğinin önemli nedenleri niteliği düşük sularla yapılan tarımsal sulamalar, aşırı sulama, pestisit kullanımı, kanalizasyon ve çöp dökülmesi, ormansızlaşma, madencilik ve endüstrileşmedir (Dietz ve ark., 2007).

Teknik gereklilikleri yerine getirilmeden yapılan sulama uygulamaları toprakta ve taban suyunda tuzluluk düzeyinin artmasına ve çoraklaşmaya neden olmaktadır (Er ve ark., 2021a; Uçak ve ark., 2022).

En yaygın toprak kirleticileri ağır metallerdir. Bunlar doğrudan maruz kalma veya dolaylı (besin zinciri ile tüketilmesi) yollardan canlı sağlığını tehlikeye atmaktadır (Taffere ve ark., 2016). En tehlikeli ağır metaller; arsenik (As), cıva (Hg), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr), selenyum (Se), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), kurşun (Pb), kalay (Sn), antimon (Sb), bizmut (Bi) ve kobalt (Co) sayılabilir. Söz konusu kirleticiler, sanayi, tarım (gübreler, atık su uygulamaları vb.), evsel ve endüstriyel atık depolama alanları, trafik, herbisit (yabancı otlarla kimyasal mücadele ilaçları), pestisit (zararlılarla kimyasal mücadele ilaçları) ve fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır.

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yapılan pestisit tanımında;

- ❖ İstenmeyen bitki ve hayvan türlerini de kapsamak üzere, herhangi bir zararlıyı önlemek, yok etmek veya kontrol etmek için tasarlanmış herhangi bir madde veya madde karışımı, gıda ve tarımsal emtia,
- ❖ Hayvan yemi üretimi, işlenmesi, depolanması, taşınması veya pazarlanması sırasında bunlara zarar veren böceklerin, araknidlerin veya diğer zararlıların vücutlarına veya üzerine uygulanabilen maddeler,
- ❖ Bitki büyüme düzenleyicisi, yaprak dökücü, kurutucu veya meyveyi seyreltme veya meyvenin erken düşmesini önleme maddesi olarak kullanılmak üzere üretilmiş maddeler,
- ❖ Depolama ve taşıma sırasında ürünü bozulmadan korumak için hasattan önce veya sonra ürünlere uygulanan maddeler olarak sıralanmıştır.

Pestisit grupları ve hedef zararlılar; algisit – algler, avisit – kuşlar, bakterisit – bakteriler, fungisit – mantarlar, insektisit – böcekler, akarisit – akarlar, molluskisit – salyangozlar, nematisit – nematodlar, rodentisit – kemirgenler ve virüsit – virüsler olarak sıralanabilir (FAO, 2025). Pestisit kullanımı birbiri ile bağlantılı çevresel sorunlara yol açabilir. Yapılan araştırmalar püskürtülen böcek ilaçlarının %98'inden ve herbisitlerin %95'inden fazlasının hava, su ve toprak ve farklı türler dâhil hedef bölgesinden farklı bir yere ulaştığını göstermiştir. Böcek ilacı sürüklenmesi, su kirliliğinin nedenlerinden biri olup bazı böcek ilaçları kalıcı organik kirleticilerdir. Unutulmamalıdır ki, pestisitler faydalı türleri de öldürür ve kullanımı aşağıda sıralanan sorunlara yol açar (Er ve ark., 2021b)

- ❖ Biyolojik çeşitliliği tehdit eder.
- ❖ Azot fiksasyonunu (bitki ve hayvanın kullanabileceği forma dönüşümü) azaltır.

- ❖ Polinatörlerin (bitkide tozlaşmayı sağlayan unsurlar) azalmasına neden olur.
- ❖ Yaşam alanlarını (özellikle kuşlar için) yok eder.
- ❖ Nesli tükenmekte olan türleri tehdit eder.

Zararlılar böcek ilacına karşı direnç geliştirebilir (böcek ilacı direnci), bu da yeni bir böcek ilacı gerektirir. Alternatif olarak, direnci etkisiz hale getirmek için daha yüksek dozda böcek ilacı kullanma eğilimi vardır, ancak bu, toprak ve su kirliliği sorununu derinleştirir.

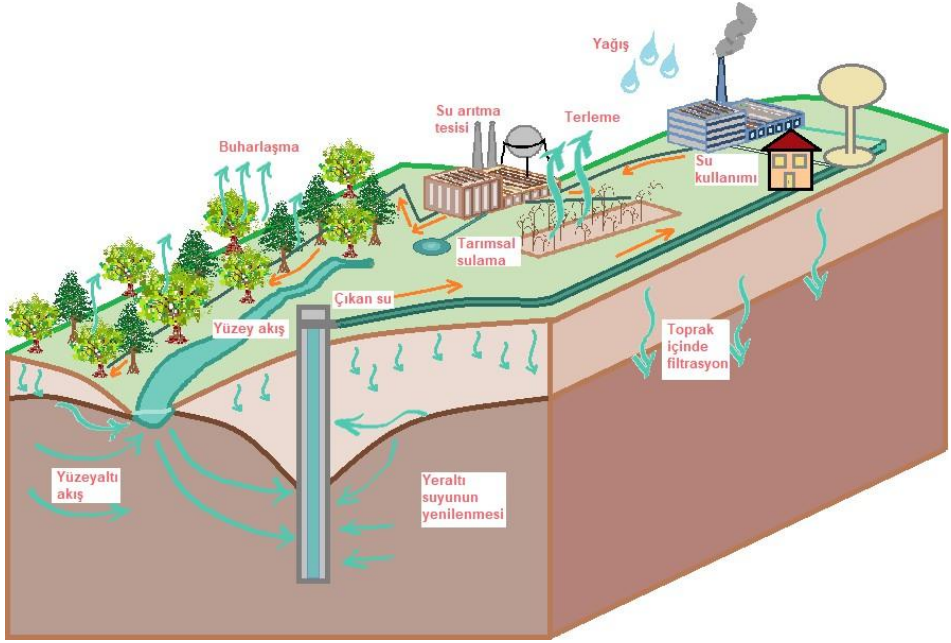
Ülkeler, herbisit ve pestisitlerin doğaya ve canlılara doğrudan veya dolaylı etkisi nedeni ile ciddi boyutlarda maddi kaynak ayırmak zorundadır. Çünkü ekosistemin farklı unsurları üzerinde olumsuz etkileri vardır. Pestisitlerin çoğu kararlı kimyasal yapıda olduğundan besin zinciri içinde birikebilir.

Yukarıda sayılan kirlilik unsurlarının yanı sıra radyoaktivite, tuz ve maden cevherleri de toprakta kirlilik oluşmasına sebep olurlar. Tüm kirleticiler toprak profilini bozar, toprak verimliliğini azaltır ve onu bitki yetiştirmeye elverişsiz hale getirir.

Toprak kirliliği genellikle kirli su toprağa sızarak onu kirlettiğinde oluşur ve su kirliliği ile birlikte gözenir. Toprakten gelen kirleticiler yeraltı suyuna sızabilir veya yağış ile birlikte su kütlelerine geçebilir

2.3. Su Kirliliği

Yüzey suyu ve yeraltı suyu genellikle birbirleriyle ilişkili olmalarına rağmen ayrı kaynaklar olarak incelenmiş ve yönetilmiştir. Yüzey suyu topraktan sızar ve yeraltı suyu haline gelir. Tersine, yeraltı suyu yüzey suyu kaynaklarını da besleyebilir (Şekil 1.).



Şekil 1. Su döngüsünde antropojenik etkiler (Yasemin Kuşlu)

Göllere, nehirler, okyanuslar, yeraltı suları ve denizler gibi su kütlelerinin zararlı maddelerle kirlenmesi su kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1’de özetlendiği gibi, yeryüzüne düşerken havadaki kirleticilerle temas eden yağış suyu karasal alanlarda yüzey akışa geçerek yüzey sularını besler veya toprağa sızma yolu ile yeraltı sularıyla birleşir. Su toprağa doğru giderken jeolojik oluşum türüne ve derinliğe göre bir filtrasyon sürecine maruz kalır ve jeolojik oluşumun doymun olduğu bölgede bulunan kuyuları, gölleri, nehirleri ve denizleri besler (Gikas, ve Tsihrintzis, 2012; Oskay ve ark, 2022; 2023). Özetle, diğer kirleticiler gibi hava kirleticilerinin de son durağı sudur, bu nedenle, su diğer doğal kaynaklardan daha kolay ve hızlı bir şekilde kirlilikle karşı karşıyadır.

Kirlenmiş su, içme, kullanma ve tarımsal sulama için uygun olmayan nitelikteki sudur. Su kirliliği, kirleticilerin zararlı bileşiklerini gidermek için yeterli arıtma yapılmadan doğrudan veya dolaylı olarak su kütlelerine boşaltılmasıyla oluşur (Kızıloğlu ve ark., 2007; Ahmed, 2011; Haq, 2017). Bu durumdan söz konusu su kütlelerinde yaşayan bitkiler ve organizmalar etkilenir.

Yüzey suyu kirliliği, genellikle kökenlerine göre noktasal ve noktasal olmayan kaynaklar olmak üzere iki kategoriye ayrılır.

Nokta kaynaklı su kirliliği, bir boru veya hendek gibi tek, tanımlanabilir bir kaynaktan bir su kaynağına giren kirleticileri ifade eder. Bu kategorideki kaynaklara bir kanalizasyon arıtma tesisinden, bir fabrikadan veya bir şehir yağmur suyu giderinden gelen deşarjlar örnek olarak verilebilir. Otoparklardan, yollardan ve otoyollardan yıkanan kirlenmiş yağış suyu drenaj sistemlerine

yönlendirildiği ve borular aracılığıyla kentsel atık suları beslediği için noktasal kirlilik kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Noktasal olmayan kaynaklı kirlilik, tek bir kaynak yerine yaygın kirlenmeyi ifade eder. Bu kirlilik genellikle geniş bir alandan toplanan küçük miktardaki kirleticilerin kümülatif etkisidir. Örnek olarak, gübrelenmiş tarım arazilerinden azot bileşiklerinin sızması veya tarım ilacı uygulanmış havanın su kaynakları üzerine inmesi verilebilir. Tarımsal veya orman üzerinden "tabaka akışı" nedeniyle yağmur suyundaki besin maddesi akışı da noktasal olmayan kirliliğe örnek olarak gösterilir.

2.3.1. Su Kirletici Unsurlar

Doğal olarak su içinde bulunan kirletici unsurların yüksek konsantrasyonları su florası ve faunası üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Bunlar besin zinciri yolu ile insanlar ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etki yaparlar. Su kirleticilerinin en bilinen ve yaygın görülenleri aşağıda sınıflandırılmıştır:

- ❖ Oksijen tüketen maddeler: Bunlar aerobik mikroorganizmaların oksijen tüketerek kullandığı organik atıklardır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) suların organik kirliliğinin sağlam bir göstergesidir. Bu amaçla kullanılan BOİ₅ göstergesi, 20 °C'de 5 günlük inkübasyon süresince numune başına tüketilen miligram oksijen olarak ifade edilir
- ❖ Sentetik maddeler: Gelişmiş ülkelerin yüzey ve yeraltı sularında 700 dolayında sentetik organik maddeye rastlanmıştır. Bunlar, petrol ve petrol ürünleri, plastikler, pestisitler, çözücüler, deterjanlar gibi hormon bozucu etkilere, kalıtsal kusurlara ve çeşitli kanser türlerine yol açan maddelerdir. Bu maddelerin besin zinciri ile insana geçtiğini konu edinen araştırmalar yapılmaktadır.
- ❖ Suda çözünen maddeler: Tuzlar, asitler, ağır metal bileşikleri, endüstriyel deşarjların (özellikle kükürt dioksit) neden olduğu asitlik bu grupta incelenebilir. Bu maddelerin tarımsal sulama nedeni ile toprakta bulunması, tarımsal verimi azaltır. Ayrıca ötrofikasyonun artmasına neden olan ve suda çözünmüş durumda bulunan nitratlar, fosfatlar ve gıda işleme atıklarından gelen amonyak bu grup maddelerdir.
- ❖ Askı maddeleri: Bunlar çözünmeyen toprak veya mineral parçacıkları, diğer organik ve inorganik maddelerdir. Bu maddeler suda bulanıklığa neden olur; su bitkisinin fotosentez yeteneğini azaltır; besin zincirini etkiler; tortular oluşturarak su canlılarının beslenme ve yumurtlama bölgelerini yok eder; nehirlerin ve göllerin tabanını doldurur; nehirlerin

akış yolunu değiştirir; katı parçacıkların yüzeyinde bakteri, pestisit veya diğer tehlikeli maddeler emilebilir; basınçlı sulama sistemlerinde tıkanma faktörlerinden biridir.

- ❖ Radyoaktif maddeler: Suda çözünen radyoizotoplar besin zinciri yolu ile bir türden diğer bir türe aktarılabilir. Bu maddelerin kalıtsal kusurlar ve kanser hastalıklarına yol açtığına ilişkin araştırmalar vardır.
- ❖ Isı: Endüstriyel soğutma işlemlerinin sonucunda ortaya çıkan ılık su bir nehre veya göle deşarj edilir. Yükselen sıcaklıklar oksijenin sudaki çözünürlüğünü düşürür ve sudaki oksijen konsantrasyonunu azaltır. Sucul türler oksijen eksikliği nedeniyle hastalıklara, parazit türlerine ve toksik kimyasallara karşı daha hassas hale gelirler.
- ❖ Patojenik organizmalar, mikroorganizmalar ve parazitler: Mikroorganizmaların çoğu tehlikeli değildir, ancak organik maddeleri yok etme süreçlerinde yer alırlar. Ne yazık ki sularda, özellikle atık sularda, bulaşıcı hastalıklara neden olan patojenik mikroorganizmalar bulunabilir. Parazitik canlıların çoğunluğu evsel atık su kaynaklıdır. Ayrıca evsel atık su mikroplar, birincil bakteriler, bazı virüsler ve protozoalar için ideal bir yaşama ortamıdır. *Burkholderia pseudomallei*, *Salmonella* ve *Giardia lamblia* en yaygın ve tehlikeli olanlarıdır.

3. Su Kirliliği Türleri ve Olası Önlemler

Atık su, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri değiştirilmiş (bozulmuş) sudur. Atık sular kökenine göre; evsel atık su, kentsel atık suyu, tarımsal atık su, yağış atık suyu ve endüstriyel (üretim) atık suyu olmak üzere farklı gruplara ayrılır.

3.1. Evsel Atık Su

Genel bir kanalizasyon ağına sahip olmayan kırsal konut veya tarım işletmelerinde ortaya çıkan atık sular bu başlık altında toplanır. Evsel atık suların %99 dolayındaki kısmı saf su olmakla birlikte %1'den az bir kısmı kirleticiden oluşmaktadır. Bu düşük yoğunluk, yüksek riskli etkilere yol açabilmektedir. Evsel atık suların içeriğini, %60-80 oranında organik maddeler oluşturur. Geriye kalan kısmında ise, inorganik maddeler (kum, mineral tuzları, asitler, deterjanlar), canlı organizmalar (mikroorganizmalar, protozoa, parazitik canlılar vb.) bulunur. Evsel atık su üreten birimlerin alması gereken önlem artırılmamış kanalizasyon deşarjlarını azaltmaktır. Ayrıca, yağmur suyu yönetim kapasitesini iyileştirmek için önlemler almak (Er ve Kuslu, 2024), atık suyu yerinde arıtan ve/veya toprağa boşaltan septik tank sistemi kurmak da noktasal kaynaklı kirliliğin önüne geçebilir.

3.2. Kentsel Atık Su

Kentsel atık sular başlığı altında çoğunlukla kanalizasyon ve yağış suyu drenajı sonucu ortaya çıkan atık su toplamı anlaşılır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin büyük bölümünde kanalizasyon atık sularının ikincil veya daha üst düzey arıtımı gerçekleştirilerek atık su geri dönüşümü sağlanmaktadır. Geri dönüşümü sağlanmış atık su yerüstü ve yeraltı kaynaklarına deşarj edilerek, su kaynaklarını beslemesi sağlanmaktadır. En iyi kentsel atık su yönetimi, kullanılmış su atığının miktarını kontrole odaklanmaktır. Atık su çıktıktan sonra ise su kalitesini iyileştirme hedeflenmelidir.

Sentetik (farmasötik) bileşikler, reçeteli ve reçetesiz ilaçlar, veteriner ilaçları, besin takviyeleri ve uyuşturucular çeşitli kimyasalları içerir. Yutulduktan veya uygulandıktan sonra, bu maddeler vücuttan ana veya metabolize edilmiş bileşikler olarak atılır ve belediye kanalizasyon sistemine girer. Son çalışmalar, geleneksel atık su arıtım süreçlerinin bu bileşikleri tamamen ortadan kaldırmadığını göstermiştir; bu nedenle arıtılmış atık sularda ve çamurda yer almaktadır.

Yağış suları kimyasal ve biyolojik kirlenme açısından kanalizasyon suyundan daha masumdur. Özellikle yağış yoğunluğunun fazla olduğu zamanlarda arıtma sistemlerine giren ham su yükü fazla olmakta, bu da sistemlerin arıtım yeteneğini azaltmaktadır. Bu amaçla yağış suyunun toplandığı sistemlerin kanalizasyon sisteminden ayrılması, bir seçenek olarak belediyeler tarafından değerlendirilmektedir.

3.3. Tarımsal Atık Su

Tarımsal atık suyun en yaygın olanı askı maddesi yoğun ve kimyasal kirlilik yükü fazla drenaj suyudur (Sezen ve ark, 2018). Bu nedenle yüzey akışı engelleyecek veya indirgeyecek önlemler alınması, tarımsal atık su miktarının azalmasını sağlayabilir. Bu önlemler arasında, kontur sürme, ürün malçlama, rotasyon, çok yıllık ürünler ekme ve kıyı tamponları kurma sıralanabilir.

Bitki besin maddelerinden (azot ve fosfor) kaynaklanan su ve toprak kirliliği, genellikle tarım arazilerine ticari gübre, çiftlik gübresi ve kentsel (veya endüstriyel) atık su veya arıtma çamuru uygulanmasıyla ortaya çıkar. Bu maddeler ayrıca ürün kalıntılarından, sulama suyundan, yaban hayatından ve atmosferik birikimden de kaynaklanabilir. Çiftçiler, yüksek dozda bitki besin maddesi uygulamasını azaltmak için yönetim planları geliştirebilir ve uygulayabilirler. Büyük üretim çiftlikleri gibi hayvancılık işletmelerinin kendi arıtma sistemlerini kurması noktasal kaynaklı kirliliği hafifletmektedir.

Hayvan gübreleri genellikle püskürtme veya damlatma yoluyla otlaklara atılmadan önce lagünlerde tutularak işlenmelidir. Yapay sulak alanlar ve anaerobik lagünler, hayvansal atıkların arıtımını kolaylaştırmak için kullanılabilir

(Kuşlu ve Er, 2024). Benzer şekilde hayvan gübreleri yüksek sıcaklıklarda kompostlama yapılarak, bakteriyolojik olarak arınmış ve ufalanabilir gübre formunda toprak iyileştirme için kullanılabilir.

Sentetik bileşikler ve metabolitleri, biyolojik katıların uygulanması ve arıtılmış atık suyla sulama yoluyla tarımsal ortama sokulmaktadır. Çok sınırlı sayıda araştırma tarla denemelerinde tarım ürünleri tarafından sentetiklerin alımını konu edinmektedir. Biyokatı uygulamasının aksine, sentetik bileşiklerle ile kirlenmiş suyla sulama, sentetiklerin tarım ortamına sürekli girişine neden olmaktadır.

Arıtılmış atık suyun sulama için kullanımı dünyada giderek artmaktadır ve bu kullanım kurak bölgelerle sınırlı değildir. Arıtılmış atık su ile sulanmış tarım ürünleri arasında doğrudan temas en kötü senaryoyu temsil etmektedir ki; kök sebzeler (havuç, patates vb.) ve herhangi bir işlem görmeden çiğ olarak tüketilen tarım ürünleri (salata bitkileri vb.) önem taşımaktadır.

3.4. Yağış Atık Suyu

Yağış suları diğer su kaynaklarının beslediği ana kaynak olup, tarımsal alanların sulanmasında, sanayide soğutma ve proses suyu kullanımında, farklı düzeylerde dezenfekte işleminden sonra içme suyu kullanımında, tuvaletlerde ve çamaşır yıkama gibi alanlarda kullanılabilir (Er ve Kuslu, 2024).

Yağış suları atmosferden geçerken havada asılı bulunan kirlenici unsurlarla kirlenirler. Yağış suyunun depolarda biriktirilmesi planlanıyor ise toplandıkları yüzeylerdeki kirlenici ve diğer sürüntü malzemeleri de depolara taşıyacağı dikkate alınmalıdır. Kullanım amacına uygun bir arıtma gerçekleştirilmesi, sürdürülebilir su yönetimi için gereklidir.

Yağış suyu ev ve büyük binaların çatılarından, seralardan, avlulardan, yollar da dâhil olmak üzere benzeri geçirimsiz zeminlerden toplanıp depolanabilir. Bu yolla yağışın büyük kısmından yararlanmak mümkündür. Bu teknikler, çoğunlukla evsel amaçlar için kullanılsa da tarımsal kullanıma oldukça uygundur. Arıtmadan geçirilmeden içme suyu olarak kullanıma uygun olmayan su, evlerin bahçe sulamasını desteklemek için kullanılabilir.

3.5. Endüstriyel Atık Su

Endüstriyel tesislerin bir kısmı, belediye tesisleri tarafından arıtılabilecek nitelikte evsel atık su üretir. Yaygın kirlenicilerin (yağ, gres vb.), toksik kirlenicilerin (ağır metaller, uçucu organik bileşikler vb.) veya amonyak gibi diğer kirlenicilerin yüksek konsantrasyonlarını içeren atık su üreten tesisler, özel arıtma sistemlerine ihtiyaç duyar (Hynes ve ark., 2020). Bu tesislerden bazıları, toksik bileşenleri gidermek için bir ön arıtma sistemi kurabilir ve ardından kısmen arıtılmış atık suyu belediye sistemine gönderebilir. Büyük miktarlarda atık su

reten tesisler genellikle kendi tesis içi arıtma sistemlerini çalıştırır. Bazıları ise, kirlilik nleme adı verilen bir süreçle kirleticileri azaltmak veya ortadan kaldırmak için önlem alabilir. Endüstriyel atık suların yüksek riskli ve tehlikeli maddeler içermesi durumunda özel depolarda biriktirilerek uygun arıtma tesislerinde işlemden geçmelidir.

Kaynaklar

- Ahmed, W., Gardner, T. & Toze, Z. (2011). Microbiological quality of roof harvested rainwater and health risks: a review. *J Environ Qual* 40: 1–9.
- Al-Khashman, O. A. (2009). Chemical characteristics of rainwater collected at a western site of Jordan. *Atmospheric Research* 91,53–61.
- Der Duh, J., Shandas, V., Chang, H. & George, L. A. (2008). Rates of urbanisation and the resiliency of air and water quality. *Science of the Total Environment*, 400,238-256.
- Dietz, T., Rosa, E. A. & York, R. (2007). Driving the human ecological footprint. *Front Ecol Environ*, 5(1),13-18.
- Er, H. & Kuslu, Y. (2024). Basic Planning Principles of Roof Precipitation Harvesting Systems. In: Behnassi, M., Al-Shaikh, A.A., Gurib-Fakim, A., Barjees Baig, M., Bahir, M. (eds) *The Water, Climate, and Food Nexus*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50962-9_17
- Er, H., Koçyiğit, S. & Kuşlu, Y. (2021b). Meteorolojik faktörlerin ve temiz su kaynaklarının arı ve arı ürünleri üzerine etkisi, In: Kökten and İnci (eds), *Tarım Uygulamalarında Yenilikçi Yaklaşımlar*, İKSAD Publishing, pp: 295-311.
- Er, H., Meral, R. & Kuşlu, Y. (2021a). Tuzlu toprakların halofit bitkiler kullanarak fitoremediasyon yöntemiyle iyileştirilmesi olanaklarının değerlendirilmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 14(2), 101–110. Retrieved from <https://www.derleme.gen.tr/index.php/derleme/article/view/377>
- FAO, (2025), The Food and Agriculture Organization, Erişim tarihi: Mayıs 2025. <https://openknowledge.fao.org/i5566tr>
- Gikas, G.D. & Tsihrintzis, V.A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *J Hydrol* 466–467: 115–126.
- Givati, A. & Rosenfeld, D. (2004). Quantifying precipitation suppression due to air pollution. *Journal of Applied Meteorology*, 43,1038-1056.
- Haq, S.A. (2017). Rainwater storage, in: *Harvesting Rainwater From Buildings*, Springer, Cham, Book ISBN: 978-3-31-946360, Doi Number: 10.1007/978-3-319-46362-9_6
- Hynes N.R.J., Kumar J. S., Kamyab H., Sujana J.A.J, Al-Khashman O. A., Kuslu Y., Ene A. & Kumar B. S. (2020). Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector -A comprehensive review, *Journal of Cleaner Production* 272: 122636.
- Kızıloğlu F.M., Kuşlu Y., Tunç T. & Yanık R. (2007). The evaluation of the quality parameters of the several water sources in Erzurum for plant,

soiland irrigation system, *Atatürk Univ. J. of Agricultural Faculty*. 38 (2): 179- 185.

- Kuşlu, Y. & Er, H.(2024) Kırsal Alan Planlamalarında Yapay Sulak Alanlar ve Tasarım Örneği In: İnci, Ayaşan ve İlkaya (eds) Ziraat ve Temel Bilimler Alanında Sürdürülebilir Yaklaşımlar III, Iksad Publications ISBN: 978-625-378-018-0, DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14520498>
- Oskay, V., Karagöz, Ö. & Kuşlu, S. (2022). Investigation of water quality of the Şenkale stream feeding the Bahçecik dam meeting the drinking water needs of Gümüşhane province. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, pp. 61-75. doi:10.17714/gumusfenbil.1035164
- Oskay, V., Karagöz, Ö. & Kuşlu, S. (2023). Investigation of the water quality of Aktutan pond located in Gümüşhane province in the North East region of Turkey by Hazen statistical method. *Environ Earth Sci* 82, 118 <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10799-1>
- Sezen, S. M., Tekin, S. & Yıldız, M. (2018). Çukurova bölgesinde drenaj suyu ile sulanan kinoa bitkisinde su-verim ilişkileri ve ekonomik değerlendirme. *Derim*, 35(2), 173-185. <https://doi.org/10.16882/derim.2018.411170>
- Şahin, K., & Külekçi, M. (2022). Örtü Altı Domates Üretiminde Enerji Kullanımı ve Sera Gazı Emisyonunun Girdi Optimizasyonu Yaklaşımı ile Azaltılması: Antalya İli Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1808-1819. <https://doi.org/10.21597/jist.1111255>
- Taffere, G.R., Beyene, A., Vuai S.A.H., Gasana, J. & Seleshi, Y. (2016). Characterization of atmospheric bulk deposition: implications on the quality of rainwater harvesting systems in the semi-arid City of Mekelle, Northern Ethiopia. *Environ Process* 3:.47–261.
- Uçak, A.B, Arslan, H., Özçınar, A.B., & Arslan, D. (2022). Determination of Irrigation Time by Utilizing Plant Water Stress Index (CWSI) Values of II. Crop Sesame Genotype in Siirt Conditions. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* ISSN:2454-1850, Vol-8, Issue-1,
- WHO (2025) The World Health Organization, Erişim tarihi: Mayıs 2025. https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1

7. Bölüm

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Bitki Paraziti Nematodlara Karşı Kullanımı: Biyoaktif Mücadele Stratejisi

Neziha Gamze AKBAY¹

Özet: Bitki paraziti nematodlar, dünya genelinde tarımsal verimliliği tehdit eden başlıca patojen gruplarından biri olup, kök sistemine verdikleri fizyolojik ve yapısal zararlar nedeniyle bitki büyümesini doğrudan etki ederek, tarım alanlarında ciddi oranlarda ürün kayıplarına neden olmaktadır. Bitki paraziti nematodlar içerisinde özellikle *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus spp.* ve *Heterodera spp.* gibi ekonomik öneme sahip türlerin kontrolü geleneksel olarak sentetik nematisitlerin kullanımına dayanmaktadır. Ancak bu kimyasal ajanlar, kısa vadede etkili olmakla birlikte, çevresel toksisite, yararlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkileri, kalıntı problemleri ve patojenlerde direnç gelişimi gibi ciddi ekolojik ve agronomik riskleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkiler, içeriklerinde bulunan timol, karvakrol, eugenol, cineol ve linalool gibi sekonder metabolitler sayesinde nematodlara karşı doğal biyopestisit potansiyeli taşımaktadır. Bu bileşikler, nematodların fizyolojik süreçlerini bozarak motor aktivitelerini inhibe etmekte ve yaşam döngülerini olumsuz yönde etkilemektedir. Literatürde tıbbi ve aromatik bitkileri ekstraktlarının ve uçucu yağlarının, *Meloidogyne spp.* gibi ekonomik öneme sahip bitki paraziti nematodlara karşı popülasyon yoğunluğunu baskılayıcı etkiler gösterdiği açıkça ortaya konmuştur. Bu bölümde, tıbbi aromatik bitkilerin nematod biyokontrolündeki etkileri; moleküler, biyokimyasal ve uygulama yöntemleri kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerin biyolojik mücadele stratejileri, entegre zararlı yönetimi (IPM) sistemlerine entegre edilebilecek çevre dostu yaklaşımlar sunmakta olup, sürdürülebilir tarımsal üretim hedefleri doğrultusunda yenilikçi ve güvenilir alternatif bir mücadele tekniği olarak öne çıkmaktadır.

¹ Zir. Yük. Müh., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, ORCID: 0000-0002-3132-8186, gamzeakbay01@gmail.com

1- GİRİŞ

Bitki paraziti nematodlar, dünya genelinde pek çok tarım ürününde görülen, mikroskobik boyutta, toprak kökenli ve obligat parazit canlılardır. Bu organizmalar, özellikle bitki köklerini hedef alarak fizyolojik ve yapısal hasarlara neden olur; bitkide su ve besin alımını engelleyerek gelişme geriliği, sararma, solgunluk ve verim kaybı gibi ciddi sonuçlara yol açar. Ayrıca bitkileri sekonder fungal ve bakteriyel patojenlere karşı daha duyarlı hale getirmektedir (Nicol ve ark., 2011; Jones ve ark., 2013).

Ekonomik açıdan en zararlı türler arasında *Meloidogyne spp.* (kök-ur nematodları), *Pratylenchus spp.* (lezyon nematodları) ve *Heterodera spp.* (kist nematodları) yer almakta olup, bu türler sebze, meyve, tahıl ve baklagil gibi önemli ürünlerde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır (Moens ve ark., 2009). Türkiye’de yapılan çeşitli araştırmalar, domates, patates, muz ve havuç gibi yüksek ekonomik değere sahip ürünlerde nematod kaynaklı verim kayıplarının %10 ile %80 arasında değiştiğini göstermektedir (Gözlekçi ve ark., 2018). Türkiye Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM, 2021), dünya genelindeki yıllık ekonomik kaybın 100 milyar ABD dolarını aştığını bildirmektedir. Özellikle *Meloidogyne spp.*, *Heterodera spp.* ve *Globodera spp.* türleri, tarımsal üretim açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Kepenekçi, 2012; Kepenekçi ve ark., 2016).

Bitki paraziti nematodlar, genellikle konukçu bitki köklerine penetrasyonları sırasında epidermis ve korteks tabakasını geçerek, mekanik kuvvetler ve salgıladıkları hücre duvarı parçalayıcı enzimler aracılığıyla konukçu bitki dokularında yapısal ve fizyolojik bozulmalara neden olmaktadır. Özellikle salgıladıkları selüloz, pektinaz, hemiselüloz gibi enzimlerin salgılanması, hücre duvarının parçalanmasına yol açarak bitki dokularının zarar görmesine ve kök sisteminin bütünlüğünü zayıflatarak nematodların beslenmesini kolaylaştırmaktadır (Hussey ve Grundler, 1998). Örneğin, *Meloidogyne spp.* konukçu köklerde gal (ur) oluşumlarına yol açarken, *Pratylenchus spp.* kök korteksinde nekrotik lezyonlar oluşumuna, *Heterodera spp.* ise kök yüzeyinde kist oluşumlarına neden olarak bitkinin su ve besin alımını sınırlandırmaktadır (Abad ve ark., 2008; Jones ve ark., 2013).



Şekil 1. Kök-ur nematodu *Meloidogyne* spp. konukçu bitki köklerindeki zarar şekli (Anonim, 2025a)



Şekil 2. *Pratylenchus* spp. (lezyon nematodları) konukçu bitki köklerindeki zarar şekli (Kimenju ve ark.,2021; Anonim, 2025b)



Şekil 3. *Heterodera* spp. ve *Globodera* spp. (kist nematodları) konukçu bitki köklerindeki zarar şekli (Anonim, 2025c)

Bitki paraziti nematodlar yalnızca verim kaybına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda gıda güvenliği, çiftçilerin ekonomik refahı ve sürdürülebilir tarım sistemleri üzerinde de önemli tehditler oluşturmaktadır. Bu zararlılarla mücadelede nematisitlerin yaygın olarak kullanımı, kısa vadede etkili sonuçlar verse de, uzun vadede çevresel ve biyolojik etkili sorunlara neden olmaktadır. Bu

sorunlar arasında çevresel toksisite, faydalı organizmaların zarar görmesi, toprak mikrobiyal dengesinin bozulması ve hedef patojenlerde direnç gelişimi yer almaktadır. Bu nedenlerle kimyasal kontrol yöntemlerinin kullanımı giderek sınırlanmakta; çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif mücadele stratejilerine olan ilgi artmaktadır (Desaeger ve ark., 2020).

Bu bağlamda, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) stratejileri içerisinde doğal bileşiklerin kullanımı alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde doğal olarak bulunan sekonder metabolitlerin (fenoller, terpenler, alkaloidler vb.) bitki paraziti nematodlar üzerindeki baskılayıcı etkileri, son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda sıkça vurgulanmaktadır. Bu bileşiklerin nematod potansiyeli, biyolojik mücadele alanında umut vadeden uygulamalara zemin hazırlamakta ve entegre mücadele sistemlerine eklenebilecek çevre dostu çözümler sunmaktadır.

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Sekonder Metabolitleri ve Bitki Paraziti Nematodlara Karşı Biyoaktif Potansiyeli

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri aktif sekonder metabolitler sayesinde yüzyıllardır geleneksel tıptan günümüz modern uygulamalarına kadar ilaç, gıda, kozmetik ve tarım gibi pek çok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu bitkilerden elde edilen doğal bileşikler; antimikrobiyal, antifungal, antiviral, antiinflamatuvar, antioksidan ve insektisit özellikler göstererek insan ve bitki sağlığı açısından önemli roller üstlenmektedir (Ertuğ, 2000; Baytop, 1999).

- **Tıbbi bitkiler**, alkaloidler, glikozitler, tanenler, fenoller, flavonoidler ve saponinler gibi sekonder metabolitler içermektedir.

- **Aromatik bitkiler**, zengin uçucu yağ (esansiyel yağ) içerikleriyle karakterize edilir. Bu yağlar; terpenler, fenilpropenler ve çeşitli oksijenli bileşenlerden oluşan uçucu ve yarı uçucu bileşikler kapsamaktadır (Bakkali ve ark., 2008).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin içeriklerinde bulunan sekonder metabolitler, bitkilerin kendi savunma sistemlerinin bir parçası olup; patojenler, zararlılar, ultraviyole ışınları, ağır metaller ve kuraklık gibi çevresel stres etmenlerine karşı koruma sağlamaktadır. Özellikle terpenoidler, flavonoidler, alkaloidler ve fenolik bileşiklerin; nematodlar da dâhil olmak üzere pek çok zararlı organizma üzerinde toksik veya inhibitör (engelleiyici) etkiler gösterdiği bilimsel olarak ortaya konmuştur (Chitwood, 2002; Isman, 2006).

Son yıllarda artan çevresel ve sağlıkla ilişkili kaygılar, sentetik nematodların kullanımını sınırlamış ve bitki paraziti nematodlara karşı mücadelede alternatif mücadele yöntemlerine yönelimi artırmıştır. Bu bağlamda, biyolojik mücadele

stratejileri içerisinde tıbbi ve aromatik bitkilerin nematodlara karşı doğal bir ajan olarak kullanımı öne çıkmıştır.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin nematodlara karşı kullanımında en yaygın yöntemler:

1. Uçucu Yağlar:

Kekik (*Thymus vulgaris*) ve nane (*Mentha* spp.) gibi bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, düşük konsantrasyonlarda bile güçlü nematisit etki göstermekte; nematodların hareketini engellemekte ve ölüm oranlarını artırmaktadır (İbrahim ve ark., 2006).

2. Bitki Ekstraktları:

Sarımsak (*Allium sativum*), çörek otu (*Nigella sativa*) ve neem (*Azadirachta indica*) gibi bitkilerden elde edilen sulu veya alkol bazlı ekstraktlar, *Meloidogyne* spp. gibi kök-ur nematodlarının neden olduğu gal ve yumurta kümesi yoğunluğunu önemli ölçüde azaltmaktadır (Kepenekçi ve ark., 2016).

3. Yeşil Gübreleme ve Biyofumigasyon:

Aromatik bitkilerin yeşil gübre olarak toprağa karıştırılmasıyla ayrışma sırasında açığa çıkan biyolojik bileşikler, fumigant etkisi oluşturarak toprak kökenli nematod popülasyonlarını baskılamaktadır (Zasada ve Ferris, 2004).

Bu uygulamalar doğrudan toksik etki göstermekle kalmamakta, aynı zamanda bitkilerin savunma mekanizmalarını uyararak dolaylı yoldan da koruyucu etki göstermektedir. Dolayısıyla, bu bitkisel ajanlar entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri kapsamında çevre dostu, kalıntı bırakmayan ve sürdürülebilir bir mücadele yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare*, *Ocimum basilicum*, *Mentha* spp. ve *Tagetes* spp. gibi türler nematisit özellikleriyle öne çıkan başlıca tıbbi ve aromatik bitkiler arasında yer almaktadır (Ntalli ve Caboni, 2012).

Thymus vulgaris (Kekik):

Kekik (*Thymus vulgaris* L.), Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait, çok yıllık bitki türü olup, Türkiye’de özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaygın olarak kültürü yapılan önemli bir türdür (Bozdemir, 2019). Kısa boylu, odunsu gövdeli ve küçük yapraklı bir yapıya sahip olan kekik, yaz aylarında pembe-mor renkte çiçekler açmaktadır. Yaprakları ve çiçekli üst kısımları, *timol* ve *karvakrol* gibi fenolik bileşenler içeren uçucu yağlar bakımından oldukça zengindir (Bakkali ve ark., 2008). Bu iki ana bileşik, tıbbi etkilerinden ve tarımsal mücadeledeki biyoaktif rollerinden dolayı ön plana çıkmaktadır.

Bitki paraziti nematodlara karşı yapılan çalışmalarda, kekik uçucu yağının yüksek oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Göze Özdemir ve ark. (2022) *T. vulgaris*'ten elde edilen uçucu yağın *Meloidogyne incognita*'nın yumurta açılımını engellediğini ve larvaların ölüm oranlarını artırdığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Kepenekçi ve ark. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, kekik uçucu yağının toprak uygulaması yoluyla nematod popülasyonlarını önemli ölçüde azalttığı, ırlanma oranını düşürdüğü ve domates bitkisinin gelişimini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca, farklı çalışmalarda *T. vulgaris* uçucu yağının yalnızca *Meloidogyne incognita*'ya değil, aynı zamanda *Pratylenchus penetrans* ve *Heterodera spp.* gibi diğer önemli bitki paraziti nematodlara karşı da etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bu bulgular ışığında, *Thymus vulgaris* uçucu yağı, çevre dostu ve kalıntı bırakmayan yapısıyla entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri içerisinde kimyasal nematosisitlere doğal bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Biyolojik çeşitliliği koruyan, sürdürülebilir ve ekolojik mücadele yaklaşımlarının güçlendirilmesine katkı sağlayan kekik esaslı uygulamalar, özellikle organik tarım sistemlerinde büyük potansiyel taşımaktadır.



Şekil 4. *Thymus vulgaris* (kekik) bitkisinin genel görünümü (Anonim, 2025d)

***Origanum vulgare* (Yabani kekik):**

Origanum vulgare L., Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait, çok yıllık, aromatik ve otsu bir bitki olup halk arasında ‘yabani kekik’ olarak bilinmektedir. Anadolu’nun özellikle Ege, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde doğal olarak yayılış göstermektedir (Güner ve ark., 2000). Geleneksel halk hekimliğinde sindirim problemleri ve solunum yolu rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılan bu tür, içerdiği uçucu yağlar sayesinde biyopestisit alanında da önemli bir potansiyele sahiptir (Başer, 2002; Akpulat ve ark., 2005).

Kekik türlerinden elde edilen esansiyel yağların biyofumigant olarak kullanılabileceği çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (Kepenekçi ve ark., 2016). Yapılan çalışmalarda, *Origanum vulgare* yağının, kök-ur nematodu *Meloidogyne incognita*'ya karşı önemli nematosisit etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan alışmalar, kekik yağı uygulamalarının nematod yumurtalarının aılımlını inhibe ettiğini ve popülasyon yoğunluğunu azalttığı belirtilmiştir (Oka ve ark., 2000; Ntalli ve Caboni, 2012). Bu zellikleriyle *Origanum vulgare*, evre dostu, kalıntı bırakmayan ve sürdürülebilir tarımsal mücadele stratejileri kapsamında önemli bir biyolojik ajan olarak öne çıkmaktadır.



şekil 5. *Origanum vulgare* (yabani kekik) bitkisinin genel görünümü
(Anonim, 2025e)

***Mentha* spp. (Nane türleri):**

Mentha spp. (nane), Lamiaceae (Balılabagiller) familyasına ait olup, başta *Mentha piperita* (ferah nane), *Mentha spicata* (kıvırcık nane), *Mentha longifolia* (yabani nane) olmak üzere pek çok türü içermektedir ve Türkiye’de özellikle *Mentha pulegium*, *Mentha longifolia* ve *Mentha spicata* türleri doğal olarak yayılış göstermektedir (Baytop, 1999). *Mentha* spp. türleri genellikle 20-90 cm arasında boylanan çok yıllık otsu bitkilerin, gövdeleri dört köşeli ve tüylü, yaprakları karşılıklı dizilmiş, kısa saplı, kenarları dişlidir. Çiçekleri salkım veya başak formunda olup mor, leylak, pembe ya da nadiren beyaz renktedir. Nemli ve sulak habitatları tercih eden *Mentha* spp. türleri, dere yatakları, ayırklar ve bataklık alanlarda yaygın olarak bulunmaktadır.

Türkiye’deki başlıca türler ve yayılış alanları şöyledir:

- ***Mentha pulegium* (Yarpuz):** Karadeniz, Ege ve Marmara başta olmak üzere pek çok bölgede doğal olarak yetişir.
- ***Mentha longifolia* (Yabani nane):** Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde sulak alanlarda yayılış gösterir.
- ***Mentha spicata* (Kıvırcık nane):** Kültür bitkisi olarak yetiştirilir, başı bölgelerde ise doğal olarak bulunmaktadır; Bursa, Balıkesir, Manisa, Aydın, Hatay illerinde yaygındır.
- ***Mentha piperita* (Ferah nane):** Kültüre alınmış olarak Marmara ve Ege bölgelerinde tarımı yapılmaktadır.

Mentha spp. türleri, mentol, menton, 1,8-sineol, pulegon, limonen, karvon ve linalool gibi zengin uçucu yağ bileşikleri içermektedir (Baser, 2002; Saharkhiz ve ark., 2012). Bu bileşenlerin antimikrobiyal, antifungal, antioksidan ve pestisit özellikler taşıdığı pek çok çalışmada ortaya konmuştur. Bitki paraziti nematodlara karşı yapılan araştırmalarda, *Mentha* türlerinden elde edilen uçucu yağların ve ekstraktların, özellikle *Meloidogyne* spp. kök-ur nematotlarına karşı güçlü nematisit etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Düşük dozlarda dahi nematod hareketliliğini azaltan, penetrasyonu engelleyen ve ölüm oranını artıran etkileri rapor edilmiştir (İbrahim ve ark., 2006; Ntalli ve Caboni, 2012). Kepenekçi ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, *M. pulegium* su ekstraktlarının *Meloidogyne incognita*'nın yumurta açılımını baskıladığı ve genç larvaların canlılık oranlarını önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Ayrıca yeşil gübreleme veya biyofumigasyon yoluyla toprağa karıştırılan nane artıkları da toprakta nematod popülasyonlarını azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir (Zasada ve Ferris, 2004). Bulgular doğrultusunda, *Mentha* türleri entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarında kimyasalların yerine ya da onlarla birlikte kullanılabilecek potansiyel ajanlar arasında değerlendirilmektedir.



Şekil 6. *Mentha* spp. (nane türleri) bitkisinin genel görünümü (Anonim, 2025f)

***Ocimum basilicum* (Fesleğen):**

Ocimum basilicum L (fesleğen), Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait, tek yıllık, aromatik ve otsu bir bitkidir. Bitki genellikle 20-60 cm boyunda, gövdesi dik, dört köşeli ve dallıdır; yaprakları karşılıklı dizilmiş, oval şekilli, kısa saplı ve kenarları hafif dişlidir. Çiçekleri beyaz veya pembe renkte olup salkım şeklinde çiçek başakları oluşturur. Uçucu yağları, yapraklar ve çiçeklerde yoğunlaşmakta olup, başlıca bileşenleri linalool, estragol (metil chavicol) ve eugenol'dür (Simon ve ark., 1990). Türkiye'de süs, tıbbi ve aromatik amaçlarla yaygın olarak yetiştirilen fesleğen, özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgelerinde baharat ve uçucu yağ üretimi amacıyla ticari olarak değerlendirilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). En yaygın türleri

arasında yeşil yapraklı tatlı fesleğen (*O. basilicum* var. *genovese*) ve mor yapraklı fesleğen (*O. basilicum* var. *purpurascens*) yer almaktadır.

Fesleğen uçucu yağının antimikrobiyal, antifungal ve insektisit özellikleri bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Suppakul ve ark., 2003; Kocić-Tanackov ve ark., 2011). Ayrıca, bitki paraziti nematodlara karşı da yüksek biyolojik aktivite göstermektedir. *Ocimum basilicum*'un kök-ur nematodları (*Meloidogyne spp.*) başta olmak üzere çeşitli nematod türleri üzerindeki etkileri hem in vitro hem de in vivo çalışmalarla belgelenmiştir. Ntalli ve ark. (2015), fesleğen uçucu yağında bulunan linalool ve estragol bileşiklerinin *Meloidogyne incognita* larvalarına karşı toksik etki gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca Akhtar ve Mahmood (1996), fesleğen ekstraktlarının nematod yumurtalarının açılımını baskıladığını ve larva hareketliliğini azalttığını tespit etmişlerdir. Kepenekçi ve ark. (2017) ise fesleğen su ekstraktının, kök-ur nematodlarına karşı uygulandığında yumurta sayısında ve ur oluşumunda engelleyici bir rol oynadığını bildirilmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, *O. basilicum* doğal bir nematod yönetim ajanı olarak değerlendirilmekte olup, tarımsal biyoteknoloji ve organik tarım uygulamalarında önemli bir potansiyel taşımaktadır.



Şekil 7. *Ocimum basilicum* (fesleğen) bitkisinin genel görünümü
(Anonim, 2025g)

Tagetes spp. (Kadife çiçeği):

Asteraceae (Papatyagiller) familyasına ait, bir veya çok yıllık otsu bitkiler grubunda yer almaktadır. En yaygın türleri arasında *Tagetes patula* (Fransız kadifesi), *T. erecta* (Afrika kadifesi) ve *T. minuta* (Meksika kadifesi) bulunmaktadır. 20 cm ile 1 m arasında boylanabilen bu bitkiler, tüylü bölünmüş yapraklara ve parlak sarı, turuncu, kırmızı tonlarında çiçeklere sahiptir. Çiçeklenme genellikle sonbahara kadar devam etmektedir. Türkiye'nin Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde açık tarla ve saksı yetiştiriciliğine uygun olan *Tagetes spp.*, süs bitkisi olarak kullanılmasının yanı sıra, organik tarım uygulamalarında yeşil gübre ve biyofumigant bitki olarak da değerlendirilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Kadife çiçeği, salgı bezlerinde sentezlenen α -terthienyl, limonen, ocimen ve tagetone gibi uçucu terpenoid bileşikler açısından zengindir (Marotti ve ark.,

2004). Bu bileşikler, bitkiye yalnızca estetik değil, aynı zamanda biyolojik aktivite de kazandırmaktadır. Nematisit, bakterisit, fungusit ve insektisit özellikler gösteren *Tagetes spp.*, özellikle α -terthienyl bileşiği aracılığıyla ışığa duyarlı (fototoksik) bir etki mekanizmasıyla bitki paraziti nematodlar üzerinde baskılayıcı rol oynamaktadır (Chitwood, 2002). Tarımda özellikle *Meloidogyne incognita*'nın yumurtadan çıkışı ve larvaların köklere yönelimi üzerinde inhibe edici etkiler gösterdiği tespit edilmiştir (Hooks ve ark., 2010). Ayrıca, *Pratylenchus spp.* (lezyon nematodları) kadife çiçeği kök bölgesinde çoğalma yeteneklerini kaybetmekte, bazı türlerde popülasyon gelişimi tamamen durmakta, yüksek ölüm oranları gözlemlenmektedir (Ploeg, 2002). Uzun süre toprakta canlı kalabilen *Heterodera spp.* (kist nematodları) üzerinde de benzer şekilde etkili olduğu rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2003).



Şekil 8. *Tagetes spp.* (kadife çiçeği) bitkisinin genel görünümü
(Anonim, 2025h)

***Allium sativum* (Sarımsak):**

Sarımsak (*Allium sativum*), Amaryllidaceae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Tıbbi, aromatik ve gıda amaçlı kullanımı sayesinde yüksek ekonomik değere sahiptir. Toprak altında gelişen soğanı (bulbus) yapısıyla tanınır; bu yapı, genellikle birkaç diğten oluşur ve karakteristik keskin bir kokuya sahiptir. Sarımsağın ince, uzun ve şerit biçimindeki yaprakları ile yapraksız çiçek sapı (scape) üzerinde taşıdığı morumsu veya yeşil renkli çiçekleri bulunmaktadır. Vejetatif çoğaltma ile üretildiğinden doğal ortamda çiçeklenme ve tohum üretimi sınırlı olmaktadır (Kahraman, 2014). Türkiye’de sarımsak üretimi; başta Kastamonu (Taşköprü) olmak üzere, Gaziantep, Kahramanmaraş, Balıkesir, Amasya ve Tokat illerinde yetiştirilmektedir. Taşköprü sarımsağı, aroması ve uzun raf ömrü ve kalitesiyle öne çıkmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Sarımsak, başta allicin olmak üzere birçok organosülfür bileşik içermektedir. Allicin; sarımsak ezildiğinde oluşur, güçlü antimikrobiyal, antifungal ve nematisit özellik göstermektedir (Cavallito ve Bailey, 1944; Amagase, 2006). *Allium sativum* bu bileşikler sayesinde doğal bir biyopestisit olarak *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *Heterodera glycines* ve *Pratylenchus penetrans* gibi

nematodlara karşı etkili olmaktadır (Noling ve Becker, 1994). Kepenekçi ve ark. (2016), sarımsak ekstraktlarının domatesta *Meloidogyne incognita*'nın yumurta kümesi ve ırlanma indeksi üzerine etkili olduğunu rapor etmiştir.

Organik tarım ve entegre zararlı yönetimi uygulamaları kapsamında *Allium sativum*'un kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik ve güvenliği açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kalıntı bırakmayan yapısı, geniş spektrumlu biyoaktivitesi ve yerel tarımsal üretim koşullarına uyumu sayesinde sarımsak, bitki sağlığının korunmasında stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 9. *Allium sativum* (sarımsak) bitkisinin genel görünümü (Anonim, 2025)

***Azadirachta indica* (Neem):**

Meliaceae familyasına ait, hızlı büyüyen ve yaprak döken bir ağaç türüdür. Ana vatanı Hindistan olan neem ağacı, tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olarak yetişmektedir. Ortalama 15-20 metreye kadar boylanabilen bu ağaç, bileşik yapraklara, küçük beyaz çiçeklere ve zeytin benzeri yeşilimsi meyvelere sahiptir (Schmutterer, 1990). Kuraklığa dayanıklı olan neem bitkisi yaprak, kabuk, tohum ve yağında bulunan sekonder metabolitler açısından zengindir. Başlıca biyoaktif bileşikler arasında: Azadirachtin (en aktif nematisit ve insektisit bileşen), Nimbin, Salannin, Gedunin ve Meliantriol gibi triterpenoidler yer almaktadır (Isman, 2006). Azadirachtin, neem çekirdeğinden elde edilip, nematodlar başta olmak üzere birçok zararlıya karşı güçlü antifeedant (uzaklaştırıcı) ve gelişim bozucu etki göstermektedir.

Neem ağacı (*Azadirachta indica*), Hindistan ve Güneydoğu Asya kökenli olup, Türkiye'nin doğal florasında yer almamaktadır. Ancak bu bitkiden elde edilen ürünler, özellikle neem yağı ve neem bazlı biyoformülasyonlar, organik tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de neem yağı doğrudan yetiştiricilik yoluyla elde edilmese de, ithalat yoluyla temin edilmekte ve Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ruhsatlandırılmış bazı bitki koruma ürünlerinde etken madde olarak yer almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Neem bitkisinin başlıca aktif bileşeni olan azadirachtin, nematodlar

üzerinde beslenmeyi engelleyici, büyümeyi durdurucu ve öldürücü etkiler göstermektedir. Özellikle kök-ur nematodları (*Meloidogyne incognita*, *M. javanica*), lezyon nematodları (*Pratylenchus* spp.) ve kist nematodları (*Heterodera* spp.) gibi bitki paraziti nematod türlerine karşı yüksek etkinlik gösterdiği bilinmektedir. Neem çekirdeği tozunun *Meloidogyne javanica*'ya karşı uygulandığında larvalarda ölüm oranının arttığı ve yumurta üretimini belirgin şekilde azalttığı rapor edilmiştir (Akhtar ve Malik (2000). Benzer şekilde, Kepenekçi ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, neem ekstraktlarının *Meloidogyne incognita*'ya karşı uygulanması sonucunda yumurta kümesi ve ırlanma sayılarında %70'e varan oranda azalma sağlandığı ve Zasada ve Ferris (2004), neem'in nematisit etkisinin güçlü olduğunu ve bu özelliği sayesinde çevre dostu mücadele alternatifleri arasında önemli bir konumda yer aldığını bildirilmektedir. Sonuç olarak, neem bazlı ürünler, kalıntı bırakmayan, çevre ve insan sağlığına duyarlı, sürdürülebilir nematod yönetimi kapsamında değerlendirilebilecek güçlü doğal ajanlardır.



Şekil 10. *Azadirachta indica* (neem) bitkisinin genel görünümü
(Anonim, 2025i)

Sonuç ve Öneriler

Bitki paraziti nematodlar, kök sistemine verdikleri zararlarla bitkisel üretimde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Sentetik nematisitlerin çevresel ve insan sağlığına yönelik olumsuz etkileri, bu zararlılarla mücadelede doğal ve sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkiler içeriklerinde doğal olarak bulunan sekonder metabolitler aracılığıyla nematodlar üzerinde toksik ve inhibitör etkiler göstermekte; böylece dikkate değer bir biyopestisit potansiyeli taşımaktadır.

Uçucu yağlar, bitki ekstraktları ve yeşil gübreleme gibi uygulama yöntemleri ile bu bitkiler, doğrudan nematod baskısı oluşturmakla kalmamakta, aynı zamanda bitkinin savunma sistemlerini aktive ederek dolaylı yoldan koruma da sağlamaktadır. Ancak, bu doğal ürünlerin tarımsal üretimde yaygın şekilde kullanılabilmesi için; uygulama dozu, sıklığı, bitki gelişim evresi, uygulama

yöntemi ve etki mekanizmalarına ilişkin daha fazla bilimsel veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca çiftçilerin bu biyolojik yöntemler hakkında bilgilendirilmesi, uygun formülasyonların ve çevre dostu preparatların geliştirilmesi, bu doğal ürünlerin tarımsal kullanımını teşvik edecektir. Bu kapsamda yasal düzenlemelerin destekleyici yönde yapılandırılması da büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkiler; bitki paraziti nematodlara karşı çevre dostu, kalıntısız ve entegre zararlı yönetimi stratejilerine uygun etkili çözümler sunmaktadır. Bu bitkilerden elde edilen doğal ürünlerin tarımsal biyopestisitler olarak daha yaygın biçimde kullanımı, ekosistem sağlığının korunmasına ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır

Kaynaklar

- Abad, P., Gouzy, J., Aury, J. M., Castagnone-Sereno, P., Danchin, E. G. J., Deleury, E., & Wincker, P. (2008). Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Nature Biotechnology*, 26(8), 909-915.
- Akhtar, M., & Mahmood, I. (1996). Control of plant-parasitic nematodes with organic and inorganic amendments in agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 4(3), 243-247.
- Akhtar, M., & Malik, A. (2000). Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: A review. *Bioresource Technology*, 74(1), 35-47.
- Akpulat, HA, Tepe, B., Sökmen, A., Daferera, D. ve Polissiou, M. (2005). Composition of the essential oils of *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tsvet. var. *argyrophyllum* and *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. (Asteraceae) from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*. 33, 511–516.
- Amagase, H. (2006). Sarımsağın gerçek biyoaktif bileşenlerinin açıklığa kavuşturulması. *Beslenme Dergisi*, 136 (3), 716S-725s.
- Anonim, 2025a. <https://agrobasesapp.com/turkey/pest/kok-ur-nematodu> Erişim Tarihi: 18.07.2025
- Anonim, 2025b. <https://grdc.com.au> Erişim Tarihi: 17.07.2025
- Anonim, 2025c. <http://nemaplex.ucdavis.edu/taxadata/g053s2.aspx> Erişim Tarihi: 18.07.2025
- Anonim, 2025d. https://en.wikipedia.org/wiki/Thymus_vulgaris Erişim Tarihi: 19.07.2025
- Anonim, 2025e. <https://www.dreamstime.com/photos-images/origanum-vulgare.html> <https://www.vecteezy.com/photo/3319311-wild-marjoram-origanum-vulgare-flowers-close-up> Erişim Tarihi: 17.07.2025
- Anonim, 2025f. <https://ziraatyapma.blogspot.com/2011/06/bahce-nanesi-mentha-piperita.html> Erişim Tarihi: 18.07.2025
- Anonim, 2025g. <https://wikifarmer.com/library/tr/article/yag-uretimi-icin-tatli-feslegen-veya-reyhan-latince-ocimum-basilicum-yetistirciligi> Erişim Tarihi: 18.07.2025
- Anonim, 2025h. <https://esular.com/kadife-cicegi-nasil-yetistirilir> Erişim Tarihi: 18.07.2025
- Anonim, 2025i. <https://esular.com/sarimsak-yetistirciligi-nasil-yapilir> Erişim Tarihi: 19.07.2025
- Anonim, 2025i. <https://www.cifor.org/feature/energy-from-forests/azadirachta-indica> Erişim Tarihi: 19.07.2025
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- Baser, K. H. C. (2002). Aromatic biodiversity among the flowering plant taxa of Turkey. *Pure and Applied Chemistry*, 74(4), 527-545.

- Baytop, T. (1999). *Türkiye'de bitkiler ile tedavi: geçmişte ve bugün*. Nobel Tıp Kitabevleri.
- Bozdemir, Ç. (2019). Türkiye’de yetişen kekik türleri, ekonomik önemi ve kullanım alanları. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 583-594.
- Cavallito, C. J., & Bailey, J. H. (1944). Allicin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. I. Isolation, physical properties and antibacterial action. *Journal of the American Chemical Society*, 66(11), 1950-1951.
- Chitwood, D. J. (2002). Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 221-249.
- Desaeger, J., Wram, C. ve Zasada, I. (2020). New reduced-risk agricultural nematicides rationale and review. *Journal of Nematology*, 52, 2020-91.
- Ertuğ, F. (2000). *Türkiye’de Halk İlaçlarında Kullanılan Bitkiler*. Ankara Üniversitesi Yayınları.
- Göze Özdemir, F. G., Tosun, B., Şanlı, A. & Karadoğan, T. (2022). Bazı Apiaceae uçucu yağlarının *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Nematoda: *Meloidogynidae*)’ya karşı nematoksik etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (3):529-539.
- Gözlekçi, S., Gültekin, R., & Yüksel, M. (2018). *Sebze Yetiştiriciliğinde Nematod Sorunları ve Mücadele Yöntemleri*. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Antalya.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Başer, K. H. C., & Hedge, I. C. (Eds.). (2000). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands: Volume 11, Supplement 2*. Edinburgh University Press.
- Hooks, C. R. R., Wang, K. H., Ploeg, A., & McSorley, R. (2010). Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology*, 46(3), 307–320.
- Hussey, R. S., & Grondler, F. M. W. (1998). *Nematode parasitism of plants. The Physiology and Biochemistry of Free-Living and Plant-Parasitic Nematodes*. pp. 213–243.
- İbrahim, S. K., Traboulsi, A. F., & El-Haj, S. (2006). Effect of essential oils and plant extracts on hatching, migration and mortality of "*Meloidogyne incognita*". *Phytopathologia mediterranea*, 45, 238-246.
- İsman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9), 946–961.
- Kahraman, A. (2014). Sarımsak (*Allium sativum* L.) üzerine genel bir değerlendirme. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7(1), 27–30.
- Kepenekci, I., Erdoğan, D., & Erdoğan, P. (2016). Effects of some plant extracts on root-knot nematodes in vitro and in vivo conditions. *Turkish Journal of Entomology*, 40(1).

- Kepenekci, I., Erdoğan, D., & Erdoğan, P. (2016). Effects of some plant extracts on root-knot nematodes in vitro and in vivo conditions. *Turkish Journal of Entomology*, 40(1), 3-14.
- Kepenekci, İ. (2012). Nematoloji (Bitki Paraziti ve Entomopatojen Nematodlar) [Genel Nematoloji (Cilt-I) ISBN 978-605-4672-11-0, Taksonomik Nematoloji (Cilt-II) ISBN 978-605-4672-12-7] Eğitim, Yayın ve Yayınlar Dairesi Başkanlığı, Tarım Bilim Serisi Yayın No:3 (2012/3), LIV+1155 s.
- Kepenekci, İ., Çekengil, T. K., Erdoğan, F. D., Erdoğan, P., & Sağlam, H. D. (2017). The Effect of Five Different Plant Extracts on Root-Knot Nematodes [*Meloidogyne incognita* Race 2 and *M. arenaria* Race 2 (Tylenchida: Meloidoginidae)] Infesting Tomato under Greenhouse Conditions. *Turkish Journal of Weed Science*, 20(1), 36-47.
- Kimenju, J. W., Wendot, P. K., & Thuo, A. K. (2021). Cumulative damage impact of plant parasitic nematodes in smallholder maize cropping systems in East Africa. In *Integrated Nematode Management: State-of-the-art and visions for the future*.pp. 48-54.
- Kocić-Tanackov, S., Dimić, G., Lević, J., Tanackov, I. ve Tuco, D. (2011). Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) ekstraktının *Fusarium* türleri üzerindeki antifungal aktiviteleri. *Afrika Biyoteknoloji Dergisi*, 10 (50), 10188-10195.
- Marotti, M., Piccaglia, R., Biavati, B., & Marotti, I. (2004). Characterization and yield evaluation of essential oils from different *Tagetes* species. *Journal of essential oil research*, 16(5), 440-444.
- Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009). *Meloidogyne* species—a diverse group of root-knot nematodes. *Root-Knot Nematodes*. pp. 1–17.
- Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., Nijs, L. D., Hockland, S., & Maafi, Z. T. (2011). Current nematode threats to world agriculture. In *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. pp. 21-43.
- Noling, J. W., & Becker, J. O. (1994). The challenge of research and extension to define and implement alternatives to methyl bromide. *Journal of Nematology*, 26(4S), 573-586.
- Ntalli, N. G., & Caboni, P. (2012). Botanical nematicides: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(40), 9929-9940.
- Ntalli, N. G., Nasiou, E., Oplos, C., Ferrari, F., Menkissoglu-Spiroudi, U. (2015). Activity of Catambra extracts against *Meloidogyne* spp. 5(3): 209-216.
- Oka, Y., Nacar, S., Putievsky, E., Ravid, U., Yaniv, Z., & Spiegel, Y. (2000). Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology*, 90(7), 710-715.
- Ploeg, A. T. (2002). Effects of selected marigold varieties on root-knot nematodes and tomato and melon yields. *Plant Disease*, 86(5), 505-508.
- Saharkhiz, M. J., Motamedi, M., Zomorodian, K., Pakshir, K., Miri, R., & Hemyari, K. (2012). Chemical composition, antifungal and antibiofilm activities of the essential oil of *Mentha piperita* L. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 718645.

- Schmutterer, H. (1990). Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35(1), 271-297.
- Simon, J. E., Morales, M. R., Phippen, W. B., Vieira, R. F., & Hao, Z. (1999). Basil: A source of aroma compounds and a popular culinary and ornamental herb. In J. Janick (Ed.), *Perspectives on new crops and new uses*. pp. 499-505.
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S. W. (2003). Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(11), 3197-3207.
- TAGEM (2021). *Ulusal Nematoloji Stratejisi ve Eylem Planı Raporu (2021–2025)*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitki Sağlığı Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). *Bitki Koruma Ürünleri ve Ruhsatlı Etken Maddeler Listesi*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Teknik Talimatı*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Wang, K. H., Sipes, B. S., & Schmitt, D. P. (2003). Intercropping cover crops with pineapple for the management of *Rotylenchulus reniformis*. *Journal of nematology*, 35(1), 39-47.
- Zasada, I. A., & Ferris, H. (2004). Nematode suppression with brassicaceous amendments: application based upon glucosinolate profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(7), 1017-1024.

8. Bölüm

Günlük Güneşlenme Süresi ve Coğrafi Konuma Bağlı Olarak Solar Radyasyonun Tahmin edilmesi

Cafer GENÇOĞLAN¹

Serpil GENÇOĞLAN¹

Ali Beyhan UÇAK²

Özet: Yenilenebilir temiz enerji kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılan solar radyasyondan maksimum düzeyde faydalanabilmek için, doğru ölçülen veya tahmin edilen solar radyasyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçüm cihazların maliyetlerinin yüksek, kalibrasyon süreçlerinin ise zor ve zaman alıcı olması nedeniyle daha çok ampirik modeller kullanılarak solar radyasyonun tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu çalışmada, Angström & Prescott ampirik modeli kullanılarak güneşlenme süresi ve coğrafi konuma dayalı günlük ortalama solar radyasyon tahminlerinde izlenecek işlem basamaklarının ortaya koyulması ve bu modelin Kahramanmaraş koşullarındaki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Angström & Prescott modeli ile tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerleri meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından 2024 yılı Temmuz – Ekim dönemi boyunca ölçülen gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak; ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Angström & Prescott modeli ile %91.08 (MAE= 2.14 MJ m⁻² gün⁻¹, MAPE= %8.92) doğruluk oranına sahip günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilmiştir. Yöre koşullarında bu model kullanılarak tahmin edilen solar radyasyon değerlerinin çok iyi düzeyde doğruluğa (MAPE< %10) sahip olduğu ve ölçülen değerlerinin yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

¹ Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-4559-4354, gencoglan@ksu.edu.tr

¹ Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-7390-8365, sgencoglan@ksu.edu.tr

² Prof. Dr., Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-4344-2848, abucak@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

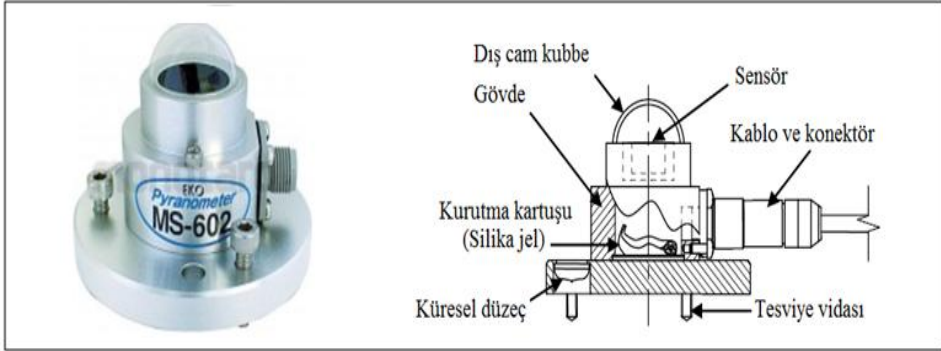
Güneşten yayılarak atmosferin dış yüzeyine ulaşan extraterrestrial (dünya dışı) radyasyonun yeryüzüne ulaşan bölümü olarak tanımlanan ve birçok mühendislik ve mimarlık uygulamasının en temel verisini oluşturan solar radyasyon; günümüzde elektrik enerjisi üretiminde ve bu enerjiye dayalı ısıtma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri ile birlikte sıcak su üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şeker, 2021). Artan dünya nüfusuna paralel olarak enerjiye olan talebin giderek artacağı ve buna bağlı olarak kullanılabilir mevcut enerji kaynaklarının hızla tükeneceği bilimsel bir gerçektir (Arslan, 2020). Enerji üretiminde fosil yakıt kullanımına bağlı olarak gelişen ve tüm dünya için giderek büyük bir tehdide dönüşen iklim değişikliğine karşı alınabilecek en iyi önlemlerin başında yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Solar radyasyona dayalı enerjinin sıfır karbon emisyonuna sahip olması ve en önemlisi de bir maliyetinin olmaması yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki tercih edilebilirliğini artırmaktadır (Fudholi ve ark., 2015). Yeryüzüne bir yılda düşen toplam solar radyasyondan elde edilen enerjinin, yeryüzündeki tüm fosil yakıtlardan elde edilen enerjiden çok daha fazla olduğu birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Varınca, 2006; Özdemir, 2012). Böylesine büyük bir enerji kaynağından maksimum düzeyde verim elde edilebilmesi için doğru ölçülen veya tahmin edilen solar radyasyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bitki sulama suyu ihtiyacını belirleyen temel unsur, bitki su tüketimi olarak adlandırılan evapotranspirasyondur (ET). Hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olan ET, solar radyasyonun %60'ını kullanmaktadır (Wang ve Dickinson, 2012; Wild ve ark., 2013). Bununla birlikte solar radyasyonun fotosentez, su gereksinimi, besin alımı, topraktaki ısı akısı değişimi, buharlaşma ve terleme gibi bitki gelişimi üzerinde etkili olan bazı parametreler ile çok yakından ilişkili olduğu bilinmektedir (Adams, 1992). Bitki gelişimi ve su tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan solar radyasyon, sulama programlarının hazırlanmasında ve otomatik sulama sistemlerinde tek başına sulamayı başlatan bir tetikleyici olarak kullanılabilir (Katsoulas ve ark., 2006; Jovicich ve Cantliffe, 2007; Tsirogiannis ve ark., 2010; Casadesus ve ark., 2011).

Solar radyasyon barınak ve sera gibi tarımsal üretim yapılarının tasarım ve projelendirme aşamasında dikkate alınması gereken en önemli unsurlardan biridir. Sera koşullarında yetiştirilen bitkilerin büyüüp gelişebilmeleri için, besin maddeleri ve suyun yanı sıra sera içerisine giren ışınım enerjisi, hava, toprak sıcaklığı, karbondioksit konsantrasyonu ve nem oranı gibi çevresel unsurların da yeterli ölçülerde sağlanması gereklidir (Yağcıoğlu ve ark., 2004). Sera içerisine

ışınım enerjisi olarak giren solar radyasyon miktarı seranın konumuna, boyutlarına, yönlendirilmesine, çatı eğimine ve özellikle de örtü malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Sera örtü malzemesinin seçimini etkileyen en önemli faktör, sera dış yüzeylerine etki eden solar radyasyon yoğunluğudur (Giacomelli ve Ting, 1999). Solar radyasyon kaynaklı ısınım enerjisinin doğrudan etkili olduğu büyükbaş hayvan barınaklarında, hayvanlar sıcaklık stresine maruz kalabilmektedir. Süt ve döl veriminde azalmalara ve entansif işletmelerde büyük ekonomik kayıplara neden olan bu sıcaklık stresini önlemek için, tasarım ve projelendirme aşamasında bazı yapısal önlemlerin alınması gereklidir (Koluman ve ark., 2013; Alkoyak ve Çetin, 2016).

En güvenilir ve doğru solar radyasyon ölçümleri, ağırlıklı olarak bölge ve şehir merkezlerinde bulunan meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından yapılmaktadır. Bu istasyonlardaki ölçümlerde çoğunlukla piranometre adı verilen sensör tabanlı cihazlar kullanılmaktadır (Şekil 1). Piranometre çift katlı camdan üretilen bir yarım küre ve bunun hemen altına yerleştirilmiş konstantan içerikli siyah bir metalden oluşmaktadır. Konstantan %45 nikel ve %55 bakırdan oluşan bir ısı çifti alaşımıdır. Bu ısı çiftinin sıcak eklemleri siyah metal yüzeyin hemen altına, soğuk eklemleri ise solar radyasyonu almayacak şekilde daha alt tarafına yerleştirilmiştir. Cam kubbenin altındaki siyah yüzey tarafından emilen radyasyon sıcak eklemleri soğuk eklemlerden daha yüksek sıcaklığa ulaştırmaktadır. Isıl çiftteki sıcaklık değişimine bağlı olarak oluşan potansiyel farkın belirli bir zaman aralığında integrali alınarak, gerilim cinsinden toplam solar radyasyon miktarı ölçülebilmektedir (Kökey, 2013; Anonim, 2018; Usta ve ark., 2021).



Şekil 1. Solar Radyasyon Sensörü (Piranometre)

Solar radyasyon, kısa zaman aralıklarında çok fazla değişkenlik göstermektedir. Gündüz ve gece koşullarında ölçülen solar radyasyon miktarları arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, bir günlük süre boyunca 15 dakika (96 adet ölçüm), 30 dakika (48 adet ölçüm) veya 60 dakika (24 adet ölçüm) gibi kısa zaman aralıklarında ölçülerek günlük toplamının

belirlenmesi ve gün sonunda günlük toplamın ölçüm sayısına bölünerek ortalamasının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece gece ve gündüz farklılıkları ile anlık değişimler yakalanarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmektedir (Zotarelli ve ark., 2018; Usta ve ark., 2021).

Tarımsal faaliyetlerinin ağırlıklı olarak yürütüldüğü kırsal bölgelerde yeterli ve donanımlı meteoroloji yer gözlem istasyonlarının bulunmaması nedeniyle solar radyasyon ölçümleri devamlı ve düzenli olarak yapılamamaktadır. Veri temininde sorunlar yaşanabilmektedir. Ölçüm cihazların yüksek maliyeti ve kalibrasyonlarının zor olması da diğer sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kolay ölçülebilir ya da temin edilebilir parametreler kullanılarak solar radyasyonun tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu doğrultuda güneşlenme süresi ile birlikte coğrafi konuma (Angström, 1924; Prescott, 1940; Almorox ve Hontoria, 2004; Bahel ve ark., 1987; Toğrul ve Toğrul, 2002) ve ayrıca hava sıcaklığına (Hargreaves ve Samani, 1982; Bristow ve Campbell, 1984; Hargreaves ve ark., 1985; Hunt ve ark., 1998; Chen ve ark., 2004) dayalı olarak çok sayıda ampirik tahmin modeli geliştirilmiştir. Güneşlenme süresi ve coğrafi konuma dayalı modellerin sıcaklığa dayalı modellerden çok daha yüksek tahmin performansına sahip olduğu daha önce yapılan bazı çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Chen ve ark., 2004; Besharat ve ark., 2013).

Güneşlenme süresi ve coğrafi konuma dayalı modellerden biri olan Angström & Prescott (Angström, 1924; Prescott, 1940), basitliği ve yüksek tahmin performansı ile farklı iklim ve coğrafik özelliklere sahip birçok bölgedeki solar radyasyon (R_s) tahminlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Raoof ve Mobaser 2019). Eşitlik (1) ile verilen bu modelde Extraterrestrial radyasyon (R_a), günlük güneşlenme süresi (n) ve olası maksimum günlük güneşlenme süresine (N) dayalı olarak R_s tahmin edilebilmektedir.

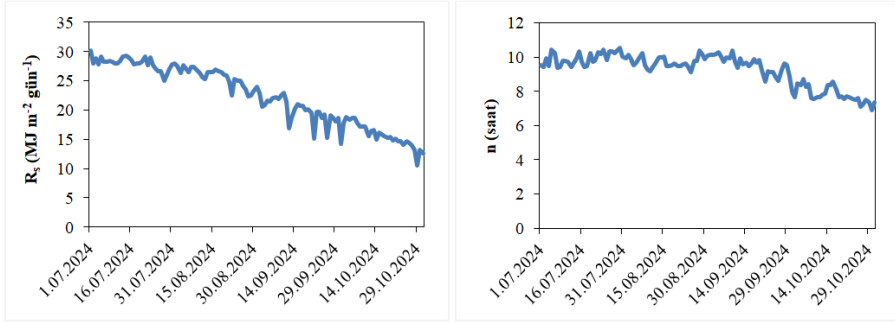
$$R_s = \left[a_s + b_s \left(\frac{n}{N} \right) \right] R_a \quad (1)$$

Angström & Prescott modelinin girdi değişkenleri coğrafi konum ve zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ölçülerek belirlenen tek girdi değişkeni n olup, R_a ve N değişkenleri enleme bağlı coğrafi konum ve zamana (365 gün) dayalı olarak tahmin edilebilmektedir (Allen ve ark., 1998). Angström & Prescott modelinin kolay ölçülebilir ya da temin edilebilir tek bir parametreye dayalı olarak solar radyasyonu yüksek doğrulukla tahmin edebilmesi kullanılabilirliğini ve tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Bu modelin kalibrasyon katsayıları (a_s , b_s) olarak sırasıyla, Angström (1924) 0.20 ve 0.50, Prescott (1940) ise 0.22 ve 0.54 değerlerini önermişlerdir. Aynı katsayılar, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama – Drenaj yayınında tüm iklim koşulları için sırasıyla 0.25 ve 0.50 olarak önerilmiştir (Allen ve ark., 1998).

Bu çalışmada, Angström & Prescott modeli kullanılarak günlük ortalama solar radyasyonun tahmin edilmesinde izlenecek işlem basamaklarının ortaya konulması ve bu ampirik tahmin modelinin Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşullarındaki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde bulunan Kahramanmaraş ili, 37° 11' – 38° 26' kuzey enlemleri ile 36° 15' – 37° 42' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin rakımı 568 m olup, yıllık ortalama günlük hava sıcaklığı 16.90 °C, nem oranı %58.34, güneşlenme süresi 6.77 saat ve solar radyasyon yoğunluğu 4.40 kWh m⁻² düzeyindedir (MGM, 2024). Angström & Prescott modelinin Kahramanmaraş koşullarındaki kullanılabilirlik düzeyini belirlemek amacıyla, Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen 2024 yılı Temmuz – Ekim dönemi günlük R_s ve n verileri kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Günlük Ortalama Solar Radyasyon ve Güneşlenme Süresi Verileri

Angström & Prescott modelinin alt bileşenlerinin belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik (2-8) ile kullanılmıştır. Hesaplamalarda a_s ve b_s katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.50 olarak dikkate alınmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$j = [(30.56 \text{ Ay}) - 30 + \text{Gün}] - 2 \quad (2)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi j}{365} \right) \quad (3)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left[\left(\frac{2\pi j}{365} \right) - 1.39 \right] \quad (4)$$

$$\phi = E \left(\frac{\pi}{180} \right) \quad (5)$$

$$w_s = \arccos (-\tan \phi \tan \delta) \quad (6)$$

$$R_a = 24 \left(\frac{60}{\pi} \right) G_{sc} d_r [(w_s \sin \phi \sin \delta) + (\cos \phi \cos \delta \sin w_s)] \quad (7)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi} \right) w_s \quad (8)$$

Eşitliklerde; J, Julian tarihi; Ay, her bir ayın numarası (1-12); d_r , dünya-güneş ters oransal uzaklığı; δ , solar diklik (radyan); E, enlem (derece); $\emptyset$, enlem (radyan); w_s , güneş batım saatindeki açı (radyan); G_{sc} , solar sabite ($0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dakika}^{-1}$); R_a , extraterrestrial radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) ve N, olası maksimum günlük güneşlenme süresidir (saat).

Angström & Prescott modeli ile tahmin edilen R_s değerleri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen gerçek R_s değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak; ortalama mutlak hata (Eşitlik 9) ve ortalama mutlak göreceli hata oranı (Eşitlik 10) kullanılmıştır. Tahmini R_s değerlerinin doğruluk düzeyleri; $\text{MAPE} < \%10$ ise “çok iyi”, $\%10 \leq \text{MAPE} < \%20$ ise “iyi”, $\%20 \leq \text{MAPE} < \%50$ ise “kabul edilebilir” ve $\text{MAPE} \geq \%50$ ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982). Ayrıca Microsoft Excel programı ile yapılan regresyon analizi sonucuna göre, ölçülen ve tahmin edilen R_s değerleri arasındaki istatistiksel ilişki düzeyi ortaya konulmuştur.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|X_i - Y_i|) \quad (9)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|X_i - Y_i|}{X_i} 100 \right) \quad (10)$$

Eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hata ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$); MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); X_i , ölçülen günlük solar radyasyon değerleri ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$); Y_i , tahmin edilen günlük solar radyasyon değerleri ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) ve n, gözlem sayısını (123 gün) ifade etmektedir.

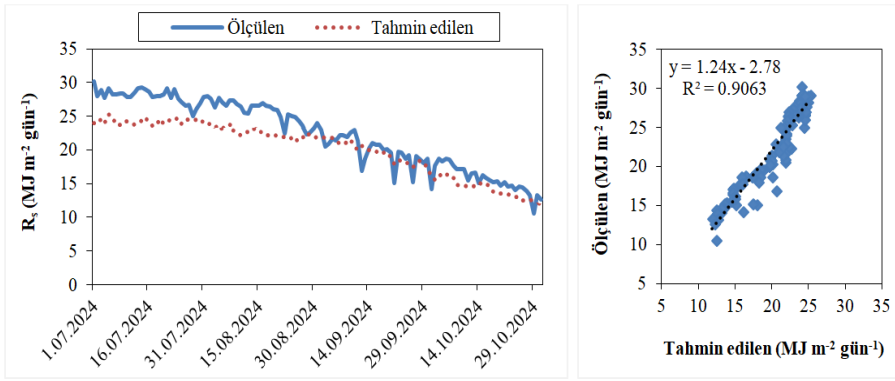
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Öncelikle, 2024 yılı Temmuz – Ekim dönemi günlük ortalama n ve R_s verilerine bağlı olarak Angström & Prescott modeli bileşenlerinin günlük ortalama değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin aylık ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir. Günlük hava sıcaklığının maksimum seviyelere yükseldiği, buna karşın atmosferdeki bulut yoğunluğunun ise minimum seviyelere gerilediği Temmuz ayında R_a ($40.58 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) ve N (14.30 saat) değerleri en yüksek düzeye ulaşmıştır. Bu değerler hava sıcaklığındaki azalmaya paralel olarak Temmuz – Ekim dönemi boyunca azalma eğilimi göstermiştir.

Tablo 1. Angström & Prescott Modeli Bileşenlerinin Aylık Ortalamaları

Aylar	J	d_r	δ (radyan)	W_s (radyan)	R_a ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$)	N (saat)
Temmuz	197.89	0.97	0.37	1.87	40.58	14.30
Ağustos	228.44	0.98	0.23	1.75	36.76	13.39
Eylül	258.50	0.99	0.03	1.60	30.72	12.21
Ekim	289.56	1.01	-0.18	1.43	23.50	10.95

Temmuz – Ekim dönemi için ampirik Angström & Prescott modeli kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerleri ile aynı dönem de Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen gerçek solar radyasyon değerleri Şekil 3’de verilmiştir. Ölçülen solar radyasyon değerleri $10.51 - 30.23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değer ise $22.33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak gerçekleşmiştir. Tahmin edilen solar radyasyon değerleri $11.88 - 25.25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değerler almıştır. Dönemlik ortalama değer ise $20.20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tahmini solar radyasyon değerlerinin ölçülen değerlerdeki değişimi açıklayabilme oranı %90.63 ($R^2 = 0.9063$) olarak elde edilmiştir.

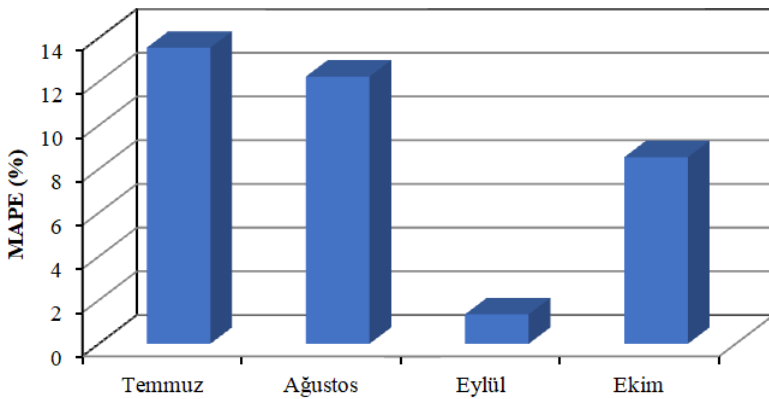
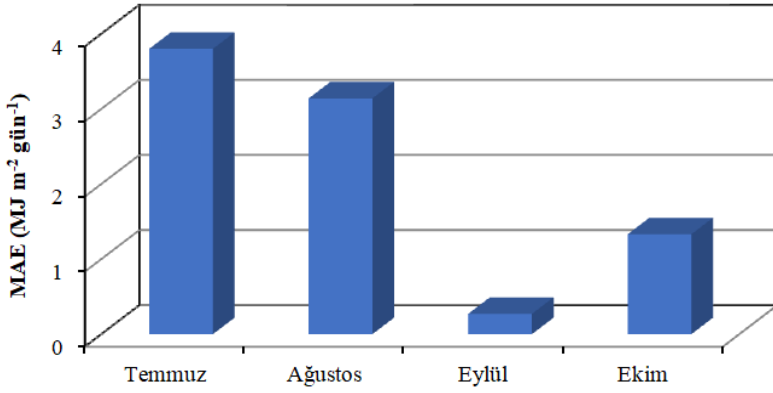
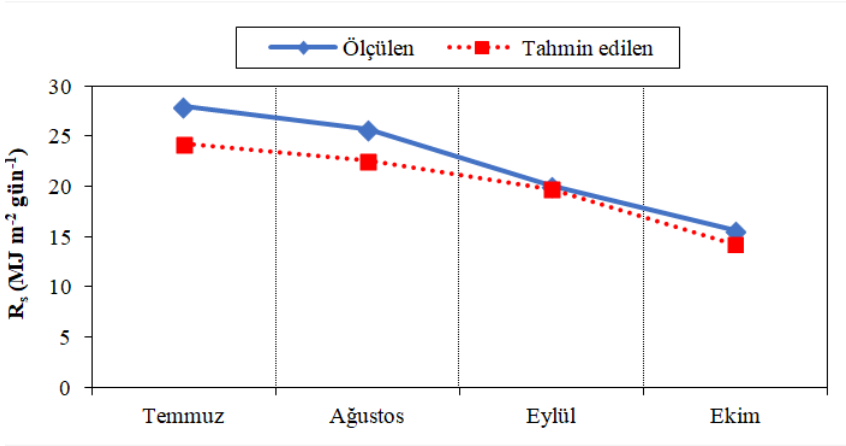


Şekil 3. Günlük Ortalama Solar Radyasyon Değerleri

Meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından ölçülen ve ampirik Angström & Prescott modeli kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin aylık ortalama değerleri ile bu değerler arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE ve MAPE hataları Tablo 2 ve Şekil 4’de verilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin aylık ortalamaları Temmuz ayında sırasıyla $28.04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ve $24.24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ değerleri ile maksimum düzeylere ulaşırken, Ekim ayında sırasıyla $15.58 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ve $14.25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ değerleri ile minimum düzeylere gerilemiştir.

Tablo 2. Aylık Ortalama Solar Radyasyon Değerleri ve Hataları

Aylar	$R_s \text{ (MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1})$		MAE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$)	MAPE (%)	Doğruluk düzeyi
	Ölçülen	Tahmin edilen			
Temmuz	28.04	24.24	3.80	13.55	İyi
Ağustos	25.68	22.54	3.14	12.23	İyi
Eylül	20.02	19.75	0.27	1.35	Çok iyi
Ekim	15.58	14.25	1.33	8.54	Çok iyi
Ortalama	22.33	20.20	2.14	8.92	Çok iyi



Şekil 4. Aylık Ortalama R_s Değerleri ile MAE ve MAPE Hataları

Ampirik Angström & Prescott modeli ile tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin Temmuz ve Ağustos aylarında “iyi” (MAPE= %10 – 20),

diğer aylarda ise “çok iyi” ($MAPE < \%10$) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Temmuz – Ekim dönemi ortalama MAPE ($\%8.92$) dikkate alındığında, tahmini solar radyasyon değerlerinin doğruluk düzeyi “çok iyi” ($MAPE < \%10$) olarak belirlenmiştir. Kahramanmaraş koşullarında gerçekleştirilen benzer çalışmalarda, Usta ve ark. (2022a) doğrusal olmayan regresyon yöntemini kullanarak geliştirdikleri sadece hava sıcaklığına dayalı RS_2 modeli ile $\%77.16$ ($MAPE = \%22.84$) doğruluk oranına sahip günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin etmişlerdir. Usta ve ark. (2022b), hava sıcaklığına dayalı Bristow & Campbell (Bristow ve Campbell, 1984), Chen (Chen ve ark., 2004) ve Annandale (Annandale ve ark., 2002) modellerini kullanarak tahmin ettikleri günlük ortalama solar radyasyon değerleri için MAPE hatalarını sırasıyla $\%10.19$, $\%10.42$ ve $\%14.19$ olarak elde etmişlerdir. Usta ve ark. (2023) hava sıcaklığına dayalı Hargreaves (Hargreaves ve ark., 1985) modeli için MAPE değerini $\%10.57$ olarak belirlemişlerdir. Usta (2023), hava sıcaklığı ve extraterrestrial radyasyona dayalı olarak solar radyasyon tahminlerinde kullanılan ampirik Goodin (Goodin ve ark., 1999) modelini Kahramanmaraş iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibre etmiştir. Uzun yıllar ortalama iklim verileri kullanılarak, doğrusal regresyona dayalı Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığı ile kalibre edilen bu model 2021 yılı güncel iklim verileri ile test edilmiştir. Goodin modeli kalibrasyon eşitliği kullanılarak 2021 yılı için tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin MAPE hatası $\%8.88$ olarak belirlenmiştir.

Kahramanmaraş koşullarından farklı olarak (Usta, 2022), Van ili iklim ve çevre koşullarında 2012 – 2019 yılları arasında ölçülen günlük iklim verilerini kullanarak doğrusal regresyona dayalı Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla iki adet solar radyasyon tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan modeller 2020 ve 2021 yılı güncel iklim verileri ile test edilmiştir. Oransal nem ve extraterrestrial radyasyon parametrelerinin giriş değişkenleri olarak kullanıldığı birinci modelle 2020 ve 2021 yılları için tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin MAPE hataları sırasıyla $\%11.58$ ve $\%10.75$ olarak belirlenmiştir. Oransal nem ve extraterrestrial radyasyona ek olarak hava sıcaklığının da giriş parametresi olarak dikkate alındığı ikinci modelle 2020 ve 2021 yılları için tahmin edilen günlük ortalama solar radyasyon değerlerinin MAPE hataları ise sırasıyla $\%5.25$ ve $\%5.61$ olarak elde edilmiştir. Kahramanmaraş ve Van koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, günlük güneşlenme süresi ve coğrafi konuma dayalı ampirik Angström & Prescott modelinin hava sıcaklığı ve diğer iklim parametrelerine dayalı ampirik modellerden daha yüksek tahmin performansına sahip olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Angström & Prescott solar radyasyon tahmin modeli için Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen kalibrasyon katsayıları ($a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$) kullanılarak Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşullarında “çok iyi” ($MAPE < \%10$) düzeyde doğruluğa sahip günlük ortalama solar radyasyon değerleri tahmin edilmiş olsa da, bu katsayıların yerel koşullara uygunluğu test edilmeden günlük tahminlerde kullanılması, özellikle ET ve buna bağlı bitki sulama suyu ihtiyacı hesaplamalarında hatalı ve telafisi zor sonuçlar doğurabilmektedir (Trnka ve ark., 2007; Yin ve ark., 2008). Malekinezhad (2012), Isikwue ve ark. (2015), R_s ve ET arasında pozitif yönlü korelasyona dayalı kuvvetli bir ilişkinin olduğunu ortaya koyarak ($R^2 \geq 0.90$), hatalı ölçülen veya tahmin edilen R_s değerlerinin ET miktarını yüksek düzeylerde etkilediğini bildirmişlerdir. Bitkilerin sulama suyu ihtiyacını belirleyen temel veri ET miktarıdır. Bu miktarın hatalı hesaplanması veya tahmin edilmesi, bitkiye ihtiyacından daha fazla ya da daha az su verilmesine neden olmaktadır. Bitkiye ihtiyacında daha az su verilmesi durumunda bitki su stresine girebilmektedir. Daha fazla su verilmesi durumunda ise toprak erozyonu, taban suyu yükselmesi, tuzlanma ve çoraklaşma gibi toprak kaybına neden olan çevresel sorunlar ile kök boğazı çürüğü ve kloroz gibi verim ve kalite kaybına neden olan bazı bitki hastalıkları oluşabilmektedir. Dolayısıyla, ampirik Angström & Prescott modeli kalibrasyon katsayıları olarak, yerel düzeyde yapılan kalibrasyon işlemleri sonucunda elde edilen katsayıların kullanılması gerekmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneşlenme süresi ve coğrafi konuma dayalı olarak solar radyasyon tahminlerinde kullanılan Angström & Prescott modelinin Kahramanmaraş iklim ve çevre koşulları altındaki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeyleri test edilmiştir. Güncel 2024 yılı Temmuz – Ekim dönemi günlük iklim verileri kullanılarak yapılan testlerde, modelin kalibrasyon katsayıları (a_s , b_s) sırasıyla 0.25 ve 0.50 olarak dikkate alınmıştır. Meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından ölçülen gerçek günlük solar radyasyon değerleri $10.51 - 30.23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Angström & Prescott modeli kullanılarak tahmin edilen günlük solar radyasyon değerleri ise $11.88 - 25.25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ arasında değerler almıştır. Tahmini solar radyasyon değerlerinin ölçülen değerlerdeki değişimi açıklayabilme oranı $\%90.63$ ($R^2 = 0.9063$) olarak elde edilmiştir. Yöre koşullarında günlük solar radyasyonun ölçülemediği durumlarda Angström & Prescott modeli ile yaklaşık $\%91.08$ ($MAPE = \%8.92$) doğruluk oranına sahip günlük solar radyasyon değerleri tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ampirik solar radyasyon tahmin modellerinin kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeyleri iklim ve çevre koşulları ile coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik

göstermektedir. Bu nedenle, kullanılacakları yöre koşulları ile uyumlu kalibrasyonlarının yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Adams, P. (1992). Crop nutrition in hydroponics. *Acta Horticulturae*, 323:289-306.
- Alkoyak, K., Çetin, O. (2016). Süt sığırlarında sıcaklık stresi ve korunma yolları. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 5(1), 40-55.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56.
- Almorox, J., Hontoria, C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1529-1535.
- Angström, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Journal of Royal Meteorological Society*, 50, 121-126.
- Annandale, J. G., Jovanic, N. Z., Benade, N., Allen, R. G. (2002) Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. *Irrigation science*, 21, 57-67.
- Anonim (2018). Pyranometers MS-802/402/410/602-instruction manual, https://media.eko-eu.com/assets/media/MS-402_Manual.pdf, (Erişim tarihi: 12.06.2018)
- Arslan, E. (2020). Yeni nesil güneş enerjili fotovoltaik-termal bir kurutma sisteminin tasarımı ve analizi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Bahel, V., Bakhsh, H., Srinivasan, R. (1987). A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy*, 12(2), 131-135.
- Besharat, F., Dehghan, A. A., Faghih, A. R. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 798-821.
- Bristow, K. L., Campbell, G. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. and Forest Meteorology*, 31, 59-166.
- Casadesus, J., Mata, M., Marsal, J., Girona, J. (2011). Automated irrigation of apple trees based on measurements of light interception by the canopy. *Biosystems Engineering*, 108(3), 220-226.
- Chen, R. S., Ersi, K., Yang, J. P., Lu, S. H., Zhao, W. Z. (2004). Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Conversion Manag.*, 45, 1759-1769.

- Fudholi, A., Sopian, K., Bakhtyar, B., Gabbasa, M., Othman, M. Y., Ruslan, M. H. (2015). Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1191-1204.
- Giacomelli, G. A., Ting, K. C. (1999). Horticultural and engineering considerations for the design of integrated greenhouse plant production systems. *Acta Horticulturae*, 481, 475-481.
- Goodin, D., Hutchinson, J., Vanderlip, R. L., Knapp, M. C. (1999). Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. *Agronomy Journal*. 91(5), 845-851.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108, 223-230.
- Hargreaves, G. L., Hargreaves, G. H., Riley, P. (1985). Irrigation water requirement for the Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3), 265-275.
- Hunt, L. A., Kucharb, L., Swanton, C. J. (1998). Estimation of solar radiation for use in crop modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91:293-300.
- Isikwue, B. C., Audu, M. O., Eweh, E. J. (2015). Correlation of evapotranspiration with climatic parameters in some selected cities in Nigeria. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 5(4), 103-115.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J. (2007). Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. *HortScience*, 42(3), 642-652.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G. C., Lykas, C. (2006). Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosystems Engineering*, 93, 237-244.
- Koluman, N., Daşkıran, İ., Şener, B. (2013). The heat stress effect on T4 (Thyroxin), T3 (Triiodothyronine), cortisol hormones of goats in rearing extensive systems. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 10(3), 29-136.
- Kökey, İ. (2013). Güneş enerji santrallerinin kurulumunda güneş ölçümünün önemi ve Türkiye’de yasal mevzuat. VIII. Ulusal Ölçübilim Kongresi, Kocaeli.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*. London, England: Butterworths Publishing, 1982, pp. 40-142.
- Malekinezhad, H. (2012). Comparative study of climatic parameters affecting evaporation in central and southern coastal areas in Iran. In *Water Resources and Wetlands Conference Preceding*, Tulcea, Romania.

- MGM (2024). Kahramanmaraş iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özdemir, Y. (2012). Uydu tabanlı kuadratik model ile Türkiye’de güneş radyasyonu dağılımının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from water surface in relation to solar radiation, Transactions of the Royal Society of Australia, 46, 114-118.
- Raoof, M., Mobaser, J. A. (2019). Reference evapotranspiration estimation using a locally adjusted coefcient of angström’s radiation model in an arid-cold region. *Journal of Agric. Sci. and Techn.*, 21(2), 487-499.
- Şeker, M. (2021). Yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak meteorolojik verilere dayalı solar radyasyon tahmini. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi (DEÜFMD)*, 23(69), 923-935.
- Toğrul, I. T., Toğrul, H. (2002). Global solar radiation over Turkey, comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy*, 25, 55-67.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Kapler, P., Dubrovský, M., Semerádová, D., Žalud, Z., Formayer, H. (2007). Effect of estimated daily global solar radiation data on the results of crop growth models. *Sensors*, 7, 2330-2362.
- Tsirogiannis, I., Katsoulas, N., Kittas, C. (2010). Effect of irrigation scheduling on gerbera flower yield and quality. *American Society for Horticultural Science*, 45(2), 265-270.
- Usta, S., Gençoğlu, C., Gençoğlu, S. (2021). Creating a solar radiation measuring system (SRMS) operated by a Programmable Logic Controller (PLC). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(4), 675-688.
- Usta, S. (2022). Van ili koşullarında günlük ortalama solar radyasyonun tahmin edilmesinde kullanılabilecek ampirik modellerin geliştirilmesi. 2. International Istanbul Congress of Multidisciplinary Scientific Research, İstanbul.
- Usta, S., Gençoğlu, C., Gençoğlu, S. (2022a). Estimation of daily average global solar radiation with nonlinear regression models developed using some meteorological and geographical parameters. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(3), 589-597.
- Usta, S., Gençoğlu, C., Gençoğlu, S. (2022b). Hava sıcaklığı ve extraterrestrial radyasyona dayalı bazı ampirik solar radyasyon tahmin modellerinin Kahramanmaraş koşullarında karşılaştırılması. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed and Refereed*. 9(24), 71-85.
- Usta, S. (2023). Goodin modeli kullanılarak günlük ortalama solar radyasyonun tahmin edilmesi: Kahramanmaraş örneği. 3. International Black Sea Modern Scientific Research Congress, Samsun.

- Usta, S., Gençoğlu, S., Gençoğlu, C. (2023). Akdeniz – Güneydoğu Anadolu geçit kuşağı koşullarına uygun Hargreaves modeli solar radyasyon tahmin eşitliğinin geliştirilmesi ve test Edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 13(1), 375-384.
- Varınca, K. B., Talha, M. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi. Eskişehir, Türkiye.
- Wang, K., Dickinson, R. E. (2012). A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology and climatic variability. *Reviews of Geophysics*, 50(2), 1-54.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E. G., König-Langlo, G. (2013). The global energy balance from a surface perspective. *Climate Dynamics*, 40, 3107-3134.
- Yağcıoğlu, A., Demir, V., Günhan, T. (2004). Seraya giren faydalı ışıının enerjisini hesaplamak için bir yöntem. *Ege Üni. Ziraat Fak. Dergisi*, 41(2), 143-154.
- Yin, Y., Wu, S., Zheng, D., Yang, Q. (2008). Radiation calibration of FAO56 Penman–Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. *Agricultural water management*, 95, 77-84.
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., Morgan, K. T., (2018). Step by step calculation of the Penman-Monteith evapotranspiration (FAO-56). <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ae/ae45900.pdf>. (Erişim Tarihi: 28.01.2018).

9. Bölüm

Blaney & Criddle Yöntemi ile Referans Evapotranspirasyonun Tahmin Edilmesi: Kahramanmaraş Örneği

Cafer GENÇOĞLAN¹
Serpil GENÇOĞLAN¹

Özet: Toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon—E) ve referans çim bitkisinden terleme (transpirasyon—T) yolu ile atmosfere transfer edilen toplam su buharı kütlesi olarak tanımlanan referans evapotranspirasyon (ET_0); havza yönetimi, kuraklığın izlenmesi, sulama ve drenaj sistemleri ile gölet ve barajların projelendirilmesi ve bitki su tüketimine dayalı sulama programlarının hazırlanması gibi bir çok çalışmada ihtiyaç duyulan en temel veridir. Mevcut su kaynaklarının doğru yönetilmesi ve kullanımlarının önceliklendirilmesi amacıyla geleceğe yönelik yapılan planlamalar kapsamında doğru ölçülen ya da tahmin edilen ET_0 verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya genelinde standart ET_0 tahmin yöntemi olarak kabul edilen FAO-56 Penman & Monteith (PM) günümüzde ET_0 tahminlerinde en çok tercih edilen yöntemdir. Ancak, bu yöntemin çok fazla sayıda giriş değişkenine ihtiyaç duyması kırsal bölgelerdeki kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, kırsal bölgelerde daha az sayıda giriş değişkeni gerektiren bazı ampirik modeller kullanılarak ET_0 'ın tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu çalışmada, hava sıcaklığına dayalı ET_0 tahminlerinde kullanılan Blaney & Criddle (BC) modelinin Kahramanmaraş koşullarındaki kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi ve kalibrasyonun yapılması amaçlanmıştır. Üç yıl tekerrürlü olarak 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemi iklim verileri kullanılarak doğrusal regresyon yöntemi aracılığıyla kalibre edilen bu modelin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET_0 değerleri, FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen

¹ Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-4559-4354, gencoglan@ksu.edu.tr

¹ Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-7390-8365, sgencoglan@ksu.edu.tr

ET_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Modelin tahmin performansının değerlendirilmesinde; ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE), karekök ortalama karesel hata (RMSE) ve Nash–Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) yaklaşımlarından faydalanılmıştır.

Orijinal BC eşitliği günlük ortalama ET_o değerlerini %80.38 (MAE= 0.83 mm gün⁻¹, MAPE= %19.62, RMSE= 0.99 mm gün⁻¹, NSE= 0.73) doğrulukla tahmin ederken, modifiye BC eşitliği ile yapılan tahminlerde doğruluk oranı %92.92 (MAE= 0.37 mm gün⁻¹, MAPE= %7.08, RMSE= 0.46 mm gün⁻¹, NSE= 0.94) düzeyine yükselmiştir. Yöre koşullarında FAO-56 PM eşitliği için gerekli olan verilerin tamamının ölçülemeyeceği ya da temin edilemediği durumlarda, sadece hava sıcaklığı verilerine ihtiyaç duyan BC modeli modifiye eşitliğinin alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

1. GİRİŞ

Son dönemde küresel ısınmanın yol açtığı abiyotik stres faktörleri tarımsal üretim faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemiş ve bu etkiler araştırmacıları iklim değişikliği ve buna bağlı küresel ısınmanın olumsuz etkilerine karşı yeni önlemler almaya zorlamıştır (Uçak, 2018). Bu anlamda bitki su tüketiminin kestirimi daha da önem kazanmıştır. Evapotranspirasyon olarak adlandırılan bitki su tüketiminin (ET_c) tahmin edilmesinde, referans çim bitkisi için belirlenen su tüketiminin başka bir ifadeyle referans evapotranspirasyonun (ET_o) bitki katsayısı (k_c) ile düzeltilmesi yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır ($ET_c = ET_o \times k_c$). ET_o, referans çim bitkisinden gerçekleşen maksimum bitki su tüketimini olarak tanımlanmaktadır. k_c ise bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini ve yetiştirildiği bölgeyi yansıtan bir katsayıdır. Son yıllarda ET_o tahminlerinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında Penman & Monteith (PM) gelmektedir. İlk defa 1948 yılında oluşturulan ve zaman içerisinde bazı sabiteler eklenerek geliştirilen bu yöntem, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 1998 yılında çim bitkisine uyarlanarak PM eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Penman, 1948, Monteith, 1965; Allen ve ark., 1998). Güvenilirliği bir çok çalışma ile ortaya koyulan FAO-56 PM, günümüzde standart ET_o tahmin yöntemi olarak kabul edilmektedir (Jacobs ve ark., 2004; Trajković ve Gocić, 2010). Tarımsal üretimde suyun yoğun olarak kullanılması nedeniyle, iklim verilerine bağlı olarak uzun veya kısa vadeli bitki su tüketim miktarının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi sulama projeleri için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, meteorolojik verileri kullanarak bitki su tüketimini tahmin eden Penman-Monteith veya Blaney-Criddle yöntemi tercih edilebilir (Uçak ve Arslan, 2021).

FAO-56 PM eşitliğinin temel giriş parametrelerini oluşturan hava sıcaklığı,

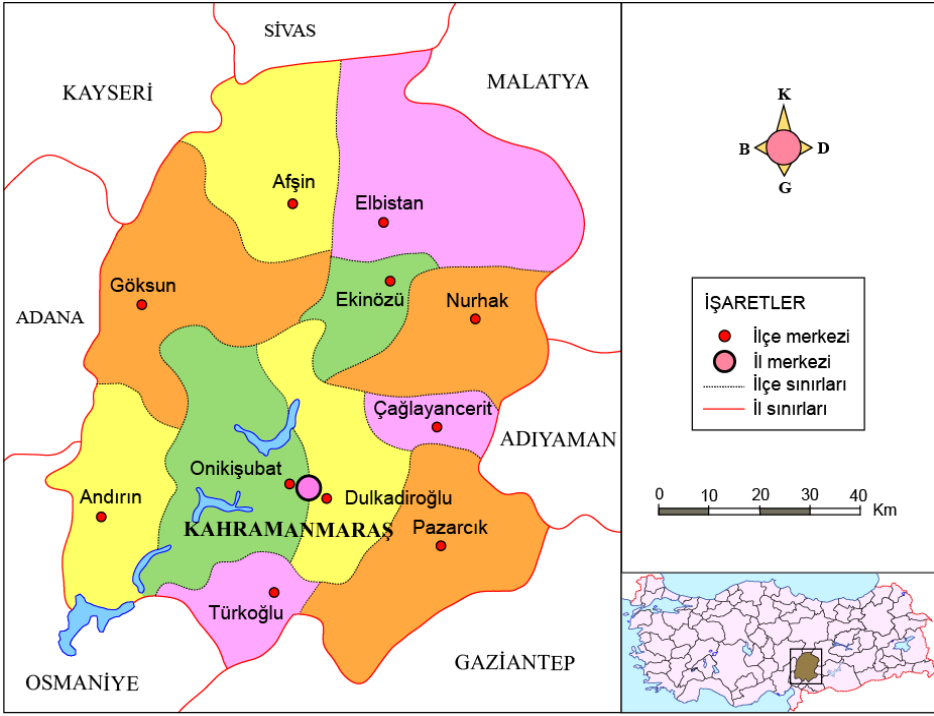
oransal nem, solar radyasyon ve rüzgâr hızı daha çok bölge ve şehir merkezlerinde konumlandırılan, donanımlı meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından devamlı ve düzenli olarak ölçülebilmektedir. Bitkisel üretime dayalı tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü kırsal kesimlerde ise yeterli sayıya ve donanımına sahip istasyon bulunmamaktadır. Buna ek olarak, ölçme cihazlarının üreticilerin satın alma gücünün çok üzerinde maliyetlere sahip olması ve ölçüme uygun hale getirilebilmeleri için yapılması gereken kalibrasyon işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması gibi nedenlerden dolayı, kırsal kesimlerdeki ET_o ve ET_c hesaplamaları ile bunlara dayalı sulama programı çalışmalarında veri temininde sorunlar yaşanabilmektedir.

FAO-56 PM eşitliği giriş parametrelerinin tamamının ölçülenmediği yada temin edilemediği durumlarda, kolay ölçülebilir yada tahmin edilebilir daha az sayıda iklim parametresi kullanımı gerektiren bazı ampirik modeller ile ET_o yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Bu doğrultuda hava sıcaklığına (Blaney ve Criddle, 1962; Schendel, 1967; Hargreaves ve Samani, 1985), solar radyasyona (Makkink, 1957; Jensen ve Haise, 1963; Priestley ve Taylor, 1972; Caprio, 1974) ve kütle transferine (Dalton, 1802; Meyer, 1926; Rohwer, 1931; Romanenko, 1961) dayalı çok sayıda model geliştirilmiştir. Ancak, bu modellerin kullanılabilirlik düzeyleri iklim ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, kullanılacakları yerel koşullarla uyumlu olacak şekilde kalibre edilmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmada, hava sıcaklığına dayalı Blaney & Criddle (Blaney ve Criddle, 1962) modelinin Kahramanmaraş koşullarında gerçekleştirilecek günlük ortalama ET_o tahminlerindeki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerinin belirlenmesi ve ayrıca yerel koşullarla uyumlu olacak şekilde kalibrasyonunun yapılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde bulunan Kahramanmaraş ili coğrafi konum olarak $37^{\circ} 11' - 38^{\circ} 26'$ kuzey enlemleri ile $36^{\circ} 15' - 37^{\circ} 42'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Deniz seviyesine göre ortalama yüksekliği yani rakımı 568 m olan ilin Türkiye haritası üzerindeki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir (Anonim, 2025).



Şekil 1. Kahramanmaraş'ın Türkiye Haritası Üzerindeki Coğrafi Konumu

Yıllık ortalama günlük hava sıcaklığı ve nem oranı değerleri sırasıyla 16.90 °C ve %58.34 düzeyinde olan Kahramanmaraş ilinin, rakımı 1000 metreye kadar olan kısımlarında yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklimi hakimdir. Rakımı 1000 metrenin üzerinde olan kısımlarında ise kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları nispeten serin geçen Akdeniz dağ ikliminin etkileri hissedilmektedir. Yıllık toplam 721.60 mm yağış miktarı ile yarı kurak iklim kuşağında yer alan Kahramanmaraş ilinde, günlük maksimum hava sıcaklığının 26.10 – 36.10 °C arasında değiştiği Mayıs – Ekim dönemi boyunca yağış miktarı iyice azalmaktadır. Bu dönemde 2.20 – 45.40 mm arasında değişen aylık toplam yağış miktarı , tek başına bitki su tüketimini karşılayamamaktadır. Bu nedenle, sulama yapılarak bitki su tüketiminin yağışla karşılanamayan bölümünün sulama yolu ile bitkiye verilmesi zorunlu hale gelmektedir (MGM, 2024).

Blaney & Criddle (BC) modeli (Blaney ve Criddle, 1962) orijinal eşitliği 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemlerine ait günlük iklim verileri kullanılarak değerlendirilmiş ve kalibre edilmiştir. Bu modelin orijinal eşitliği ve Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde gerçekleştirilen kalibrasyon işlemleri sonucunda oluşturulan modifiye eşitliği aynı veriler kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla kullanılan 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemlerine ait günlük ortalama hava sıcaklığı (T),

oransal nem (RH), 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı (U_2) ve solar radyasyon verilerinin aylık ortalama değerleri Tablo 1’de verilmiştir (MGM, 2024).

Tablo 1. Kahramanmaraş İli Aylık Ortalama İklim Verileri

Aylar (2019)	T (°C)	RH (%)	U_2 (m s ⁻¹)	R_s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)
Temmuz	22.19	45.85	2.67	24.13
Ağustos	22.30	44.80	2.56	24.20
Eylül	17.83	46.70	2.51	21.13
Ekim	11.63	60.44	2.76	16.85
Aylar (2020)	T (°C)	RH (%)	U_2 (m s ⁻¹)	R_s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)
Temmuz	21.86	50.38	3.05	22.51
Ağustos	20.05	49.21	2.86	24.59
Eylül	18.56	46.70	2.51	22.72
Ekim	12.30	52.81	2.60	20.32
Aylar (2021)	T (°C)	RH (%)	U_2 (m s ⁻¹)	R_s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)
Temmuz	22.40	43.63	2.91	24.35
Ağustos	21.85	43.70	3.25	24.81
Eylül	17.48	43.98	2.63	23.80
Ekim	11.50	51.53	2.92	19.62

Enleme dayalı coğrafi konum ve hava sıcaklığına dayalı olarak referans evapotranspirasyon tahminlerinde kullanılan Blaney & Criddle (BC) modeline ait orijinal formül Eşitlik (1) ile verilmiştir (Blaney ve Criddle, 1962). Bu eşitliğin bileşenlerinden biri olan “yıllık gündüz saatlerinin günlük ortalama yüzdesi” (P) enleme ($37^\circ 11' = 37.60^\circ$) bağlı olarak Tablo 2 üzerinde yapılan enterpolasyonla Temmuz için 0.325, Ağustos için 0.305, Eylül için 0.28 ve Ekim için 0.25 olarak alınmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$ET_0 = P \times (0.46 \times T + 8) \quad (1)$$

Eşitlikte; ET_0 , günlük ortalama referans evapotranspirasyon miktarı (mm gün⁻¹); T, günlük ortalama hava sıcaklığı (°C) ve P, yıllık gündüz saatlerinin günlük ortalama yüzdesini ifade etmektedir.

Tablo 2. Yıllık Gündüz Saatlerinin Günlük Ortalama Yüzdesi (P)

Enlem (Kuzey)	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
45°	0.34	0.32	0.28	0.24
40°	0.33	0.31	0.28	0.25
35°	0.32	0.30	0.28	0.25
30°	0.31	0.30	0.28	0.26

BC modeli orijinal eşitliğinin Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşulları altındaki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan karşılaştırmalarda, standart FAO-56 Penman & Monteith (PM) eşitliği karşılaştırma kriteri olarak dikkate alınmıştır (Eşitlik 2). Bu eşitlik kullanılarak belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri çalışma kapsamında gerçek ET_o değerleri olarak kabul edilmiştir. FAO-56 PM eşitliğinin alt bileşenleri FAO tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama ve Drenaj Yayını kullanılarak belirlenmiştir (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left(\frac{900}{T + 273} \right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)} \quad (2)$$

Eşitlikte; ET_o , günlük ortalama referans evapotranspirasyon miktarı (mm gün⁻¹); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹); R_n , bitki yüzeylerine etki eden günlük ortalama net radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); G , günlük ortalama topraktaki ısı akısı değişimi (MJ m⁻² gün⁻¹); γ , psikometrik sabit (kPa °C⁻¹); T , günlük ortalama ortalama hava sıcaklığı (°C); U_2 , zemin yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen günlük ortalama rüzgâr hızı (m s⁻¹); e_s ve e_a , sırasıyla doymuş ve gerçek buhar basınçlarını (kPa) ifade etmektedir.

BC modeli orijinal eşitliğine “a” ve “b” kalibrasyon katsayıları atanarak BC modeli modifiye eşitliği oluşturulmuştur (Eşitlik 3). Bu eşitlikteki kalibrasyon katsayılarının en uygun (optimum) değerleri doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Eşitlik 4). Microsoft Excel Programı kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerinde, standart FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen gerçek günlük ortalama ET_o değerleri ($ET_{o\text{-gerçek}}$) bağımlı değişkenler (y) ve BC modeli orijinal eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri ($ET_{o\text{-tahmin}}$) ise bağımsız değişkenler (x) olarak dikkate alınmıştır (Eşitlik 5). Kalibrasyon eşitliğinde “a” (eğim) ve “b” (kesişim) sabitleri kalibrasyon katsayıları olarak tanımlanmıştır. En iyi sonuçları elde edebilmek için eğim (a) sabitinin bire (a ≈ 1) kesişim (b) sabitinin ise sıfıra (b ≈ 0) yakın olması gerekmektedir. “a” katsayısını bire (1) yaklaştırmak için regresyon çizgisinin eğimi, eğimin tersi ile çarpılmıştır. Ayrıca, “b” katsayısını sıfıra (0) yaklaştırmak için, kesişme noktasının ters işaretli değeri yeni regresyon denklemine eklenmiştir (İslam ve ark., 2020).

$$ET_o = a \times [P \times (0.46 \times T + 8)] + b \quad (3)$$

$$y = ax + b \quad (4)$$

$$ET_{o\text{-gerçek}} = a \times ET_{o\text{-tahmin}} + b \quad (5)$$

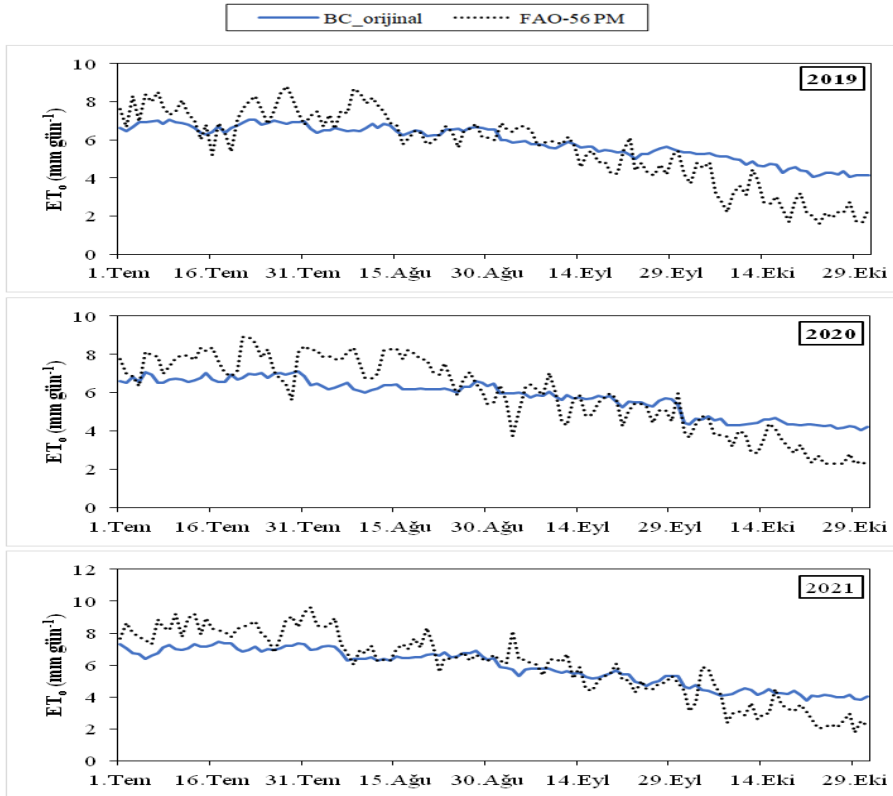
Eşitliklerde; ET_o , günlük ortalama referans evapotranspirasyon miktarı (mm gün⁻¹); T , günlük ortalama hava sıcaklığı (°C); P , yıllık gündüz saatlerinin günlük

ortalama yüzdesi; a ve b, kalibrasyon katsayıları; y, bağımlı değişken; x, bağımsız değişken; $ET_{o-gerçek}$, FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen günlük ortalama referans evapotranspirasyon miktarı ($mm\ gün^{-1}$) ve $ET_{o-tahmin}$, BC modeli orijinal eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama referans evapotranspirasyon miktarını ifade etmektedir ($mm\ gün^{-1}$).

Orijinal ve modifiye BC eşitlikleri ile tahmin edilen ET_o değerlerinin, FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen gerçek ET_o değerleri ile karşılaştırılmasında; ortalama mutlak hata (Eşitlik 6), ortalama mutlak göreceli hata oranı (Eşitlik 7), karekök ortalama karesel hata (Eşitlik 8) ve Nash–Sutcliffe etkinlik katsayısı (Eşitlik 9) istatistiksel yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Ayrıca, kalibrasyon işlemleri kapsamında regresyon analizleri yapılmıştır (Eşitlik 10) (Lewis, 1982; Nash ve Sutcliffe, 1970).

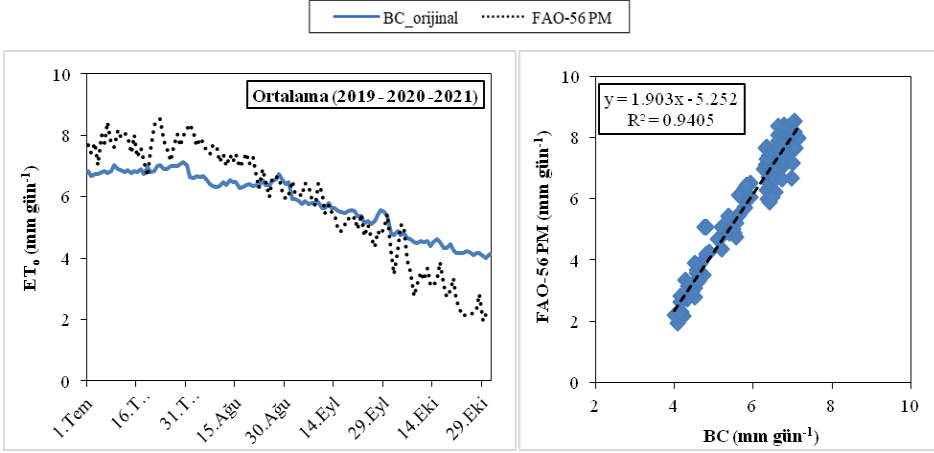
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

BC modeli orijinal eşitliği ve FAO-56 PM eşitliği kullanılarak 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemleri için tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Orijinal BC ve FAO-56 PM ile Tahmin Edilen ET_o Değerleri

BC modeli orijinal eşitliği ve FAO-56 PM eşitliği ile 2019, 2020 ve 2021 Temmuz – Ekim dönemleri için tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerlerinin üç yıllık ortalamaları kullanılarak doğrusal regresyon yöntemi ile gerçekleştirilen kalibrasyon işlemleri sonucunda, orijinal BC eşitliğini (Eşitlik 1) Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşulları ile uyumlu hale getiren “a” ve “b” kalibrasyon katsayıları sırasıyla 1.903 ve -5.252 olarak belirlenmiştir (Şekil 3). BC modeli orijinal eşitliği bu katsayılarla düzeltilerek BC modeli modifiye eşitliği oluşturulmuştur (Eşitlik 11).

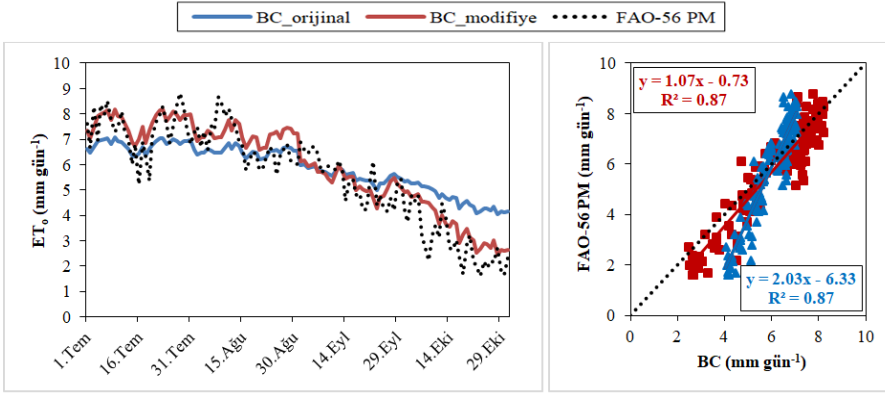


Şekil 3. BC Modeli Modifiye Eşitliğinin Oluşturulması

Orijinal BC eşitliği kullanılarak tahmin edilen üç yıllık ortalama ET_o değerlerinin FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen ET_o değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %94.05 ($R^2 = 0.9405$) olarak elde edilmiştir.

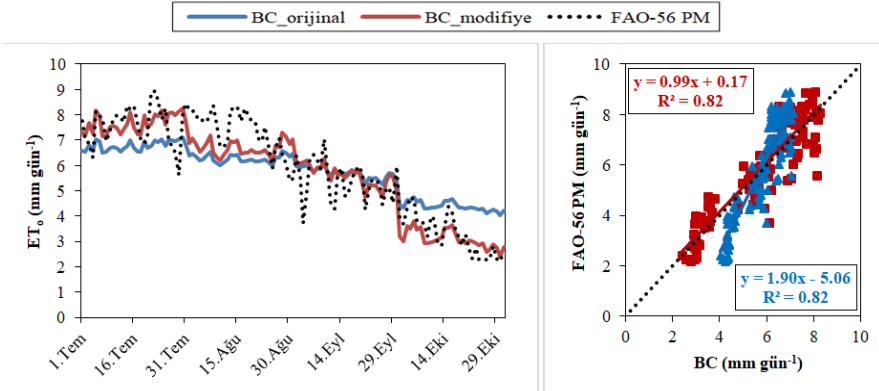
$$ET_o = 1.903 \times [P \times (0.46 \times T + 8)] - 5.252 \quad (11)$$

Modifiye BC eşitliği kullanılarak 2019, 2020 ve 2021 yılları için tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir. FAO-56 PM eşitliği ile 2019 yılı Temmuz – Ekim dönemi için belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri 1.63 – 8.81 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama ET_o değeri ise 5.64 mm gün⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük ET_o değerleri sırasıyla 4.05 – 7.06 mm gün⁻¹ ve 2.46 – 8.19 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama ET_o değerleri ise sırasıyla 5.89 mm gün⁻¹ ve 5.96 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerlerinin FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen günlük ET_o değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %87 ($R^2 = 0.87$) olarak elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Günlük Ortalama ET₀ Değerleri (2019)

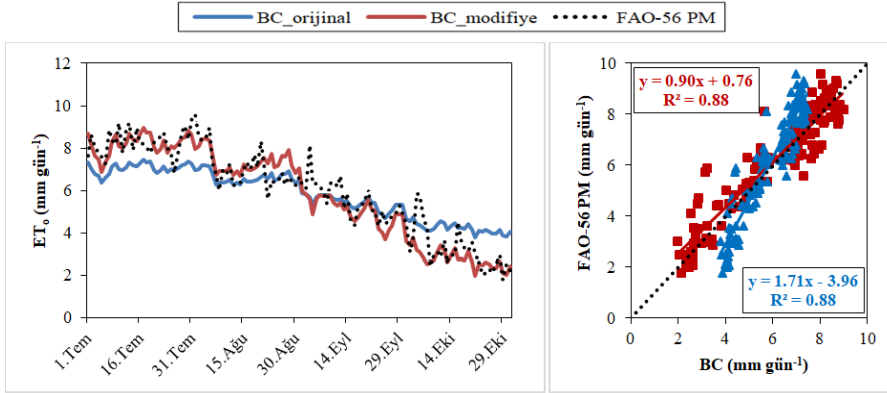
FAO-56 PM eşitliği ile 2020 yılı Temmuz – Ekim dönemi için belirlenen günlük ET₀ değerleri 2.20 – 8.93 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değer ise 5.91 mm gün⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük ET₀ değerleri sırasıyla 4.03 – 7.09 mm gün⁻¹ ve 2.42 – 8.26 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler ise sırasıyla 5.79 mm gün⁻¹ ve 5.77 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ET₀ değerlerinin FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen ET₀ değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %82 ($R^2 = 0.82$) olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal eşitliği kullanılarak tahmin edilen ET₀ değerlerinin Temmuz ve Ağustos aylarında FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen değerlerden daha düşük, Eylül ve Ekim aylarında ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Modifiye BC eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET₀ değerlerinin ise FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen ET₀ değerlerine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Günlük Ortalama ET₀ Değerleri (2020)

FAO-56 PM eşitliği ile 2021 yılı Temmuz – Ekim dönemi için belirlenen günlük ET₀ değerleri 1.77 – 9.60 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. Dönemlik

ortalama ET_o değeri ise 6.03 mm gün^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük ET_o değerleri sırasıyla $3.78 - 7.46 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $1.94 - 8.94 \text{ mm gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama ET_o değerleri ise sırasıyla 5.84 mm gün^{-1} ve 5.85 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerlerinin FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen günlük ET_o değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %88 ($R^2 = 0.88$) olarak elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Günlük Ortalama ET_o Değerleri (2021)

FAO-56 PM eşitliği ile BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemleri için belirlenen günlük ortalama ET_o değerlerinin aylık ortalamaları Tablo 3’de verilmiştir. Hava sıcaklığının maksimum seviyelere yükseldiği Temmuz ayında ET_o en yüksek düzeylere ulaşmıştır. FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen aylık ortalama ET_o değerleri Temmuz ayında 2019 yılı için 7.40 mm gün^{-1} , 2020 yılı için 7.62 mm gün^{-1} ve 2021 yılı için 8.27 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal eşitliği ile Temmuz ayı için tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri birinci yıl 6.80 mm gün^{-1} , ikinci yıl 6.80 mm gün^{-1} ve üçüncü yıl 7.07 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. BC modeli modifiye eşitliği ile aynı ay için tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri ise birinci yıl 7.68 mm gün^{-1} , ikinci yıl 7.68 mm gün^{-1} ve üçüncü yıl 8.20 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Temmuz – Ekim dönemi boyunca hava sıcaklığındaki azalmaya paralel olarak aylık ortalama ET_o değerleri de azalma eğilimi göstermiş ve Ekim ayında minimum seviyelere gerilemiştir. FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen aylık ortalama ET_o değerleri Ekim ayında 2019 yılı için 2.90 mm gün^{-1} , 2020 yılı için 3.27 mm gün^{-1} ve 2021 yılı için 3.20 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. BC modeli orijinal eşitliği ile Ekim ayı için tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri birinci yıl 4.65 mm gün^{-1} , ikinci yıl 4.40 mm gün^{-1} ve üçüncü yıl 4.22 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. BC modeli modifiye eşitliği

ile aynı ay için tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri ise birinci yıl 3.60 mm $gün^{-1}$, ikinci yıl 3.10 mm $gün^{-1}$ ve üçüncü yıl 2.78 mm $gün^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Aylık Ortalama ET_o Değerleri

Yıllar	Aylar	FAO-56 PM (mm $gün^{-1}$)	BC (mm $gün^{-1}$)	
			Orijinal	Modifiye
2019	Temmuz	7.40	6.80	7.68
	Agustos	6.84	6.53	7.17
	Eylül	5.43	5.60	5.40
	Ekim	2.90	4.65	3.60
	Ortalama	5.64	5.90	5.96
2020	Temmuz	7.62	6.80	7.68
	Agustos	7.35	6.23	6.70
	Eylül	5.40	5.70	5.61
	Ekim	3.27	4.40	3.10
	Ortalama	5.91	5.80	5.77
2021	Temmuz	8.27	7.07	8.20
	Agustos	7.08	6.62	7.34
	Eylül	5.55	5.42	5.07
	Ekim	3.20	4.22	2.78
	Ortalama	6.03	5.85	5.85

FAO-56 PM eşitliği ile birlikte BC modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemleri için belirlenen günlük ortalama ET_o değerlerinin üç yıllık aylık ortalamaları Tablo 4’de verilmiştir. FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen günlük ortalama ET_o değerlerine en yakın değerlerin BC modifiye eşitliği ile tahmin edildiği bu tabloda açıkça görülmektedir.

Tablo 4. Üç Yıllık Aylık Ortalama ET_o değerleri

Aylar	FAO-56 PM (mm $gün^{-1}$)	BC (mm $gün^{-1}$)	
		Orijinal	Modifiye
Temmuz	7.76	6.89	7.85
Agustos	7.09	6.47	7.07
Eylül	5.46	5.57	5.37
Ekim	3.12	4.42	3.16
Ortalama	5.86	5.84	5.86

Orijinal BC eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerleri ile bu değerlerin FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen günlük ET_o değerlerinden olan sapmalarının bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE, RMSE ve NSE

değerlerinin üç yıllık aylık ortalamaları Tablo 5’de verilmiştir. MAPE doğruluk düzeyi yaklaşımına göre, Orijinal BC eşitliği ile tahmin edilen günlük ET_o değerlerinin Temmuz ve Ağustos aylarında “iyi” (MAPE= %10 – 20), Eylül ayında “çok iyi” (MAPE< %10) ve Ekim ayında ise “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Temmuz – Ekim dönemi ortalama MAPE değeri (%19.62) dikkate alındığında, tahmini ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi “iyi” (MAPE= %10 – 20) olarak belirlenmiştir. NSE doğruluk düzeyi yaklaşımına göre, orijinal BC eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi Temmuz ayında “iyi” (NSE> 0.75) ve diğer aylarda ise “kabul edilebilir” (NSE= %0.36 – 0.75) olarak belirlenmiştir. Temmuz – Ekim dönemi ortalama NSE (0.73) dikkate alındığında, tahmini ET_o değerlerinin “kabul edilebilir” (NSE= %0.36 – 0.75) doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 5. BC Modeli Orijinal Eşitliğinin Tahmin Performansı

Aylar	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	NSE	Doğruluk	
					MAPE	NSE
Temmuz	0.89	11.30	0.97	0.80	İyi	İyi
Ağustos	0.74	10.00	0.85	0.71	İyi	Kabul edilebilir
Eylül	0.36	6.81	0.43	0.52	Çok iyi	Kabul edilebilir
Ekim	1.33	49.95	1.43	0.71	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir
Ort.	0.83	19.62	0.99	0.73	İyi	Kabul edilebilir

Modifiye BC eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerleri ile bu değerlerin FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen günlük ET_o değerlerinden olan sapmalarının bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE, RMSE ve NSE değerlerinin üç yıllık aylık ortalamaları Tablo 6’da verilmiştir. MAPE doğruluk düzeyi yaklaşımına göre, Modifiye BC eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerlerinin Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında “çok iyi” (MAPE< %10), Ekim ayında ise “iyi” (MAPE= %10 – 20) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Temmuz – Ekim dönemi ortalama MAPE değeri (%7.08) dikkate alındığında, tahmini ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi “çok iyi” (MAPE< %10) olarak belirlenmiştir. NSE doğruluk düzeyi yaklaşımına göre, modifiye BC eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında “iyi” (NSE> 0.75) ve Eylül ayında ise “kabul edilebilir” (NSE= %0.36 – 0.75) olarak belirlenmiştir. Temmuz – Ekim dönemi ortalama NSE (0.94) dikkate alındığında, tahmini ET_o değerlerinin “iyi” (NSE> 0.75) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 6. BC Modeli Modifiye Eşitliğinin Tahmin Performansı

Aylar	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	NSE	Doğruluk	
					MAPE	NSE
Temmuz	0.35	4.60	0.45	0.96	Çok iyi	İyi
Ağustos	0.50	7.25	0.59	0.86	Çok iyi	İyi
Eylül	0.26	4.64	0.33	0.72	Çok iyi	Kabul edilebilir
Ekim	0.35	11.76	0.45	0.97	İyi	İyi
Ort.	0.37	7.08	0.46	0.94	Çok iyi	İyi

Üç yıllık ortalama değerler dikkate alındığında BC modeli orijinal eşitliği ile %80.38 (MAPE= %19.62) doğruluk oranına sahip günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilebilirken, bu oran kalibrasyon işlemleri sonucunda %15.60 artarak BC modeli modifiye eşitliği için %92.92 (MAPE= %7.08) düzeyine yükselmiştir. Benzer şekilde Usta (2024a), Van ili koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibre ettiği Dalton (Dalton, 1802), Rohwer (Rohwer, 1931), Penman (Penman, 1948), Romanenko (Romanenko, 1961), WMO (WMO, 1966) ve Mahringer (Mahringer, 1970) modellerinin günlük ET_o tahminlerindeki performanslarının kalibrasyondan sonra %12.15 – 68.85 arasında değişen oranlarda arttığını bildirmiştir.

BC modeli orijinal eşitliği ile yapılan günlük ET_o tahminleri için elde edilen üç yıllık ortalama MAE (0.83 mm gün⁻¹) kalibrasyondan sonra %44.58 oranında azalarak BC modeli modifiye eşitliği için 0.37 mm gün⁻¹ düzeyine gerilemiştir. Benzer şekilde Usta (2022), Karadeniz Bölgesi koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibre ettiği Jensen & Haise (Jensen ve Haise, 1963) modeli orijinal eşitliğini kullanarak şehir bazında tahmin ettiği aylık ortalama ET_o değerleri için belirlediği MAE hatalarının kalibrasyondan sonra %47.27 – 92.76 aralığında değişen oranlarda azaldığı ifade etmiştir.

Usta (2024b), doğrusal olmayan regresyon yöntemini kullanarak, doygun ve gerçek buhar basınçları ile rüzgâr hızına dayalı olarak Van ili iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde geliştirdiği bir ampirik ET_o tahmin modeli için MAE, MAPE ve RMSE hatalarını sırasıyla 0.27 mm gün⁻¹, %7.02 ve 0.32 mm gün⁻¹ olarak belirlemiştir. Aynı hatalar sadece hava sıcaklığı verilerine ihtiyaç duyan ve kahramanmaraş koşullarında doğrusal regresyon yöntemi ile kalibre edilen modifiye BC eşitliği için sırasıyla 0.37 mm gün⁻¹, %7.08 ve 0.46 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. Farklı iklim ve çevre özelliklerine sahip bölgeler için geliştirilen bu her iki modelin de birbirlerine yakın performanslar segilediği görülmüştür.

ET_o ile benzer özellikler gösteren buharlaşma (evaporasyon – E_{pan}) tahminlerinde kullanılan bazı ampirik modellerin de kalibrasyon işlemleri sonucunda performanslarının yükseldiği yapılan bir çok çalışma ile ortaya

koyulmuştur. Ampirik Christiansen (Christiansen, 1968) modelinin Van ili iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonun yapıldığı bir çalışmada, modelin orijinal eşitliği ile %74.90 (MAPE= %25.10) doğruluk oranına sahip günlük toplam E_{pan} değerleri tahmin edilebilirken, bu oranın kalibrasyon işlemleri sonucunda %86.58'e (MAPE= %13.42) yükseldiği görülmüştür (Usta, 2024c). Benzer şekilde Van koşullarında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Linacre (Linacre, 1977), Kohler & Nordensen (Kohler ve ark., 1955) ve Priestley & Taylor (Priestley ve Taylor, 1972) modellerinin günlük toplam E_{pan} tahminlerindeki performanslarının yöre koşulları ile uyumlu kalibrasyon işlemleri sonucunda sırasıyla %3.59, %19.76 ve %52.59 oranlarında arttığı bildirilmiştir (Usta, 2024d).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hava sıcaklığına dayalı referans evapotranspirasyon tahminlerinde kullanılan Blaney & Criddle modelinin Kahramanmaraş ili iklim ve çevre koşulları altındaki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeyleri belirlenmiş ve ayrıca yerel koşullarla uyumlu olacak şekilde kalibrasyonu yapılmıştır. Üç yıl tekerrürlü olarak yürütülen çalışmada 2019, 2020 ve 2021 yıllarının Temmuz – Ekim dönemi iklim verileri kullanılarak doğrusal regresyon yöntemi ile kalibre edilen bu modelin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük ortalama referans evapotranspirasyon değerleri, standart FAO-56 Penman & Monteith eşitliği kullanılarak belirlenen günlük ortalama referans evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Modelin günlük ortalama referans evapotranspirasyon tahminlerindeki performansı dört istatistiksel yaklaşıma (MAE, MAPE, RMSE ve NSE) göre değerlendirilmiştir. Modelin orijinal eşitliği günlük ortalama referans evapotranspirasyon değerlerini %80.38 (MAE= 0.83 mm gün⁻¹, MAPE= %19.62, RMSE= 0.99 mm gün⁻¹, NSE= 0.73) doğrulukla tahmin ederken, modifiye eşitliği ile yapılan tahminlerde doğruluk oranı %92.92 (MAE= 0.37 mm gün⁻¹, MAPE= %7.08, RMSE= 0.46 mm gün⁻¹, NSE= 0.94) düzeyine yükselmiştir. Kahramanmaraş koşullarında standart FAO-56 Penman & Monteith eşitliği için gerekli olan verilerin tamamının ölçülemediği ya da temin edilemediği durumlarda, sadece hava sıcaklığı verilerine ihtiyaç duyan Blaney & Criddle modeli modifiye eşitliğinin alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56.

<https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm> (erişim tarihi: 18 Temmuz 2023).

Anonim (2025). Kahramanmaraş İli Haritası. <https://static.milliyet.com.tr/others/image/harita/kahramanmaras-ili-haritasi.png> (erişim tarihi: 06.07.2025).

Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1962). Determining consumptive use and irrigation water requirements. United States Department of Agriculture (USDA) Technical Bulletin 1275, Beltsville.

Caprio, J. M. (1974). The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In: Lieth, H. (eds) Phenology and Seasonality Modeling. *Ecological Studies*, 8, 353-364. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_29

Christiansen, J. E. (1968). Pan evaporation and evapotranspiration from climatic data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 94(2), 243-266.

Dalton, J. (1802). Experimental essays on the constitution of mixed gases: on the force of steam or vapour from water or other liquids in different temperatures, both in a Torricelli vacuum and in air; on evaporation; and on expansion of gases by heat. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, 5, 536-602.

De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, 192, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.114>

Hargreaves, G. L., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>

Islam, S., Abdullah, R. A. B., Tirth, V., Shahid, S., Algarni, S., & Hirol, H. (2020). Evaluation of mass transfer evapotranspiration models under semiarid conditions using MCDM approach. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18 (5), 6355-6375. https://doi.org/10.15666/aeer/1805_63556375

Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. & Diak, G. R. (2004). Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3), 461-476. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.3.461.54352>

Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000287>

Kohler, M. A., Nordenson, T. J., & Fox, W. E. (1955). Evaporation from pans and lakes. United States Department of Commerce Research Paper No. 38. https://library.oarcloud.noaa.gov/noaa_documents.lib/NOAA_historic_do

- cuments/WB/Research_papers/WB_Research_Paper_38.pdf (erişim tarihi: 20 Mart 2023).
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*. London, England: Butterworths Publishing, 1982, pp. 40-142.
- Linacre, E. T. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18(6), 409-424. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3)
- Lufi, S., Ery, S., & Rispiningtati, R. (2020). Hydrological analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) data in Lesti sub watershed. *Civil and Environmental Science Journal*, 3(1), 18-30. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2020.00301.3>
- Mahringer, W. (1970). Verdunstungsstudien am Neusiedler See. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 18, 1-20.
- Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman Formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11, 277-288.
- Meyer, A. (1926). Über einige zusammenhänge zwischen klima und boden in Europa (Doctoral dissertation, ETH Zurich), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000092038> (erişim tarihi: 23 Mayıs 2023).
- MGM (2024). Kahramanmaraş ili iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Monteith, J. L. (1965) Evaporation and the environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19, 205-234.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Phy. Sciences*, 193(1032), 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- Rohwer, C. (1931). Evaporation from free water surfaces. United States Department of Agriculture (USDA) Technical Bulletin 271, Washington DC.
- Romanenko, V. A. (1961). Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. *Proceedings of Ukrainian Hydrometeorological Research Institute*, 3, 12-25.

- Schendel, U. (1967). Vegetations wasserverbrauch und-wasserbedarf. *Habilitation, Kiel*, 137(1), 1-11.
- Trajković, S. & Gocić, M. (2010). Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis – Series Architecture and Civil Engineering*, 8(2), 163-168. <https://doi.org/10.2298/FUACE1002163T>
- Uçak, A.B., (2018). Identification of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genotypes Tolerant to Water Stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(3), 312-322. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.456645>.
- Uçak, A.B., Arslan, H., (2021). Plant Water Consumption of SIIRT Pistachio using Blaney Cridlle and Penman - Monteith Methods. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 7(11), 07–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5759598>.
- Usta, S. (2022). Karadeniz Bölgesi iklim koşullarına uygun Jensen Haise yöntemi referans evapotranspirasyon tahmin eşitliklerinin geliştirilmesi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, (38), 415-427. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1130701>
- Usta, S. (2024a). Comparison of the performances of six empirical mass transfer-based reference evapotranspiration estimation models in semi-arid conditions. *PeerJ* 12:e18549. <https://doi.org/10.7717/peerj.18549>
- Usta, S. (2024b). Doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak kütle transferine dayalı bir referans evapotranspirasyon tahmin modeli geliştirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(4), 1461-1473. <https://doi.org/10.21597/jist.1429637>
- Usta, S. (2024c). Evaluation and calibration of Christiansen method for estimating daily evaporation from class-A pan under the conditions of Van, Turkey. *The European Journal of Research and Development*, 4(3), 22-37. <https://doi.org/10.56038/ejrnd.v4i3.484>
- Usta, S. (2024d). Yarı kurak-kurak iklim koşullarında bazı ampirik modeller kullanılarak A sınıfı buharlaşma kabından gerçekleşen günlük buharlaşmanın tahmin edilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 632-647. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1445512>
- WMO. (1966). World Meteorological Organization, Technical Note No. 83, measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. https://library.wmo.int/viewer/59800/download?file=wmo_201.pdf&type=pdf&navigator=1 (erişim tarihi: 12 Nisan 2023).