

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

HAZİRAN 2026

EDİTÖR

Doç. Dr. İlyas BOLAT

Doç. Dr. Sevinç KIRAN

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / HAZİRAN 2026 - Ankara
ISBN / 978-625-321-155-4

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
0312 384 80 40
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro
Sertifika No: 42488

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

HAZİRAN 2026

EDİTÖR

**Doç. Dr. İlyas BOLAT
Doç. Dr. Sevinç KIRAN**

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

TÜRKİYE SU ÜRÜNLERİ SEKTÖRÜNÜN MEVCUT DURUM ANALİZİ

Gökhan ARSLAN 7

BÖLÜM 2

TOPRAK-SICAKLIK ETKİLEŞİMİNİN FİZİKSEL TEMELLERİ: ISIL ÖZELLİKLER, NEM VE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN DÜZENLEYİCİ ROLÜ

İlyas BOLAT, Melih ÖZTÜRK 19

BÖLÜM 3

ALABALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ

Gökhan ARSLAN 37

BÖLÜM 4

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE SEKONDER METABOLİTLER: BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINDAKİ ROLÜ

Mehmet Zeki KOÇAK 51

BÖLÜM 5

KOLYOS (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth.) SÜS BİTKİSİNİN ISLAHI VE GELECEK PROJEKSİYONU

Abdurrahman ONARAN, Elçin Gözde ŞAHİN,
Esmanur YILDIZ, Ş. Şebnem ELLİALTIOĞLU 65

BÖLÜM 6

BUĞDAYGİL YEM BİTKİLERİNİN ÖNEMİ VE BAZI ÖNEMLİ BUĞDAYGİL YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Derya GÜLOĞLU 127

BÖLÜM 7

BİTKİSEL ÜRÜN SİGORTASI ARAŞTIRMALARININ KÜRESEL EĞİLİMLERİ: BİBLİYOMETRİK ANALİZ

Seda GÜRÜN 149

BÖLÜM 1

TÜRKİYE SU ÜRÜNLERİ SEKTÖRÜNÜN MEVCUT DURUM ANALİZİ

*Gökhan ARSLAN*¹

¹ Doç. Dr, Atatürk Üniversitesi, gokhan.arslan@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8634-8598

Giriş

Balığın gıda maddesi olarak tüketimi insanlık tarihi kadar eskidir. Yapılan arkeolojik incelemelerde bulunan balık figürleri bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Balık tüketimi geçmişte sadece beslenme ve hayatta kalma olarak düşünülmüş olsa da gelişen teknoloji ve yapılan çalışmalar balık etinin sağlık açısından çok değerli olduğunu göstermektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, beslenmenin hastalıklardan korunma açısından önemli olduğunu göstermektedir. Balıklarda bulunan yağlar insan beslenmesi açısından son derece önemlidir. Hücrelerin yapı maddelerini oluşturmaları ve yüksek enerji içermeleri bakımından da beslenme açısından önemlidir (Yücecan ve Baykan, 1981). İnsan vücudu esansiyel yağ asitlerini dışardan gıda maddeleriyle almak zorundadır. Yağda eriyen vitaminlerin (A,D,E,K) kaynağı da yine balıklarda önemli oranda bulunmaktadır (Tayar ve Korkmaz, 2004). Yapılan çalışmalar balık tüketiminin sağlık açısından son derece olumlu olduğu yönündedir. Sağlık açısından son derece önemli bir gıda maddesi olmasının yanında su ürünleri sektörü ekonomik olarak da son derece kıymetlidir. Özellikle son yıllarda ülke ekonomilerine vermiş olduğu önemli katkılar nedeniyle birçok ülke su ürünleri sektörüne yönelmiş ve ciddi oranlarda yatırımlar yapmıştır. Ülkemizde bu anlamda su ürünleri sektörüne önemli yatırımlar yaparak her geçen yıl bir önceki yıla oranla ekonomik anlamda katkılar elde etmeye başlamıştır.

Tablo 1. Dünya Su Ürünleri Üretimi (FAO., 2024).

Yıllar	AVCILIK (ton)			YETİŞTİRİCİLİK (ton)			TOPLAM (ton)
	Deniz	İçsu	Toplam	Deniz	İçsu	Toplam	
2000	84.982.582	8.593.411	93.575.993	13.726.706	18.694.353	32.421.059	125.997.052
2001	82.251.968	8.552.035	90.804.003	14.843.795	19.773.860	34.617.655	125.421.658
2002	82.694.872	8.408.587	91.103.459	15.753.577	21.036.601	36.790.178	127.893.637
2003	79.734.693	8.612.224	88.346.917	16.616.746	22.305.464	38.922.210	127.269.127
2004	84.228.013	8.669.581	92.897.594	17.527.343	24.408.667	41.936.010	134.833.604
2005	83.097.538	9.432.438	92.529.976	18.369.380	25.960.003	44.329.383	136.859.359
2006	80.421.789	9.826.768	90.248.557	19.520.804	27.777.207	47.298.011	137.546.568
2007	80.487.101	10.074.425	90.561.526	20.271.802	29.711.732	49.983.534	140.545.060
2008	79.391.989	10.149.633	89.541.622	20.717.675	32.240.577	52.958.252	142.499.874
2009	78.729.353	10.312.543	89.041.896	21.435.700	33.756.913	55.192.613	144.234.509
2010	76.331.485	10.871.122	87.202.607	21.803.739	36.018.614	57.822.353	145.024.960
2011	81.062.213	10.506.179	91.568.392	22.685.415	37.177.182	59.862.597	151.430.989
2012	77.757.703	10.939.539	88.697.242	23.855.402	39.668.844	63.524.246	152.221.488
2013	78.793.370	10.905.318	89.698.688	24.815.542	42.153.808	66.969.350	156.668.038
2014	79.304.799	11.030.915	90.335.714	26.180.068	44.387.448	70.567.516	160.903.230
2015	80.453.529	11.134.159	91.587.688	26.966.999	45.967.447	72.934.446	164.522.134
2016	78.223.957	11.338.917	89.562.874	28.522.444	48.053.408	76.575.852	166.138.726
2017	81.302.107	11.942.233	93.244.340	29.939.879	49.692.363	79.632.242	172.876.582
2018	84.118.977	12.108.881	96.227.858	30.705.767	51.785.465	82.491.232	178.719.090
2019	79.923.286	12.176.553	92.099.839	31.689.624	53.531.943	85.221.567	177.321.406
2020	78.054.216	11.508.928	89.563.144	33.166.763	54.465.513	87.632.276	177.195.420
2021	79.838.687	11.363.695	91.202.382	34.640.923	56.222.784	90.863.707	182.066.089
2022	79.716.381	11.320.890	91.037.271	35.342.169	59.073.231	94.415.400	185.452.671
2023	78.351.970	12.031.616	90.383.586	36.774.049	61.742.926	98.516.975	188.900.561

Dünya genelinde Su Ürünleri avlama ve yetiştiricilik sistemleri yıllar içerisinde önemli bir ivme kazanmıştır. Özellikle teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelişen yetiştiricilik sistemleri yıllar içerisinde avcılık yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarını yakalamış ve son yıllarda

geçmiştir. İklim değişikliğinin de bu durumla yakından ilişkisi söz konusudur. Avcılık yöntemi ile elde edilen su ürünleri iklim değişikliğinden olumsuz yönde etkilenmiştir.

Tablo 2. Türkiye Su Ürünleri Üretimi (ton). (BSGM, 2024)

Yıllar	AVCILIK (ton)			YETİŞTİRİCİLİK (ton)			TOPLAM (ton)
	Deniz	İçsu	Toplam	Deniz	İçsu	Toplam	
2000	460.521	42.824	503.345	35.646	43.385	79.031	582.376
2001	484.410	43.323	527.733	29.730	37.514	67.244	594.977
2002	522.744	43.938	566.682	26.868	34.297	61.165	627.847
2003	463.074	44.698	507.772	39.726	40.217	79.943	587.715
2004	504.897	45.585	550.482	49.895	44.115	94.010	644.492
2005	380.381	46.115	426.496	69.673	48.604	118.277	544.773
2006	488.966	44.082	533.048	72.249	56.694	128.943	661.991
2007	589.129	43.321	632.450	80.840	59.033	139.873	772.323
2008	453.113	41.011	494.124	85.629	66.557	152.186	646.310
2009	425.046	39.187	464.233	82.481	76.248	158.729	622.962
2010	445.680	40.259	485.939	88.573	78.568	167.141	653.080
2011	477.658	37.097	514.755	88.344	100.446	188.790	703.545
2012	396.322	36.120	432.442	100.853	111.557	212.410	644.852
2013	339.047	35.074	374.121	110.375	123.019	233.394	607.515
2014	266.078	36.134	302.212	126.894	108.239	235.133	537.345
2015	397.731	34.176	431.907	138.879	101.455	240.334	672.241
2016	301.464	33.856	335.320	151.794	101.601	253.395	588.715
2017	322.173	32.145	354.318	172.492	104.010	276.502	630.820
2018	283.955	30.139	314.094	209.370	105.167	314.537	628.631
2019	431.572	31.596	463.168	256.930	116.426	373.356	836.524
2020	331.281	33.119	364.400	293.175	128.236	421.411	785.811
2021	295.018	33.140	328.158	335.644	136.042	471.686	799.844
2022	301.747	33.256	335.003	368.742	146.063	514.805	849.808
2023	420.527	33.532	454.059	399.529	156.758	556.287	1.010.346
2024	322.388	33.607	355.995	405.742	171.382	577.124	933.119

Dünya genelindeki avcılık ve yetiştiricilik yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarındaki durum Türkiye içinde paralel bir şekilde gerçekleşmiş ve 2000’li yıllarda 8-9 kat daha fazla olan avcılık üretimi yıllar içerisinde önemli bir değişime uğrayarak 2024 yılı itibariyle yetiştiricilik yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarı avcılık yöntemi ile elde edilen miktarı önemli oranda geçmiştir. Bu durumu yetiştiricilik sistemlerine yapılan yatırımlar elbette açıklayabilir fakat diğer önemli bir unsorda şüphesiz iklim değişikliğidir. Küresel ısınmayla birlikte balık popülasyonlarındaki dalgalanmalar avcılık yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarını ciddi oranda etkilemiştir.

Avcılık

Türkiye deniz, iç su, göl ve gölet ve son yıllarda baraj gölleri varlığıyla su ürünleri sektörü açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz 8.333 km’lik kıyı şeridinde, 177.714 km’lik nehirlerle ve 342.377 hektarlık baraj göllerine sahiptir. Bu potansiyel su ürünleri sektörü açısından son derece önemlidir. Bu kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Su ürünleri, hayvansal protein gereksiniminin önemli bir

kısmını karşılayabilen kıymetli bir besindir. Ülkemiz denizlerinde; Karadeniz’de 247, Marmara Denizi’nde 200, Ege Denizi’nde 300 ve Akdeniz’de 500’e yakın balık türüne rastlanmakta olup, bu türlerin 100 tanesi ekonomik öneme sahiptir (Anonim, 2012). Ülkemiz su ürünleri avcılık sektörü önemli bir potansiyele sahiptir.

Tablo 3. Balıkçı Gemilerinin Boy Dağılımı (2024) (adet) (BSGM., 2024).

Faaliyet Alanı	Boy Grubu (m)							TOPLAM
	0-4,9	5-7,9	8-9,9	10-11,9	12-19,9	20-29,9	30+	
Deniz	688	8.425	3.510	964	862	467	296	15.212
İçsu	517	2.402	389	22	55	0	0	3.385
TOPLAM	1.205	10.827	3.899	986	917	467	296	18.597

Ülkemizde farklı boylarda 18.597 balıkçı gemisi bulunmaktadır. Üç tarafının denizlerle çevrili olması bu potansiyelin önemli sebebidir.

Tablo 4. Su Ürünleri Avcılık Üretim Miktarı (BSGM., 2024).

Yıllar	DENİZ (ton)			İÇSU (ton)			TOPLAM (ton)
	Balıklar	Diğer	Toplam	Balıklar	Diğer	Toplam	
2000	441.634	18.831	460.465	39.474	3.350	42.824	503.289
2001	464.987	19.230	484.217	39.215	4.108	43.323	527.540
2002	493.446	29.298	522.744	39.209	4.729	43.938	566.682
2003	416.126	46.948	463.074	39.873	4.825	44.698	507.772
2004	456.752	48.145	504.897	40.586	4.999	45.585	550.482
2005	334.248	46.133	380.381	42.630	3.485	46.115	426.496
2006	409.945	79.021	488.966	40.990	3.092	44.082	533.048
2007	518.201	70.928	589.129	40.213	3.108	43.321	632.450
2008	395.660	57.453	453.113	38.553	2.458	41.011	494.124
2009	380.636	44.410	425.046	35.604	3.583	39.187	464.233
2010	399.656	46.024	445.680	36.458	3.801	40.259	485.939
2011	432.246	45.412	477.658	34.328	2.769	37.097	514.755
2012	315.637	80.686	396.323	33.787	2.333	36.120	432.443
2013	295.168	43.879	339.047	32.281	2.793	35.074	374.121
2014	231.058	35.019	266.077	33.263	2.871	36.134	302.211
2015	345.765	51.966	397.731	32.376	1.800	34.176	431.907
2016	263.725	37.739	301.464	31.509	2.347	33.856	335.320
2017	269.676	52.496	322.172	29.396	2.749	32.145	354.317
2018	222.024	61.931	283.955	27.607	2.532	30.139	314.094
2019	374.726	56.846	431.572	28.618	2.978	31.596	463.168
2020	291.910	39.371	331.281	30.150	2.969	33.119	364.400
2021	262.290	32.728	295.018	31.168	1.972	33.140	328.158
2022	254.535	47.212	301.747	31.338	1.918	33.256	335.003
2023	387.115	33.412	420.527	31.695	1.837	33.532	454.059
2024	289.993	32.394	322.387	31.212	2.395	33.607	355.994

Balıkçı gemileri ve denizlerin su ürünleri sektörü açısından önemli bir düzeyde olmasına rağmen avcılık yöntemiyle elde edilen su ürünleri miktarında yıllar içerisinde azalma söz konusudur. Bu durumun çeşitli nedenleri vardır. Özellikle son zamanlarda yetiştiricilik

sistemlerine olan talebin artması avcılık yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarının azalmasına sebep olmuştur. Yine iklim değişikliği nedeniyle sulardaki sıcaklık dalgalanmaları da toplam avcılık miktarını olumsuz yönde etkileyen bir başka faktördür. Yine uygun olmayan av araçlarıyla yapılan avcılık, av yasaklarına uymamak ve belirli boyların altında avcılık yapmak da durumun izahı açısından önemlidir. 2000 yılında 503.289 ton olan avcılık miktarı 2024 yılında 355.994 ton'a kadar gerilemiştir. 2000-2024 yılları arasındaki dalgalı seyir ise su sıcaklıklarındaki değişim ile açıklanabilir.

Tablo 5. Avcılığı En Çok Yapılan Pelajik Deniz Balıklarının Üretim Miktarları (ton) (BSGM., 2024).

Yıllar	Hamsi	Sardalya	İstavrit*	Palamut	Lüfer	Çaça
2000	280.000	16.500	22.200	12.000	4.250	7.000
2001	320.000	10.000	26.180	13.460	13.060	1.000
2002	373.000	8.684	26.482	6.286	25.000	2.050
2003	295.000	12.000	28.000	6.000	22.000	6.025
2004	340.000	12.883	27.405	5.701	19.901	5.411
2005	138.569	20.656	27.518	70.797	18.357	5.500
2006	270.000	15.586	25.927	29.690	8.399	7.311
2007	385.000	20.941	32.021	5.965	6.858	11.921
2008	251.675	17.531	32.177	6.448	4.048	39.303
2009	204.699	30.091	28.268	7.036	5.999	53.385
2010	229.023	27.639	20.447	9.401	4.744	57.023
2011	228.491	34.709	25.010	10.019	3.122	87.141
2012	163.982	28.248	30.946	35.764	7.390	12.092
2013	179.615	23.919	28.424	13.158	5.225	9.764
2014	96.440	18.077	16.324	19.032	8.386	41.648
2015	193.492	16.693	16.664	4.573	4.136	76.996
2016	102.595	18.162	11.148	39.460	9.574	50.225
2017	158.094	23.426	12.985	7.578	1.936	33.950
2018	96.452	18.854	20.678	30.920	5.767	20.057
2019	262.544	19.119	19.505	1.578	1.214	38.078
2020	171.253	21.265	12.349	22.743	3.722	26.804
2021	151.598	15.800	24.006	2.595	5.804	28.041
2022	125.980	16.729	14.930	49.892	5.495	11.162
2023	273.915	17.311	14.374	2.083	2.138	45.764
2024	153.175	17.818	19.649	49.278	3.610	16.067

Not: *Kraça ve Karagöz

Avcılığı en çok yapılan pelajik deniz balıklarında hamsi lider durumdadır. Hamsi avcılık sektörü açısından önemli bir tür olduğu kadar yetiştiricilik sistemi açısından da öneme sahiptir. Çünkü yetiştiricilikte kullanılan balık yemlerinde de kullanımı söz konusudur. Özellikle son yıllarda dalgalı bir seyir halinde olan hamsi şüphesiz iklim değişikliği nedeniyle sulardaki sıcaklık dalgalanmalarından ciddi bir şekilde etkilenmektedir. Genel olarak bakıldığında da sektör açısından önemli olan türlerin avcılık miktarlarındaki azalma göze çarpmakta bu hem avcılık sektörümüzü hem de yetiştiricilik sektörümüzü olumsuz şekilde etkilemektedir.

Tablo 6. Avcılığı En Çok Yapılan Demersal Deniz Balıklarının Üretim Miktarları (ton) (BSGM., 2024).

Yıllar	Mezgit	Bakalorya- Berlam	Tekir	Barbunya	Kalkan
2000	18.000	18.190	2.300	2.450	2.700
2001	10.000	20.810	1.570	2.455	2.455
2002	8.808	10.500	1.450	2.395	459
2003	8.000	7.500	1.050	1.400	300
2004	8.205	4.380	961	1.848	376
2005	8.309	4.100	1.207	2.825	649
2006	9.112	3.460	1.256	2.617	807
2007	12.940	3.337	1.732	2.091	769
2008	12.231	1.252	1.978	1.925	528
2009	11.146	1.557	2.818	2.461	383
2010	13.558	1.256	4.455	2.351	295
2011	9.455	921	3.877	1.861	166
2012	7.367	893	3.767	2.453	203
2013	9.397	676	2.333	2.055	209
2014	9.555	642	3.617	1.426	198
2015	13.158	706	3.476	1.255	239
2016	11.541	784	3.047	1.454	221
2017	8.248	1.011	2.074	1.406	167
2018	6.814	1.019	2.915	1.399	139
2019	8.941	1.270	2.342	1.719	272
2020	9.364	1.149	2.775	1.604	412
2021	10.380	839	3.072	1.359	487
2022	7.690	1.084	1.304	1.169	491
2023	9.074	1.108	1.557	1.204	490
2024	8.711	742	2.112	1.166	496

Avcılığı en çok yapılan demersal deniz balıkları açısından da durum benzerlik göstermektedir. Yıllar içerisinde önemli oranlarda azalma söz konusudur.

Tablo 7. Avcılığı En Çok Yapılan Diğer Deniz Ürünleri Üretim Miktarları (ton) (BSGM., 2024).

Yıllar	Kum Midyesi*	Deniz Salyangozu	Karidesler**	Kara Midye	Mürekkap Balığı
2000	10.000	2.150	2.000	1.200	550
2001	7.500	2.650	3.000	1.500	465
2002	10.000	6.241	4.000	5.000	909
2003	19.700	5.500	6.000	8.100	785
2004	16.899	14.034	5.279	5.734	1.570
2005	10.847	12.600	6.339	12.362	1.221
2006	49.610	11.613	3.856	9.234	1.199
2007	48.549	13.791	3.917	1.493	1.288
2008	38.151	11.442	4.668	342	1.502
2009	24.642	6.085	4.614	6.261	1.258
2010	26.987	8.437	4.705	981	1.597
2011	30.202	6.534	4.770	1.806	1.163
2012	61.240	9.596	5.038	2.093	1.396
2013	28.113	8.655	4.028	887	1.244
2014	21.836	7.004	4.416	204	697
2015	37.409	8.795	3.995	240	745
2016	20.937	10.354	4.501	78	925
2017	34.941	9.194	4.730	536	986
2018	44.534	9.672	4.536	604	1.042
2019	36.627	11.646	5.137	1.170	940
2020	21.881	8.461	5.204	1.035	961
2021	16.824	7.008	5.494	1.371	837
2022	28.333	7.905	4.585	3.221	714
2023	13.821	9.869	4.715	2.527	697
2024	16.686	6.962	4.467	1.534	645

Avcılığı en çok yapılan diğer deniz ürünleri açısından da bakıldığında zaman yıllar içerisindeki avcılık miktarındaki azalma net bir şekilde görülmektedir.

Yetiştiricilik.

Tablo 2'ye bakıldığında yetiştiricilik faaliyetleriyle elde edilen su ürünleri miktarının avcılık faaliyetleriyle elde edilen su ürünleri miktarını yıllar içerisinde yakalayarak son yıllarda geçtiği görülmektedir. 2000 yılında avcılık faaliyeti ile elde edilen su ürünleri miktarı yetiştiricilik faaliyeti ile elde edilen su ürünleri miktarından 6 kattan daha fazla olmasına rağmen 2024 yılı değerlerine bakıldığında yetiştiricilik faaliyetleriyle elde edilen su ürünleri miktarının avcılık faaliyeti ile elde edilen su ürünleri miktarını geçmesi yetiştiricilik sistemleri açısından son derece önemli bir durumdur. Elbette yıllar içerisinde yetiştiricilik sektörüne yapılan yatırımlar ve devlet destekleri bu sonucun önemli sebepleridir. Ayrıca çok sayıda göl ve gölete yetiştiricilik ruhsatlarının verilmesi ve yatırımcılara bu anlamda teşviklerin artması sektörel anlamda yetiştiricilik sisteminin gelişmesine vesile olmuştur. Yine denizel ortamdaki yetiştiricilik sistemlerinin de teknolojinin gelişmesine paralel olarak büyümesi yetiştiricilik faaliyetleriyle elde edilen su ürünleri miktarının artmasına sebep olmuştur.

Tablo 8. Su Ürünleri Yetiştiricilik Tesislerinin Kapasitelerine Göre Dağılımları (BSGM., 2024).

Grup	Kapasite Grubu (ton)	Tesis Sayısı (adet)	Toplam Proje Kapasitesi (ton/yıl)
DENİZ	Kuluçkahane*	51	0
	0-50	115	3.221
	51-100	15	1.245
	101-250	18	3.115
	251-500	56	20.565
	501-1000	146	133.634
	1001>	156	398.140
	TOPLAM	557	559.920
İÇSU	Kuluçkahane*	95	0
	0-50	1.085	19.046
	51-100	128	11.452
	101-250	265	53.117
	251-500	195	86.777
	501-1000	144	124.761
	1001>	2	4.900
	TOPLAM	1.914	300.053

Türkiye yetiştiricilik tesislerinin sayısı ve kapasitesi her geçen yıl önemli oranlarda artmaktadır. Şüphesiz bu durum toplam elde edilen su ürünleri miktarına da yansımaktadır. Ayrıca bu tesislerde istihdam edilen kişi sayısı bakımından da ülke ekonomisine olumlu katkı sağlamaktadır.

Tablo 9. Su Ürünleri Yetiştiricilik Tesislerinin Kapasitelerine Göre Dağılımları (BSGM., 2024).

Grup	Kapasite Grubu (ton)	Tesis Sayısı (adet)	Toplam Proje Kapasitesi (ton/yıl)
DENİZ+İÇSU	Kuluçkahane*	146	0
	0-50	1.200	22.267
	51-100	143	12.697
	101-250	283	56.232
	251-500	251	107.342
	501-1000	290	258.395
	1001>	158	403.040
TOPLAM		2.471	859.973

Özellikle denizel ortamlarda yapılan yetiştiricilik kapasite açısından son derece önemlidir.

Tablo 10. Türkiye’de Yetiştiriciliği En Çok Yapılan Türlerin Üretim Miktarları (ton) (BSGM., 2024).

Yıllar	Alabalık			Çipura	Levrek
	Deniz	İçsu	Toplam		
2000	1.961	42.572	44.533	15.460	17.877
2001	1.240	36.827	38.067	12.939	15.546
2002	846	33.707	34.553	11.681	14.339
2003	1.194	39.674	40.868	16.735	20.982
2004	1.650	43.432	45.082	20.435	26.297
2005	1.249	48.033	49.282	27.634	37.290
2006	1.633	56.026	57.659	28.463	38.408
2007	2.740	58.433	61.173	33.500	41.900
2008	2.721	65.928	68.649	31.670	49.270
2009	5.229	75.657	80.886	28.362	46.554
2010	7.079	78.165	85.244	28.157	50.796
2011	7.697	100.239	107.936	32.187	47.013
2012	3.234	111.335	114.569	30.743	65.512
2013	5.186	122.873	128.059	35.701	67.913
2014	5.610	107.983	113.593	41.873	74.653
2015	6.872	101.166	108.038	51.844	75.164
2016	5.716	101.297	107.013	58.254	80.847
2017	5.952	103.705	109.657	61.090	99.971
2018	9.610	104.887	114.497	76.680	116.915
2019	9.692	116.053	125.745	99.730	137.419
2020	18.182	126.101	144.283	109.749	148.907
2021	31.554	135.732	167.286	133.476	155.151
2022	45.454	145.649	191.103	152.469	156.602
2023	66.055	156.431	222.486	154.011	160.802
2024	60.686	170.905	231.591	155.279	165.055

Yetiştiricilik yöntemi ile elde edilen su ürünlerinde alabalık miktar açısından birinci sıradadır. Özellikle denize kıyısı olmayan bölgelerdeki iç sularda daha fazla tercih edilmesi bu durumun nedenleri arasındadır. Yine levrek ve çipura yetiştiricilik sektörü açısından son derece önemli türlerdir.

Kaynak Yönetimi.**Tablo 11.** Balıklandırma (Sazan) Miktarları (BSGM., 2024).

Yıllar	Balıklandırılan		Balık Miktarı (adet)
	İl Sayısı	Kaynak Sayısı	
2002	28	200	5.540.000
2003	48	274	5.920.000
2004	57	338	6.000.000
2005	48	315	6.485.000
2006	49	317	6.550.000
2007	55	326	4.450.000
2008	56	330	4.730.000
2009	58	401	4.100.000
2010	58	451	5.150.000
2011	62	449	4.550.000
2012	39	498	3.500.000
2013	49	554	4.250.000
2014	32	328	4.030.000
2015	52	378	3.500.000
2016	55	541	5.000.000
2017	60	591	6.085.000
2018	60	686	6.000.000
2019	66	787	6.168.000
2020	65	833	6.691.150
2021	73	1.011	54.018.450
2022	75	1.178	76.373.300
2023	75	1.118	93.318.050
2024	74	1.118	78.859.000

Balıklandırma çalışmaları da on yıllarda hız kazanmış ve ülke genelinde önemli miktarlara ulaşmıştır. Bu durum sektörün geleceği açısından son derece önemlidir.

Ekonomik Veriler.

Su Ürünleri sektörü Dünya genelinde ülkelerin ekonomik faaliyetleri arasında yıllar içerisinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Ve ülkelerin sektöre yapmış oldukları yatırımlar durumun gelecekte daha da ileri düzeylere gideceği yönündedir.

Tablo 12. Su Ürünleri Üretim Miktar ve Değeri (TÜİK., 2024).

Yıllar	AVCILIK		YETİŞTİRİCİLİK		TOPLAM	
	Miktar (ton)	Değer (₺)	Miktar (ton)	Değer (₺)	Miktar (ton)	Değer (₺)
2000	503.345	367.840.650	79.031	139.552.950	582.376	507.393.600
2001	527.733	490.719.350	67.244	173.890.600	594.977	664.609.950
2002	566.682	630.759.100	61.165	212.248.000	627.847	843.007.100
2003	507.772	878.154.800	79.943	415.575.800	587.715	1.293.730.600
2004	550.482	1.120.965.400	94.010	520.603.300	644.492	1.641.568.700
2005	426.496	1.574.988.300	118.277	704.283.000	544.773	2.279.271.300
2006	533.048	1.706.983.000	128.943	766.229.750	661.991	2.473.212.750
2007	632.450	1.323.151.750	139.873	839.762.500	772.323	2.162.914.250
2008	494.124	1.097.178.400	152.186	850.646.080	646.310	1.947.824.480
2009	464.233	837.387.880	158.729	952.935.500	622.962	1.790.323.380
2010	485.939	1.078.515.200	167.141	1.066.778.600	653.080	2.145.293.800
2011	514.755	1.143.272.172	188.790	1.270.028.140	703.545	2.413.300.312
2012	432.442	1.209.028.426	212.410	1.605.293.700	644.852	2.814.322.126
2013	374.121	1.188.432.525	233.394	1.704.471.151	607.515	2.892.903.676
2014	302.212	1.099.749.495	235.133	2.160.070.890	537.345	3.259.820.385
2015	431.907	1.245.020.381	240.334	2.569.208.590	672.241	3.814.228.971
2016	335.320	1.340.878.317	253.395	3.239.320.980	588.715	4.580.199.297
2017	354.318	1.535.702.592	276.502	4.049.199.270	630.820	5.584.901.862
2018	314.094	1.852.664.426	314.537	5.606.828.410	628.631	7.459.492.836
2019	463.168	2.380.414.908	373.356	7.694.124.480	836.524	10.074.539.388
2020	364.400	2.848.969.147	421.411	10.859.581.980	785.811	13.708.551.127
2021	328.158	3.614.772.762	471.686	18.482.440.710	799.844	22.097.213.472
2022	335.003	6.931.544.788	514.805	42.047.930.280	849.808	48.979.475.068
2023	454.059	11.346.939.912	556.287	67.244.532.930	1.010.346	78.591.472.842
2024	355.995	22.309.727.710	577.124	106.026.648.000	933.119	128.336.375.710

Su Ürünleri sektörü Dünya genelinde her geçen sene varlığını hissettiren ve hızlı bir şekilde büyüyen sektörler arasında yer almaktadır. Bu durum sağlıklı beslenmeye olan talebin artması kadar ülke ekonomilerine pozitif faydanın da artmasıyla doğru orantılıdır. Özellikle son yıllarda elde edilen ekonomik faydalar sektörün gelişmesine hız kazandırmıştır.

Tablo 13. Türkiye'nin Su Ürünleri İthalat ve İhracatı (TÜİK., 2024).

Yıllar	İHRACAT			İTHALAT		
	Miktar (ton)	Değer (\$)	Değer (₺)	Miktar (ton)	Değer (\$)	Değer (₺)
2000	14.533	46.374.937	28.752.958	44.230	36.647.254	22.601.314
2001	18.978	54.487.312	68.838.077	12.971	11.295.373	11.917.561
2002	26.860	96.728.389	148.444.397	22.532	18.754.783	29.392.818
2003	29.937	124.842.223	186.152.895	45.606	32.636.120	48.123.816
2004	32.804	180.513.989	258.987.885	57.694	54.240.304	77.423.079
2005	37.655	206.039.936	277.963.150	47.676	68.558.341	92.425.248
2006	41.973	233.385.315	336.723.477	53.563	83.409.842	120.592.605
2007	47.214	273.077.508	356.293.408	58.022	96.632.063	126.432.371
2008	54.526	383.297.348	505.545.565	63.222	119.768.842	154.343.337
2009	54.354	318.063.028	494.899.926	72.686	105.822.852	163.633.104
2010	55.109	312.935.016	471.459.989	80.726	133.829.563	200.395.897
2011	66.738	395.306.914	664.333.252	65.698	173.886.517	290.826.203
2012	74.006	413.917.190	744.907.572	65.384	176.402.894	317.626.975
2013	101.063	568.207.316	1.083.243.678	67.530	188.068.388	359.490.196
2014	115.381	675.844.523	1.481.211.383	77.551	198.273.838	435.691.472
2015	121.053	692.220.595	1.879.701.163	110.761	250.969.660	685.467.749
2016	145.469	790.303.664	2.398.269.090	82.074	180.753.629	548.878.092
2017	156.681	854.731.829	3.128.112.446	100.444	230.111.248	841.383.610
2018*	177.500	951.793.070	4.578.607.932	98.315	188.965.220	898.860.692
2019	200.226	1.025.617.723	5.818.776.189	90.684	189.438.745	1.076.277.706
2020	201.375	1.064.877.338	7.525.105.681	85.269	156.929.169	1.101.957.132
2021	238.732	1.376.291.922	12.405.903.730	104.708	217.179.174	1.962.837.828
2022	251.416	1.651.496.218	27.480.845.109	115.189	312.980.444	5.292.097.820
2023	272.192	1.709.398.874	40.603.307.361	105.252	279.068.891	6.613.363.257
2024	312.397	2.015.924.620	66.370.298.811	120.237	289.264.292	9.537.683.718

Not: *2018 yılından itibaren 010690009011 ve 020890700000 nolu GTİP'ler eklenmiştir.
 **2021 yılı verileri geçicidir.

Türkiye su ürünleri sektörü ekonomik anlamda kendini geliştiren bir sektör olma yolunda hızlı adımlar atmaktadır. Denizleri ve iç suları açısından önemli bir potansiyele sahip olması kuşkusuz bu gelişimi hızlandırmaktadır.

Sonuç.

Türkiye su ürünleri sektörü yıllar içerisinde büyümüş ve hem elde edilen su ürünleri miktarı bakımından hem de ekonomik açıdan kendini geliştirmiştir. Bu durum ülke ekonomisi açısından son derece kıymetlidir. Avcılık yöntemi ile elde edilen su ürünleri miktarının yıllar içerisinde düşmesinde şüphesiz iklim değişikliği önemli bir faktördür. Yetiştiricilik sektöründeki gelişim gelecek açısından son derece ümit vericidir. Türkiye deniz ve iç sularının mevcut potansiyeli dikkate alındığında gelişimin devam edeceği öngörülebilir.

Kaynaklar.

Arslan, G., & Yıldız, P. O. (2021). Türkiye su ürünleri sektörüne genel bakış. *Memba Anonim. (2012). Su ürünleri sektör raporu. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 7(1), 46-57.

Tayar, M., Korkmaz, N.H. (2004). Beslenme ve Sağlıklı Yaşam. Akmat, Bursa. 42-48.

Yücecan, S., Baykan, S. (1981). Besin Kimyası. In: Besin Kontrol ve Analizleri, Milli Eğitim Yayınevi, Yayın No:5, s.51- 53, İstanbul.

TÜİK, 2022. Dış Ticaret İstatistikleri <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2024-54193> (Erişim tarihi: 09.09.2025).

BSGM (2024) 18/06/2026 Tarihinde
<https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Veri%20ve%20D%C3%B6k%C3%BCmanlar%C4%B1/Bsgm-istatistik.pdf>
adresinden erişilmiştir.

BÖLÜM 2

TOPRAK-SICAKLIK ETKİLEŞİMİNİN FİZİKSEL TEMELLERİ: ISIL ÖZELLİKLER, NEM VE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN DÜZENLEYİCİ ROLÜ

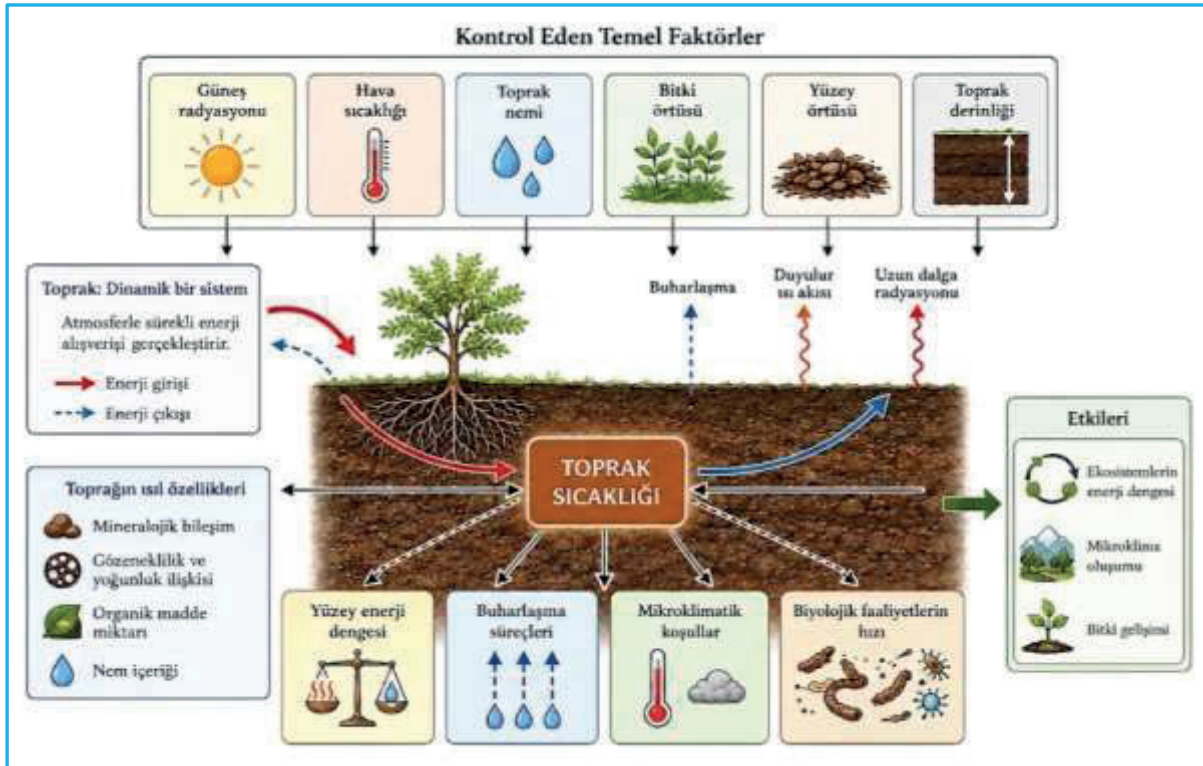
İlyas BOLAT¹, Melih ÖZTÜRK²

¹ Doç. Dr., Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmi ve Ekolojisi ABD, Bartın, ORCID ID: 0000-0002-5354-2968

² Prof. Dr., Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Peyzaj Teknikleri ABD, Bartın, ORCID ID: 0000-0001-8745-386X

1. GİRİŞ

Toprak, yalnızca bitkiler için bir büyüme ortamı olmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji akışının önemli bir deposu ve düzenleyicisi olarak da işlev görmektedir. Toprak sıcaklığı, kara ekosistemlerinde enerji, su ve karbon döngülerinin düzenlenmesinde kilit rol oynayan temel çevresel değişkenlerden biridir. Toprağın ısı özellikleri, yüzey enerji dengesi, buharlaşma süreçleri, mikroklimatik koşullar ve biyolojik faaliyetlerin hızını doğrudan etkilemektedir. Toprak sıcaklığındaki değişimler, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, toprak nemi, bitki örtüsü, yüzey örtüsü ve toprak derinliği gibi çok sayıda faktör tarafından kontrol edilmektedir. Bu çerçevede toprak, atmosferle sürekli enerji alışverişi içerisinde bulunan dinamik bir sistem olarak değerlendirilmektedir (Hillel, 1998). Dolayısıyla, bu temel faktörler, toprak-sıcaklık etkileşiminin ekosistemlerin enerji dengesi, mikroklima oluşumu ve bitki gelişimi üzerindeki belirleyici rolünü şekillendirmektedir (Hillel, 2004; Brady & Weil, 2017) (Şekil 1).



Şekil 1. Toprak sıcaklığının kontrol mekanizmaları ve ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkileri (Kaynak: Yazarlar tarafından ilgili literatür temel alınarak hazırlanmıştır.).

Toprak, yalnızca bitkiler ve mikroorganizmalar için bir yaşam ortamı olmakla kalmaz, aynı zamanda yüzeydeki enerji akışını düzenleyen bir termal tampon görevi de üstlenmektedir (Hillel, 2004). Bu termal davranış büyük ölçüde toprak özelliklerine bağlıdır. Nitekim, mineralojik bileşim, gözeneklilik-yoğunluk ilişkisi, organik madde miktarı ve nem içeriği gibi özellikler bu süreci şekillendiren başlıca etmenlerdir (Campbell & Norman, 2000; Zhu vd., 2019). Özellikle topraktaki organik maddenin ısı dinamikleri üzerindeki etkisi diğer etmenlere nispeten belirgin olarak ön plana çıkmaktadır. Organik madde, termal difüzyonu azaltarak ısının yayılma hızını sınırlamaktadır. Böylece, bu durum yüzey katmanlarının günlük ve mevsimsel sıcaklık değişimlerine karşı daha yavaş tepki vermesine neden olmaktadır (Zhu vd., 2019). Nem durumu da benzer şekilde önemli ve kritik bir değişkendir. Şöyle ki, su, toprak parçacıkları arasında iletken bir köprü oluşturmak suretiyle termal iletkenliği arttırmakta ve ısının toprak profiline daha hızlı taşınmasını sağlamaktadır (O'Donnell vd., 2009).

Toprak sıcaklığı, atmosferik koşullarla da doğrudan ilişkili olmakla birlikte, toprağın fiziksel özellikleri ve nem durumu bu ilişkinin yönünü ve şiddetini önemli ölçüde belirlemekte ve değiştirmektedir. Toprağın temel yapısal özellikleri arasında yer alan mineralojik bileşim ve gözeneklilik, toprağın ısıyı depolama ve iletme kapasitesini belirleyen faktörlerdendir. Örneğin, kil bakımından zengin topraklar yüksek ısı depolama potansiyeline sahip iken, iletkenlikleri ise nispeten düşüktür. Buna karşılık, kumlu topraklarda ise ısı depolama potansiyeli sınırlı iken, ısı iletkenliği daha yüksektir. Bu özellikler, kök bölgesindeki mikroklimayı şekillendirmekte ve dolayısıyla bitki gelişimi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Hillel, 2004; Brady & Weil, 2017).

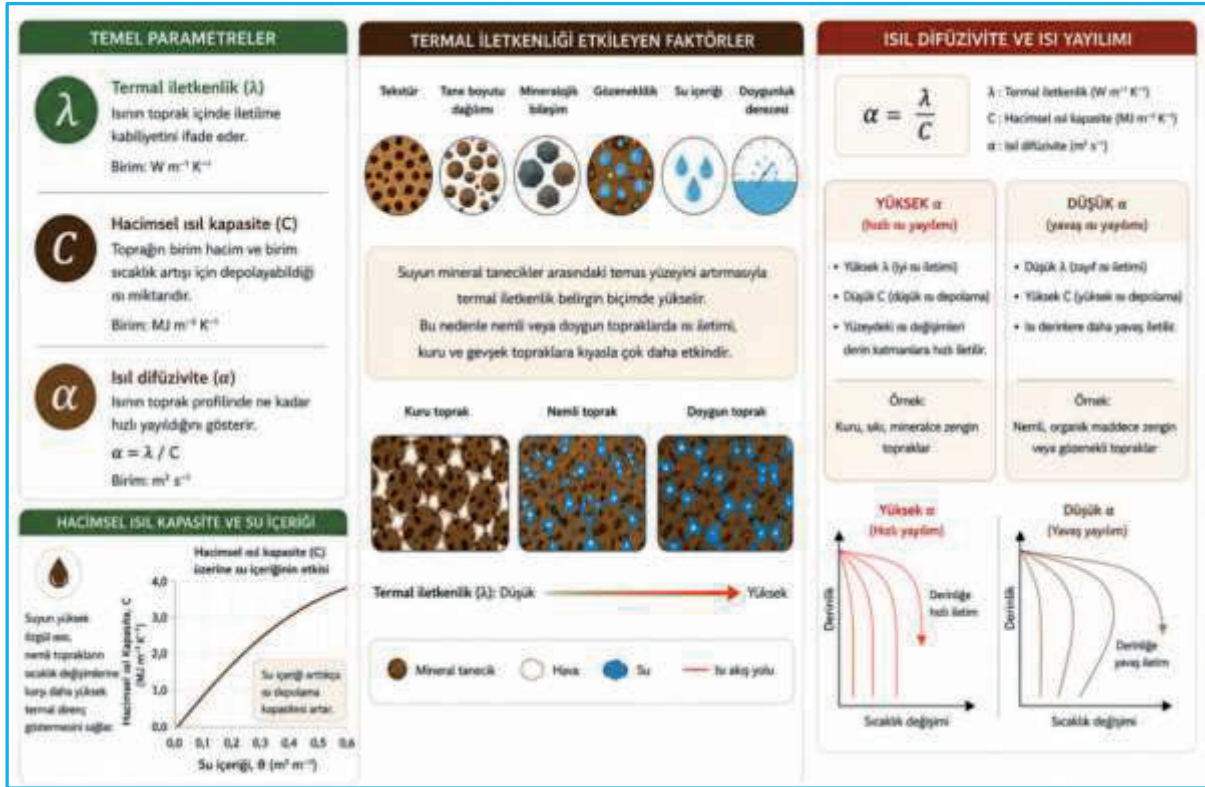
Sonuç olarak, toprak sıcaklığı, yalnızca atmosferik bileşimlerin ve olayların etkilediği bir meteorolojik unsur olmakla kalmayıp, toprağın hidrofiziksel ve yapısal özellikleriyle de sürekli etkileşim hâlinde olan dinamik bir değişkendir (Hillel, 2004; O'Donnell vd., 2009). Ayrıca, toprak sıcaklığı ile toprak nemi arasındaki karşılıklı etkileşimler, kara-atmosfer enerji alışverişi ile hidroiklimsel geri besleme mekanizmalarının düzenlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu etkileşimler, özellikle kuraklık ve sıcak hava dalgaları sırasında yüzey enerji dengesini etkileyerek sıcaklık ekstremlerinin şiddeti ve süresi üzerinde de belirleyici olabilmektedir (Seneviratne vd., 2010; Miralles vd., 2019).

Bu bölümde, toprak sıcaklığını kontrol eden temel fiziksel süreçler, toprak nemi, organik madde, bitki örtüsü ve yüzey özellikleri bağlamında değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu süreçlerin ekosistem işleyişi ve mikroklimatik düzenleme üzerindeki etkileri de güncel bilimsel literatür doğrultusunda tartışılmaktadır.

2. TOPRAKLARIN ISIL ÖZELLİKLERİ

Toprağın ısı davranışı, termal iletkenlik (λ), hacimsel ısı kapasite (C) ve bunlardan türetilen ısı difüzyon ($\alpha = \lambda / C$) gibi temel parametrelerle tanımlanmaktadır (Şekil 2). Termal iletkenlik, toprak tekstürü, tane boyutu dağılımı, mineralojik bileşim, gözeneklilik, su içeriği ve doymunluk derecesi gibi fiziksel ve hidrofiziksel faktörlerden etkilenmektedir. Bilhassa, suyun, mineral tanecikler arasındaki temas yüzeyini artırmasıyla termal iletkenlik belirgin biçimde yükselmektedir. Bu nedenle, nemli veya doymun topraklarda ısı iletimi, kuru ve gevşek topraklara kıyasla çok daha etkindir (Côté & Konrad, 2005; O'Donnell vd., 2009) (Şekil 2).

Hacimsel ısı kapasite, toprağın ısı depolama potansiyelini tanımlamaktadır ve büyük ölçüde toprağın mevcut su içeriğine bağlıdır. Dolayısıyla, suyun yüksek özgül ısı, nemli toprakların sıcaklık değişimlerine karşı daha yüksek termal direnç göstermesini sağlamaktadır (Campbell & Norman, 2000; Hillel, 2004). Isı difüzyon ($\alpha = \lambda / C$), ısıнын toprak profilinde ne kadar hızlı yayıldığını göstermektedir. Burada λ termal iletkenliği, C ise hacimsel ısı kapasiteyi temsil etmektedir (Hillel, 1998). Bu bağıntıya göre, yüksek iletkenlik ve düşük ısı kapasiteye sahip topraklarda yüzeydeki ısı değişimleri derin katmanlara hızlı iletilmektedir. Öte yandan, nemli, organik maddece zengin veya gözenekli yapıya sahip topraklarda ise difüzyon daha düşük olabilir ve ısıнын derinlere iletilmesi yavaşlamaktadır (Côté & Konrad, 2005) (Şekil 2).



Şekil 2. Toprağın temel ısıl parametreleri ile bu parametreleri etkileyen faktörler ve toprak profilindeki ısı yayılım mekanizmaları (Kaynak: Yazarlar tarafından ilgili literatür temel alınarak hazırlanmıştır.).

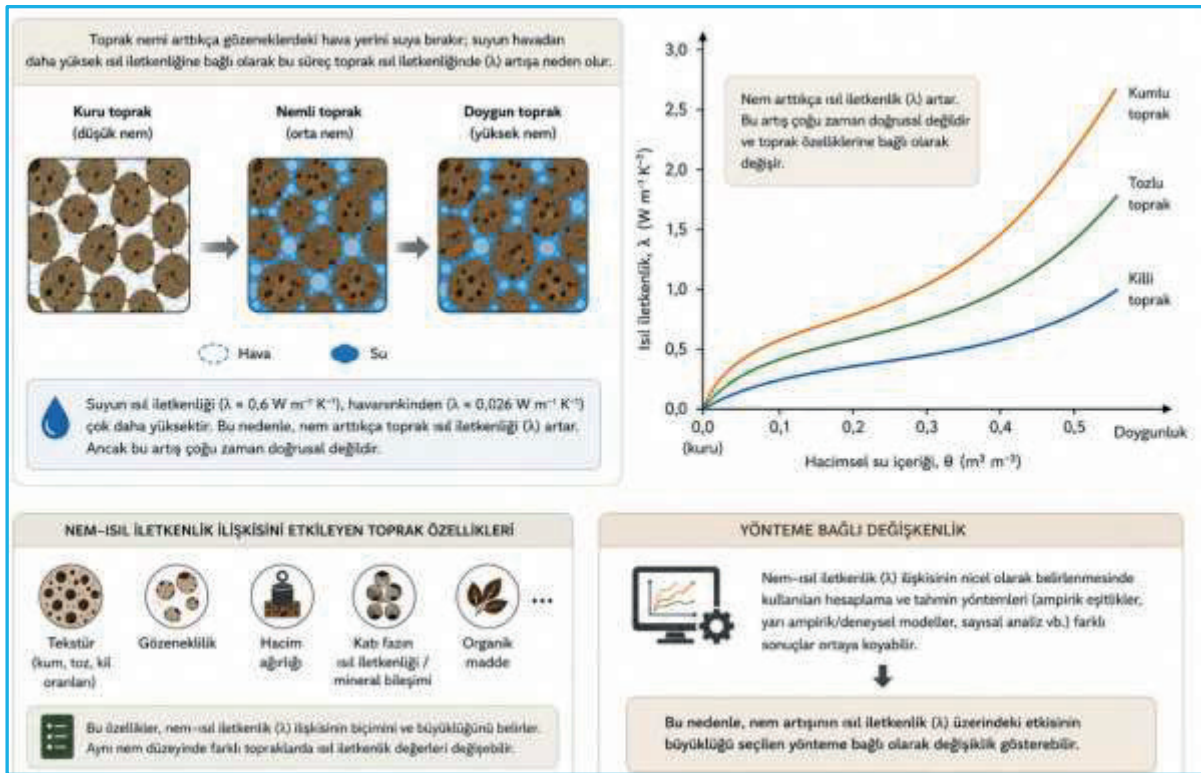
Toprakların ısıl özellikleri yalnızca toprakların mevcut nem içeriğine değil, mineralojik bileşim, tane boyutu dağılımı, gözeneklilik, toprak tekstürü, hacim ağırlığı, elektriksel iletkenlik ve organik madde gibi çok sayıda fiziksel ve kimyasal özelliğe bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Zhu vd., 2019; Wu vd., 2025) (Şekil 2). Bu nedenle, eşit nem düzeyine sahip farklı toprak tipleri bile ısı iletkenliği ve ısıl difüzyon açısından belirgin şekilde farklı tepkiler verebilir. Bu farklılıklar, toprak-atmosfer enerji dengesi, kök bölgesi mikroklimasının oluşumu, bitki köklerinin sıcaklık rejimine tepkileri ve su-ısı etkileşiminin modellenmesi gibi kritik ekosistem süreçlerini doğrudan etkiler. Nitekim, Ekberli vd. (2021) ısı iletkenliği ve ısıl difüzyon ile gözeneklilik, nem, organik madde, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik arasındaki ilişkileri regresyon modelleriyle nicel olarak ortaya koymuştur. Dolayısıyla, bu karmaşık etkileşimlerin bütüncül değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamıştır.

Sonuç olarak, λ , C ve α parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, toprak ısıısının mekânsal ve zamansal heterojenliğini anlamak adına kritik öneme sahiptir. Toprağın ısıl rejimi, statik bir özellik olmayıp, mineralojik bileşim gibi yapısal etmenlerin yanı sıra toprak strüktürü, gözeneklilik ve değişken nem içeriği tarafından dinamik biçimde şekillenen bir süreçtir. Bu parametreler, yüzey enerji dengesi, kök bölgesi mikrokliması, buharlaşma dinamikleri ve bitki gelişimi gibi ekosistem süreçlerinin temel belirleyicisi olarak işlev görmektedir.

3. TOPRAK NEMİNİN TERMAL DAVRANIŞA ETKİSİ

Toprak nemi, toprak-sıcaklık etkileşiminin önemli belirleyicilerinden biridir. Nem arttıkça gözeneklerdeki hava yerini suya bırakmaktadır. Nitekim, suyun havadan daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmasına bağlı olarak, bu süreç toprak ısı iletkenliğinde artışa neden olmaktadır. Ancak bu artış, çoğu zaman doğrusal değildir ve toprak tipi, gözeneklilik, tekstür (kum, toz ve kil oranları) ve tane yoğunluğu gibi fiziksel özelliklere bağlı olarak değişmektedir (Tong vd., 2016; Dai vd., 2019) (Şekil

3). Ayrıca, nem–ısı iletkenliği ilişkisinin nicel olarak belirlenmesinde kullanılan hesaplama ve tahmin yöntemleri de farklı sonuçlar ortaya koyabildiğinden, nem artışının ısı iletkenlik üzerindeki etkisinin derecesi, seçilen yöntemle bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin, aynı deneysel veri seti üzerinde yapılan farklı hesaplama yöntemleriyle (analitik, nümerik–sayısal, dereceli–sıcaklık gradyanı vb.) ısı iletkenlik ve difüzyon değerleri arasında %15–35 oranında farklar saptanmıştır (Romio vd., 2022) (Şekil 3). Bu nedenle, nem–ısı iletkenliği ilişkisi her koşulda sabit bir eğilim göstermeyebilir ve belirli toprak koşullarında daha sınırlı bir artış gözlenebilir. Örneğin, sıcak havalarda toprak nemi azalabilir ve nemin azalması ısı iletkenliğini düşürerek toprağın yüzeyinin daha hızlı ısınmasına yol açabilir. Zhang vd. (2022) model simülasyonlarına göre, toprak neminde %1’lik bir azalma, toprak yüzey sıcaklığında 0,08–0,43 °C artışa neden olmakta ve nemin artması, sıcaklık değişkenliğini azaltmaktadır. Güneş radyasyonundaki mevsimsel değişimlere bağlı olarak, bu duyarlılığın haziran–temmuz döneminde en yüksek, eylül ayında ise en düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, farklı başlangıç koşulları, yani simülasyon veya ölçüm başlangıcındaki toprak nemi, sıcaklık ve diğer özellikler, sıcaklık tepkisini etkilemektedir. Örneğin, başlangıçtaki günlük ortalama toprak sıcaklığının yüksek olması, nemin azalmasının yüzey sıcaklığını artırma etkisini güçlendirebilmektedir. Bu süreçte güneşlenme süresinin artışı, yaprak alan indeksi (YAI) azalması, toprak yoğunluğu ve ısı kapasitesindeki değişimler de yüzey sıcaklığının yükselmesine katkıda bulunabilmektedir. Yüzeyin daha hızlı ısınması ise buharlaşmayı artırarak nemin daha da azalmasına yol açabilir ve potansiyel olarak sürecin kendini tekrar etmesine (döngüsel bir etkiye) neden olabilmektedir.



Şekil 3. Toprak ısı iletkenliğinin nem içeriğine bağlı değişimi ve etki eden faktörler (Kaynak: Yazarlar tarafından ilgili literatür temel alınarak hazırlanmıştır.).

Nem artışı aynı zamanda toprağın hacimsel ısı kapasitesini yükseltmektedir. Suyun yüksek özgül ısısı sayesinde nemli topraklar daha fazla ısı depolayabilmekte ve böylece günlük ve mevsimsel sıcaklık değişimlerini azaltarak yüzey altı ısısal rejimin daha kararlı seyretmesine katkı sağlamaktadır (Ochsner vd., 2001). Bu sonuçlar hem kontrollü laboratuvar deneyleri hem de farklı toprak tekstür sınıflarını (kum, toz ve kil oranları bakımından farklılaşan toprakları) kapsayan modern deneysel çalışmalar tarafından desteklenmektedir (Alnefaie & Abu–Hamdeh, 2020; Onwuka vd., 2021). Ayrıca, son çalışmalar, toprakların ısı iletkenliklerinin yalnızca neme değil, tekstür (kil–toz–kum

oranı), organik madde içeriği, hacimsel nem, hacim ağırlığı ve tane yoğunluğu gibi fiziksel özelliklere de duyarlı olduğunu göstermektedir. Örneğin, kil ve organik maddece daha zengin topraklarda, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğinin bu değişkenlere bağlı olarak anlamlı düzeyde değiştiğini ve kurulan regresyon modellerinde yüksek anlamlılık ($R^2 \approx 0,70-0,90$) elde edildiğini bildirmektedir. Dolayısıyla, elde edilen bütün bu bulgular, toprak tekstürü ve bileşimindeki farklılıkların toprağın termal davranışı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını da ortaya koymaktadır (Ekberli vd., 2021) (Şekil 3).

Toprak nemi, faz değişimi süreçleri (donma-çözülme) yoluyla da sıcaklık dinamiklerini etkileyebilmektedir. Donma sırasında açığa çıkan ve çözülme sırasında soğurulan gizli ısı, toprak-atmosfer enerji dengesinde önemli rol oynamaktadır. Nitekim bu mekanizma, özellikle mevsimsel donların görüldüğü bölgelerde yüzey altı ısı iletimini belirgin şekilde değiştirmektedir (Côté & Konrad, 2005; Li vd., 2021). Modern arazi yüzeyi modelleri ise bu tür faz-temelli etkileri daha gerçekçi biçimde temsil edebilmek için ısı iletkenliği şemalarını geliştirmektedir (Dai vd., 2019). Sonuç olarak, toprak nemi ile sıcaklık arasında güçlü ve çift yönlü bir geri besleme bulunmaktadır. Sıcaklığın artması buharlaşmayı hızlandırarak toprak neminin azalmasına yol açarken, nem kaybı ise ısı iletkenliğini düşürerek yüzeyin daha hızlı ısınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kuraklık, sulama uygulamaları, toprak işleme pratikleri ve bitki örtüsü değişimleri gibi süreçlerin değerlendirilmesinde toprak nemi-sıcaklık etkileşiminin dinamik yapısı mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Hillel, 1998; Onwuka vd., 2021).

3.1. Toprak Nem Rejimi ve Su-Isı Etkileşimi

Hava sıcaklığı, toprakta suyun buharlaşma ve evapotranspirasyon süreçlerini hızlandırarak potansiyel evapotranspirasyonun artmasına ve buna bağlı olarak toprak suyunun atmosfere geri dönüşünün yoğunlaşmasına yol açmaktadır. Özellikle, toprak neminin kısıtlayıcı olduğu bölgelerde, azalan evapotranspirasyon yüzeyden havaya doğrudan ısı transferini (hissedilen ısı akışı) arttırmaktadır. Buna bağlı olarak, hava sıcaklığı yükselmekte ve artan sıcaklık buharlaşma potansiyelini daha da artırarak topraktan su kaybını hızlandırmaktadır (Seneviratne vd., 2010). Sıcaklık artışlarının potansiyel evapotranspirasyonu belirgin biçimde yükselttiği ve bunun da özellikle yarı kurak veya nem açısından kısıtlı bölgelerde toprak nem içeriğinde azalmaya neden olduğu, farklı iklim koşullarında yürütülen çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu konuda Mondal ve diğerleri (2024), sıcaklığa duyarlı potansiyel evapotranspirasyon bileşenlerinin toprak-atmosfer arasındaki su alışverişini hızlandırdığını ve bu sürecin, yağış girdilerinde kayda değer bir değişim olmaksızın dahi toprak neminde azalma eğilimini güçlendirerek toprak neminin mevsimsel ve yıllık değişkenliğinin artmasına neden olduğunu ortaya koymuştur.

Bu genel ilişkinin saha ölçeğinde test edildiği uzun dönemli bir çalışmada, çakıl-kum malçlaması uygulanan toprak koşulları altında toprak sıcaklığı ile toprak nemi arasındaki ilişkinin özellikle üst ve orta toprak katmanlarında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Han vd., 2025). Söz konusu çalışmada, 0–25 cm derinliklerde ölçülen toprak sıcaklığı ile 20–40 cm derinlikteki toprak nem içeriği arasında istatistiksel olarak anlamlı ve negatif korelasyonlar saptanmıştır. Neticede, 5, 10, 15, 20 ve 25 cm toprak derinlikleri için korelasyon katsayıları da sırasıyla –0,34, –0,58, –0,50, –0,52 ve –0,47 olarak rapor edilmiştir. İlgili çalışmada, ilk yüzey katmanı (5 cm) dışında kalan tüm toprak katmanları için, bütün korelasyonların 0,01 anlamlılık düzeyinde güvenilir olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, 10–25 cm derinlik aralığındaki toprak sıcaklığının 0–20 cm derinlikteki toprak nemi ile de anlamlı negatif ilişkiler sergilediği ve bu ilişkinin güvenilirlik derecesinin derinliğe bağlı olarak sırasıyla 0,01 ile 0,05 anlamlılık düzeyleri ($p < 0,01$ ve $p < 0,05$) arasında değiştiği de belirtilmiştir (Han vd., 2025). Buna karşılık, toprak sıcaklığı ile 40 cm'nin altındaki derinlikteki toprak nemi arasındaki korelasyonun derinlikle birlikte zayıfladığı ve sıcaklığın etkisinin de derin toprak katmanlarında belirgin biçimde azaldığı ifade edilmiştir (Han vd., 2025). Bu bulgular, hava ve toprak sıcaklığının toprak nem rejimi

üzerindeki düzenleyici etkisinin özellikle yüzeye yakın katmanlarda yoğunlaştığını ve sıcaklığa bağlı su kayıplarının derinlikle birlikte kademeli olarak azaldığını göstermektedir.

Bu durumu destekleyen modelleme çalışmalarında, simülasyon sonuçlarının toprak sıcaklığı ve toprak nemindeki zamansal değişimlerini güvenilir biçimde temsil edebildiği ortaya konulmaktadır. Bu bağlamda, saha gözlemlerine dayalı olarak elde edilen nicel ilişkiler, toprak-su-ısı etkileşimini temsil eden sayısal modellerin geliştirilmesi ve doğrulanması açısından temel bir referans oluşturmaktadır. Nitekim Zhang vd. (2022), simüle edilen (model tarafından tahmin edilen) ve gözlenen değerlerin yüksek düzeyde uyum gösterdiğini ve geliştirilen modelin toprak nemi ile sıcaklığındaki değişimleri başarıyla temsil edebildiğini bildirmiştir. Çalışmada model performansı Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE) ve Uyum İndeksi (C) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, RMSE değerlerinin toprak nemi için 0,0067–0,017 kg kg⁻¹, toprak sıcaklığı için ise 0,43–1,06°C aralığında olduğu belirlenirken, NSE ve C değerlerinin tüm uygulamalarda sırasıyla 0,26 ve 0,70'in üzerinde gerçekleştiği rapor edilmiştir. Ayrıca, en başarılı simülasyon sonuçlarının elde edildiği uygulamalarda (N1 ve N3) NSE değerlerinin 0,70–0,76, C değerlerinin ise 0,91–0,92 aralığında olması, model çıktılarının gözlemsel verilerle yüksek düzeyde örtüştüğünü ortaya koymuştur. Bu performans göstergeleri birlikte değerlendirildiğinde, modelin toprak nemi ve sıcaklığı dinamiklerini güvenilir bir doğrulukla temsil edebildiği ve toprak-su-ısı etkileşimlerinin analizinde etkin bir araç olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca, toprak nemindeki azalmaların yüzey sıcaklığını artırdığı, artan sıcaklığın ise evapotranspirasyonu yoğunlaştırarak toprak neminde ilave kayıplara yol açtığı ve bu sürecin toprak sıcaklığı ile toprak nemi arasında pozitif bir geri besleme mekanizması oluşturduğu da ortaya konulmuştur. Toprak hidrotermal etkileşim sürecinde, toprak nemi arttıkça nemdeki %1'lik bir değişimin toprak yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin azaldığı, buna karşılık toprak nemindeki her %1'lik azalışın, güneşlenme koşullarına bağlı olarak toprak yüzey sıcaklığında 0,08–0,43°C arasında bir artışa neden olduğu da belirtilmektedir.

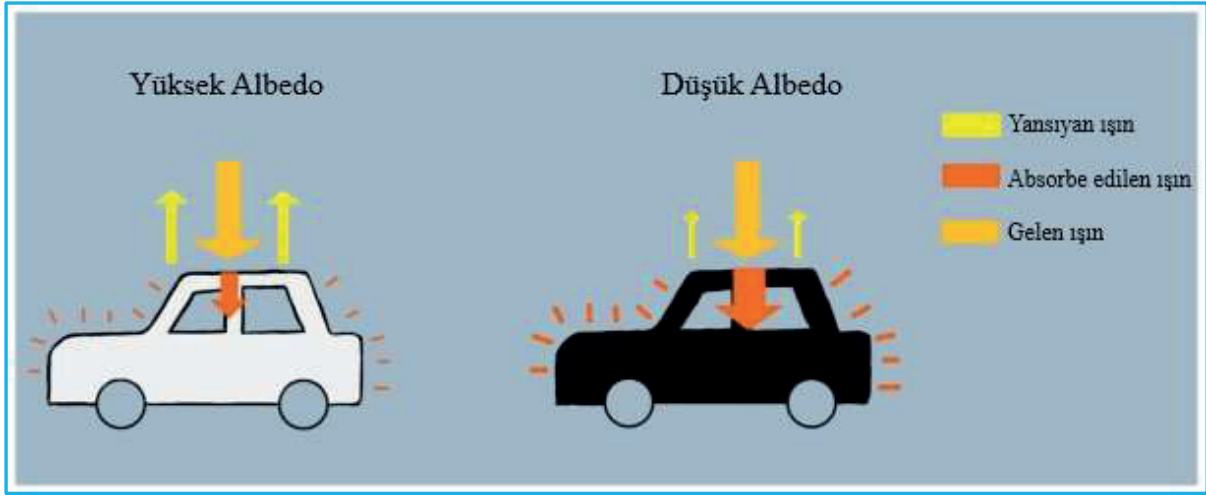
4. BİTKİ ÖRTÜSÜ VE YÜZEY ÖRTÜSÜNÜN TERMAL DÜZENLEYİCİ ROLÜ

Bitki örtüsü, toprak sıcaklığı ve ısı denge üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı mekanizmalar yoluyla etkin bir düzenleyici işlev görmektedir. Doğrudan etkiler arasında gölgeleme ve rüzgâr akımlarının zayıflatılması öne çıkmaktadır. Gölgeleme etkisiyle, gelen kısa dalga radyasyonunun önemli bir kısmını sınırlandırarak gündüz yüzeyin aşırı ısınmasını engellemektedir.; Öte yandan, bitki örtüsü gece ise uzun dalga radyasyon kaybını azaltarak ani soğumaları sınırlamaktadır. Rüzgârın engellenmesi sayesinde konvektif ısı kaybını azaltmakta ve özellikle gece saatlerinde toprak sıcaklığının daha yüksek kalmasına katkıda bulunmaktadır (Myers-Smith & Hik, 2013; De Frenne vd., 2021). Bu mekanizmaların birleşik etkisi, farklı ekosistemlerde yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Örneğin, Akdeniz'in kurak ve yarı kurak bölgelerinde yapılan çalışmalarda, vejetasyon altında ölçülen toprak sıcaklıkları açık alanlara göre yaklaşık 7 °C daha düşük bulunmuş ve toprağın ısısal dalgalanmaları belirgin şekilde zayıflamıştır (Lozano-Parra vd., 2018). Benzer biçimde, Myers-Smith & Hik (2013) tarafından tundra ekosistemlerinde gerçekleştirilen çalışmada, çalı örtüsü altındaki toprak sıcaklıkları açık tundra alanlarına göre yaz aylarında yaklaşık 2 °C daha düşük gözlenmiştir. Bambu toplulukları üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, bitki örtüsünün toprak sıcaklığına etkisi mevsimsel olarak nicel biçimde ortaya konmuştur (Ma vd., 2023). Yaz döneminde, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda ölçülen toprak sıcaklıklarının, bitki örtüsünden yoksun alanlara kıyasla 5 cm derinlikte 3,0–3,8°C, 10 cm'de 2,4–3,4 °C ve 20 cm'de 2,3–3,0 °C daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Bu bulgu, bitki örtüsünün gölgeleme etkisinin ve evapotranspirasyonun toprak ısınımsı belirgin şekilde düşürdüğünü göstermektedir. Aynı çalışmanın kış dönemi verileri ise, bitki örtüsü altında 5 cm derinlikte 0,1–0,4°C, 10 cm'de 0,1–0,6°C ve 20 cm'de 0,2–0,7°C arasında daha yüksek sıcaklıkların ölçüldüğünü ortaya koymuştur (Ma vd., 2023). Bu durum, bitki örtüsünün yalnızca yazın serinletici değil, aynı zamanda kışın yalıtıcı bir etki sağlayarak toprak sıcaklığının aşırı düşmesini engellediğini göstermektedir (Ma vd., 2023). Bu sonuçlar, farklı iklim ve vejetasyon

tiplerinde bile bitki örtüsünün toprak sıcaklığını doğrudan düzenleyici etkisinin küresel bir mekanizma olduğunu göstermektedir.

4.1. Toprak Rengi, Albedo ve Yüzey Enerji Dengesi

Toprak yüzeyinin optik özellikleri, özellikle albedo değeri, yüzey enerji dengesi ve toprak sıcaklığı dinamikleri üzerinde önemli bir kontrol mekanizması oluşturmaktadır. Kökeni Latince’de “beyazlık” anlamına gelen “albus” kelimesine dayanan ve bilimsel literatürde ilk kez 1760 yılında İsviçreli bilim insanı Johann Heinrich Lambert’in optik üzerine yazdığı tezde yer bulan albedo kavramı, en yalın anlamıyla bir yüzeyin yansıtma kapasitesini ifade etmektedir (Bolat, 2025) (Şekil 4). Bu kavram bazen “%” bazen de “r” terimleri ile belirtilmektedir. Günümüz modern klimatoloji ve toprak fiziği çalışmalarında ise bu terim, yüzeye ulaşan kısa dalga güneş radyasyonunun yansıtılan kısmını tanımlamakta olup, toprağın rengi, mineralojik bileşimi, organik madde içeriği, nem durumu ve yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir (Bonan, 2016; Bolat, 2025). Açık renkli ve yüksek albedolu yüzeyler güneş radyasyonunun daha büyük bir bölümünü yansıtarak daha düşük yüzey sıcaklıklarının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, koyu renkli veya düşük albedolu yüzeyler daha fazla radyasyon soğurmak-absorbe etmek suretiyle yüzeyin ve üst toprak katmanlarının daha fazla ısınmasına neden olmaktadır (Oke vd., 2017).



Şekil 4. Farklı yüzey yansıtımalarının (albedo) mikroklimatik termal rejim üzerindeki etkisi: Yüksek albedoya sahip açık renkli (beyaz) bir yüzey, üzerine gelen kısa dalga güneş radyasyonunun büyük bir kısmını yansıtarak radyasyona bağlı enerji kazancını sınırlandırırken, düşük albedolu koyu renkli (siyah) bir yüzey, gelen enerjiyi yüksek oranda absorbe etmekte ve hissedilen ısı akışı artışına bağlı olarak daha yüksek bir yüzey sıcaklığı sergilemektedir (Esters vd., 2023’ten değiştirilerek gösterilmiştir.)

Toprak nemi de albedo üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Nem arttıkça toprak yüzeyi genellikle daha koyu hâle gelmekte ve albedo değeri düşmektedir. Bu durum daha fazla kısa dalga radyasyonunun absorbe edilmesine yol açmaktadır. Ancak eş zamanlı olarak artan buharlaşma ve yükselen hacimsel ısı kapasite, yüzey sıcaklığındaki aşırı artışları kısmen sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, albedo ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki yalnızca radyasyona bağlı süreçlerle değil, aynı zamanda nem-ısı etkileşimleri ve latent (saklı) ısı akışlarıyla birlikte değerlendirilmelidir (Seneviratne vd., 2010; Miralles vd., 2019). Nitekim, toprak nem içeriği ile albedo arasındaki bu doğrusal olmayan ilişki, tarla kapasitesi sınırına kadar olan nemlilik seviyelerinde rengin koyulaşmasıyla albedonun azalması şeklinde belirginleşmektedir (Bolat, 2025). Ancak tarla kapasitesinin üzerindeki nem düzeylerinde ise, agregat yüzeyinde oluşan su tabakası parlak ve daha iyi yansıtıcı bir yüzey meydana getirerek albedo değerinin yeniden yükselmesine yol açmaktadır. Bu dinamik süreç, farklı tekstür sınıflarındaki topraklar arasında belirgin albedo farklılıklarının ortaya

çıkmasının ana nedenidir. Öyle ki, kuru durumdayken %15–45 aralığında değişen kum albedosu ıslak koşullarda %20–30 seviyelerine gerilemektedir. Kil topraklarda kuru koşullarda %15–35 arasında değişen albedo değeri, toprak neminin artmasına bağlı olarak %10–25 aralığına kadar düşebilmektedir. Genel bir ifadeyle, kuru topraklarda %15–35 arasında seyreden yansıtma oranı, nemli ve koyu renkli topraklarda %5–15 düzeyine kadar inerek yüzey enerji dengesini doğrudan değiştirmektedir (Bolat, 2025).

Bitki örtüsü ve organik yüzey örtüleri de albedo özelliklerini değiştirerek yüzey enerji dengesini dolaylı biçimde düzenlemektedir. Bitki örtüsünün gelişmesiyle birlikte yüzeyin optik özellikleri değişmekte, gölgeleme, radyasyonun yeniden dağılımı ve evapotranspirasyon süreçleri birlikte sinerjik olarak yüzey sıcaklığı dalgalanmalarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle çıplak toprak yüzeylerinde albedo değişimlerinin daha belirgin sıcaklık tepkilerine neden olduğu, buna karşılık yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda enerji paylaşımının daha dengeli gerçekleştiği bildirilmektedir (Bonan, 2016; De Frenne vd., 2021).

Sonuç olarak, toprak rengi ve albedo özellikleri, gelen güneş radyasyonunun yüzey tarafından ne ölçüde soğurulacağını belirleyerek toprak sıcaklığı rejimi, buharlaşma süreçleri ve mikroklimatik koşullar üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle albedo, özellikle kuraklık, arazi örtüsü değişimi ve iklim değişikliği çalışmalarında dikkate alınması gereken temel yüzey özelliklerinden biridir. Albedo–temelli yansıma mekanizmalarına ek olarak, bitki örtüsü gölgeleme etkisi yoluyla toprak yüzeyine ulaşan enerji miktarını da doğrudan düzenlemektedir. Bu nedenle, bitki örtüsünün gölgeleme etkisi ve radyasyon şiddetinin azaltılmasına ilişkin süreçler aşağıdaki bölümde ayrıca değerlendirilmiştir.

4.2. Gölgeleme ve Radyasyon Şiddetinin Azaltılması

Bitki örtüsü, özellikle üst yaprak tabakası ve taç örtüsü aracılığıyla, gelen kısa dalga güneş radyasyonunun önemli bir bölümünü soğurarak veya yansıtarak toprak yüzeyine ulaşan net radyasyonu azaltır. Bu mekanizma, gündüz saatlerinde toprak yüzeyinin aşırı ısınmasını engelleyerek hem maksimum toprak sıcaklığını hem de yüzey–yer altı arasındaki ısı akışını düşürür. Aynı zamanda, bitki örtüsü uzun dalga radyasyon kaybını sınırlayarak gece soğumasını yavaşlatmaktadır. Bu nedenle örtülü alanlarda günlük sıcaklık aralığı belirgin şekilde daralır ve toprak daha kararlı bir ısı rejimine sahip olur. Bu düzenleyici etkiler, özellikle yaz aylarında gölgelemenin baskın olduğu koşullarda belirginleşmektedir. Öte yandan, kış aylarında ise bitki örtüsü uzun dalga boylu radyasyon yoluyla gerçekleşen (radyasyona bağlı) yalıtım görevini üstlenerek aşırı soğumayı sınırlamaktadır. Dolayısıyla bitki örtüsü, gün boyunca hem serinletici hem de gece boyunca ısı koruyucu bir mikroiklim etkisi oluşturan çift yönlü bir ısı düzenleyici olarak işlev görmektedir (Ni vd., 2019). Orman örtüsü, gündüz gelen kısa dalga radyasyonunun önemli bir kısmını soğurarak veya yansıtarak yüzeye ulaşmasını sınırlandırmaktadır. Bununla birlikte, buharlaşma–terleme (evapotranspirasyon) süreçleri yoluyla gerçekleşen soğutma etkisi ise maksimum toprak ve hava sıcaklıklarının düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, açık alanlarla karşılaştırıldığında orman altında maksimum sıcaklıklar ortalama olarak yaklaşık 4,1°C daha düşük ölçülmektedir. Gece veya soğuk dönemlerde ise bitki örtüsü, uzun dalga boylu radyasyon kaybını kısıtlayarak ısı kaybını yavaşlatmakta ve minimum sıcaklıkların ortalama olarak yaklaşık 1,0°C daha yüksek seyretmesine neden olmaktadır. Bu sayede hem gündüz meydana gelen aşırı ısınmalar hem de gece gerçekleşen ani sıcaklık düşüşleri sınırlandırılarak mikroiklim koşullarının daha kararlı bir yapıya kavuşması sağlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bitki örtüsü çift yönlü bir ısısal tampon işlevi görmektedir (De Frenne vd., 2021).

Bitki örtüsünün toprak sıcaklığı üzerindeki düzenleyici etkisi, geniş kapsamlı saha gözlemleriyle nicel olarak ortaya konmuştur. He vd. (2024), farklı bitki örtüsü yoğunluklarına sahip kumul ekosistemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, toprak sıcaklığının mevsimsel salınım genliğinin,

örtüsüz alanlara kıyasla orta yoğunlukta bitki örtüsü bulunan alanlarda yaklaşık 2,4°C, yüksek yoğunlukta örtü bulunan alanlarda ise yaklaşık 4,9°C azaldığını rapor etmiştir (He vd., 2024). Bu azalış, vejetasyonun yaz dönemlerinde aşırı ısınmayı ve kış dönemlerinde aşırı soğumayı sınırlandırarak ekstrem sıcaklık değerlerini tamponladığını göstermektedir. Dolayısıyla, artan bitki örtüsü yoğunluğu, toprak sıcaklık dalgalanmalarının boyutunu (genliğini) etkin biçimde daraltarak toprak ısı rejiminin daha kararlı bir yapıda seyretmesine imkân tanımakta ve mikroiklim üzerinde koruyucu bir rol üstlenmektedir (He vd., 2024).

4.3. Evapotranspirasyon ve Buharlaşma ile Soğutma

Bitki örtüsü, kara yüzeyinin enerji ve su dengesini düzenleyerek toprak ve toprağa yakın olan yüzey termal koşulları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki büyük ölçüde evapotranspirasyon süreçleriyle ilişkilidir. Bitkilerin transpirasyon yoluyla ve toprak yüzeyinin buharlaşma yoluyla atmosfere su buharı vermesi sırasında, yüzeye ulaşan enerjinin önemli bir bölümü latent (saklı) ısı akışı (suyun buharlaşması sırasında tüketilen gizli enerji) olarak kullanılmakta ve bu durum yüzeyin ısınmasını sınırlandırmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, özellikle toprak neminin yeterli olduğu koşullarda evapotranspirasyonun yüzey enerji dengesinde hissedilebilir ısı akışının (yüzey ve havanın doğrudan ısınmasına yol açan hissedilebilir enerji (yüzey ve havanın doğrudan ısınmasına yol açan hissedilebilir enerji) payını azaltarak latent (saklı) ısı akışını artırdığını ve bu enerji bölüşümünün yüzey ile toprak sıcaklıklarının düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Miralles vd., 2019; Seneviratne vd., 2021).

Bitki örtüsünün bu soğutucu etkisi, maksimum sıcaklıkların baskılanması ve günlük sıcaklık dalgalanmalarının azalması şeklinde de kendini göstermektedir. Uydu temelli analizler, yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda yüzey ve yüzeye yakın termal koşullarının daha düşük olduğunu gösterirken (Ziter vd., 2019), saha ölçümleri bitki örtüsü bulunan alanlarda toprak sıcaklıklarının ve sıcaklık aralığının azaldığını ortaya koymaktadır (Lozano–Parra vd., 2018). Buna karşılık, toprak neminin azaldığı koşullarda latent (saklı) ısı akışının (suyun buharlaşması sırasında tüketilen enerji) sınırlandığı ve enerji paylaşımının hissedilebilir ısı akışı (yüzey ve havanın doğrudan ısınmasına yol açan duyulur enerji) lehine kaydığı gösterilmiştir. Bu durumun, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprak sıcaklıklarının artması ve sıcaklık ekstremlerinin güçlenmesiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (García–García vd., 2023). Söz konusu çalışmada, buharlaşmaya bağlı soğutmanın (toprak yüzeyinden buharlaşma–evaporasyon ve bitkiler aracılığıyla gerçekleşen transpirasyon yoluyla yüzeyden enerji uzaklaştırılması) zayıflamasıyla birlikte toprak sıcaklıklarının hava sıcaklıklarına kıyasla daha hızlı ve daha aşırı değerlere ulaşabildiği ortaya konmuştur. Ayrıca bu mekanizmanın, kuraklık koşulları altında gözlenen toprak ısı ekstremiteilerinin şiddetini artıran temel süreçlerden biri olduğu da vurgulanmaktadır (García–García vd., 2023).

Akdeniz ve yarı kurak iklim bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalar, bitki örtüsü ve toprak neminin ortak etkisiyle üst toprak katmanlarında toprak sıcaklığı genliğinin (maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki fark) azaldığını ve sıcaklık dalgalanmalarının belirgin biçimde baskılandığını göstermektedir (Lozano–Parra vd., 2018). Bu kapsamda elde edilen bulgular, toprak nemi ve bitki örtüsünün toprak sıcaklıklarını düzenlemede temel bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Gündüz saatlerinde ve düşük toprak nemi koşullarında, maksimum toprak sıcaklıklarının ağaç örtüsü altındaki hava sıcaklığına kıyasla ortalama 7,1°C daha düşük olduğu, buna karşılık çayır alanlardaki maksimum toprak sıcaklıklarının havadan yaklaşık 4,2°C daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Toprak neminin azalmasıyla birlikte toprak sıcaklıklarının arttığı, ancak bu artışın ağaç örtüsü altında çayır alanlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha zayıf kaldığı ifade edilmektedir (Lozano–Parra vd., 2018). Ayrıca hem yüksek toprak su içeriğinin hem de gölgeleme etkisinin, maksimum toprak sıcaklıklarının yanı sıra günlük toprak sıcaklığı genliğinin azalmasına katkı sağladığı da ortaya konmuştur. Çalışmada, iklim değişikliğiyle birlikte toprak nemi açıklarının daha sık görülmesi durumunda, toprak sıcaklığı değişkenliğinin artabileceği ve bunun

hidrometeorolojik süreçler ile yerel iklim üzerinde etkiler oluşturabileceği de vurgulanmaktadır (Lozano–Parra vd., 2018).

4.4. Malçlama ve Organik Yüzey Yalıtımı

Toprak yüzeyinde biriken yaprak döküntüsü, ayrıışmış organik madde tabakası ve yüzeyi örten bitkisel materyaller, toprak ile atmosfer arasındaki ısı alışverişini sınırlandırarak yüzeyin termal rejimini düzenleyici bir rol üstlenmektedir. Bu organik örtüler, gündüz saatlerinde güneş radyasyonunun toprak yüzeyine doğrudan ulaşmasını kısıtlarken, gece saatlerinde ise toprakta depolanan ısıнын atmosfere hızlı biçimde kaybolmasını engelleyerek yalıtıcı bir etki de göstermektedir. Bu süreç, maksimum toprak sıcaklıklarının azalmasına, minimum sıcaklıkların dengelenmesine ve günlük toprak sıcaklığı genliğinin (maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farkın yarısı) düşmesine yol açmaktadır. Söz konusu etkiler, özellikle çıplak toprak yüzeyleriyle karşılaştırıldığında daha belirgin hâle gelmektedir (Bonan, 2016).

Yarı kurak ve kurak ekosistemlerde gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, düşük yoğunluklu ($0,5 \text{ kg m}^{-3}$) ve yüksek yoğunluklu (1 kg m^{-3}) bitkisel örtü (çalı dolgu yöntemi) uygulamalarına sahip alanlardaki toprak yüzey sıcaklığı değişimleri, çıplak toprak koşullarıyla karşılaştırılmıştır (Mangani vd., 2022). Elde edilen sonuçlar, her iki örtü uygulamasının da toprak yüzey sıcaklığını anlamlı düzeyde düşürdüğünü, ancak yüksek yoğunluklu bitki örtüsü uygulamasının sıcaklık dalgalanmalarına karşı en güçlü tamponlayıcı etkiyi gösterdiğini ortaya koymuştur ($p < 0,01$). Özellikle gün ortasında gözlenen aşırı sıcaklıkların yüksek yoğunluklu bitki örtüsü altında belirgin biçimde baskılandığı, buna karşılık çıplak toprak yüzeylerinde sıcaklıkların çok daha yüksek ve değişken olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu termal düzenleyici etkinin, toprak yüzey koşullarını iyileştirerek bitki gelişimini desteklediği ve çim üretimini artırdığı rapor edilmiştir (Mangani vd., 2022).

Malçlama uygulamalarının toprak sıcaklığı üzerindeki düzenleyici etkileri, farklı iklim ve bölge koşullarında yapılan çalışmalarla da doğrulanmıştır. Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde yürütülen bir araştırmada, kurutulmuş fil otu samanı, kurutulmuş kaju ağacı yaprakları ve hindistancevizi lifi tozu olmak üzere üç farklı bitkisel malç türü, üç farklı alan yoğunluğunda ($2, 4$ ve 8 t ha^{-1}) uygulanarak çıplak toprak koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Arazi koşullarında gerçekleştirilen ölçümlerde, termokupl–termoelektrik termometre sensörler ve kızılötesi kamera kullanılarak toprak yüzey sıcaklığı sürekli olarak izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, malç uygulamalarının toprak yüzeyinde belirgin bir termal tampon bölge oluşturduğunu ve günlük sıcaklık dalgalanmalarını önemli ölçüde bastırdığını ortaya koymuştur. Özellikle en yüksek bitki örtüsü yoğunluğunda (8 t ha^{-1}), gündüz saatlerinde gözlenen yüksek toprak sıcaklıklarının anlamlı biçimde azaldığı, buna karşılık gece saatlerinde sıcaklık düşüşlerinin yavaşladığı belirlenmiştir. Bu durum, toprak yüzey sıcaklığı aralığının belirgin şekilde azalmasına yol açmış ve daha dengeli bir termal rejim oluşturmuştur. Çalışma, artan malç yoğunluğunun bu düzenleyici etkiyi güçlendirdiğini ve toprak sıcaklığının zamansal değişkenliğini en etkin biçimde sınırlandıran uygulamanın yüksek yoğunluklu malçlama olduğunu da göstermektedir (de Lima vd., 2020).

Bunların haricinde malçlama uygulamalarının toprak termal rejimi üzerindeki etkileri, geniş bir bilimsel literatürle de doğrulanmıştır. Derleme çalışmalar, organik malçların çıplak toprak yüzeylerine kıyasla gündüz yüksek sıcaklıkları anlamlı biçimde azaltabildiğini ve gece soğuma süreçlerini yavaşlatarak toprak yüzey sıcaklığı genliğini düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Iqbal vd., 2020). Özellikle sıcak ve kuru koşullar altında malçlamanın toprak yüzey sıcaklığını 10°C 'ye kadar azaltabildiği bildirilmiş, bu etkinin malç tipine, kalınlığına ve uygulama yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Nitekim, daha kalın veya canlı organik örtüler daha etkili bir soğutma ve sıcaklık dalgalanmasını baskılama etkisi göstermektedir. Ayrıca dinamik mikroklima koşulları altında organik malçların, sentetik veya ince malç türlerine kıyasla daha güçlü bir termal tamponlama

sağladığı ve eşzamanlı olarak toprak su içeriğinin korunmasına katkıda bulunarak sistemin genel ısı dengesini iyileştirdiği de aktarılmıştır (Iqbal vd., 2020).

4.5. Toprak Neminin Korunması ve Hidrotermal Düzenleme

Bitki örtüsü, toprakların mikrohabitat koşullarını çeşitli mekanizmalarla düzenlemektedir. Gölgeleme yoluyla toprak yüzeyine ulaşan net radyasyonu azaltarak buharlaşmayı sınırlar ve yüzey ile yüzey altı su akışını yavaşlatarak toprak neminin korunmasına da katkıda bulunur. Aalto vd. (2013), Finlandiya'nın kuzeyindeki Laponya bölgesinde (Kuzeybatı Fin Laponyası) yer alan arktik–alpin tundra sistemlerinde yaptıkları çalışmada, toprak sıcaklığı ve nem modellerine bitki örtüsü değişkenleri eklendiğinde açıklanan varyansın toprak sıcaklığı için %67,8'den %71,8'e, toprak nemi için ise %55,5'ten %64,2'ye yükseldiğini ve sadece vejetasyon değişkenlerinin ise sırasıyla %30,5 ve %21,1 katkı sağladığını göstermiştir. Çalışmada ayrıca, 1 m²'lik örnekleme alanları içerisinde toprak sıcaklığında 8,1°C'ye, hacimsel toprak neminde ise %71,8'e ulaşan farklılıklar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, arktik–alpin tundra sistemlerinde termal ve hidrolojik koşulların çok kısa mesafelerde dahi belirgin mekânsal heterojenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Yüksek toprak nemi, suyun yüksek özgül ısı nedeniyle toprağın ısı kapasitesini artırarak sıcaklık ekstremlerini yumuşatmaktadır. Bitki örtüsünün sağladığı bu hidrotermal düzenleme, mikrohabitat stabilitesini artırarak, tundra ekosistemlerinin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı ve bitki türlerinin yerel dağılımı açısından kritik öneme sahiptir (Aalto vd., 2013).

Farklı bitki türleri ve tepe çatısı (kanopi) özelliklerinin toprak mikroklimi üzerindeki etkileri, ılıman orman ekosistemlerinde yürütülen çalışmalarla açık biçimde ortaya konmuştur. Liu vd. (2014), ılıman bir karışık ormanda gerçekleştirdikleri araştırmada, toprak sıcaklığı ve neminin bitki örtüsünün varlığına, ağaç türüne ve tepe çatısı büyüklüğüne bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini belirlemiştir. Bulgularına göre, bitki örtüsünden yoksun açık alanlardaki toprak sıcaklığı hem kuru hem de yağışlı dönemlerde, tepe çatısı altındaki noktalara kıyasla %10–19 oranında daha yüksek ölçülmüştür. Buna karşılık tüm ağaç tepe çatısı altlarında daha serin mikroklimatik koşullar hâkim olmuştur. Türler arasındaki karşılaştırmalarda, *Pinus armandii* tepe çatısı altındaki toprak sıcaklıklarının *Quercus aliena*'ya kıyasla yaklaşık 1°C daha yüksek olduğu, ayrıca büyük tepe çatılarının genel olarak daha düşük ortalama toprak sıcaklıklarıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Toprak nemi (hacimsel su içeriği) ise hem kuru hem de nemli koşullarda, bitkiler arası boşluklarda (interplant gap) tepe çatısı altlarına kıyasla %23,6–82,4 oranında daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, açık alanlarda yağışın doğrudan toprak yüzeyine ulaşmasına karşılık, tepe çatısı altında yağışın önemli bir kısmının yaprak ve dallar tarafından tutulmasıyla gerçekleşen kanopi intersepsiyonu ile açıklanmaktadır. Tepe çatısı büyüklüğünün ekosistem süreçleri üzerindeki etkisi türlere göre farklılık göstermiştir. Şöyle ki, *P. armandii*'de kuru dönemde küçük tepe çatısı altındaki toprak solunumu büyük tepe çatısına göre yaklaşık %8 daha yüksek iken, *Q. aliena*'da büyük tepe çatısı altında gerçekleşen toprak solunumu küçüğe kıyasla %34–36 oranında artmıştır. Bu bulgular, ağaç türü ve tepe çatısı yapısının toprak sıcaklığı ve nem rejimlerini birlikte düzenleyerek, toprak solunumu ve dolayısıyla karbon salımı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, ağaç tepe çatılarının sağladığı gölgeleme yoluyla güneşten gelen enerjinin toprağa doğrudan ulaşmasını azaltarak, yüzey–atmosfer arasındaki enerji alışverişini düzenlediğini ve böylece toprakta daha serin ve dengeli mikroklimatik koşulların oluşmasına katkı sağladığını göstermektedir (Liu vd., 2014).

Li vd. (2025), kentsel yeşil alanlarda farklı bitki topluluklarının mikroklima üzerindeki etkilerinin belirgin bir mevsimsellik gösterdiğini ortaya koymuştur. Yaz mevsiminde, bitki örtüsüne sahip alanlarda ölçülen hava sıcaklıkları, açık alanlara kıyasla 2,3–4,1°C daha düşük bulunmuş ve ortalama soğutma etkisinin yaklaşık 3,2°C olduğu rapor edilmiştir. Aynı dönemde bağıl nem değerleri, bitki örtüsü altında açık alanlara göre %5,1–9,3 oranında daha yüksek ölçülmüştür (Li vd., 2025). Buna karşılık kış mevsiminde, bu ilişki tersine dönmüş ve bitki toplulukları altındaki hava sıcaklığının, açık

alanlardakinden 0,3–1,5°C daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kış döneminde de bitki örtüsüne sahip alanlarda bağıl nemin açık alanlara kıyasla daha yüksek seyrettiği, ancak bu farkın yaz mevsimine göre daha sınırlı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, yaz mevsiminde gözlenen güçlü soğutma ve nemlendirme etkisinin bitki örtüsünün sağladığı gölgeleme ve terleme (transpirasyon) süreçleriyle ilişkili olduğunu, kış mevsiminde ise bitki örtüsünün güneş radyasyonunu sınırlayarak açık alanlara kıyasla daha sıcak ve korunaklı mikrohabitat koşulları oluşturduğunu vurgulamaktadır (Li vd., 2025).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprak sıcaklığı, enerji dengesi, hidrolojik süreçler, biyolojik aktivite ve ekosistem işleyişi üzerinde belirleyici rol oynayan temel çevresel değişkenlerden biridir. Bu bölümde ele alınan çalışmalar, toprak sıcaklığının yalnızca atmosferik koşulların pasif bir sonucu olmadığını, toprak fiziksel özellikleri, nem dinamikleri, bitki örtüsü yapısı ve yüzey enerji dengesi ile karşılıklı etkileşim içinde şekillenen dinamik bir süreç olduğunu göstermektedir. Özellikle toprak nemi ile sıcaklık arasındaki hidrotermal ilişki, yüzeyden derin katmanlara kadar uzanan ısı transfer mekanizmalarının anlaşılmasında temel belirleyicilerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Toprağın termal davranışını belirleyen termal iletkenlik (λ), hacimsel ısı kapasite (C) ve ısı difüzyon (α) gibi parametrelerin, tekstür, gözeneklilik, organik madde içeriği, mineral bileşimi ve özellikle su içeriği gibi özelliklerden güçlü biçimde etkilendiği görülmektedir. Nem artışıyla birlikte gözeneklerdeki havanın yerini suyun alması, toprakta ısı iletimini artırmaktadır. Buna karşılık yüksek organik madde ve yüksek gözeneklilik gibi özellikler ısı transfer hızını sınırlandırabilmektedir. Bu durum, farklı toprak tiplerinin benzer meteorolojik koşullar altında farklı sıcaklık rejimleri sergilemesine neden olmaktadır. Nitekim ısıнын toprak profilindeki bu değişken yayılımı ve derinliğe bağlı olarak azalan termal değişkenlik, Silifke vaka analizinde (Bolat vd., 2025) net bir şekilde ortaya konmuştur. Araştırma bulguları, atmosferik koşullar ve küresel ısınmanın etkilerinin özellikle yüzeye yakın sığ katmanlarda (5, 10 ve 20 cm) daha keskin ve yüksek varyasyonlu sıcaklık artışlarına neden olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, toprağın termal tamponlama ve yalıtım özelliklerinden dolayı derin katmanlar (50 ve 100 cm), yüzeydeki ani ve kısa dönemli dalgalanmalara karşı daha gecikmeli, termal açıdan daha kararlı ve korunaklı bir rejim sergilemektedir. Bu ampirik bulgular, derinliğe bağlı ısı transferi modellerinin doğrulanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bitki örtüsü ve yüzey örtülerinin ise toprak sıcaklığının düzenlenmesinde çok yönlü mekanizmalarla etkili olduğu anlaşılmaktadır. Gölgeleme etkisiyle kısa dalga radyasyonunun azaltılması, evapotranspirasyon yoluyla latent (saklı) ısı akışlarının artırılması ve organik yüzey örtülerinin yalıtıcı etkisi, özellikle günlük ve mevsimsel sıcaklık dalgalanmalarının sınırlandırılmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bitki örtüsünün yüzey albedosu, nem korunumu ve mikroklimatik tamponlama üzerindeki etkileri, toprak sıcaklığının yalnızca fiziksel değil aynı zamanda ekolojik süreçlerle de güçlü biçimde bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Bu bölüm kapsamında değerlendirilen çalışmalar, arazi örtüsü değişimleri, kuraklık süreçleri, ormansızlaşma, yangınlar ve iklim değişikliği gibi faktörlerin toprak sıcaklığı rejimleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle bitki örtüsünün azalmasıyla birlikte yüzey sıcaklıklarının arttığı, toprak neminin daha hızlı kaybedildiği ve hidrotermal dengenin bozulduğu görülmektedir. Buna karşılık yoğun ve sürekliliği korunmuş bitki örtüsüne sahip alanlarda toprak sıcaklığının daha dengeli seyrettiği ve mikroklimatik tamponlama kapasitesinin arttığı anlaşılmaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda, sürdürülebilir arazi yönetimi ve ekosistem koruma çalışmalarında toprak sıcaklığı–nem–bitki örtüsü ilişkilerinin birlikte değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak neminin korunmasına yönelik uygulamalar, organik

yüzey örtüsünün artırılması, bitki örtüsü sürekliliğinin korunması ve bozulan alanların yeniden bitkilendirilmesi gibi yaklaşımlar, hidrotermal dengenin korunmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca iklim değişikliği koşullarında artan sıcaklık streslerinin değerlendirilmesinde, yalnızca hava sıcaklıklarının değil, toprak sıcaklığı dinamiklerinin ve yüzey enerji dengesi süreçlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Nitekim teorik modellerle açıklanan bu ısı transferi ve enerji depolama süreçleri, günümüz iklim değişikliği senaryoları altında kritik bir boyut kazanmıştır. Bu bağlamda, son kırk yılı kapsayan bölgesel analizler (Bolat vd., 2025), bahsi geçen hidrotermal dinamiklerin ve sıcaklık artışının sadece yüzeyle sınırlı kalmadığını; ısınma etkisinin derin katmanlara da iletilerek ekosistemin termal dengesini uzun vadeli bir değişim sürecine soktuğunu teyit etmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda; farklı iklim bölgeleri ve toprak tipleri için uzun dönemli gözlemlerin artırılması, hidrotermal süreçlerin yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüklü modellerle incelenmesi ve bitki örtüsü–toprak–atmosfer etkileşimlerinin bütüncül yaklaşımlarla değerlendirilmesi önemli katkılar sağlayacaktır. Bunun yanında, uzaktan algılama teknikleri ile yüzey enerji dengesi ve arazi–atmosfer etkileşim modellerinin birlikte kullanılması, toprak sıcaklığı dinamiklerinin daha bütüncül biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu yaklaşımlar, iklim değişikliği ve arazi kullanım değişimlerinin hidrotermal süreçler üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına olanak tanıyacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu kitap bölümünün hazırlanması sürecinde bizleri teşvik eden, bilgi ve deneyimleriyle katkı sunan değerli meslektaşlarımıza içten teşekkürlerimizi sunarız. Bilimsel çalışmaların sürekli gelişen ve yenilenen bir süreç olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmada da bazı eksikliklerin veya geliştirilmesi gereken yönlerin bulunması doğaldır. Bu nedenle, çalışmanın daha ileriye taşınmasına katkı sağlayacak her türlü eleştiri, öneri ve değerlendirme memnuniyet ve şükranla karşılanacaktır. Bu çalışmanın; araştırmacılar, uygulayıcılar, öğrenciler ve konuya ilgi duyan tüm okuyucular için yararlı bir kaynak oluşturması en büyük temennimizdir. Özellikle çalışmanın yeni araştırmalara katkı sağlaması, bilimsel düşüncüyü desteklemesi ve ilgili alanlarda yapılacak çalışmalara yol gösterici olması bizler için büyük bir mutluluk kaynağı olacaktır. Bilimin paylaşım ve etkileşimle geliştiğine inanıyor; bu kitap bölümünün de ilgili bilim alanına mütevazı fakat anlamlı bir katkı sunmasını diliyoruz.

KAYNAKLAR

- Aalto, J., Le Roux, P. C., & Luoto, M. (2013). Vegetation mediates soil temperature and moisture in arctic-alpine environments. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 45(4), 429-439. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-45.4.429>
- Alnefaie, K. A., & Abu-Hamdeh, N. H. (2020). Specific heat and volumetric heat capacity of some agricultural soils as affected by moisture content and bulk density. *International Journal of Mechanics*, 7, 42-46, <http://doi.org/10.46300/91018.2020.7.8>
- Bolat, İ. (2025). Albedo, Albedonun Cisimlere Göre Değişimi ve Küresel Isınmaya Etkisi, Bölüm 1., Orman Endüstri Mühendisliği Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler, Editörler: Çetin, N. S., Çetin, N., & Kurt, M. B., ISBN: 978-625-388-233-4, www.gecekitapligi.com, Mart-2025, 82 s., Ankara.
- Bolat, İ., Yaman, B., & Şensoy, H. (2025). Multi-depth soil temperature trend assessment in Silifke, Türkiye: A case study from Mersin province. *Forestist*, 75, 1-9. DOI: 10.5152/forestist.2025.25033
- Bonan, G. (2016). Ecological Climatology: Concepts and applications, 3rd edition, ISBN 978-1-107-61905-0, Cambridge University Press, Printed by Sheridan Books, Inc., USA, 740 pp.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The Nature and Properties of Soils, 15th edition (eBook), Boston: Pearson.
- Campbell, G.S. & Norman, J.M. (2000) An Introduction to Environmental Biophysics, 2nd edition, New York, NY, USA: Springer Science & Business Media, pp. 286.
- Côté, J., & Konrad, J. M. (2005). A generalized thermal conductivity model for soils and construction materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(2), 443-458. <https://doi.org/10.1139/t04-106>
- Dai, Y., Wei, N., Yuan, H., Zhang, S., Shangguan, W., Liu, S., ... & Xin, Y. (2019). Evaluation of soil thermal conductivity schemes for use in land surface modeling. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(11), 3454-3473. <https://doi.org/10.1029/2019MS001723>
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., ... & Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279-2297. <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>
- de Lima, J. L. M. P., da Silva, J. R., Montenegro, A. A., Silva, V. P., & Abrantes, J. R. C. B. (2020). The effect of vegetal mulching on soil surface temperature in semiarid Brazil. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 71(4), 185-195. <https://doi.org/10.2478/boku-2020-0016>
- Ekberli, İ., Gülser, C., & Dengiz, O. (2021). Toprakların ısısal özellikleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında regresyon modellerin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 68-77. <https://doi.org/10.21657/topraksu.885688>
- Esters, L., Wirtz, P., Brückner, S., Li, Y., & Kracheletz, M. (2023). What is albedo and what does it have to do with global warming? *Frontiers Young Minds*, 11:1113553. <https://doi.org/10.3389/frym.2023.1113553>
- García-García, A., Cuesta-Valero, F. J., Miralles, D. G., Mahecha, M. D., Quaas, J., Reichstein, M., ... & Peng, J. (2023). Soil heat extremes can outpace air temperature extremes. *Nature Climate Change*, 13(11), 1237-1241. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01812-3>
- Han, G., Tan, J., Wang, X., Li, H., Shang, Q., & Tian, J. (2025). Response of soil temperature to soil moisture content and meteorological elements with gravel-sand mulching. *Land*, 14(4), 853. <https://doi.org/10.3390/land14040853>

- He, S., Zhang, C., Meng, F. R., Bourque, C. P. A., Huang, Z., Li, X., ... & Liu, C. (2024). Vegetation-cover control of between-site soil temperature evolution in a sandy desertland. *Science of the Total Environment*, 908, 168372. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168372>
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. ISBN-13: 978-0-12-348525-0, Academic Press, San Diego, CA, 801 pp.
- Hillel, D. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*. ISBN: 0-12-348655-6, Elsevier, Academic Press, San Diego, California, USA, 511 pp.
- Iqbal, R., Raza, M. A. S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., ... & Nazar, M. A. (2020). Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3>
- Li Q, Xue Y, Liu Y (2021) Impact of frozen soil processes on soil thermal characteristics at seasonal to decadal scales over the Tibetan plateau and North China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(4):2089–2107. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2089-2021>
- Li, W., Pan, P., Fang, D., & Guo, C. (2025). Effects of plant communities in urban green spaces on microclimate and thermal comfort. *Forests*, 16(5), 799. <https://doi.org/10.3390/f16050799>
- Liu, Y., Liu, S., Wang, J., Zhu, X., Zhang, Y., & Liu, X. (2014). Variation in soil respiration under the tree canopy in a temperate mixed forest, central China, under different soil water conditions. *Ecological Research*, 29(2), 133-142. <https://doi.org/10.1007/s11284-013-1110-5>
- Lozano-Parra, J., Pulido, M., Lozano-Fondón, C., & Schnabel, S. (2018). How do soil moisture and vegetation covers influence soil temperature in drylands of Mediterranean regions?. *Water*, 10(12), 1747. <https://doi.org/10.3390/w10121747>
- Mangani, T., Mangani, R., Chirima, G., Khomo, L., & Truter, W. (2022). Using mulching to reduce soil surface temperature to facilitate grass production. *Heliyon*, 8(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12284>
- Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne, S. I., & Teuling, A. J. (2019). Land–atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 19-35. <https://doi.org/10.1111/nyas.13912>
- Mondal, S. K., An, S. I., Min, S. K., Jiang, T., & Su, B. (2024). Enhanced soil moisture–temperature coupling could exacerbate drought under net-negative emissions. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7(1), 265. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00820-0>
- Myers-Smith, I. H., & Hik, D. S. (2013). Shrub canopies influence soil temperatures but not nutrient dynamics: an experimental test of tundra snow–shrub interactions. *Ecology and Evolution*, 3(11), 3683-3700. <https://doi.org/10.1002/ece3.710>
- Ni, J., Cheng, Y., Wang, Q., Ng, C. W. W., & Garg, A. (2019). Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling. *Journal of Hydrology*, 571, 494-502. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.009>
- Ochsner, T. E., Horton, R., & Ren, T. (2001). A new perspective on soil thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6), 1641-1647. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1641>
- O'Donnell, J. A., Romanovsky, V. E., Harden, J. W., & McGuire, A. D. (2009). The effect of moisture content on the thermal conductivity of moss and organic soil horizons from black spruce ecosystems in interior Alaska. *Soil Science*, 174(12), 646-651. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181c4a7f8>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climate*. Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.

- Onwuka, B. M., Oguike, P. C., & Adesemuyi, E. A. (2021). Variations in soil heat transfer under different land use types in Abia State, South eastern Nigeria. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.18393/ejss.797843>
- Romio, L. C., Zimmer, T., Bremm, T., Buligon, L., Herdies, D. L., & Roberti, D. R. (2022). Influence of different methods to estimate the soil thermal properties from experimental dataset. *Land*, 11(11), 1960. <https://doi.org/10.3390/land11111960>
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), 125-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., Zhou, B. and Allan, R. (2021) Weather and climate extreme events in a changing climate. In: Masson-Delmotte, V. P., Zhai, A., Pirani, S. L. and Connors, C. (eds.) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1513-1766. doi: 10.1017/9781009157896.013
- Tong, B., Gao, Z., Horton, R., Li, Y., & Wang, L. (2016). An empirical model for estimating soil thermal conductivity from soil water content and porosity. *Journal of Hydrometeorology*, 17(2), 601-613. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0119.1>
- Wu, Y. H., Wu, Y. F., Fan, L. W., Yu, Z. T., & Khodadadi, J. M. (2025). Thermal conductivity of soil: A review on the vast experimental data and predictive models. *International Journal of Thermal Sciences*, 208, 109486. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.109486>
- Zhang, Z., Chen, X., Pan, Z., Zhao, P., Zhang, J., Jiang, K., ... & Men, J. (2022). Quantitative estimation of the effects of soil moisture on temperature using a soil water and heat coupling model. *Agriculture*, 12(9), 1371. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091371>
- Zhu, D., Ciais, P., Krinner, G., Maignan, F., Jornet Puig, A., & Hugelius, G. (2019). Controls of soil organic matter on soil thermal dynamics in the northern high latitudes. *Nature Communications*, 10(1), 3172. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11103-1>
- Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J., & Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7575-7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>

BÖLÜM 3

ALABALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ

Gökhan ARSLAN¹

¹ Doç. Dr, Atatürk Üniversitesi, gokhan.arslan@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8634-8598

Giriş

Yaşam ortamları bakımından oksijen bakımından zengin ve temiz suları seven alabalıkların dünya genelinde önemli miktarlarda yetiştiricilikleri yapılmaktadır. Ülkemizde de 1970'li yıllarda yetiştiriciliğine başlanan ve olumlu sonuçlar alan alabalık yetiştiriciliği günümüzde önemli bir sektör haline gelmiş hem üretim miktarı bakımından hem de tesislerde istihdam edilen kişiler bakımından ülke ekonomisine pozitif faydalar sunmaktadır. Alabalıklar sistematikte *Salmonidae* familyasında yer almaktadır. Morfolojik bakımdan yağ yüzgeçlerinin varlığı ile karakterize edilmektedirler. *Salmonidae* familyası ekonomik yetiştiricilik ve suların balıklandırılması bakımından önemli olan alabalıklar üç cinsin türleridir.

Bu cinsler;

a- Salmo

b- Salvelinus

c- Oncorhynchus

Dünya genelinde yaygın olarak bilinen alabalık türleri ise;

Salmo salar Linnaeus (Atlantik Salmonu)

Salmo trutta f. trutta Linnaeus (Deniz alabalığı)

Salmo trutta f. fario Linnaeus (Dere alabalığı)

Oncorhynchus mykiss Walbaum (Gökkuşığı alabalığı)

Salvelinus fontinalis Mitchell (Kaynak alabalığı)

Salvelinus alpinus Linnaeus (Alp alabalığı)

Salhvelinus namaycush Walbaum (Göl alabalığı)'dır (Bruno ve Poppe 1996).

Ülkemizdeki yerel alabalık alt türleri ise;

Salmo trutta macrostigma Dumeril (Anadolu Dağ alabalığı)

Salmo trutta abanticus Tortonese (Abant alabalığı)

Salmo trutta caspius Kessler (Aras alabalığı)

Salmo trutta labrax Pallas (Karadeniz alabalığı)

Salmo trutta f. lacustris Linnaeus (Göl alabalığı) şeklinde sıralanabilir (Çelikkale 1994).

Bu alabalıkları içerisinde üretimi ve yetiştiriciliği en yaygın olarak yapılan tür Kuzey Amerika kökenli Gökkuşığı alabalığıdır. Kaynak alabalığı ile birlikte 120 yıl kadar önce Kuzey Amerika'dan Avrupa'ya getirilmiş olmalarına rağmen yetiştiricilik koşullarına uygun özellikleri sayesinde Gökkuşığı alabalığının yetiştiriciliği ivme kazanmış ve günümüzde artık bir sektör haline gelmiştir (Steffens 1981). Gökkuşığı alabalığının yetiştiricilik koşullarına uyum sağlayabilmesinden başka yüksek sıcaklıklara karşı toleranslı olması, aktif yem alması nedeniyle yemlemesinin kolay olması ve canlı ağırlık artışının iyi olması, diğer türlere kıyasla daha kısa sürede kuluçka dönemine erişmesi yetiştiriciliği en fazla olmasının sebepleri arasındadır.

Resim 1. *Oncorhynchus mykiss* (Gökkuşağı alabalığı)



Su İstekleri

Yetiştiricilik sisteminde kullanılması düşünülen suyun, alabalığın isteklerine uygun olması ve balığın değişik evrelerindeki ihtiyaçlarına cevap verebilecek niteliklere sahip olmasına dikkat edilmelidir. 12 aylık ortalama debisi ölçülmeli yaz aylarındaki kuraklık yetiştiricilik sistemini olumsuz şekilde etkilememelidir. Balık yetiştiriciliğinde kullanılan sular içerikleri bakımından farklılıklar gösterdiği için su kaynakları 5 kısımda incelenmektedir (Leitritz 1974).

1. Kaynak suları
2. Dere veya ırmak suları
3. Göl veya gölet suları
4. Yeraltı suları
5. Kaynak Suları

Kaynak Suları

Kaynak suları Dünyamızın yüzeysel ya da daha derin katmanlarından dışarıya çıkmalarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Yaklaşık 40 metre gibi seviyelerden çıkan suların oksijen içerikleri yüksektir. 1000 metre gibi daha derin tabakalardan çıkan sulardaki oksijen varlığı ise daha düşüktür. Bu tip sularda yetiştiricilik yapılmak isteniyorsa muhakkak suretle su analiz edilmelidir. Ayrıca 12 aylık süreçte takibi yapılmalı en kurak dönemler dikkate alınmalıdır.

Dere veya ırmak suları

Dere ve ırmak suları alabalık yetiştiriciliğinde sıklıkla kullanılan su kaynaklarıdır. Özellikle kaynağa yakın kısımları daha temiz ve sıcaklık bakımından uygun olduğu için tercih edilmektedir. Bu sularının en önemli sorunu özellikle yağışlı dönemlerde taşkın olması ve suların bulanıklaşmasıdır bu nedenle böyle bir kaynak suyu ile yetiştiricilik yapılacak ise bu durum hesaba katılmalıdır.

Resim 2: Dere ve Akarsular



Göl veya Gölet Suları.

Alabalık yetiştiriciliğinde göller ve göletlerde önemli bir potansiyel olarak değerlendirilmektedir. Özellikle son yıllarda doğal göller ve baraj göllerinde yüzer ağ kafeslerle alabalık yetiştiriciliği yapılmakta ve üretim miktarı açısından ciddi başarılar elde edilmektedir.

Resim 3: Göl Ve Göletlerde Yapılan Yetiştiricilik (Anonim., 2026)



Yeraltı Suları

Yeraltı suları da alabalık yetiştiriciliğinde kullanılan bir su kaynağıdır. Kaliteli sulardır ve aynı miktar ve kalitesini korumaktadırlar. Bu tür sular kullanılacaksa yerüstüne çıkarma maliyeti iyi hesaplanmalı ve suyun oksijence zenginleştirilmesi sağlanmalıdır.

Deniz Suları

Denizlerde alabalık yetiştiriciliği son yıllarda ivme kazanmıştır. Alabalıkların tuzlu suya olan dayanıklılıkları sayesinde miktar ve potansiyel olarak ciddi üretim yapılmaktadır.

Resim 4: Denizlerde Yapılan Yetiştiricilik



Alabalık Yetiştiriciliğinde Su Kalitesi

Alabalık yetiştiricilik sistemlerinde arzu edilen balıklara düzenli olarak aynı miktar ve kalitede su temin edebilmektir. Suyun miktarı aynı zamanda suyun kalitesine etki edeceğinden aralarındaki ilişki asla unutulmamalıdır. Alabalık yetiştiriciliğinde kullanılacak olan suyun içeriğinde bulunan parametrelerin alt ve üst sınır değerleri Tablo 1’de verilmiştir (Lindhorst-Emme 1990).

Tablo 1. Alabalık yetiştiriciliğinde çeşitli su parametreleri sınır değerleri

Parametre Sınır Değeri	Parametre Sınır Değeri
Sıcaklık	20 °C'a kadar
Oksijen	7 mg/l'tnin üzerinde
PH	5,5-8,5
Asit Bağlama Kapasitesi (SBV)	1,5 Vol/m ³ 'ün üstünde
Ammonium	1,0 mg/l't'e kadar
Demir, toplam	0,5 mg/l't'e kadar
Nitrit	0,2 mg/l't'e kadar
Nitrat	10 mg/l't'e kadar
Potasyumpermanganat tüketimi (KmnO ₄)	40 mg/l't'e kadar
Kimyasal oksijen gereksinimi	Kimyasal oksijen gereksinimi 40 mg/l't'e kadar
Biyokimyasal oksijen gereksinimi	15 mg/l't'e kadar
Oksijen tüketimi	6 mg/l't'e kadar
Serbest CO ₂ (Larvalar için)	15 ppm/l'tnin altında
Serbest CO ₂ (Sofralık balıklar için)	30 ppm/l'tnin altında

Tablo 1'de verilen bu sınır değerlerine azami derecede dikkat edilmesi sürdürülebilir bir yetiştiricilik için önemlidir.

Kuluçkahane Su Kriterleri

Döllenmiş yumurtaların kuluçkasının gerçekleşeceği kuluçka evine su kaynağının oldukça temiz olması gerekmektedir. Bu sebeple burada kullanılacak su öncesinde filtre edilmeli ve bu şekilde verilmelidir. Kuluçka evinin boyutu ve büyüklüğü döllenmiş yumurta miktarına ve kullanılan ekipmana bağlı olarak ayarlanmalıdır. Tablo 2'de kuluçka evine verilecek suyun uygun değerleri gösterilmiştir (Lindhorst-Emme 1990).

Tablo 2. Kuluçka evi suyunun nitelikleri

Su sıcaklığı °C	Oksijen	PH	Asit bağlama kapasitesi	Serbest CO2
8-10	9-11 mg/l. Doymuşluk değeri %80-100	6,5-7,5	2-5 ml/l. veya daha fazla	20 ppm/lit'nin altında
* Demir ve Aminoium mümkünse ya olmamalı veya çok az				

Kuluçka evinin havalandırılmasına ve temizliğine dikkat edilmesi yetiştiricilik açısından son derece önemlidir. Özellikle sağım dönemlerinde kuluçka evinin havalandırılmasının yapılması ve sağım yapılacak materyallerin temizliğinin gözden geçirilmesi son derece önemlidir. Ayrıca sağım sonrası süreçlerde kullanılacak araç ve gereçlerin bakteri içermemesi önemli bir durumdur.

Resim 5: Kuluçka Evi

Su Miktarı ile Balık Üretimi İlişkisi

Alabalık yetiştiriciliğinde kapasite belirlenirken suyun kalitesi ve miktarı son derece önemlidir. Ayrıca yetiştiricilik sisteminde kullanılan teknolojiler de üretim miktarının belirleyen diğer unsurlar arasında yer almaktadır. Genel olarak 1000m² havuz için saniyede 8 litre iyi kalitede suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu örneklemede 400-500 kg alabalık üretimi söz konusudur. İlave donanımlar eklendiğinde (havalandırma gibi) yıllık 1500-2000 kg üretim yapılabilir. Alabalık yetiştiriciliğinde temel olarak kullanılacak suyun miktarı ve kalitesi esas alınarak yapılacak üretimin miktarı belirlenmektedir. Alabalık yetiştiriciliğinde yaygın kanı havuzlardaki su döngüsünün günde 3-5 defa gerçekleştirilerek saniyede 1 litre suyla yılda ortalama 50-75 kg sofralık balık üretilebileceği şeklindeyken günümüzde 1 litre suyla 100-150 kg sofralık alabalık üretimi şekline dönüşmüştür (Bohl 1982).

Alabalık yetiştiriciliğinde su miktarı önemlidir ancak kullanılan suyun sıcaklığı da bir o kadar önemlidir. Yetiştiriciliği yapılan balıkların ortalama canlı ağırlıkları da su miktarına ve

sıcaklığına etki etmektedir. Bu faktörler dikkate alındığında Tablo 3'te ki değerler ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3: Saniyede 1 litre suyla yoğun üretim koşullarında alabalık üretim miktarı

Su Sıcaklığı	Yavru ortalama 1 gr.	Yavru ortalama 10 gr.	Yavru ortalama 100 gr.
	kg	kg	kg
5	30	50	60
10	25	40	50
15	15	25	30
20	10	20	25

Damızlık Balıklar

Alabalık yetiştiriciliğinde damızlık balıklar işletmenin toplam üretim kapasitesinin % 1'i kadar olmalıdır, yani 100 tonluk sofralık alabalık üretimi yapan bir işletmenin 1 ton damızlık alabalık bulundurması gerekmektedir. Damızlık balıklar günlük su değişiminin sıklıkla yapıldığı, kaliteli suya sahip havuzlarda metrekareye 1-2 kg stok yoğunluğuyla konuşlandırılmalıdır. Erkek/Dişi oranı ise 1/5 – 1/8 olmalıdır. Genel olarak erkekler 2 dişiler ise 3 yılda cinsel olgunluğa ulaşmaktadır. İşletmede yumurta üretim kapasitesinin belirlenmesinde kg dişi başına 2000 adet yumurta hesaplanmalıdır.

Damızlık Balıkların Seçimi ve Bakımı

Damızlık olarak kullanılacak balıkların seçimi ön büyüme döneminden başlatılmalıdır. İlerleyen dönemlerde damızlık seçiminde aşağıdaki özelliklere dikkat edilmelidir.

- Büyümelerinin hızlı olması ve iyi yem değerlendirme
- Hastalık ve olumsuz koşullara karşı direnç
- Vücutları düzgün ve uyumlu olmalıdır.
- Üreme verimleri yüksek (sayıca fazla ve büyük yumurta, kaliteli sperma gibi)
- Yumurta ve sperm verme olgunluğuna geç ulaşma

Yukarıda sıralanan özellikler doğrultusunda seçimi yapılan damızlık balıklar, damızlık havuzlarında kaliteli pelet yemler ve yaş yemlerle beslenmelidir. Damızlık balıkların yemlenmesinde aşırıya gidilmemelidir. Yıllık ortalama 0,5 kg canlı ağırlık artışı göstermelidir. Aşırı yemleme yapılması gonad ürünlerinden özellikle yumurtalarda yağ dejenerasyonlarına sebep olabilmektedir (Bohl 1982).

Damızlıkların Verimi

3 yaşındaki damızlık balığın ağırlığı ortalama 1-2 kg arasındadır. Dişi damızlık balıklar 6 yaşına kadar her yıl olmak kaydıyla 4 üreme dönemi geçirir. Canlı ağırlıklarının artmasıyla birlikte yumurta miktarlarında azalma söz konusu olur. Dişi damızlık alabalıkların yumurta verimlerine etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Balık büyüdükçe toplam yumurta verimi de artar 750 gr ağırlığında olan damızlık bir balıktan 1800 adet yumurta alınabiliyorken 1300 gr ağırlığa sahip 4 yaşındaki damızlık balıktan 2.500 adet yumurta alınabilmektedir.
- Damızlık balıktan elde edilen yumurtaların sayısı yemin miktar ve kalitesinden etkilenebilir.
- Yumurta sayısı genetik koşullardan etkilenebilir.
- Büyük ve yaşlı olan damızlık balıkların yumurtaları genç ve küçük damızlık balıklara oranla daha büyüktür bu da kuvvetli larva oluşumuna imkan vermektedir.

Damızlık Alabalıklarda Cinsiyet Ayrımı

Gökkuşağı alabalıkları yıl içerisinde farklı dönemlerde yumurta ve sperm verebilme yani cinsi olgunluğa erişebilme özelliğine sahiptirler. Temmuz ve Ağustos aylarında erken yumurta verebildikleri gibi kasım ve aralık aylarında orta dönem mart ve nisan aylarında ise geç dönem şeklinde sınıflandırma yapılabilmektedir. Üreme dönemlerinde damızlık alabalıkların vücutlarında değişimler söz konusudur. Dişi damızlıklarda karın bölgesi daha şişkindir. Cinsiyet bölgelerinin etrafı kırmızımsıdır. Üreme dönemine erişen damızlık erkek balıklarda ise alt çene öne doğru uzanır ve bir kanca görünümünde şekil alır. Erkek damızlık balıkların vücutları daha yassı şekildedir. Erkek damızlıklarda üreme dönemi yaklaştıkça yanal çizgileri daha parlak ve kırmızı bir şerit şekli belirir.

Aşağıda erkek ve dişi alabalık resimleri gösterilmiştir.

Resim 6: Erkek ve Dişi Alabalık Görselleri



Erkek Alabalık



Dişi Alabalık

Alabalıklarda Yumurta/Sperm Alım Ve Dölleme İşlemleri

Alabalık üretiminde damızlık balıkların yetiştirici tarafından hafif bir masaj uygulanması suretiyle dişi balıklardan yumurta ve erkek balıklardan sperm alınma işlemine sağım denilmektedir. Sağım döneminden 2-3 hafta damızlık balıklara verilen yem miktarı azaltılır. Sağımdan bir hafta öncesinde ise yem verme işlemi tamamen durdurulur. Yumurtlama olgunluğuna henüz ulaşmış damızlık balıklar için bir hafta süresince vücut ağırlıklarının % 0.5'i gibi düşük oranlarda yem verilir. Sağım işleminde damızlık balıklara zarar vermemek ve sağım işlemini hızlı bir şekilde yürütebilmek için damızlık balıklara narkoz verme işlemi uygulanabilir. Damızlık balıklar sağım öncesi anestezik madde bulan suya bırakılır. Sağım

işlemi bittikten sonra balıklar tekrar oksijen yönünden zengin temiz suya konularak burada 2-3 dakika içinde normale döner. Alabalık sağım işleminde önemli olan husus işlemlerin kuru koşullarda gerçekleştirilebilmesidir. Kuru ortam sağlanmazsa yumurtanın su ile teması spermanın yumurtaya giriş kapıcığı olan mikropil 1-2 dakika içerisinde kapatabilir. Erkek damızlık balıktan elde edilen sütün (sperm) içerdiği spermatozoa'lar suda yaklaşık 1 dakika kadar yaşayabilir. Alabalık sağımında balıkların uygun sağım dönemlerinin ve zamanlarının belirlenmesi bir diğer önemli husustur. Olgunluğa ulaşmış olan damızlık dişi alabalık sudan alınarak kuyruk kısmı aşağıda kalacak şekilde tutulmalıdır. Bu şekilde tutulduğu zaman yumurtaları kendi cazibeleriyle akmaya başlayacaktır. Sağım sırasında her ne kadar anestezi uygulanmış olsa da sağımı yapan kişinin seri şekilde hareket etmesi ve mümkün olan en kısa sürede sağımı bitirmesi önemlidir. Erkek damızlık balıktan sperm alma işleminde de aynı hususlara dikkat edilmelidir. Genellikle balığın sırt tarafı sağımı yapan kişiye dönük olmasına dikkat edilmelidir. Sağım işlemi balığın boyutuna göre bir veya iki kişi ile yapılmalıdır. Birkaç dişinin yumurtası bir kaba sağıldıktan sonra üzerine erkek spermi eklenerek dölleme işlemi başlatılmış olur.

Resim 7: Dişi Damızlık Balıktan Yumurta Alma İşlemi



Resim 8: Erkek Damızlık Balıktan Sperm Alma İşlemi



Plastik leğene sağımı yapılan yumurta-sperm karışımı elle, plastik bir malzeme ya da tüyle karıştırılır. Daha sonra karışım üzerine bir miktar temiz su eklenmelidir. Ortalama 5 dakika döllemesi sağlanan yumurtalar bir küvet içine alınarak 30-45 dakika boyunca su alıp şişmeleri beklenir. Bu sürecin sonunda yumurtalar birkaç kez temiz su ile yıkanarak kuluçka araçlarına yerleştirilerek sağım işlemi noktanılır. Bu safhadan sonra kuluçka bakım evresi başlatılmış olur.

Sonuç.

Ülkemizdeki alabalık yetiştiricilik tesislerinin bazıları kuluçka evi bulundurmayıp yavru alımı yaparak üretim faaliyetine devam etmektedir. Önemli bir kısmı ise sağım işlemlerini de kendileri yaparak yumurtadan sofralık boyuta kadar üretim faaliyetini devam ettirmektedir. Bu bölümde Alabalık yetiştiriciliğinin genel hatları ele alınmış kuluçka evresi ve yavru boyutlardaki balıkların büyütülmesi hususlarına girilmemiştir. Su ürünleri sektörü açısından son derece önemli kaynaklara sahip olan ülkemizde özellikle denize kıyısı olmayan bölgelerimizde alabalık yetiştiriciliği son yıllarda ivme kazanmıştır. Bu durum hem ülke ekonomisine hem de iş istihdamına katkılar sunmaktadır. Ayrıca balık tüketimini etkileyen faktörler arasında taze balığa ulaşabilme sıkıntısı önemli bir problemdir. Bu sebeple de alabalık yetiştiricilik tesislerinin yurdun çeşitli bölgelerinde yapılması bölgede yaşayan insanlar için taze balığa ulaşabilme kolaylığı sağlayacağından sağlıklı bir şekilde beslenmeye vesile olacaktır. Ülkemizde bu farkındalık her geçen sene artmıştır. 2000’li yıllarda yetiştiriciliği yapılan toplam alabalık miktarı ile son birkaç yıl içerisinde üretimi yapılan alabalık miktarı mukayese edildiğinde yaklaşık 5-6 katlık bir fark net bir şekilde görülmektedir. Türkiye’de alabalık yetiştiriciliğinin yıllar içerisindeki potansiyeli Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: Türkiye’de Yetiştiriciliği En Çok Yapılan Türlerin Üretim Miktarları (ton) (BSGM., 2024)

Yıllar	Alabalık			Çipura	Levrek
	Deniz	İçsu	Toplam		
2000	1.961	42.572	44.533	15.460	17.877
2001	1.240	36.827	38.067	12.939	15.546
2002	846	33.707	34.553	11.681	14.339
2003	1.194	39.674	40.868	16.735	20.982
2004	1.650	43.432	45.082	20.435	26.297
2005	1.249	48.033	49.282	27.634	37.290
2006	1.633	56.026	57.659	28.463	38.408
2007	2.740	58.433	61.173	33.500	41.900
2008	2.721	65.928	68.649	31.670	49.270
2009	5.229	75.657	80.886	28.362	46.554
2010	7.079	78.165	85.244	28.157	50.796
2011	7.697	100.239	107.936	32.187	47.013
2012	3.234	111.335	114.569	30.743	65.512
2013	5.186	122.873	128.059	35.701	67.913
2014	5.610	107.983	113.593	41.873	74.653
2015	6.872	101.166	108.038	51.844	75.164
2016	5.716	101.297	107.013	58.254	80.847
2017	5.952	103.705	109.657	61.090	99.971
2018	9.610	104.887	114.497	76.680	116.915
2019	9.692	116.053	125.745	99.730	137.419
2020	18.182	126.101	144.283	109.749	148.907
2021	31.554	135.732	167.286	133.476	155.151
2022	45.454	145.649	191.103	152.469	156.602
2023	66.055	156.431	222.486	154.011	160.802
2024	60.686	170.905	231.591	155.279	165.055

Kaynaklar

- Bohl, M. (1982). Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. DLG-Verlag. 336 s. Frankfurt (Main).
- Bruno, D.W. and Poppe, T.T. (1996). A Colour Atlas of Salmonid Diseases. Academic Press. 194 p. LONDON.
- BSGM (2024) 18/06/2026 Tarihinde
<https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Veri%20ve%20D%C3%B6k%C3%BCmanlar%C4%B1/Bsgm-istatistik.pdf>
adresinden erişilmiştir.
- Çelikkale, M.S. (1994). İçsu Balıkları ve Yetiştiriciliği. Cilt, I. K.T.Ü. Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi. Yayın No: 2. 419 s. TRABZON.
- Leitritz, E. (1974). Die Praxis der Forellenzucht. Verlag Paul Parey. 122 s. Hamburg und Berlin.
- Lindhorst-Emme, W. (1990). Forellenzucht. Verlag Paul Parey. 157 s. Hamburg und Berlin.
- Steffens, W. (1981). Moderne Fischwirtschaft. Verlag J. Neumann-Neudamm. 375 s. Melsungen. Berlin. Basel. Wien.

BÖLÜM 4

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE SEKONDER METABOLİTLER: BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINDAKİ ROLÜ

Mehmet Zeki KOÇAK¹

¹ Doç. Dr. Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-8368-2478>

Giriş

Doğa, yapısal açıdan son derece çeşitli ve oldukça karmaşık biyoaktif moleküller üretme konusunda olağanüstü bir kapasiteye sahiptir; bu moleküllerin önemli bir kısmı günümüz sentetik kimya yaklaşımlarıyla dahi tam olarak taklit edilmesi güç bileşiklerdir. Özellikle tıbbi bitkiler, fizyolojik etkilere sahip çok sayıda aktif bileşik içermekte olup, bu özellikleri onların terapötik değerinin temelini oluşturmaktadır. Nitekim bitki kökenli tedavi yöntemleri modern farmakolojiden çok daha eskiye dayanmakta ve hem geleneksel tıp sistemlerinde hem de çağdaş biyomedikal araştırmalarda önemli bir yer tutmaya devam etmektedir. Güncel çalışmalar, tıbbi bitkilerin ilaç keşfi ve geliştirme süreçleri açısından kimyasal çeşitlilik bakımından en önemli doğal kaynaklardan biri olmayı sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (Chaachouay ve Zidane, 2024; Davis ve Choisy, 2024).

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, geleneksel, tamamlayıcı ve bütüncü tıp uygulamaları küresel ölçekte sağlık hizmetlerinde önemli bir rol oynamaya devam etmekte olup, üye ülkelerde yaygın biçimde kullanılmakta ve evrensel sağlık hizmetlerine erişim, toplum sağlığı ve kültürel uyum açısından önemli katkılar sağlamaktadır. WHO ayrıca, geleneksel bilgi ve doğal kaynakların modern terapötiklerin geliştirilmesine doğrudan katkı sunduğunu ve günümüzde kullanılan farmasötik ürünlerin yaklaşık %40'ının doğa ve geleneksel bilgi ile ilişkili olduğunu bildirmektedir. Bununla birlikte, bitki âleminin sahip olduğu geniş biyolojik çeşitlilik göz önüne alındığında, tıbbi bitkiler üzerinde yürütülen araştırmaların yeni fitokimyasal bileşiklerin keşfi ve gelecekte geliştirilecek ilaç adaylarının belirlenmesi açısından kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır (WHO, 2023; WHO, 2025; Davis ve Choisy, 2024).

Bitki temelli tedavi uygulamalarına ilişkin en eski kanıtlar, tarih öncesi dönemlere kadar uzanmakta olup, Alpler bölgesinde bulunan “Ötzi Buz Adamı” ile ilişkilendirilmektedir. Paleomedikal bulgular, erken insan topluluklarının tedavi amaçlı bitki ve mantarları kullandığını göstermektedir. Daha geniş ölçekte değerlendirildiğinde, etnobotanik çalışmalar bitkisel tedavi uygulamalarının dünya genelinde yaygın olduğunu ve kültürel bilgi sistemlerinin ayrılmaz bir parçasını oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Günümüzde ise biyolojik çeşitlilik bilimleri ile etnofarmakoloji ve fitokimya disiplinlerinin entegrasyonu, yeni biyoaktif bileşiklerin keşfini hızlandırmaktadır (Hardy, 2020; Davis ve Choisy, 2024).

Modern sentetik ilaçlar ve antibiyotikler son yaklaşık 150 yıl içerisinde geliştirilmiş ve tıbbi uygulamalara entegre edilmiştir. Bununla birlikte, bitki kökenli doğal bileşikler ve bunların türevleri, özellikle onkoloji, enfeksiyon hastalıkları ve inflamasyon araştırmaları gibi alanlarda farmasötik gelişmelere önemli katkılar sağlamaya devam etmektedir. Günümüzde tıbbi bitkiler yalnızca geleneksel tedavi unsurları olarak değil, aynı zamanda farmasötik inovasyon için potansiyel öncü bileşikler ve biyolojik mekanizmaların anlaşılmasında kritik rol oynayan sistemler olarak değerlendirilmektedir (Atanasov ve ark., 2021; Chaachouay ve Zidane, 2024; Latif ve Nawaz, 2025).

Bu bağlamda, Dünya Sağlık Örgütü geleneksel tıp stratejisini yeniden yapılandırmış ve 2025–2034 dönemi için oluşturduğu yeni stratejide bilimsel kanıtların güçlendirilmesi, güvenlik ve etkinliğin sağlanması, sağlık sistemlerine entegrasyon ve biyolojik çeşitlilik ile geleneksel

bilginin korunması gibi temel unsurlara odaklanmıştır. Bu yaklaşım, tıbbi bitkilerin güvenli, etkili ve sürdürülebilir kullanımını desteklemeye yönelik küresel bir çabanın yansımasıdır (WHO, 2025).

Bitkisel ilaçların terapötik etkileri büyük ölçüde bitkilerin sekonder metabolitlerine dayanmaktadır. Bu bileşikler, primer metabolik yollardan türeyen ve insan ile hayvanlarda çeşitli farmakolojik veya toksikolojik etkiler gösterebilen biyoaktif moleküllerdir. Güncel bitki bilimleri araştırmaları, bitki metabolit çeşitliliğinin son derece geniş olduğunu ve 200.000'den fazla bitki metabolitinin tanımlandığını, bunun yanında çok daha fazlasının henüz karakterize edilmediğini ortaya koymaktadır. Bu metabolitler arasında alkaloidler, fenolik bileşikler, terpenoidler ve uçucu bileşenler yer almakta olup; antibakteriyel, antiinflamatuvar, antioksidan, ekspektoran ve sedatif gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sergileyebilmektedir. Hem aromatik hem de aromatik olmayan bitkiler, yüksek farmakolojik potansiyele sahip metabolitler sentezleyebilmekte olup, bu durum onların ilaç geliştirme süreçlerinde önemli ve alternatif bir kaynak olduğunu göstermektedir (Dixon ve Barros, 2024; Khan ve ark., 2025; Latif ve Nawaz, 2025).

Tablo 1. Tıbbi Bitkiler, Aromatik Bitkiler ve Tıbbi & Aromatik Bitkilerin Karşılaştırılması

Özellikler	Tıbbi Bitkiler	Aromatik Bitkiler	Tıbbi ve Aromatik Bitkiler
Tanım	Hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde kullanılan, farmakolojik etkiye sahip biyoaktif bileşikler içeren bitkiler	Uçucu yağlar ve hoş kokuya sahip bileşikler üreten, genellikle koku ve aroma amacıyla kullanılan bitkiler	Hem tıbbi hem de aromatik özellikleri bir arada bulunduran, biyoaktif ve uçucu bileşiklerce zengin bitkiler
Temel Bileşikler	Alkaloidler, flavonoidler, fenolik bileşikler, glikozitler	Uçucu yağlar (terpenler, monoterpenler, seskiterpenler)	Hem sekonder metabolitler (alkaloid, flavonoid vb.) hem de uçucu yağlar
Ana Kullanım Amacı	Tedavi edici (farmasötik ve fitoterapötik kullanım)	Koku, tat, kozmetik ve aromaterapi	Hem tedavi edici hem de aromatik (çok yönlü kullanım)
Farmakolojik Etki	Yüksek ve spesifik farmakolojik etki	Genellikle dolaylı veya destekleyici etki	Hem doğrudan farmakolojik hem de destekleyici etkiler
Uçucu Yağ İçeriği	Genellikle düşük veya ikincil önemde	Yüksek ve temel özelliktir	Orta–yüksek düzeyde ve fonksiyonel
Kullanım Alanları	İlaç sanayi, geleneksel tıp, fitoterapi	Gıda, parfümeri, kozmetik, aromaterapi	İlaç, gıda, kozmetik ve sağlık sektörlerinde geniş kullanım
Örnek Türler	<i>Digitalis</i> spp., <i>Atropa belladonna</i>	<i>Lavandula</i> spp., <i>Mentha</i> spp.	<i>Ocimum basilicum</i> , <i>Thymus</i> spp., <i>Rosmarinus officinalis</i>

Bitki Metabolizmasında Primer ve Sekonder Metabolitlerin Rolü: Biyokimyasal ve Fizyolojik Bir Karşılaştırma;

Bitkiler âleminde biyolojik temel alındığında, doğal olarak oluşan biyoaktif bileşikler genel primer ve sekonder metabolitler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bitkilerde Calvin, Glikoliz, Krebs döngüsü ve Fotosentez gibi primer metabolik yollar aracılığıyla, karbonhidratlar, lipitler, amino asitler, proteinler ve nükleik asitler olmak üzere klorofil pigmentlerinin katkısıyla primer metabolitler sentezlenmektedir. Aynı zamanda, bunlar, bitkilerde yaygın olarak bulunmakta; büyüme, gelişme ve üreme gibi temel biyolojik süreçlerde kritik rol oynayarak bitkilerin yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan temel metabolizmayı desteklemektedir (Bacler-Żbikowska ve ark., 2025)

Buna karşın, sekonder metabolitlerde, özellikle tıbbi bitkilerin, bitki organizmasının temel yapısal bileşenlerine doğrudan katılmayan, ancak yüksek derecede özgüllük ve biyolojik aktivite gösteren çok sayıda düşük molekül ağırlıklı bileşik sentezlediği görülmektedir. Bu bileşikler, bitkilerde başta savunma ve öz savunma mekanizmaları olmak üzere; çevresel etkileşimlerin düzenlenmesi, ekolojik uyum süreçleri, bazı özel doku ve yapıların oluşumu ile üreme biyolojisi gibi çeşitli fizyolojik ve ekolojik fonksiyonlarda önemli roller üstlenmektedir. Ayrıca, sekonder metabolitler çoğunlukla düşük konsantrasyonlarda bulunmasına rağmen belirgin biyolojik etkiler sergilemesi dikkat çekicidir. Bu bileşiklerin dağılımı türlere özgü olup, bitki âlemi genelinde homojen bir yayılım göstermemektedir; aksine, her tür kendine özgü bir sekonder metabolit profili ile karakterize edilmektedir (Yeshi ve ark., 2022).

Sekonder metabolitler ile ilgili yapılan çalışmalar, bu bileşiklerin yalnızca bitki fizyolojisi açısından değil, insan sağlığı bakımından da önemli işlevler üstlendiğini açıkça göstermektedir. Nitekim bazı sekonder metabolitler, temel beslenmenin ötesine geçerek “yardımcı sağlık faktörleri” olarak değerlendirilebilmekte ve bu yönleriyle halk sağlığının desteklenmesinde kayda değer bir potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte, primer ve sekonder metabolitler arasındaki önemli bir ayrımın olmadığı, yapılan araştırmalarda amino asitler ve bazı sterol ara ürünleri gibi bileşiklerin bu iki metabolik grup arasında geçişken bir karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, metabolik ağların aslında ortak biyokimyasal temeller üzerine kurulu olduğunu ve birbirinden tamamen bağımsız süreçler olarak değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Bu bağlamda, amino asitler bir yandan temel metabolizmanın vazgeçilmez yapı taşları olarak görev yaparken, diğer yandan pek çok sekonder metabolitin biyosentezinde öncül moleküller olarak işlev görmektedir.

Benzer şekilde steroller, çoğunlukla sekonder metabolitler kapsamında ele alınmasına rağmen, hücre zarının yapısal bütünlüğüne katkı sağlayarak primer metabolik süreçlerde de önemli roller üstlenmektedir (La Rosa ve ark., 2023). Bu çerçevede değerlendirildiğinde, bitki metabolizmasının katı sınırlarla ayrılmış iki ayrı sistemden ziyade, dinamik ve bütüncül bir organizasyon sergilediği anlaşılmaktadır. Primer ve sekonder metabolitler arasındaki ilişki, birbirini tamamlayan ve iç içe geçmiş biyokimyasal süreçlerin bir yansıması olduğu bilinmektedir.

Sekonder Metabolitlerin Sınıflandırılması

Bitki metabolizması, primer ve sekonder metabolizma olarak ikiye ayrılmaktadır. Ancak günümüzde bu iki yapı arasında güçlü bir etkileşim olduğu bilinmekte ve bu nedenle bu ayrımın kesin sınırlarla yapılması giderek zorlaşmaktadır. Primer metabolizma, tüm bitkilerde bulunan ve yaşamın devamı için zorunlu süreçleri kapsar. Burada bitkinin büyümesini, gelişmesini ve temel yaşamsal faaliyetlerini belirlemektedir. Buna karşılık, sekonder metabolizma her bitkide aynı şekilde bulunmaz; daha çok belirli gelişim dönemlerinde, belirli organ ve dokularda ya da çevresel koşullara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Mipeshwaree Devi ve ark., 2023).

Sekonder metabolizma, bitkilerin çevreleriyle etkileşiminde önemli rol oynayan çok sayıda kimyasal bileşiğin meydana geldiği bir sistemdir. Bu bileşikler; tozlaşmada, tohumların yayılmasına katkıda bulunma ve zararlılar ile patojenlere karşı savunma gibi kritik görevler üstlenirler. Bu bağlamda, fitosteroller ile giberellinler ve absisik asit gibi bazı hormonlar, bitkiler için hayati öneme sahip olmalarına rağmen terpenoid biyosentez yolu gibi sekonder metabolik yollar üzerinden sentezlenir. Benzer şekilde, absisik asit (ABA) ve salisilik asit (SA) gibi hormonların özellikle stres koşullarında terpenoid üretimini etkilemesi, bu iki metabolizma arasındaki ilişkinin ne kadar iç içe olduğunu göstermektedir (Böttger ve ark., 2018).

Terpenoidler

Terpenoidler, başlıca bitki türleri arasında en önemli, dünya genelinde en yaygın ve en büyük ikincil metabolit grubunu oluşturmaktadır. Terpenoidlerin kimyasal yapısı, genellikle bitki reçinelerinde ve uçucu yağlarda bulunan, sıvı formda doymamış hidrokarbon iskeletine dayanmaktadır. Terpenoidlerin temel yapı birimi, asetil-KoA veya 3-fosfoglisierattan biyosentezlenen ve izoprenoid olarak adlandırılan dallanmış beş karbonlu (C_5) birimdir. Bu izopren (C_5) birimlerinin tekrarlı bağlanması, terpenoidlerin farklı sınıflarını oluşturmaktadır. Buna göre; hemiterpenler (C_5), monoterpenler (C_{10}), seskiterpenler (C_{15}), diterpenler (C_{20}), triterpenler (C_{30}), tetraterpenler (C_{40}) ve politerpenler bu gruplar arasında yer almaktadır (Khanam ve ark., 2025).

Bitki kökenli sekonder metabolitler; terpenler ve terpenoidler, steroidler ve steroller, fenolik bileşikler, alkaloidler, glikozitler, saponinler ve kardiyoaktif bileşikler gibi geniş ve kimyasal açıdan oldukça çeşitli bir grup altında toplanmaktadır. Bu bileşikler arasında özellikle terpenler ve terpenoidler, izopren (C_5H_8) birimlerinden türeyen yapılarıyla hem çeşitlilik hem de biyosentetik yaygınlık açısından öne çıkmakta; farklı bitki familyalarında on binlerce türevle temsil edilmektedir. Oksijen içeren türevlerin terpenoid olarak adlandırılması, bu grubun fonksiyonel çeşitliliğini artırmakta; steroidler ve steroller gibi daha kompleks yapıların da bu biyosentetik kökene dayandığını göstermektedir (Kumar ve ark., 2023).

Terpenoidler, bitkilerde uçucu yağların, aroma ve renk bileşenlerinin temelini oluşturmakla birlikte, ekolojik açıdan savunma mekanizmalarında, tozlaşma süreçlerinde ve yayılma stratejilerinde kritik rol oynamaktadır. Aynı zamanda bu bileşikler; gıda, farmasötik ve kozmetik endüstrilerinde geniş uygulama alanı bulmakta ve biyolojik sistemlerde pigment, vitamin ve hormon öncülleri olarak işlev görmektedir. Benzer şekilde bitki steroller, özellikle

kolesterol metabolizması üzerindeki düzenleyici etkileriyle insan sağlığı açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte, terpenoid kökenli bileşikler, tanenler, kinonlar ve saponinler gibi diğer sekonder metabolit grupları da hem bitkilerin savunma sistemlerinde hem de tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda önemli işlevler üstlenmektedir. Özellikle tanenlerin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri, kinonların güçlü biyolojik aktiviteleri ve saponinlerin yüzey aktif özellikleri bu bileşiklerin çok yönlü kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır (Cheng ve ark., 2025).

Monoterpenler, diterpenler, triterpenler, tetraterpenler, politerpenler, saponinler, temel beş karbonlu izopren biriminden türeyen ve mevalonat (MVA) ve/veya metileritritol fosfat (MEP) biyosentetik yolları aracılığıyla sentezlenen, yapısal ve fonksiyonel açıdan oldukça çeşitli terpenoid etmektedir. İki izopren biriminden oluşan monoterpenler (C_{10}), genellikle uçucu yağlarda bulunur ve bitkilerde aroma oluşumu ile savunma mekanizmalarında rol oynar. These include bitki büyüme düzenlenmesinde önemli işlevlere sahiptir, giberellinler gibi bileşikler içerir, and biriminden türeyen diterpenler (C_{20}). Additionally, sterollerin öncüsü olup önemli farmakolojik aktivitelere sahiptir, biriminden oluşan triterpenler (C_{30}). Sekiz izopren biriminden meydana gelen tetraterpenler (C_{40}), fotosentez ve fotoproteksiyonda kritik rol oynayan karotenoidleri kapsamaktadır. Izopren birimlerinden oluşan uzun zincirli yapılar olan politerpenler, doğal kauçuk bileşikler içerir ve yapısal ile koruyucu işlevlerde görev alır (Anjali ve ark., 2026).

Fenolikler

Fenolikler (fenolik bileşikler), yapılarında en az bir hidroksil grubunun aromatik benzen halkasına kovalent olarak bağlı bulunmasıyla tanımlanan ve bitki sekonder metabolitleri arasında en yaygın ve yapısal açıdan en çeşitli gruplardan birini oluşturan bileşiklerdir. Bu bileşikler başlıca Şikimat Yolu aracılığıyla sentezlenmekte ve ardından Fenilpropanoid Yolu üzerinden çeşitlenmektedir. Bu süreçte fenilalanin ve daha sınırlı ölçüde tirozin, temel öncül bileşikler olarak görev yapmaktadır. Fenilalaninin fenilalanin amonyak liyaz (PAL) enzimi aracılığıyla dönüştürülmesi, fenolik bileşiklerin biyosentezinde anahtar ve düzenleyici bir basamak olarak kabul edilmektedir. Yapısal açıdan fenolik bileşikler; basit fenoller, fenolik asitler (hidroksibenzoik ve hidroksisinamik asitler), flavonoidler (flavonoller, flavonlar ve antosiyaninler), tanenler (hidrolize olabilir ve kondanse tanenler), lignanlar, stilbenler ve lignin gibi polimerik fenolikler dahil olmak üzere birçok alt grubu kapsamaktadır (Shahidi ve ark., 2019; Marchiosi ve ark., 2020).

Fenolik bileşikler bitkilerde çok yönlü işlevlere sahiptir. Özellikle lignifikasyon yoluyla hücre duvarının yapısal güçlendirilmesinde, pigmentasyon sayesinde tozlayıcıların çekilmesinde ve hücrel sinyal iletim süreçlerinde önemli roller üstlenmektedir. Bunun yanı sıra, bitkilerin savunma sistemlerinde merkezi bir konumda yer almakta; antimikrobiyal etki göstererek patojenlere karşı koruma sağlamakta, herbivorları caydırmakta ve ultraviyole ışınları, kuraklık ve sıcaklık stresleri gibi çevresel faktörlerin neden olduğu oksidatif strese karşı güçlü antioksidan özellikleriyle koruyucu rol oynamaktadır. Biyokimyasal açıdan fenolik bileşikler,

redoks özellikleri sayesinde reaktif oksijen türlerini (ROS) süpürebilmekte, metal iyonlarını şelatlayabilmekte ve enzim aktivitelerini düzenleyebilmektedir (Lone ve ark., 2024).

Bitki fizyolojisinin ötesinde, fenolik bileşikler insan sağlığı açısından da büyük önem taşımaktadır. Yapılan çok sayıda çalışma, bu bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar, antikanser, antidiyabetik ve kardiyoprotektif etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu etkiler, büyük ölçüde hücrel sinyal yollarını, gen ekspresyonunu ve enzim aktivitelerini düzenleme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle fenolik bileşikler; bitki fizyolojisi, biyokimya, farmakognozi ve fonksiyonel gıda bilimleri gibi disiplinlerde yoğun şekilde araştırılmakta olup, bitki biyolojisi ile insan sağlığı arasındaki kritik bağlantıyı temsil etmektedir (Aryal ve ark., 2024).

Alkaloidler

Alkaloidler, çoğunlukla bazik karakter gösteren, azot içeren ve genellikle heterosiklik yapı taşıyan, bitkiler başta olmak üzere bazı mantar, bakteri ve nadiren hayvansal organizmalar tarafından sentezlenen, biyolojik olarak son derece aktif sekonder metabolitlerdir. Bu bileşikler, biyosentetik olarak büyük ölçüde Amino Asit Metabolizması kapsamında triptofan, tirozin, fenilalanin, ornitin ve lizin gibi amino asitlerden türemekte olup, bu öncül moleküllerin çeşitli enzimatik dönüşümleri sonucunda kompleks alkaloid iskeletleri oluşmaktadır. Alkaloidlerin sınıflandırılması genellikle biyogenetik kökenlerine, kimyasal yapılarına ve taşıdıkları heterosiklik halka sistemine göre yapılmakta; bu kapsamda indol, izokinolin, piridin, kinolin, tropan, piperidin ve purin alkaloidleri gibi çok sayıda alt grup tanımlanmaktadır (Matsuura ve ark., 2015).

Bitkilerde alkaloidler çoğunlukla vakuollerde depolanmakta ve bitkinin savunma sisteminin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu bileşikler, herbivor organizmalara karşı toksik veya beslenmeyi engelleyici etkiler gösterirken, aynı zamanda bakteri, mantar ve virüslere karşı antimikrobiyal özellikler sergilemektedir. Bunun yanı sıra, alkaloidlerin allelopatik etkileşimlerde rol oynayarak diğer bitki türlerinin çimlenmesini ve büyümesini baskılayabildiği de bilinmektedir. Bitki fizyolojisi açısından değerlendirildiğinde, alkaloidler yalnızca savunma bileşikleri değil, aynı zamanda büyüme düzenleyici süreçlerde ve stres yanıt mekanizmalarında rol oynayan önemli biyokimyasal sinyal molekülleri olarak da işlev görmektedir (Attard ve Siedenburger, 2026).

Farmakolojik açıdan alkaloidler, geniş bir biyolojik aktivite spektrumuna sahip olup modern tıpta oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu bileşikler; merkezi sinir sistemi üzerine etkili analjezik ve sedatif ajanlar, antimalaryal ilaçlar (kinin), antikanser ajanlar (vinkristin ve vinblastin), antihipertansif ve antiaritmik bileşikler (rezerpin) ile stimülanlar (kafein) gibi çok çeşitli terapötik uygulamalarda kullanılmaktadır. Alkaloidlerin bu güçlü etkileri, genellikle hücrel düzeyde enzimler, iyon kanalları ve reseptörlerle yüksek özgüllükte etkileşime girebilme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, yüksek biyolojik aktiviteye bağlı olarak birçok alkaloid toksik özellik de gösterebilmekte, bu nedenle dozaj ve kullanım şekli farmakolojik açıdan kritik önem taşımaktadır (Zhang ve ark., 2026).

Bitki Sekonder Metabolitlerinin Fonksiyonları

Bitki sekonder metabolitleri, birincil metabolizmanın ara ürünlerinden türeyen ve doğrudan hücresel büyüme ile gelişme için zorunlu olmamakla birlikte, bitkilerin çevresel koşullara uyum sağlamasında, ekolojik etkileşimlerini düzenlemesinde ve evrimsel başarılarını sürdürmesinde merkezi rol oynayan yüksek derecede özelleşmiş biyomoleküllerdir. Bu bileşikler başlıca Şikimat Yolu, Mevalonat Yolu ve Metileritritol Fosfat Yolu gibi temel biyosentetik yollar üzerinden sentezlenmekte olup, alkaloidler, fenolikler ve terpenoidler gibi geniş ve kimyasal açıdan heterojen grupları kapsamaktadır. Sekonder metabolitlerin biyosentezi ve birikimi, genellikle gelişimsel evreye özgü olarak düzenlenmekte ve çevresel sinyaller (ışık, sıcaklık, su stresi, patojen saldırısı) tarafından transkripsiyonel ve post-transkripsiyonel düzeyde sıkı bir kontrol altında tutulmaktadır (Pang ve ark., 2021).

Ekolojik açıdan sekonder metabolitler, bitkilerin biyotik stres faktörlerine karşı geliştirdiği çok katmanlı savunma sisteminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu bileşikler, doğrudan toksik etkiler ile herbivor ve patojenleri baskılayabildiği gibi, aynı zamanda uçucu organik bileşikler aracılığıyla dolaylı savunma mekanizmalarını aktive ederek herbivorların doğal düşmanlarını cezbedebilmektedir. Ayrıca allelopatik etkileşimler yoluyla rizosferde diğer bitki türlerinin çimlenmesini ve büyümesini inhibe ederek rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu durum, sekonder metabolitlerin yalnızca bireysel savunma değil, aynı zamanda topluluk düzeyinde bitki-çevre etkileşimlerinin düzenlenmesinde de kritik rol oynadığını göstermektedir (War ve ark., 2020). Fizyolojik ve moleküler düzeyde ise sekonder metabolitler, hücresel homeostazın korunmasında önemli işlevler üstlenmektedir. Özellikle fenolik bileşikler ve bazı terpenoidler, reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonunda görev alarak hücreyi oksidatif hasardan korumakta ve redoks dengesini düzenlemektedir. Bunun yanı sıra lignin gibi polimerik fenolikler, hücre duvarının mekanik dayanıklılığını artırarak hem fiziksel bariyer oluşturmakta hem de su iletiminde rol oynayan ksilem dokusunun fonksiyonelliğini desteklemektedir. Pigment yapılı sekonder metabolitler (örneğin flavonoidler ve karotenoidler), fotosentetik aparatın korunmasında, UV filtrasyonu sağlamada ve tozlayıcı organizmaların çekilmesinde önemli rol oynamaktadır (Akbar ve ark., 2023).

Son yıllarda yapılan moleküler çalışmalar, sekonder metabolitlerin yalnızca son ürünler olmadığını, aynı zamanda gen ekspresyonunu, enzim aktivitelerini ve sinyal iletim yollarını düzenleyen aktif biyoregülatörler olduğunu ortaya koymuştur. Bu bileşikler, hormon benzeri etkiler göstererek Bitki Hormonları ile etkileşime girmekte ve stres yanıtlarının koordinasyonunda rol almaktadır. Ayrıca sekonder metabolitlerin epigenetik düzenlemeler, hücreler arası iletişim ve metabolik ağların yeniden programlanmasında görev aldığı da bildirilmektedir. Sonuç olarak, bitki sekonder metabolitleri, bitkilerin yalnızca savunma sisteminin pasif ürünleri değil; aksine çevresel sinyalleri algılayan, işleyen ve uygun fizyolojik yanıtları oluşturan dinamik bir biyokimyasal ağın temel bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Bu yönleriyle sekonder metabolitler, bitkilerin stres toleransı, adaptasyon kapasitesi ve ekolojik rekabet gücünün belirlenmesinde kritik rol oynarken; aynı zamanda farmasötik, nutrasetik ve tarımsal uygulamalarda büyük potansiyele sahip stratejik doğal ürünler olarak bilimsel araştırmaların odağında yer almaktadır.

Tablo 2. MAP'ler, Sekonder Metabolitler ve Farmakolojik Özellikleri

Botanik Adı	Familiya	Sekonder Metabolitler	Farmakolojik Etkiler	Kaynaklar
<i>Ocimum basilicum</i> L. (Fesleğen)	Lamiaceae	Linalool, flavonoidler	Antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar	Kwee & Niemeyer, 2011
<i>Thymus vulgaris</i> L. (Kekik)	Lamiaceae	Timol, karvakrol	Antimikrobiyal, antifungal	Marchese et al., 2016
<i>Salvia officinalis</i> L. (Adaçayı)	Lamiaceae	Rosmarinik asit	Antioksidan, nöroprotektif	Hamidpour et al., 2014
<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (Biberiye)	Lamiaceae	Karnosik asit, Rosmarinik asit	Antioksidan, antiinflamatuvar	Borrás-Linares et al., 2014
<i>Mentha piperita</i> L. (Nane)	Lamiaceae	Mentol, menton	Antispazmodik, antimikrobiyal	McKay & Blumberg, 2006
<i>Lavandula angustifolia</i> (Lavanta)	Lamiaceae	Linalool, linalil asetat	Sedatif, anksiyolitik	Cavanagh & Wilkinson, 2002
<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	Karvakrol, timol	Antimikrobiyal, antioksidan	Leyva-López et al., 2017
<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	Rosmarinik asit	Sedatif, antiviral	Shakeri et al., 2016
<i>Foeniculum vulgare</i>	Apiaceae	Anetol, fenşon	Östrojenik	Badgajar et al., 2014
<i>Pimpinella anisum</i> L.	Apiaceae	Anetol, kumarinler	Antimikrobiyal	Rather et al., 2016
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Apiaceae	Linalool, flavonoidler	Antioksidan, hipoglisemik	Sriti et al., 2011
<i>Nigella sativa</i> L.	Ranunculaceae	Timoquinon	Antikanser, antiinflamatuvar	Ahmad et al., 2013
<i>Linum usitatissimum</i> L. (Keten)	Linaceae	SDG lignanları, fenolikler	Antioksidan, kardiyoprotektif	Touré & Xueming, 2010
<i>Sesamum indicum</i> L.	Pedaliaceae	Sesamin, sesamol	Antioksidan, antihipertansif	Pathak et al., 2014
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.(Meyan)	Fabaceae	Glisirizin, flavonoidler	Antiviral, antiinflamatuvar	Pastorino et al., 2018
<i>Curcuma longa</i> L.	Zingiberaceae	Kurkumin	Antikanser, antiinflamatuvar	Hewlings & Kalman, 2017
<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberaceae	Gingerol	Antiinflamatuvar	Mashhadi et al., 2013
<i>Allium sativum</i> L.	Amaryllidaceae	Allisin	Antibakteriyel	Borlinghaus et al., 2014
<i>Camellia sinensis</i> (L.)	Theaceae	Kateşin	Antioksidan, antikanser	Cabrera et al., 2006
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Hypericaceae	Hiperisin	Antidepresan	Butterweck, 2003
<i>Echinacea purpurea</i> (L.)	Asteraceae	Alkilamidler, fenolikler	İmmünomodülatör	Barnes et al., 2005
<i>Artemisia annua</i> L.	Asteraceae	Artemisinin	Antimalaryal	Tu, 2011

Botanik Adı	Familya	Sekonder Metabolitler	Farmakolojik Etkiler	Kaynaklar
<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	Asphodelaceae	Aloin, polisakkaritler	Yara iyileştirici, antiinflamatuvar	Hamman, 2008
<i>Vitis vinifera</i> L.	Vitaceae	Resveratrol	Antioksidan, kardiyoprotektif	Baur & Sinclair, 2006

KAYNAKÇA

- Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S. A., Najmi, A. K., Siddique, N. A., ... & Anwar, F. (2013). A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(5), 337–352.
- Akbar, M. U., Aqeel, M., Shah, M. S., Jeelani, G., Iqbal, N., Latif, A., ... & Noman, A. (2023). Molecular regulation of antioxidants and secondary metabolites act in conjunction to defend plants against pathogenic infection. *South African Journal of Botany*, 161, 247–257.
- Anjali, K., Raghav, A., Chauhan, A. S., & Kumar, P. (2026). Natural terpenes: An overview of structural diversity and multifunctional applications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 16(4), 079–091.
- Aryal, D., Joshi, S., Thapa, N. K., Chaudhary, P., Basaula, S., Joshi, U., ... & Parajuli, N. (2024). Dietary phenolic compounds as promising therapeutic agents for diabetes and its complications: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 12(5), 3025–3045.
- Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M., and Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20(3), 200–216.
- Attard, E., & Siedenburg, J. (2026). Alkaloid-Based Insecticides as Possible Tools for Sustainable Agriculture: Mechanisms, Applications, and Challenges. *Agrochemicals*, 5(2), 22.
- Bacler-Żbikowska, B., Hutniczak, A., Pilawa, B., Chodurek, E., Zdybel, M., Piekarska-Stachowiak, A., & Woźniak, G. (2025). The Current State of Knowledge About Changes in the Synthesis of the Secondary Metabolites Caused by Habitat Conditions and Microbial Activity. *Agronomy*, 15(10), 2251.
- Barnes, J., Anderson, L. A., & Gibbons, S. (2005). Echinacea species. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(8), 929–954.
- Baur, J. A., & Sinclair, D. A. (2006). Therapeutic potential of resveratrol. *Nature Reviews Drug Discovery*, 5(6), 493–506.
- Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M. C. H., Nwachukwu, I. D., & Slusarenko, A. J. (2014). Allicin: Chemistry and biological properties. *Molecules*, 19(8), 12591–12618.
- Böttger, A., Vothknecht, U., Bolle, C., & Wolf, A. (2018). Plant secondary metabolites and their general function in plants. In *Lessons on Caffeine, Cannabis & Co: Plant-derived drugs and their interaction with human receptors* (pp. 3–17). Cham: Springer International Publishing.
- Borrás-Linares, I., Stojanović, Z., Quirantes-Piné, R., et al. (2014). *Rosmarinus officinalis* as a source of bioactives. *Industrial Crops and Products*, 59, 27–38.
- Butterweck, V. (2003). Mechanism of action of St John's wort. *CNS Drugs*, 17(8), 539–562.

- Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2), 79–99.
- Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002). Lavender essential oil. *Phytotherapy Research*, 16(4), 301–308.
- Chaachouay, N., and Zidane, L. (2024). Plant-Derived Natural Products: A Source for Drug Discovery and Development. *Drugs and Drug Candidates*, 3(1), 184–207.
- Cheng, R., Yang, S., Wang, D., Qin, F., Wang, S., & Meng, S. (2025). Advances in the biosynthesis of plant terpenoids: models, mechanisms, and applications. *Plants*, 14(10), 1428.
- Davis, C. C., and Choisy, P. (2024). Medicinal plants meet modern biodiversity science. *Current Biology*, 34(4), R158–R173.
- Hamidpour, M., Hamidpour, R., Hamidpour, S., & Shahlari, M. (2014). *Salvia officinalis* review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 4(2), 82–88.
- Hamman, J. H. (2008). Composition and applications of Aloe vera. *Molecules*, 13(8), 1599–1616.
- Hardy, K. (2020). Paleomedicine and the evolutionary context of medicinal plant use. *Evolutionary Anthropology*, 29(6), 279–289.
- Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A review. *Foods*, 6(10), 92.
- Khan, A., et al. (2025). Plant Secondary Metabolites—Central Regulators Against Abiotic and Biotic Stresses. *Metabolites*, 15(4), 276.
- Khanam, S., Mishra, P., Faruqui, T., Alam, P., Albalawi, T., Siddiqui, F., ... & Khan, S. (2025). Plant-based secondary metabolites as natural remedies: A comprehensive review on terpenes and their therapeutic applications. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1587215.
- Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A. S., Nehela, Y., ... & Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant stress*, 8, 100154.
- Kwee, E. M., & Niemeyer, E. D. (2011). Basil phenolics. *Food Chemistry*, 128(4), 1044–1050.
- La Rosa, G., Lonardo, M. S., Cacciapuoti, N., Muscariello, E., Guida, B., Faraonio, R., ... & Damiano, S. (2023). Dietary polyphenols, microbiome, and multiple sclerosis: From molecular anti-inflammatory and neuroprotective mechanisms to clinical evidence. *International journal of molecular sciences*, 24(8), 7247.
- Latif, R., and Nawaz, T. (2025). Medicinal plants and human health: a comprehensive review of bioactive compounds, therapeutic effects, and applications. *Phytochemistry Reviews*.
- Leyva-López, N., et al. (2017). Essential oils of oregano. *Molecules*, 22(6), 989.

- Lone, R., Khan, S., & Al-Sadi, A. M. (Eds.). (2024). Plant phenolics in biotic stress management. Springer Nature.
- Marchese, A., et al. (2016). Antimicrobial thymol. Food Chemistry, 210, 402–414.
- Mashhadi, N. S., et al. (2013). Anti-inflammatory effects of ginger. International Journal of Preventive Medicine, 4(S1), S36–S42.
- Marchiosi, R., dos Santos, W. D., Constantin, R. P., de Lima, R. B., Soares, A. R., Finger-Teixeira, A., ... & Ferrarese-Filho, O. (2020). Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. Phytochemistry Reviews, 19(4), 865-906.
- Matsuura, H. N., & Fett-Neto, A. G. (2015). Plant alkaloids: main features, toxicity, and mechanisms of action. Plant toxins, 2(7), 1-15.
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2006). Peppermint review. Phytotherapy Research, 20(8), 619–633.
- Mipeshwaree Devi, A., Khedashwori Devi, K., Premi Devi, P., Lakshmipriyari Devi, M., & Das, S. (2023). Metabolic engineering of plant secondary metabolites: prospects and its technological challenges. Frontiers in Plant Science, 14, 1171154
- Pastorino, G., et al. (2018). Licorice bioactives. Phytotherapy Research, 32(12), 2329–2339.
- Pang, Z., Chen, J., Wang, T., Gao, C., Li, Z., Guo, L., ... & Cheng, Y. (2021). Linking plant secondary metabolites and plant microbiomes: a review. Frontiers in plant science, 12, 621276.
- Pathak, N., et al. (2014). Sesame health benefits. Journal of Food Science and Technology, 51(1), 20–31.
- Ratan, Z. A., et al. (2021). Ginseng pharmacology. Biomedicine & Pharmacotherapy, 142, 112043.
- Shakeri, A., et al. (2016). Melissa officinalis review. Journal of Ethnopharmacology, 188, 204–228.
- Shahidi, F., Varatharajan, V., Oh, W. Y., & Peng, H. J. F. B. (2019). Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. Food Bioact, 5(1), 57-119.
- Sriti, J., et al. (2011). Coriander bioactivity. Industrial Crops and Products, 34(3), 1372–1379.
- Touré, A., & Xueming, X. (2010). Flaxseed lignans. Comprehensive Reviews in Food Science, 9(3), 261–269.
- Tu, Y. (2011). Artemisinin discovery. Nature Medicine, 17(10), 1217–1220.
- War, A. R., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ahmad, T., Nair, R. M., & Sharma, H. C. (2020). Plant defense and insect adaptation with reference to secondary metabolites. In Co-evolution of secondary metabolites (pp. 795-822). Cham: Springer International Publishing.

- World Health Organization (WHO). (2023). Traditional medicine has a long history of contributing to conventional medicine and continues to hold promise. WHO.
- World Health Organization (WHO). (2025). Traditional, Complementary and Integrative Medicine. WHO.
- World Health Organization (WHO). (2025). Global traditional medicine strategy 2025–2034. WHO.
- Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejerytė, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. *Molecules*, 27(1), 313.
- Zhang, X. Z., Chen, M. X., Hou, R., Wang, W. Q., He, Z. D., You, J. S., & Song, X. (2026). Natural Alkaloids as Antimicrobial Agents: Mechanisms, Potentials and Challenges. *Molecules*, 31(7), 1204.

BÖLÜM 5

KOLYOS (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth.) SÜS BİTKİSİNİN İSLAHİ VE GELECEK PROJEKSİYONU

*Abdurrahman ONARAN¹, Elçin Gözde ŞAHİN²,
Esmanur YILDIZ³, Ş. Şebnem ELLİALTIOĞLU⁴*

¹ Doç.Dr. , Akdeniz Üniversitesi, Kumluca Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Antalya

² Dr. , Onaran Fide Ar-Ge Merkezi, Serik – Antalya

³ Zir. Yük. Müh. , Onaran Fide Ar-Ge Merkezi, Serik – Antalya

⁴ Prof. Dr. , Doqutech Academy Ltd. Şti., Ankara Üniversitesi Teknokent, Gölbaşı - Ankara

1. GİRİŞ

‘Kolyos’ veya halk arasında daha çok bilinen adıyla ‘Yaprak Güzeli’ (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth.), *Lamiaceae* (Labiatae, Ballıbabagiller) familyasına ait, gösterişli yaprak renkleri ve desenleriyle öne çıkan “yaprak süs bitkileri”nden biridir. Tür, sahip olduğu geniş morfolojik çeşitlilik, geniş pigment yelpazesi ve farklı çevre koşullarına uyum sağlayabilme yeteneği sayesinde hem iç mekân hem de dış mekân süs bitkisi üretiminde dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ratray ve Van Wyk 2021). Tropikal ve subtropikal kökenli olan Kolyos'un doğal yayılış alanı Güneydoğu Asya ve Malezya'yı kapsamakta olup, 19. yüzyılın ortalarından itibaren Avrupa'ya tanıtılmasının ardından bu gösterişli bitki, kısa sürede süs bitkileri alanında yer edinmiştir (Lebowitz 1985, Nguyen 2007).

Süs bitkileri sektörü, yıllar içerisinde yalnızca estetik amaçlı üretim yapılan bir alan olmaktan çıkmış; sürdürülebilir üretim sistemleri, biyoteknoloji, iklim değişikliğine uyum ve çevresel stres toleransı çalışmalarının da odak noktalarından biri hâline gelmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak, dekoratif yaprak özellikleriyle ön plana çıkan türlere olan ilgi belirgin biçimde artmıştır. Kolyos; zengin renk ve desen çeşitliliği, yüksek fenotipik plastisitesi (görünüşündeki değişkenlikler), kolay vejetatif çoğaltılabilmesi ve biyoteknolojik uygulamalara uygunluğu sayesinde süs bitkileri ıslahı açısından dikkat çeken türlerden biri olarak görülmektedir.

Kolyos'un ticarete konu olan temelini, yapraklarının sahip olduğu renk ve desen çeşitliliği oluşturmaktadır. Pek çok süs bitkisinde dekoratif değeri oluşturan unsur çiçekler iken, kolyos türünde albeni ve estetik görünümü sağlayan kısımlar esasen yapraklardır. Yaprak rengi, pigment yoğunluğu ve dağılımı, damar desenleri, yaprak şekli ve bitki mimarisi gibi özellikler bitkinin süs değeri potansiyelini ortaya çıkartmaktadır. Yeşil, sarı, krem, pembe, kırmızı, bordo, mor ve siyaha yakın tonların farklı kombinasyonlar hâlinde aynı bitki üzerinde görülebilmesi, türün süs bitkileri sektöründe yaygın biçimde tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biridir. Kompakt gelişen saksı çeşitleri, güneşli koşullara daha dayanıklı genotipler, sarkıcı tipler ve yüksek pigment yoğunluğuna sahip yeni çeşitlerin geliştirilmesi, kolyos ıslahı programlarının başlıca hedefleri arasında yer almaktadır (Nguyen vd. 2005).

Türün ekonomik önemini artıran diğer özelliklerden biri, yüksek morfolojik çeşitliliği ve kolay çoğaltılabilir yapısıdır. Gövde çelikleriyle hızlı ve güvenilir şekilde vejetatif olarak çoğaltılabilmesi, üstün özelliklere sahip genotiplerin klonal olarak korunmasına ve kısa sürede üretime aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun yanında yaprak pigmentasyonunun ışık, sıcaklık ve diğer çevresel faktörlere duyarlı olması, kolyos'u yalnızca ticari açıdan değil;

pigment biyolojisi, çevresel adaptasyon, stres fizyolojisi ve süs bitkileri genetiği araştırmaları açısından da ilgi çekici bir tür hâline getirmiştir.

Yaprak Güzeli'nin süs bitkisi olarak kullanımı ve öneminin yanı sıra, bazı akraba türlerinde bulunan biyolojik aktif bileşikler nedeniyle tıbbi ve biyoteknolojik açıdan da dikkat çekici özellikleri bulunmaktadır. Özellikle *Coleus forskohlii*'de bulunan 'forskolin' ile *Coleus blumei* ve diğer bazı türlerde belirlenen 'fenolik bileşikler' ve 'rosmarinik asit' gibi sekonder metabolitler, türün farmakolojik ve biyoteknolojik potansiyelini artırmaktadır. Ayrıca yüksek rejenerasyon kapasitesi ve doku kültürü sistemlerine uygunluğu sayesinde mikroçoğaltım, somaklonal varyasyon, mutasyon ıslahı, sekonder metabolit üretimi ve moleküler biyoteknoloji çalışmalarında da başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Nagpal vd. 2008, Datta 2023).

Türkiye'de ise kolyos uzun yıllardır peyzaj düzenlemelerinde ve iç mekân süs bitkisi olarak kullanılmasına rağmen, tür üzerinde yürütülen sistematik genetik, ıslah ve biyoteknoloji çalışmalarının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Buna karşın Türkiye'nin farklı iklim bölgelerine sahip olması, gelişen süs bitkileri sektörü, güçlü doku kültürü altyapısı ve artan yerli çeşit geliştirme gereksinimi dikkate alındığında, kolyos hem bilimsel araştırmalar hem de çeşit geliştirme programları açısından fırsatlar sunmaktadır.

Bu kitap bölümünde kolyos veya yaprak güzeli bitkisinin taksonomik konumu, botanik ve morfolojik özellikleri, pigment biyolojisi, genetik yapısı, çevresel adaptasyonu, çoğaltma teknikleri, yetiştiricilik uygulamaları, hastalık ve zararlıları, ıslah stratejileri ile biyoteknolojik potansiyeli güncel literatür ışığında kapsamlı olarak ele alınmıştır. Ayrıca Türkiye açısından mevcut durum değerlendirilmiş, gelecekte yürütülebilecek araştırma alanları ve yerli çeşit geliştirme potansiyeli modern süs bitkileri ıslahı perspektifiyle tartışılmıştır.

2. TAKSONOMİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Bilimsel sınıflandırma

Âlem: Plantae

Takım: Lamiales

Familya: Lamiaceae

Cins: *Coleus*

Tür: *Coleus scutellarioides* (L.) Benth.

Başlıca sinonimler

- *Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd.
- *Plectranthus scutellarioides* (L.) R.Br.
- *Coleus blumei* Benth.
- *Ocimum scutellarioides* L.

Lamiaceae (Labiatae) familyasının bir üyesi olan kolyos (*Coleus scutellarioides*), sahip olduğu geniş morfolojik çeşitlilik nedeniyle taksonomik açıdan uzun yıllar tartışmalara konu olmuş süs bitkilerinden biridir. Türün sınıflandırılması tarihsel süreç boyunca farklı araştırmacılar tarafından değişik şekillerde gerçekleştirilmiştir. Özellikle *Coleus*, *Plectranthus* ve *Solenostemon* cinsleri arasındaki sınırların belirlenmesi uzun yıllar tartışılmış, morfolojik benzerlikler nedeniyle aynı tür, farklı dönemlerde farklı cinsler altında sınıflandırılmıştır. Son yıllarda gerçekleştirilen moleküler filogenetik çalışmalar ise bu taksonomik belirsizliklerin büyük ölçüde giderilmesini sağlamış ve kabul edilen sınıflandırmanın temelini oluşturmuştur (Paton vd. 2019).

2.1. Taksonomik Gelişim

Coleus cinsi ilk kez Loureiro tarafından 1790 yılında tanımlanmıştır. Cins adı, Yunanca ‘kılıf’ anlamına gelen *koleos* sözcüğünden türetilmiş olup, erkek organ filamentlerinin taban kısmında birleşerek kılıf benzeri bir yapı oluşturmaya atıfta bulunmaktadır. Daha sonraki yıllarda farklı araştırmacılar, morfolojik karakterlere dayanarak birçok *Coleus* türünü *Plectranthus* veya *Solenostemon* cinsleri altında değerlendirmiştir. Özellikle yaprak morfolojisi, çiçek yapısı ve büyüme formundaki benzerlikler nedeniyle cins sınırları uzun süre net olarak ortaya konulamamıştır (Grayer vd. 2021).

Tür uzun yıllar boyunca *Coleus blumei*, *Solenostemon scutellarioides* ve *Plectranthus scutellarioides* isimleriyle de anılmıştır. Ancak DNA dizilerine dayalı filogenetik analizler, geleneksel morfolojik sınıflandırmanın birçok durumda doğal evrimsel ilişkileri tam olarak yansıtmadığını göstermiştir. Paton vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı revizyon sonucunda, daha önce farklı cinsler altında bulundurulmuş birçok takson yeniden düzenlenmiş ve süs bitkisi olarak yaygın şekilde yetiştirilen tür için *Coleus scutellarioides* (L.) Benth. adı

kabul edilmiştir. Güncel olarak hem bilimsel yayınlarda hem de uluslararası bitki veri tabanlarında bu isim yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2. Tarihsel Gelişim

Kolyos'un doğal olarak bulunduğu alanlar Güneydoğu Asya ve Malezya olarak gösterilmekte olup, tropikal ve subtropikal bölgelerde nemli orman altı habitatlarında yetiştiği bildirilmektedir (Paton vd. 2019). Türün süs bitkisi olarak tanınması ise 19. yüzyılın ortalarında başlamıştır. Hollandalı yetiştirici M. J. A. Willink tarafından 1851 yılında Java'dan Avrupa'ya getirilen ilk bitkiler, dikkat çekici yaprak renkleri ve kolay yetiştirilebilir özellikleri sayesinde kısa sürede büyük ilgi görmüş ve Avrupa bahçelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Lebowitz 1985).

19.yüzyılın sonlarından itibaren yürütülen seleksiyon çalışmalarıyla birlikte farklı yaprak renkleri, desenleri ve büyüme formlarına sahip çok sayıda yeni çeşit geliştirilmiştir. Özellikle William Bull tarafından tanıtılan çeşitler, Kolyos'un ticari değerinin artmasına katkı sağlamıştır (Lebowitz 1985). Bu dönemde ıslah çalışmaları büyük ölçüde parlak yaprak renkleri, belirgin damar desenleri ve farklı yaprak şekillerinin elde edilmesine odaklanmıştır.

20.yüzyılın başlarında üretimde tohumla çoğaltmanın yaygınlaşması, bazı kalite sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Yüksek tohum verimi gösteren bitkilerin seçilmesi sonucunda birçok popülasyonda yaprak renk yoğunluğunda azalma, erken çiçeklenme ve bitki formunda bozulmalar görülmüş, dolayısıyla türün süs bitkisi değerinin geçici olarak azalmasına neden olmuştur (Lebowitz 1985). 1940'lı yıllardan itibaren vejetatif çoğaltma tekniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte üstün özelliklere sahip genotiplerin klonal olarak korunması mümkün olmuş ve kolyos yeniden önemli bir süs bitkisi hâline gelmiştir. Çelikle çoğaltma yönteminin yaygınlaşması, yaprak renklerinin ve desenlerinin nesiller boyunca korunmasını sağlamış; aynı zamanda modern ıslah programlarının gelişmesine de katkıda bulunmuştur. Kolyos'ta yürütülen ıslah çalışmaları yalnızca estetik özelliklerin geliştirilmesine değil; kompakt büyüme, güçlü dallanma, geç çiçeklenme, güneş ışınlarına dayanımı iyi, çevresel adaptasyon ve uzun süre dekoratif görünümün korunması gibi özelliklere de odaklanmaktadır (Nguyen vd. 2005). Kolyos'un süs bitkileri sektöründe yeniden önem kazanmasının temel nedenlerinden biri, sahip olduğu çevresel uyum yeteneğidir. Yaprak pigmentasyonu özelliği; ışık şiddeti, sıcaklık ve diğer çevresel faktörlere güçlü yanıt vermekte, aynı genotip farklı yetiştirme koşullarında belirgin fenotipik değişimler gösterebilmektedir (Nguyen ve Dal Cin 2009; Park vd. 2024a).

Türkiye'de kolyos uzun yıllardır peyzaj düzenlemeleri ve iç mekân bitkisi olarak yetiştirilmesine rağmen, türün taksonomisi, genetik yapısı ve ıslah potansiyeline yönelik bilimsel çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Buna karşın yüksek morfolojik çeşitliliği, vejetatif çoğaltıma yatkın olması, biyoteknolojik uygulamalara olumlu yanıt vermesi ve çevresel koşullara geniş uyum kapasitesi dikkate alındığında, kolyos'un gelecekte süs bitkileri genetiği, pigment biyolojisi, biyoteknoloji ve çeşit geliştirme çalışmaları açısından stratejik araştırma materyallerinden biri olacağı öngörülmektedir.

3. BOTANİK ÖZELLİKLER VE FENOTİPİK ÇEŞİTLİLİK

Kolyos (*Coleus scutellarioides*), yaprak şekli, renklenme özellikleri ve gelişim formu bakımından dikkat çekici bir çeşitlilik gösteren otsu bir süs bitkisidir. Tür içerisinde yeşilden sarıya, pembeden bordoya ve koyu mora kadar uzanan geniş bir renk yelpazesi bulunmakta; yapraklarda görülen desenler, damar renklenmeleri ve kenar yapıları bitkilere farklı bir görünüm kazandırmaktadır (Şekil 1). Bu morfolojik zenginlik, kolyos'un süs bitkileri sektöründe yaygın olarak kullanılmasının ve çok sayıda çeşidin geliştirilmesinin temel nedenlerinden biridir. Çoğunlukla tek yıllık olarak yetiştirilmekle birlikte, uygun sıcaklık ve ışık koşullarında çok yıllık gelişim gösterebilen yarı odunsu bir yapıya sahiptir.

3.1. Genel Morfolojik Özellikler

Coleus scutellarioides, *Lamiaceae* familyasına ait, tropikal ve subtropikal kökenli, doğal ortamında çok yıllık yetişebilen otsu bir bitki türüdür. Kışları soğuk geçen ılıman iklim kuşağında ise tek yıllık süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Bitkiler genellikle dik gelişen, iyi dallanan ve kısa sürede yoğun vejetatif gelişim gösterebilen bir büyüme formuna sahiptir. Çeşide bağlı olarak bitki boyu yaklaşık 20–100 cm arasında değişebilmekte; kompakt, yarı yayılıcı veya sarkıcı gelişim gösteren çok sayıda morfolojik tipi bulunmaktadır (Bailey 1942, Dole ve Wilkins 2005, Paton vd. 2019).

Gövdeler, *Lamiaceae* familyasının karakteristik özelliklerinden biri olan dört köşeli bir yapıya sahiptir. Genç sürgünler etli (succulent) yapı gösterir ve genotipe bağlı olarak yeşil, kırmızımsı veya morumsu renklenme sergileyebilir. Yaşlandıkça gövde tabanında kısmi odunlaşma meydana gelir. Gövde rengi, sürgün gelişimi ve boğum arası uzunluğu genetik özelliklerin yanı sıra çevre koşullarından da etkilenmektedir. Özellikle ışık şiddetindeki değişimlerin bitki formu üzerinde belirgin etkileri olduğu, düşük ışık koşullarında boğum aralarının uzadığı ve bitkilerin

daha gevşek bir yapı kazandığı, yüksek ışık düzeylerinde ise daha kompakt gelişimin ortaya çıktığı bildirilmektedir (Nguyen ve Dal Cin 2009). Karşılıklı dizili yapraklar ve yoğun yan dallanma, bitkiye süs bitkisi olarak potansiyel değer kazandıran temel morfolojik özellikler arasında yer almaktadır (Lebowitz 1985, Paton vd. 2019).



Şekil 1. Kolyos (*Coleus scutellarioides*) çeşitlerinde yaprak renklenmesi, desen çeşitliliği ve morfolojik farklılıklar.

Dallanma şekli ve bitki formu, kolyos'un süs değeri açısından öne çıkan özellikleri arasında yer almaktadır. Yoğun dallanmış, simetrik ve kompakt gelişim gösteren bitkiler; hem saksılı süs bitkisi üretiminde hem de peyzaj uygulamalarında tercih edilmektedir. Yetiştiricilikte sürgün uçlarının alınması (uç alma veya pinching) yaygın olarak uygulanmaktadır. Uç alma işlemi, apikal dominansi özelliğinin kırılmasını sağlayarak yan sürgün gelişimini teşvik etmekte ve daha dolgun, dengeli bir bitki formunun oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Lebowitz 1985, Dole ve Wilkins 2005).

Kök sistemi çoğunlukla saçak kök yapısında olup adventif kök oluşturma kapasitesi oldukça yüksektir. Bu özellik, çelikle çoğaltmanın başarıyla uygulanabilmesini sağlamakta ve ticari

üretimde vejetatif çoğaltmanın birincil yöntem olarak benimsenmesine olanak vermektedir. Güçlü köklenme yeteneği aynı zamanda doku kültürü ve mikroçoğaltım çalışmalarında da avantaj sağlamaktadır (Nagpal vd. 2008).

Kolyos'un en dikkat çekici özelliklerinden biri, tür içerisinde gözlenen sıradışı morfolojik çeşitliliğidir. Yaprak şekli, büyüklüğü, kenar yapısı, pigment dağılımı, damar belirginliği, bitki mimarisi ve büyüme habitusu bakımından görülen geniş varyasyon, bu türün süs bitkileri ıslahı açısından değerli bir genetik kaynak oluşturmasını sağlamaktadır. Bu geniş fenotipik çeşitlilik, doğal varyasyonlar, seleksiyon, melezleme ve uzun yıllardır sürdürülen kültür çalışmaları sonucunda daha da zenginleşmiştir (Lebowitz 1985, Paton vd. 2019).

Günümüz koşullarında klasik morfolojik tanımlamaların yanında dijital görüntü analizi, yüksek çözünürlüklü fenotipleme ve morfometrik değerlendirme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımlar sayesinde yaprak ve bitki formu ve diğer morfolojik karakterler nicel olarak yorumlanabilmekte; elde edilen veriler hem taksonomik çalışmalarda hem de ıslah programlarında daha tarafsız ve etkin seleksiyon yapılmasına olanak sağlamaktadır (Li vd. 2021, 2022).

3.2. Yaprak Morfolojisi

Kolyos'un en dikkat çekici organı yapraklarıdır. Bu bitkinin süs değeri büyük ölçüde yaprakların sahip olduğu renk, desen ve şekil çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Karşılıklı dizilmiş durumdaki yapraklar, gövdeye belirgin bir yaprak sapı ile bağlanmaktadır. Yaprak ayası çeşitlere bağlı olarak oval, yumurtamsı, mızraksı, kalp biçimli veya derin parçalı şekiller gösterebilmektedir. Yaprak tabanı yuvarlak, kama biçimli veya hafif kalp şeklinde olabilirken, uç kısmı küt, sivri ya da uzun sivri yapı sergileyebilmektedir.

Yaprak kenarları genellikle dişli veya testere dişli yapıdadır; ancak bazı çeşitlerde dalgalı, fırfırlı veya derin parçalı kenar yapıları da görülmektedir. Yaprak yüzeyi hafif etli olup çoğu zaman ince tüylerle kaplıdır. Alt yüzeyde damarlar belirgin şekilde çıkıntılı görünüm oluşturmakta ve bazı çeşitlerde damarları farklı renkler taşıması, yaprak desenini meydana getirmektedir.

Kolyos, yaprak morfolojisi bakımından oldukça geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Yaprak büyüklüğü, şekli, kenar yapısı ve damar görünümü çeşitler arasında farklılıklar gösterebilmekte; buna bağlı olarak yaprak renklenmesiyle birlikte değerlendirildiğinde bitkinin süs değerini belirleyen temel özelliklerden birini oluşturmaktadır. Geliştirilmiş olan çeşitlerde geniş ve yuvarlak

yapraklı tiplerden dar ve uzun yapraklı formlara, hafif dişli kenarlardan derin parçalı yaprak yapılarına kadar çok sayıda morfolojik varyasyon bulunmaktadır (Lebowitz 1985, Paton vd. 2019).

3.3. Yaprak Renklenmesi ve Pigmentasyon

Kolyos'un yapraklarında görülen zengin renk ve desen çeşitliliği süs bitkisi potansiyelinin ana kaynağını oluşturmaktadır. Yapraklarda yeşil, sarı, krem, pembe, kırmızı, bordo, mor ve siyaha yakın koyu mor tonlar tek başına veya farklı kombinasyonlar halinde görülebilmektedir. Bazı çeşitlerde yaprak merkezi, damarlar ve yaprak kenarları farklı renklenmeler göstererek belirgin kontrastlar oluşturmakta ve bitkiye özgün bir görünüm kazandırmaktadır.

Yaprak renklerinin oluşumunda başlıca klorofil, karotenoid ve antosiyanin pigmentleri rol oynamaktadır. Klorofiller yeşil renklenmeden sorumlu olurken, karotenoidler sarı ve turuncu tonların oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Kırmızı, bordo ve mor renklenme ise büyük ölçüde antosiyanin pigmentlerinden kaynaklanmaktadır. Kolyos'ta bulunan antosiyaninlerin önemli bir kısmını siyanidin türevleri oluşturmaktadır (Robinson ve Robinson 1934).

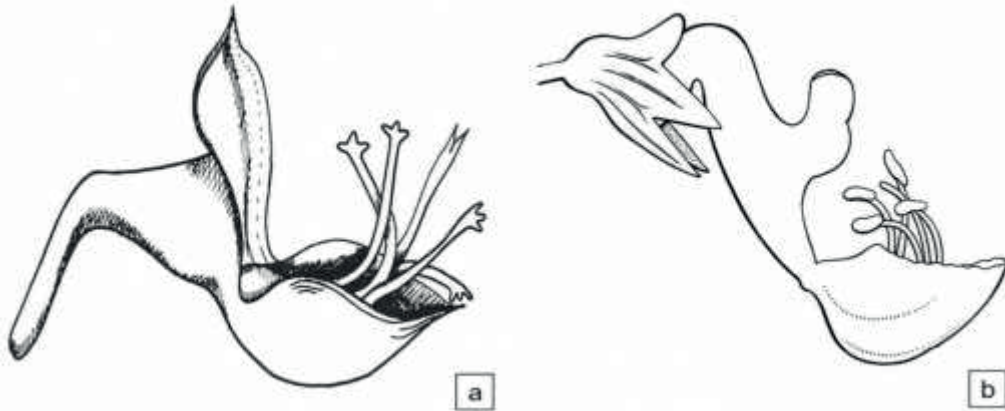
Yaprak renklenmesinin en dikkat çekici yönlerinden biri, pigment oluşumunun çevre koşullarına duyarlı olmasıdır. Özellikle ışık şiddeti ve ışık kalitesindeki değişimler, yapraklarda bulunan antosiyanin ve klorofil miktarlarını etkileyerek renk yoğunluğunda belirgin farklılıklara neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalar, ışık koşullarının yalnızca pigment miktarını değil, aynı zamanda pigmentlerin yaprak içerisindeki dağılımını da etkilediğini göstermektedir (Nguyen ve Dal Cin 2009). Aynı çeşitte farklı yetiştirme koşullarında renk yoğunluğu ve desen görünümünde değişiklikler ortaya çıkabilmektedir. Bazı çeşitlerde yarı gölge koşullarında daha canlı ve dengeli renklenme elde edilirken, aşırı güneş ışığı pigment kayıplarına ve renk solmalarına neden olabilmektedir. Buna karşılık kırmızı ve bordo yapraklı bazı çeşitlerin yüksek ışık koşullarına daha iyi uyum sağlayabildiği bildirilmektedir (Nguyen ve Dal Cin 2009).

3.4. Çiçek Yapısı

Kolyos'un süs değeri büyük ölçüde yapraklarından kaynaklandığından, çiçeklerin ikincil öneme sahip olduğu kabul edilmektedir. Süs bitkisi olarak pazarlanan kolyos yetiştiriciliğinde, çiçeklenmenin vejetatif gelişimi yavaşlatabildiği ve yaprakların dekoratif etkisini azaltabildiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle özellikle saksılı süs bitkisi üretiminde çiçek sürgünlerinin uzaklaştırılması yaygın bir uygulamadır (Lebowitz 1985, NC State Plant Toolbox 2026).

Kolyos çiçekleri sürgün uçlarında oluşan terminal salkımlar (raceme) hâlinde bulunmaktadır. Çiçekler çoğunlukla küçük yapılı olup mavi, mor, leylak, pembe veya beyaz tonlarda renklere sahiptirler. Korolla, *Lamiaceae* familyasına özgü iki dudaklı (bilabiat) yapı göstermektedir. Alt dudak lopları uzamış ve içe doğru kıvrılmış olup erkek ve dişi organları çevreleyen karakteristik bir görünüm oluşturmaktadır. Çanak yapraklar birleşik yapıdadır ve beş dişli bir kaliks meydana getirmektedir (Şekil 2). Kaliks çiçeklenme sonrasında da bitki üzerinde kalıcılığını koruyabilmektedir.

Çiçekler erselik olup hem erkek hem de dişi organları aynı çiçek üzerinde bulundurmaktadır. Erkek organlar didinamik yapıdadır; yani dört adet fertil stamen bulunmakta ve bunların ikisi uzun, ikisi daha kısa yapı göstermektedir. Ovaryum dört bölmeli olup stilus, iki loblu bir stigma ile sonlanmaktadır. Bu özellikler *Lamiaceae* familyasının karakteristik çiçek morfolojisi ile uyumludur (Bailey 1942, Lebowitz 1985).



Şekil 2. *Coleus* süs bitkisinde çiçek yapısının farklı kaynaklarda gösterimi. a) Lebowitz (1985), b) Paton vd. (2019).

Kolyos'ta çiçek biyolojisi taksonomik açıdan olduğu gibi, ıslah çalışmaları açısından da önem taşımaktadır. Kontrollü melezleme uygulamalarında, böceklerle tozlanmanın yabancı döllemeye neden olabileceği hususu gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle planlı melezlemelerin izolasyon koşullarında veya kontrollü ortamlarda yürütülmesi önerilmektedir (Lebowitz, 1985). Açık tozlanma için bitkiler serbest bırakıldığında bal arıları ve kelebeklerin tozlamada etkin rol oynadığı kaydedilmiştir (Nyguen vd. 2005).

Her ne kadar kolyos türünde yaprak özellikleri ön plana çıkartılsa da, uluslararası çiçek fuarlarında çiçekleri bakımından da görsel estetik taşıyor tipler geliştirilmiş olduğu (Şekil 3 a) ve ayrıca yapraklarda bakır rengi tonlarının da kazandırıldığı dikkati çekmiştir (Şekil 3 b).



Şekil 3. Yeni kolyos çeşitlerinde geliştirilen farklı özellikler. **a)** Çiçekleri ön plana çıkarılmış ve estetik odağı yapraktan tüm bitkiye ve çiçeklere yönlendirilmiş bir kolyos çeşidi, **b)** Bakır tonlarındaki yaprak rengiyle dikkat çeken bir kolyos çeşidi.

3.5. Meyve ve Tohum Özellikleri

Kolyos'ta meyve, *Lamiaceae* familyasına özgü şekilde küçük ve kuru yapıdadır. Olgunlaşan meyveler içerisinde koyu renkli, çok küçük tohumlar bulunmaktadır. Tohumlar oval veya hafif elipsoidal görünümde olup yüzeyleri düzgün yapıdadır. Tohum büyüklüğü ve şekli genotipler arasında ufak tefek farklılıklar gösterebilse de, genel olarak küçük tohumlu türler arasında yer alırlar. Generatif çoğalma ve çeşit geliştirme çalışmalarında kullanılan tohumlar, tür içerisindeki genetik çeşitliliğin ortaya çıkmasında etkilidir. *Coleus* tohumlarının oldukça küçük olması (0.5-10 mm arasında), generatif çoğaltma ve fide üretimi açısından sınırlayıcı bir faktör olarak dikkati çekmektedir. Nitekim *Coleus blumei*'de tohumların küçük yapıda olması, çimlenme ve fide gelişiminde tespit edilen düzensizliklerin nedeni olarak gösterilmiştir (Ijaz vd. 2025).

Lamiaceae familyası içerisinde yer alan yakın akraba taksonlarda gerçekleştirilen çalışmalar, tohumların şekil, büyüklük, renk ve yüzey mikrostrüktürü bakımından türler arasında önemli farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymuştur. *Plectranthus* (*Coleus*) türlerinde tohum şeklinin ovoid, eliptik, obovoid ve küresel formlar arasında değişebildiği; tohum renklerinin ise sarımsı

kahverengiden kırmızımsı kahverengiye ve siyaha kadar farklılık gösterebildiği bildirilmiştir. Ayrıca tohum boyutlarının yaklaşık 0.6–1.6 mm uzunluk ve 0.4–1.4 mm genişlik aralığında değiştiği belirlenmiş, tohum yüzey yapısının ve tohum kabuğu mikrostruktürünün taksonomik açıdan ayırt edici karakterler oluşturduğu vurgulanmıştır (Khalik 2016).

Şekil 4'te *Coleus* süs bitkisinde çiçeklerden tohum oluşumu, tohumların hasadı ve elde edilen tohumlar gösterilmektedir. Olgunlaşan çiçeklerde oluşan tohumlar kuruyan çiçeklerden ayrılarak hasat edilmekte ve daha sonra tohumla çoğaltım amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4. *Coleus* (*Coleus scutellarioides*, syn: *C. blumei*)'ta tohum oluşumu ve tohum hasadı aşamaları. **a)** Olgunlaşan çiçekler ve gelişen tohumlar, **b)** Kuruyan çiçeklerden tohumların ayrılması (Southern Gardener 2019), **c)** Hasat edilen tohumların görünümü (Ijaz vd. 2025).

Kolyos'ta yaprak şekli, renklenme özellikleri, büyüme formu ve çiçek morfolojisi bakımından ortaya çıkan çeşitlilik ve morfolojik zenginlik, farklı kullanım amaçlarına uygun çok sayıda ticari çeşidin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, generatif üretimde karşılaşılan çimlenme ve fide gelişimiyle ilgili bazı sorunların giderilmesine yönelik çalışmalar da sürdürülmektedir. Nitekim Ijaz vd. (2025), *Coleus blumei* tohumlarında uygulanan farklı priming yöntemlerinin çimlenme performansı ve fide gelişimi üzerinde olumlu etkiler sağlayabildiğini bildirmiştir.

4. PİGMENT BİYOLOJİSİ VE YAPRAK RENKLENMESİNİN GENETİK TEMELİ

Kolyos'un yapraklarında görülen renk ve desen çeşitliliği; pigment biyosentezi, genetik kontrol mekanizmaları ve çevresel faktörlerin birlikte şekillendirdiği karmaşık bir biyolojik yapının sonucudur. Yapraklarda gözlenen yeşil, sarı, kırmızı, bordo ve mor tonlar; başlıca klorofiller, karotenoidler ve antosiyaninler tarafından oluşturulmaktadır. Bu pigmentlerin miktarı, yaprak içerisindeki dağılımı ve birbirleriyle olan etkileşimleri, kolyos'ta görülen renklenme ve desen oluşumunun kaynağıdır. Pigment birikiminin farklı dokularda değişkenlik göstermesi, aynı bitki üzerinde çok sayıda renk ve desen kombinasyonunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

4.1. Yaprak Renklenmesinin Kalıtımı

Kolyos'un dikkat çekici yaprak renkleri ve desenleri, klorofiller, karotenoidler ve antosiyaninler gibi temel pigmentlerin farklı oranlarda sentezlenmesi ve yaprak dokusunda özgün dağılım göstermesi sonucunda oluşmaktadır. Pigmentlerin miktarı, hücreler arasındaki dağılımı ve bunların genetik olarak düzenlenmesi, türde görülen geniş renk yelpazesi ile karakteristik desenlerin biyolojik temelini oluşturmaktadır (Li vd. 2021).

Klorofiller yaprakların temel yeşil renginden sorumlu fotosentetik pigmentlerdir. Yeşil renk yoğunluğu yalnızca klorofil miktarına bağlı olarak değişmemekte, aynı zamanda diğer pigmentlerin görünürlüğünü ve renk kontrastını da etkilemektedir. Özellikle koyu yeşil yaprak dokuları üzerinde biriken kırmızı veya mor pigmentler dekoratif değeri artırmaktadır. Boye ve Rife (1938) ile Rife (1948), koyu yeşil pigmentasyonun bazı kombinasyonlarda baskın karakter gösterebildiğini, klorofil eksikliğine bağlı açık yeşil veya albino fenotiplerin ise çoğunlukla çekinik genlerle idare edildiğini bildirmiştir.

Karotenoidler, kolyos yapraklarında görülen sarı, altın sarısı, limon yeşili ve krem tonlarının oluşumunda rol oynayan yardımcı pigmentlerdir. Bunun yanında fotosentez sırasında oluşabilecek aşırı ışık stresine karşı koruyucu görev üstlenerek fotosentetik sistemlerin oksidatif hasardan korunmasına katkı sağlamaktadır (Shoaib vd. 2020).

Kolyos'un karakteristik kırmızı, bordo ve mor renkleri ise büyük ölçüde antosiyaninlerden kaynaklanmaktadır. Robinson ve Robinson (1934), yapraklarda bulunan başlıca antosiyaninlerin siyanidin türevlerinden oluştuğunu bildirmiştir. Ancak renk çeşitliliği yalnızca pigment yoğunluğuna değil, pigmentlerin yaprak merkezinde, damarlar boyunca veya yaprak kenarlarında farklı biçimlerde birikmesine de bağlıdır. Bu sebeple aynı pigment yapısına sahip iki farklı genotip, tamamen farklı renk ve desen kombinasyonları oluşturabilmektedir.

Antosiyaninler dekoratif özellikleri etkilediği gibi ayrıca bitki fizyolojisi bakımından da önem taşımaktadır. Bu pigmentlerin ultraviyole ışınlarına karşı koruma sağladığı, serbest radikalleri uzaklaştırarak antioksidan etki gösterdiği ve çeşitli çevresel stres koşullarına adaptasyona katkıda bulunduğu bilinmektedir (Logan vd. 2015). Böylece koyu kırmızı veya mor yapraklı çeşitlerin bazı çevre koşullarında daha yüksek stres dayanımı gösterebildiği düşünülmektedir. Şekil 5'te farklı yaprak renk ve desenlerine sahip kolyos genotiplerinin görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Yaprak renklenmesi ve desen çeşitliliği bakımından farklılık gösteren kolyos genotipleri.

Yaprak renklenmesinin kalıtımı uzun yıllardır araştırılmaktadır. İlk genetik çalışmalar, pigmentasyonun tek bir gen tarafından kontrol edilen basit bir karakter olmadığını, birden fazla sayıda genin etkileşimiyle şekillenen kantitatif bir özellik olduğunu göstermiştir (Rife 1948). Güncel moleküler araştırmalar ise antosiyanin biyosentezini düzenleyen MYB, bHLH ve WD40 transkripsiyon faktörlerinden oluşan düzenleyici ağın, pigmentlerin yaprakta hangi dokuda ve hangi yoğunlukta birikeceğini belirlediğini doğrulamıştır (Li vd. 2021).

Li vd. (2021), farklı yaprak desenlerine sahip geniş bir kolyos popülasyonunda renklenmeye ilişkin karakterlerin kalıtım yoluyla orta ve yüksek düzeyde aktarılabildiğini ve seleksiyon yoluyla etkin biçimde geliştirilebileceğini ortaya koymuştur. Bugünkü koşullarda dijital görüntü analizi, yüksek çözünürlüklü fenotipleme ve moleküler yaklaşımların birlikte kullanılmasıyla pigmentasyonun daha objektif incelenmesi mümkün olmakta; bu gelişmeler renk stabilitesi yüksek, estetik değeri artırılmış yeni çeşitlerin geliştirilmesine katkılar sağlamaktadır (Li vd. 2021, 2022).

4.2. Antosiyanin Biyosentezi ve Yaprak Desenlerinin Oluşumu

Kolyos'ta görülen kırmızı, bordo, mor ve siyaha yakın renk tonlarının oluşumunda rol oynayan antosiyaninler; flavonoid metabolizmasının son ürünleri arasında yer almakta olup fenilalanin'den başlayan fenilpropanoid biyosentez yolu üzerinden sentezlenmektedir. Antosiyanin birikimi, biyosentez yolunda görev alan enzimlerin aktivitesi ile bu enzimleri kodlayan genlerin ekspresyon seviyesi tarafından düzenlenmektedir. Bu biyokimyasal ve moleküler süreçlerde meydana gelen sınırlı değişimler bile pigment birikimini etkileyerek yaprak renginde belirgin farklılıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Kolyos yapraklarında görülen renk çeşitliliği yalnızca toplam antosiyanin miktarına bağlı değildir. Pigmentlerin yaprak dokuları içerisindeki bölgesel dağılımı da desen oluşumunda rol oynamaktadır. Bazı çeşitlerde antosiyaninler yaprak merkezinde yoğunlaşırken, bazı tiplerde damarlar boyunca veya yaprak kenarlarında birirmektedir. Bunun sonucunda yüksek kontrastlı damar desenleri, renkli kenar bantları veya merkezden çevreye doğru değişen renk geçişleri oluşabilmektedir. Aynı yaprak üzerinde birden fazla pigment tipinin farklı yoğunluklarda bulunabilmesi, kolyos'ta görülen desen çeşitliliğini oluşturmaktadır. Biyoteknolojik yöntemlerin gelişmesiyle araştırmalara dahil edilen moleküler çalışmalar, bu desen oluşumunun karmaşık genetik düzenleme mekanizmaları tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Antosiyanin biyosentezinin düzenlenmesinde özellikle MYB, basic helix-loop-helix (bHLH) ve WD40 proteinlerinden oluşan düzenleyici kompleksin rol oynadığı bildirilmektedir. Bitkilerde yaygın olarak bulunan bu MYB-bHLH-WD40 (MBW) düzenleyici sistemi, antosiyanin biyosentezinde görev alan yapısal genlerin aktivitesini kontrol ederek pigment sentezinin hangi dokuda ve ne düzeyde gerçekleşeceğini belirlemektedir (Li vd. 2021).

Li vd. (2022), farklı yaprak desenlerine sahip kolyos populasyonlarında gerçekleştirdikleri çalışmada, pigment dağılımının pigment sentezi miktarı hem de pigmentlerin belirli hücre ve dokularda birikmesini sağlayan düzenleyici mekanizmalardan etkilendiğini kanıtlamıştır. Araştırmacılar, özellikle yaprak damarları ve kenar bölgelerinde görülen renklenme farklılıklarının, antosiyanin biyosentezini düzenleyen genlerin dokuya özgü ekspresyonundan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Bu bulgular, kolyos'ta görülen renk ve desen çeşitliliğinin basit bir kalıtım modeliyle açıklanamayacağını, çok sayıda gen ve düzenleyici mekanizmanın etkileşimi sonucunda ortaya çıktığını göstermektedir.

Antosiyaninlerin yapraklarda oluşturduğu desenler bir yandan estetik değer oluştururken diğer yandan ışık absorpsiyonu, ultraviyole radyasyona karşı koruma ve antioksidan aktivite gibi

fizyolojik işlevleri nedeniyle, bitkiyi çevresel stres faktörlerine karşı korumaktadır (Li vd. 2021). Bu nedenle antosiyanin biyosentezi ve pigment dağılımının kontrol mekanizmalarının anlaşılması, sadece yeni renk ve desenlere sahip çeşitlerin geliştirilmesi açısından değil, bunun yanı sıra çevresel stres toleransının artırılmasına yönelik ıslah programları bakımından da önem taşımaktadır.

4.3. Çevresel Faktörlerin Yaprak Renklenmesi (Pigmentasyon) Üzerine Etkileri

Kolyos bitkisinde yaprak renklenmesi genetik yapı tarafından belirlenmekte olduğu gibi, çevresel koşullardan da etkilenmektedir. Yapraklarda bulunan klorofil, karotenoid ve antosiyanin pigmentlerinin sentezi ile birikimi; ışık şiddeti, ışık kalitesi, sıcaklık ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Böylece herhangi bir genotip, farklı yetiştirme koşullarında belirgin biçimde farklı renk yoğunlukları ve desenler oluşturabilmektedir. Kolyos'un gelişmiş çevresel esnekliği (plastisite), türün süs bitkileri sektöründeki yerini koruyan nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Nguyen ve Dal Cin 2009).

Yaprak pigmentasyonu üzerinde etkili olan en önemli çevresel faktörlerden biri ışıktır. Işık yalnızca fotosentez için enerji kaynağı olmakla kalmayıp, aynı zamanda renklenmeyi oluşturan biyosentezi düzenlemekte, buna yönelik olarak birçok genin ekspresyonunu da etkilemektedir. Yaprak Güzeli bitkisinde ışık şiddetindeki değişimlerin, antosiyanin ve klorofil miktarlarını değiştirebileceğini gösterilmiştir. Özellikle düşük ışık koşullarında yetiştirilen bitkilerde yaprak renklerinin daha soluk hâle geldiği, damar desenlerinin belirginliğinin azaldığı ve sürgünlerde uzama eğiliminin arttığı gözlenmektedir. Buna karşılık uygun ışık koşullarında yetiştirilen bitkiler daha canlı renkler ve daha belirgin desenler oluşturmaktadır (Nguyen ve Dal Cin 2009).

Kolyos çeşitleri arasında ışığa verilen tepkiler bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Geleneksel çeşitlerin çoğu yarı gölge koşullarında daha iyi performans gösterirken, yakın geçmişte geliştirilen bazı çeşitler yüksek ışık şiddetine daha iyi uyum sağlayabilmektedir. Özellikle kırmızı ve bordo renkli yapraklara sahip çeşitlerin, antosiyanin içeriklerinin fazla olması nedeniyle güneş ışığına karşı daha yüksek tolerans gösterebildiği bildirilmektedir. Bu özellik, yeni nesil süs bitkisi ıslah programlarında önemli seleksiyon kriterlerinden biri hâline gelmiştir (Nguyen vd. 2005).

Yaprak renklenmesi ve bitki gelişimi üzerinde ışık spektrumunun etkileri bulunduğu bilinen kolyos süs bitkisinde farklı ışık kalitesi etkilerinin incelendiği çalışmalarda, mavi ışık ile kırmızı-mavi kombinasyonlarının büyüme özellikleri, fotosentetik performans ve yaprak

renklenmesi üzerinde doğrudan farklılıklar oluşturduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, ışık spektrumunun hem bitki büyümesini hem de dekoratif renk dağılımını etkileyebildiğini göstermektedir (Kazemi ve Dehestani-Ardakani 2022, Manodya vd. 2025, 2026). Kontrollü örtüaltı yetiştiricilik sistemlerinde, ışık yönetimi yoluyla süs bitkisi kalitesinin yönlendirilebileceğini gösteren araştırmalar, seralardaki ışıklandırma rejimi üzerinde yapılan uygulamaların artmasını sağlamıştır.

Farklı ışık spektrumlarının kolyos çeşitleri üzerindeki etkileri, genotiplerin ışığa verdikleri tepkilerin değişebildiğini göstermektedir. Kazemi ve Dehestani-Ardakani (2022), dört farklı kolyos çeşidini farklı kırmızı, mavi ve beyaz ışık kombinasyonları altında yetiştirerek fotosentetik performans ve büyüme özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmada fotosistem II'nin maksimum kuantum verimi (F_v/F_m) ve floresans parametreleri bakımından en uygun ışık kombinasyonlarının çeşitlere göre değiştiği belirlenmiştir. Örneğin 'Red' çeşidinde %30 mavi + %70 kırmızı ışık uygulaması en yüksek fotosentetik performansı sağlarken, 'Black Dragon' ve 'Improd' çeşitlerinde farklı ışık kombinasyonları daha başarılı sonuçlar vermiştir. Araştırmacılar, ışık spektrumuna verilen yanıtın genotipe bağlı olarak değiştiğini ve kontrollü çevre sistemlerinde çeşitlere özgü ışık yönetiminin bitki kalitesi açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Kontrollü çevre koşullarında yürütülen çalışmalar, ışık spektrumundaki küçük değişikliklerin bile kolyos'un morfolojik ve fizyolojik özelliklerini oldukça etkileyebildiğini göstermektedir. Manodya vd. (2025), iç mekânda yetiştirilen *Plectranthus scutellarioides* bitkilerinde mavi ışığın belirli oranlarda yeşil ışık ile değiştirilmesinin bitki gelişimi, yaprak renklenmesi ve fotosentetik performans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada yeşil ışığın belirli oranlarda kullanılmasıyla bitki genişliğinin arttığı ve aşırı boylanmanın azaltıldığı belirlenirken, yüksek mavi ışık oranlarının daha kompakt bitki yapısı, daha kalın gövde ve daha yoğun dallanma oluşturduğu saptanmıştır. Ayrıca mavi ışığın kırmızı pigmentasyonun artmasına katkı sağladığı, buna karşılık yüksek yeşil ışık oranlarının kırmızı pigment yoğunluğunu azaltarak yeşil alanların artmasına neden olabildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, yaprak renklenmesinin sadece pigment sentezi ile değil, ışık spektrumuna bağlı olarak pigmentlerin yaprak içerisindeki dağılımı ve yoğunluğunun değişmesiyle de şekillendiğini göstermektedir. Benzer şekilde Manodya vd. (2026), farklı kırmızı:mavi LED oranlarının kolyos büyümesi ve yaprak renklenmesi üzerine etkilerini araştırmış ve %60 kırmızı + %40 mavi LED kombinasyonunun hem yoğun kırmızı renk oluşumunu hem de yüksek fotosentetik performansı birlikte sağlayabildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, ışık kalitesinin yalnızca

büyüme parametrelerini değil, aynı zamanda yaprak renklenmesini ve dekoratif kaliteyi de yönlendirebildiğini vurgulamışlardır. Bu bulgular, kontrollü örtüaltı iklimlendirme ortamlarında ışık yönetiminin süs bitkilerinde renk kalitesinin optimize edilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Pigment metabolizmasını etkileyen bir diğer çevresel faktör sıcaklıktır. Özellikle antosiyanin sentezinin sıcaklık koşullarına duyarlı olduğu ve farklı sıcaklık rejimlerinin yaprak renk yoğunluğunda değişikliklere neden olabildiği bildirilmektedir. Bu bulgular, yetiştirme ortamındaki sıcaklık kontrolünün yalnızca bitki büyümesi açısından değil, aynı zamanda dekoratif kalite açısından da değer taşıdığını göstermektedir (Boldt 2013).

Ultraviyole (UV) ışınları da pigment oluşumunu etkileyen çevresel faktörler arasında yer almaktadır. Antosiyaninlerin UV radyasyonuna karşı koruyucu işlev üstlendiği bilinmekte ve UV ışığına maruz kalan bitkilerde pigment birikiminin artabildiği bildirilmektedir. Antosiyaninlerin özellikle yaprak epidermisinde birikerek zararlı ışınların etkisini azaltabildiği ve oksidatif stresin sınırlandırılmasına katkıda bulunduğu belirtilmektedir (Semeniuk ve Stewart 1979).

Genetik yapı pigmentasyonun temel sınırlarını belirlerken, çevresel faktörler bu potansiyelin fenotipte nasıl ortaya çıkacağını şekillendirmektedir. Kolyos'ta görülen renk ve desen çeşitliliği, genetik kontrol mekanizmaları ile çevresel düzenleme süreçlerinin birlikte etkisi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yaprak renklenmesinin çevresel faktörlere duyarlı olması, farklı yetiştirme sistemlerinde dekoratif kalitenin yönlendirilmesine olanak sağlamak ve kolyos'u süs bitkileri araştırmaları açısından dikkat çekici bir çalışma materyali haline getirmektedir.

4.4. Süs Bitkisi Islahı Açısından Yaprak Renklenmesinin Önemi

Yaprak renklenmesi, kolyos'un süs bitkisi olma potansiyeli ve ticari değer taşıyıp taşımayacağını belirleyen en kritik özelliğidir. Pek çok süs bitkisinde albeni ve çekicilik 'çiçek' özelliklerine bağlıyken, kolyos'ta dekoratif değer büyük bölümü alacalı renkteki 'yapraklar' tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle yeni çeşit geliştirme çalışmalarında yaprak rengi, desen yapısı ve renk stabilitesi temel seleksiyon kriterleri arasında ilk sıralarda yer alır. Özellikle kırmızı, bordo, mor, pembe, sarı ve krem tonlarının yüksek kontrast oluşturacak şekilde bir araya geldiği genotipler, ticari açıdan daha yüksek değer taşımaktadır.

Kolyos'ta pigmentasyon yalnızca renk yoğunluğunu değil, aynı zamanda yaprak desenlerinin oluşumunu da belirlemektedir. Yaprak merkezinde, damarlar boyunca veya yaprak kenarlarında

farklı pigmentlerin birikmesiyle ortaya çıkan desenler, çeşitlerin birbirinden ayrılmasında kullanılan anahtar özellikler arasında yer almaktadır. Tüketici tercihlerinin yalnızca canlı renklere değil, aynı zamanda özgün ve dikkat çekici desen kombinasyonlarına yönelmesi, pigmentasyonun süs bitkisi ıslahındaki önemini daha da artırmıştır. Li vd. (2021), yaprak renklenmesi ve desen oluşumuna ilişkin karakterlerin orta ve yüksek düzeyde genetik olarak aktarılabildiğini göstermişlerdir. Böylece seleksiyon ve melezleme gibi geleneksel ıslah teknikleriyle renk oluşumu ve dağılımının generasyonlar boyunca aktarımı mümkün olabilmektedir.

Süs bitkileri sektöründe yalnızca yeni renklerin elde edilmesi yeterli görülmemektedir. Farklı çevre koşullarında renk yoğunluğunu koruyabilen, güneş ışığı altında solma göstermeyen ve yetiştirme ortamlarına uyum sağlayabilen çeşitlere yönelik talep giderek artmaktadır. Pigmentasyonun çevresel koşullara karşı gösterdiği kararlılık, yeni çeşit geliştirme programlarında kalite kriteri haline gelmiştir. Özellikle yüksek ışık koşullarında renk stabilitesini koruyabilen ve güneşlenme süresine dayanımı geliştirilmiş çeşitlerin daha değerli olduğu bildirilmektedir (Nguyen vd. 2005).

Pigmentasyon özellikleri tek başına değil, bitki gelişim şekli ile birlikte anlam taşımaktadır. Kompakt büyüme gösteren, yoğun dallanan ve güçlü yaprak renklenmesine sahip çeşitler saksılı süs bitkisi üretiminde ön plana çıkarken; sarkıcı gelişim gösteren ve renk kontrastı yüksek genotipler askılı sepetler ve peyzaj uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu nedenle güncel ıslah programları, yaprak pigmentasyonu ile bitki mimarisini birlikte ele alan bütüncül yaklaşımlar üzerine kurulmaktadır (Nguyen vd. 2005).

Pigment biyolojisine ilişkin moleküler düzeyde elde edilen yeni bilgiler, kolyos ıslahında daha hedefe yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Antosiyanin biyosentezinde görev alan genlerin ve bu genleri düzenleyen moleküler mekanizmaların daha iyi anlaşılmasıyla birlikte, belirli renk ve desen özelliklerine sahip çeşitlerin daha kısa sürede geliştirilebilmesi mümkün olabilecektir. Bunun yanında mutasyon ıslahı, doku kültürü teknikleri ve moleküler markır destekli seleksiyon gibi güncel yaklaşımlar da pigmentasyon özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanımı gün geçtikçe artan araçlar olarak kullanılmaktadır.

5. GENETİĞİ VE KALITIM ÇALIŞMALARI

Kolyos, süs bitkileri içerisinde en dikkat çekici genetik varyasyonlardan birine sahip türlerden biridir. Türün dünya süs bitkileri sektöründeki önemine karşın genetik altyapısına ilişkin çalışmaların oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Mevcut bilgiler büyük ölçüde klasik kalıtım

çalışmaları ve sitolojik araştırmalara dayanmaktadır. Fenotipik çeşitliliğin temel nedeni *Coleus* cinsinin karmaşık bir genetik yapıya sahip olmasıdır. Yapraklarda görülen renk dağılımı, damar pigmentasyonu, beneklenme, yaprak kenarı desenleri ve morfolojik varyasyonlar çoklu gen sistemleri tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca çevresel faktörlerin bu genlerin ekspresyonu üzerindeki etkileri, ortaya çıkan fenotipik çeşitliliği daha da artırmaktadır.

5.1. Sitoloji ve Kromozom Yapısı

Kolyos (*Coleus scutellarioides*), süs bitkileri içerisinde yüksek morfolojik çeşitlilik gösteren türlerden biri olmasına rağmen, sitogenetik özellikleri diğer birçok kültür bitkisine göre daha sınırlı düzeyde araştırılmıştır. Bununla birlikte, özellikle 20. yüzyılın ortalarında gerçekleştirilen klasik sitolojik çalışmalar, türün kromozom yapısı ve kalıtım özelliklerinin anlaşılmasına zemin hazırlamıştır. Bu çalışmalar, kolyos'ta gözlenen geniş fenotipik varyasyonun yalnızca mutasyonlar veya çevresel etkilerle değil, aynı zamanda karmaşık kromozomal organizasyon ve poliploidi ile de ilişkili olabileceğini ortaya koymuştur (Rife 1948).

Lamiaceae familyasında kromozom sayıları bakımından farklılıklar bulunmakta olup, *Coleus* cinsi içerisinde de temel kromozom sayısının (x) 6, 7 ve 8 olabileceği bildirilmiştir. Böylece, cins içerisinde uzun evrimsel süreç boyunca kromozomal yeniden düzenlenmelerin ve farklılaşmaların gerçekleştiği kanaati oluşmaktadır. Kolyos (*Coleus scutellarioides*) üzerinde gerçekleştirilen güncel sitogenetik çalışmalarda, türün somatik kromozom sayısının $2n = 48$ olduğu ve karyotipin küçük metasantrik ile submetasantrik kromozomlardan oluştuğu belirlenmiştir. Mayoz bölünme sırasında univalent, bivalent ve multivalent kromozom eşleşmelerinin birlikte gözlenmesi, türün allopoliploid kökenli olduğunu desteklemekte ve yüksek genetik çeşitliliğinin bu kromozomal yapıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Santra vd. 2022).

Poliploidi, süs bitkileri ıslahındaki temel genetik mekanizmalardan biridir. Genomdaki kromozom seti sayısının artması; hücre hacminin büyümesi, yaprak ve çiçek organlarının irileşmesi, pigment yoğunluğunun değişmesi ve bazı çevresel streslere toleransın artması gibi özelliklerle ilişkilendirilmektedir. Kolyos'ta görülen geniş yaprak büyüklüğü, farklı büyüme formları ve pigment çeşitliliğinin oluşumunda poliploid yapının katkısının bulunduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu ilişkinin moleküler düzeyde ortaya konulabilmesi için genomik ve sitogenomik çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Sitogenetik özelliklerin ayrıntılı olarak ortaya konulması hem *Coleus* türlerinin evrimsel biyolojisinin anlaşılması açısından hem de hızlandırılmış ıslah programlarının planlanması bakımından önem taşımaktadır. Yeni nesil dizileme teknolojileri, kromozom düzeyinde genom dizilemeleri ve yüksek çözünürlüklü genomik analizler birçok kültür bitkisinde ıslah çalışmalarına destek olmaktadır. Buna karşın *Coleus scutellarioides*'te genomik kaynaklar ve kromozom düzeyindeki moleküler çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, türün genom organizasyonu, kromozom evrimi ve pigment oluşumunu kontrol eden genetik mekanizmaların aydınlatılmasına yönelik gelecekte yürütülecek araştırmalar için fırsatlar ortaya çıkmaktadır. *C. scutellarioides*, süs bitkileri arasında ekonomik önemi yüksek olmasına rağmen, genom düzeyindeki araştırmalar bakımından hâlen yeterince çalışılmamış türlerden biridir.

5.2. Yaprak Rengi Genetiği

Çiçeklerin gösterişinden ziyade, yaprak estetiğinin ön planda olduğu kolyos türünde; yeşil, sarı, krem, pembe, kırmızı, bordo ve mora yakın koyu tonlar tek bir yaprak üzerinde farklı kombinasyonlar halinde görülebilmekte, pigmentlerin yaprak yüzeyindeki dağılımı ise birbirinden oldukça farklı desenlerin oluşmasına olanak sağlamaktadır.

Kolyos'ta yaprak renklenmesinin kalıtımına ilişkin ilk ayrıntılı çalışmalar, Boye ve Rife tarafından 1930'lu ve 1940'lı yıllarda yürütülmüş; daha sonra Rife (1944, 1945, 1948) tarafından farklı pigment karakterlerinin kalıtımı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmalar, yaprak renklenmesinin tek bir gen tarafından kontrol edilmediğini; antosiyanin oluşumu, klorofil dağılımı ve alacalanma desenlerinin farklı genlerin etkileşimiyle şekillendiğini doğrulamıştır. Ayrıca bazı karakterlerde tam baskınlık, bazılarında eksik baskınlık ve çok allelli gen sistemlerinin görev aldığı belirlenmiş, böylece kolyos'un klasik bitki genetiği çalışmalarında model türlerden biri olabileceği gösterilmiştir.

Yüksek çözünürlüklü görüntü analizi ve dijital fenotipleme yöntemleri, kolyos'ta yaprak renk desenlerinin ölçülebilir yapıda incelenmesine olanak sağlamıştır. Li vd. (2021), dünyanın en geniş kolyos ıslah popülasyonlarından biri üzerinde geliştirdikleri ColourQuant fenotipleme sistemi ile yaprak pigmentasyonunu renk uzayı (CIELAB) ve mekânsal dağılım bakımından analiz etmiş; yaprak renk desenlerinin süreklilik gösteren kantitatif karakterler olduğunu ve ıslahçı seleksiyonlarının bu nicel özelliklerle yakından ilişkili bulunduğunu kanıtlamıştır. Bu yaklaşım, klasik kalıtım çalışmalarında tanımlanan pigment karakterlerinin başarıyla uygulanan

fenotipleme teknikleriyle sayısal olarak ortaya konulabileceğini göstermekte ve kolyos'ta yaprak estetiğinin objektif ölçütlerle değerlendirilmesini sağlamaktadır (Li vd. 2021).

Güncel fenotipleme yaklaşımları kalıtsal varyasyonun belirlenmesinde kullanılabilmekte ve bunun yanı sıra çevresel faktörlerin pigmentasyon üzerindeki etkilerinin nicel olarak ortaya konulmasında destek sağlamaktadır. Nitekim farklı LED ışık spektrumları altında yürütülen çalışmalar, yaprak renk yoğunluğu ve desen oluşumunun görüntü analizleriyle güvenilir biçimde ölçülebildiğini; mavi ışığın antosiyanin birikimini ve kırmızı-pembe renklenmeyi artırırken, yeşil ışığın gölge kaçış tepkisini destekleyerek yeşil alan oranını artırabildiğini göstermiştir (Park vd. 2024b, Manodya vd. 2025, 2026).

5.3. Yaprak Şekli ve Desen Kalıtımı

Kolyos'un süs bitkisi olarak dikkat çekmesinde yaprak renklenmesi kadar yaprak şekli ve desen çeşitliliği de rol oynamaktadır. Yaprak büyüklüğü, şekli, kenar yapısı, yüzey dokusu ve pigmentlerin yaprak üzerindeki dağılımı bakımından olağanüstü düzeyde morfolojik çeşitlilik gösteren bu bitkide; oval, yumurtamsı, mızraksı, kalp biçimli, derin loblu, meşe yaprağını andıran, dar ya da geniş yaprak tiplerinin yanı sıra düz, dalgalı, fırfırlı veya belirgin dişli kenar yapısına sahip çok sayıda çeşit geliştirilmiştir. Bu özelliklerin farklı kombinasyonları elde edilmiş olup bu sayede kolyos, yaprak süs bitkileri içerisinde morfolojik çeşitliliği en yüksek türlerden biri hâline gelmiştir (Paton vd. 2019, Li vd. 2021).

Kolyos'ta yaprak şekli ve desen oluşumunun kalıtımına ilişkin ilk ayrıntılı çalışmalar, 1940'lı yıllarda Rife tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmalarda, yaprak şekline ilişkin birçok karakterin bağımsız genler tarafından kontrol edildiği ve Mendel kalıtımına uygun segregasyon gösterdiği ortaya konmuştur. Özellikle dar yapraklılık, derin loblanma, yaprak kenarlarının saçaklı (fringed) olması ve bazı alacalanma tiplerinin kalıtsal olarak aktarılabilirdiği belirlenmiştir. Ayrıca saçaklı yaprak karakterinin bazı genotiplerde erkek kısırlığı ile ilişkili olabileceği ve bu özelliğin melezleme çalışmalarında yardımcı bir belirteç olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Rife 1948, Lebowitz 1985).

Yaprak desenlerinin önemine önceki bölümde değinilmiştir. Pigmentlerin yaprak yüzeyindeki dağılımı damarlar boyunca yoğunlaşabilmekte, yaprak merkezinde veya kenarlarında farklı renk kuşakları oluşturabilmekte ya da düzensiz beneklenmeler şeklinde görülebilmektedir. Aynı yaprak üzerinde yeşil, sarı, krem, pembe, kırmızı, bordo ve mora yakın koyu tonların farklı kombinasyonlar hâlinde bulunabilmesi, kolyos'un süs bitkisi değerini artırmaktadır. Bu bitki türündeki çalışmalar; yaprak desenlerinin pigment miktarı kadar, pigmentlerin yaprak

içerisindeki mekânsal dağılımıyla da ilişkili olduğunu ve bu özelliklerin estetik kaliteyi belirleyen temel fenotipik karakterler arasında yer aldığını göstermektedir (Li vd. 2021, Park vd. 2024a).

Kolyos'ta yaprak şekli ile yaprak renklenmesi birbirinden bağımsız olarak ele alınmayan iki önemli özelliktir. Aynı renk desenine sahip olan iki genotip, sadece yaprak formunda farklılık bulundurması durumunda tamamen farklı görsel etki oluşturabilir. Yeni nesil süs bitkisi ıslahında yalnızca yeni renk kombinasyonlarının geliştirilmesi yeterli görülmemekte; bunların estetik açıdan uygun yaprak formu ve bitki mimarisiyle bir araya getirilmesi hedeflenmektedir. Özellikle kompakt gelişim gösteren, yoğun dallanan ve dikkat çekici yaprak morfolojisine sahip çeşitler ticari açıdan daha çok tercih edilmektedir (Lebowitz 1985, Nguyen vd. 2005).

Geniş bir kolyos popülasyonu üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, yaprak şekli ile pigment dağılımını birlikte analiz ederek estetik değerin belirlenmesinde her iki özelliğin de rolünün büyük olduğu ortaya koyan Li vd. (2021), klasik morfolojik gözlemlerin modern görüntü işleme teknikleriyle desteklenebileceğini göstermiştir. Daha sonra geliştirilen ColourQuant yöntemi sayesinde yaprak yapısı, renk dağılımı ve pigment yoğunluğu yüksek doğrulukla ölçülebilmekte; bu yöntem süs bitkileri ıslah programlarında fenotipleme çalışmalarına kolaylık sağlamaktadır (Li vd. 2022).

Kolyos'ta yaprak şekli ve desen oluşumunun moleküler temelleri henüz büyük ölçüde açıklığa kavuşturulamamıştır. Günümüze kadar yürütülen çalışmalar ağırlıklı olarak klasik kalıtım analizleri, sitogenetik araştırmalar ve yüksek çözünürlüklü görüntü analizi yaklaşımlarına odaklanmış; yaprak morfolojisini ve desen oluşumunu kontrol eden genler ile bunların düzenleyici mekanizmalarına ilişkin bilgiler ise oldukça sınırlı kalmıştır (Lebowitz 1985, Osman 2013). Günümüze yaklaştıkça, diğer süs bitkileri ve model bitki türlerinde gerçekleştirilen genomik, transkriptomik ve metabolomik çalışmalar, yaprak gelişimi ve pigment biyosentezinde görev alan genler ve düzenleyici ağın ortaya konulmasını sağlamıştır. Benzer moleküler yaklaşımların kolyos'ta da uygulanmasıyla, yaprak şekli, desen oluşumu ve pigment dağılımının genetik kontrol mekanizmaları daha ayrıntılı biçimde açıklanabilmektedir (Paton vd. 2019, Li vd. 2021, 2022).

5.4. Genotip × Çevre Etkileşimi ve Fenotipik Esneklik (Plastisite)

Kolyos'un en dikkat çekici biyolojik özelliklerinden biri, aynı genotipin farklı çevre koşullarında belirgin fenotipik değişimler gösterebilmesidir. Özellikle yaprak renk yoğunluğu, pigment dağılımı, yaprak büyüklüğü, bitki mimarisi ve gelişme hızı; ışık şiddeti, ışık

spektrumu, sıcaklık, nem ve yetiştirme ortamı gibi çevresel faktörlerden yüksek düzeyde etkilenmektedir (Lebowitz 1985, Park vd. 2024a).

Yaprak pigmentasyonu çevresel değişimlere en duyarlı karakterlerden biridir. Aynı çeşit farklı yetiştirme koşullarında kırmızı, bordo veya mor pigment yoğunluğu bakımından belirgin farklılıklar gösterebilmektedir. Özellikle ışık miktarı ve ışık kalitesi, antosiyanin sentezi ile klorofil birikimini doğrudan etkileyerek yaprak renklenmesinin şiddetini değiştirmektedir. Ticari üretimde yalnızca yüksek büyüme performansı değil, hedeflenen yaprak renklerinin farklı çevre koşullarında korunabilmesi de öne çıkan bir kalite kriteri olarak öne çıkmaktadır (Park vd. 2024a, Manodya vd. 2026).

Kontrollü çevre koşullarında gerçekleştirilen çalışmalar, LED aydınlatma teknolojilerinin Kolyosun büyüme ve gelişmesi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Kırmızı ve mavi LED ışıklarının farklı oranlarda uygulanmasının bitki boyu, boğum arası uzunluğu, yaprak alanı, klorofil floresansı ve yaprak renklenmesini oldukça değiştirdiği bildirilmektedir. Özellikle kırmızı ve mavi ışığın uygun kombinasyonlarının fotosentetik performansı artırırken, bazı çeşitlerde antosiyanin birikimini de teşvik ettiği saptanmıştır (Kazemi ve Dehestani-Ardakani 2022, Manodya vd. 2026).

Işık spektrumundaki değişiklikler bitki morfolojisini de etkilemektedir. Mavi ışığın belirli oranlarda yeşil ışık ile değiştirilmesi; yaprak büyüklüğü, sürgün gelişimi, boğum arası uzunluğu ve çeşitli fizyolojik özelliklerde değişikliklere neden olmuştur. Sera koşullarında yürütülen araştırmalar, yarı saydam agrivoltaik paneller ve LED destekli aydınlatma sistemlerinin kolyos'un büyümesi ve yaprak renklenmesi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, çevresel faktörlere verilen fenotipik yanıtların büyük ölçüde genotipe bağlı olduğunu işaret etmektedir (Manodya vd. 2025, Park vd. 2024b).

Genotip $\times$ çevre etkileşimi nedeniyle kolyos ıslahında yalnızca üstün fenotiplerin seçilmesi yeterli olmamakta, öne çıkan özelliklerin farklı yetiştirme koşullarındaki kararlılığının da kalıcı olması beklenmektedir. Yüksek çözünürlüklü görüntü analizi sistemleri sayesinde yaprak renk desenleri ve morfolojik özellikler yüksek doğrulukla analiz edilebilmekte, moleküler markır teknikleri ise genetik çeşitliliğin belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Osman 2013, Li vd. 2021, 2022).

İklim değişikliğinin süs bitkileri yetiştiriciliği üzerindeki etkilerinin giderek artması, farklı çevre koşullarında fenotipik kararlılığını koruyabilen çeşitlerin geliştirilmesini daha da önemli duruma taşımaktadır. Kolyos'ta genotip $\times$ çevre etkileşimlerinin daha ayrıntılı olarak ortaya

konulması; farklı ışık koşulları, sıcaklık değişimleri ve diğer çevresel stres faktörlerine karşı stabil performans gösterebilen çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

5.5. Doğal Mutasyonlar ve Yeni Varyasyonların Ortaya Çıkışı

Kolyos'un günümüzde ulaştığı morfolojik ve estetik çeşitlilik, büyük ölçüde doğal varyasyonların ve spontan mutasyonların uzun yıllar boyunca seleksiyonuyla şekillenmiştir. Türde yaprak renklenmesi, damar pigmentasyonu, yaprak şekli, kenar yapısı ve büyüme formu bakımından gözlenen geniş varyasyon, kolyos'u süs bitkileri içerisinde en yüksek fenotipik çeşitlilik gösteren türlerden biri haline getirmiştir. Doğal mutasyonlar ve spontan varyasyonlar, kolyos ıslahında yararlanılabilecek varyasyon kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Lebowitz 1985, Li vd. 2021).

Doğal mutasyonlar yaprak rengi, pigment dağılımı, damar desenleri, yaprak şekli ve bitki mimarisi gibi çok sayıda karakter üzerinde etkili olabilmektedir. Kolyos'ta küçük fenotipik değişikliklerin bitkinin görsel değerini belirgin biçimde değiştirebilmesi, bu varyantların seleksiyon programlarına dahil edilmesini sağlamıştır. Özellikle yaprak merkezinde veya kenarlarında meydana gelen renk değişimleri, yeni damar desenleri, kontrast oluşturan pigment dağılımları ve farklı yaprak formları, çok sayıda çeşidin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Şimdiki zamanlarda kullanılan birçok çeşidin kökeninde doğal varyasyonların ve uzun süreli seleksiyon çalışmalarının bulunduğu bildirilmektedir (Li vd. 2021).

Vejetatif olarak çoğaltılan süs bitkilerinde görülen tomurcuk mutasyonları (bud sport), yeni çeşitlerin geliştirilmesinde doğal varyasyon kaynaklarından biridir. Tomurcuk meristeminde meydana gelen spontan genetik veya epigenetik değişimler, belirli sürgünlerde yaprak rengi, deseni, büyüme formu veya diğer morfolojik özelliklerde kalıcı farklılıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Oluşan bu varyantlar vejetatif çoğaltma ile korunabildiğinden, tomurcuk mutasyonları üstün özelliklerin seçilmesi ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi açısından süs bitkileri ıslahında önemli bir yere sahiptir (Kisvarga 2024). Kolyos'ta da vejetatif çoğaltmanın yaygın olarak kullanılması, doğal mutasyonların korunmasını ve seleksiyonunu kolaylaştırmaktadır. Yaprak rengi, pigment dağılımı, yaprak şekli ve bitki gelişim formunda ortaya çıkan spontan varyantlar, özellikle çoğaltılarak fenotipik özelliklerini büyük ölçüde koruyabilmekte ve yeni çeşit geliştirme programlarında kullanılmaktadır. Tomurcuk mutasyonlarının sistematik olarak izlenmesi ve moleküler yöntemlerle karakterize edilmesi, kolyos ıslahında yeni varyasyon kaynaklarının belirlenmesine katkılar sağlayabilecektir. Gama ışını ile oluşturulan mutasyonların *Coleus* genotiplerinde fenotipik varyasyonu artırarak yeni süs bitkisi

özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği, akut ve fraksiyonlu ışınlama yöntemlerinin mutasyon etkinliği bakımından karşılaştırıldığı çalışmalarla ortaya konmuştur (Aishyah vd. 2016).

Kolyos'ta gözlenen bazı renk ve desen varyasyonlarının yalnızca genetik değişimlerden değil, epigenetik mekanizmalardan da etkilenebileceği düşünülmektedir. Özellikle pigment dağılımında görülen bazı kararsız desenlerin, hücre tabakaları arasındaki farklılaşmalar veya epigenetik düzenlemelerle ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Marcotrigiano vd. (1990), doku kültürü çalışmalarında antosiyanin desenlerinin belirli koşullarda değişiklik gösterebildiğini ve bazı varyasyonların kalıcı olarak korunabildiğini kanıtlamışlardır. Bu bulgular, kolyos'ta gözlenen fenotipik çeşitliliğin yalnızca klasik mutasyonlarla açıklanamayabileceğini göstermektedir (Marcotrigiano vd. 1990).

6. ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN FENOTİPİK VARYASYON VE KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Kolyos'ta gözlenen fenotipik özellikler yalnızca genetik yapı tarafından belirlenmemekte, aynı zamanda yetiştirme koşullarından da etkilenmektedir. Özellikle yaprak renklenmesi, desen oluşumu, bitki formu, dallanma kapasitesi ve genel bitki kalitesi; ışık, sıcaklık, su durumu ve beslenme gibi çevresel faktörlerin ortak etkisiyle şekillenmektedir. Ekolojik şartlar değiştiğinde aynı genotip farklı morfolojik yapı gösterebilmektedir. Çevre koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan bu fenotipik esneklik, hem süs bitkisi üretim potansiyeli hem de ıslah programlarında dikkate alınması gereken başlıca özellikler arasındadır (Li vd. 2021, Manodya vd. 2026).

Coleus cinsine ait bu süs bitkisi su geçirgenliği iyi, organik madde bakımından zengin ve düzenli nem sağlayan yetiştirme ortamlarında en iyi gelişimi göstermektedir. Tür, sıcak yetiştirme koşullarını tercih etmekle birlikte, uzun süreli su yetersizliği büyüme hızını ve yaprak kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Kolyos geniş bir ışık adaptasyonuna sahip olmakla birlikte, ışık şiddeti ve ışığın spektral bileşimi bitki morfolojisi ile yaprak renklenmesini doğrudan etkilemektedir. Yetersiz ışık koşullarında boğum aralarının uzadığı, sürgünlerin gevşek geliştiği ve pigment yoğunluğunun azaldığı; buna karşılık uygun ışık koşullarında daha kompakt bitki formu, belirgin yaprak desenleri ve yüksek renk yoğunluğu olduğu bildirilmektedir. Ayrıca farklı LED ışık spektrumlarının sürgün gelişimi, yaprak alanı, klorofil içeriği ve süs bitkisi kalitesi üzerinde çeşide bağlı olarak farklılıklar oluşturduğu gösterilmiştir (Cho vd. 2019, Park vd. 2024b). Kontrollü çevre sistemleri, LED aydınlatma teknolojileri ve

hassas yetiştirme uygulamaları kullanılarak çevre × genotip etkileşimlerinin daha ayrıntılı biçimde araştırılmasına yönelik çalışmalar son 10 yıl içerisinde hız kazanmıştır (Kazemi ve Dehestani-Ardakani 2022, Park vd. 2024b, Manodya vd. 2025).

6.1. Işık Morfoloji ve Pigmentasyon Üzerindeki Etkileri

Işık, kolyos'ta morfolojik gelişim ve yaprak pigmentasyonunu belirleyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Işık şiddeti, fotoperiyot ve spektral bileşim; yaprak renk yoğunluğu, desen oluşumu, boğum arası uzunluğu, dallanma kapasitesi ve genel bitki formu üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Kontrollü çevre koşullarında ışık kalitesinin değiştirilmesiyle bitki gelişimi ve yaprak renklenmesinin yönlendirilebildiğini ortaya koyan çalışmalar, bu konudaki yetiştiricilik işlemlerinde teknoloji kullanımını artırmıştır (Kazemi ve Dehestani-Ardakani 2022, Manodya vd. 2026).

Kolyos geniş bir ışık adaptasyon kapasitesine sahip olmakla birlikte, birçok çeşitte filtrelenmiş ışık veya yarı gölge koşullarında daha canlı yaprak renkleri ve daha kompakt bitki gelişimi gözlenmektedir. Buna karşılık yüksek ışık şiddeti bazı genotiplerde pigment kaybı, yaprak solmaları ve yaprak kenarı yanıklıklarına neden olabilmektedir. Özellikle açık renkli çeşitlerin yoğun güneş ışığına daha duyarlı olduğu, koyu kırmızı ve bordo yapraklı çeşitlerin ise ışıklanma yoğunluğuna daha tolerant oldukları bildirilmektedir. Bu farklılığın, antosiyanin pigmentlerinin fotoprotektif (yoğun ışığa karşı koruyucu) özellikleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Nguyen ve Dal Cin 2009, Park vd. 2024a).

Yetersiz ışıklanma durumunda ise sürgün uzaması artmakta, boğum araları uzamakta, dallanma azalmakta ve kompakt bitki formu bozulmaktadır. Bunun yanında yaprak desenlerinin belirginliği azalmakta, pigment yoğunluğu düşmekte ve süs bitkisi kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Kazemi ve Dehestani-Ardakani (2022), farklı ışık spektrumlarının Kolyos çeşitlerinde fotosentetik performans, büyüme özellikleri ve yaprak renklenmesi üzerine etki ettiğini; optimum ışık kombinasyonlarının ise genotipe bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Şekil 6'da farklı genotiplerin kış aylarında Antalya'da ısıtmasız seralardaki gelişim ve renklenme durumunu göstermektedir. Bu görselden de çevre koşullarına karşı toleransın genotiplere göre değiştiği izlenebilmektedir.

LED tabanlı yetiştirme sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte ışığın spektral bileşiminin bitki gelişimi üzerindeki etkileri daha ayrıntılı biçimde araştırılmaktadır. Kırmızı ve mavi ışık oranlarının değiştirilmesiyle antosiyanin sentezi, klorofil birikimi ve yaprak renk yoğunluğunun yönlendirilebildiği; belirli oranlarda yeşil ışık kullanımının ise bazı çeşitlerde

bitki morfolojisini ve yaprak gelişimini olumlu yönde etkileyebildiği gösterilmiştir (Cho vd. 2019, Manodya vd. 2025, 2026).



Şekil 7. Antalya'da kış döneminde ısıtmasız seralarda yetiştirilen farklı kolyos genotiplerinin çevre koşullarına bağlı gelişim ve yaprak renklenme performansı. Üst sırada ışığa hassas, alt sırada ise renk stabilitesi yüksek genotipler gösterilmektedir.

6.2. Sıcaklığın Büyüme ve Süs Bitkisi Kalitesi Üzerindeki Etkileri

Sıcaklık, kolyos'un büyüme hızı, morfolojik gelişimi ve süs bitkisi kalitesini belirleyen ana çevresel faktörlerden biridir. Tropikal kökenli olması nedeniyle sıcak ekolojilerde daha iyi gelişmekte; soğuk stresi ise büyüme hızının azalmasına, yaprak gelişiminin yavaşlamasına ve süs bitkisi kalitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Özellikle don olaylarına karşı oldukça duyarlı olan kolyos, ılıman iklimlerde çoğunlukla tek yıllık bitki olarak yetiştirilmekte, soğuk dönemlerde ise iç mekân veya örtüaltı sistemlerinde korunmaktadır (Dole ve Wilkins 2005).

Kolyos optimum gelişimini yaklaşık 20–27°C arasında göstermektedir. 15°C'nin altında büyüme belirgin şekilde yavaşlamakta, 10°C'nin altındaki sıcaklıklarda ise yaprak dökümü, fizyolojik zararlar ve don hassasiyeti nedeniyle ciddi gelişme kayıpları ortaya çıkabilmektedir

(Alp ve Bayram 2026). Optimum sıcaklık koşullarında yetiştirilen bitkiler daha kompakt gelişmekte, düzenli dallanma göstermekte ve yaprak renklerini daha belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Buna karşılık yüksek sıcaklıklar, özellikle düşük hava nemi ile birlikte görüldüğünde yaprak kenarı kurumaları, su kaybı, pigment yoğunluğunda azalma ve bitki kalitesinde gerilemeye yol açabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise büyüme yavaşlamakta, yeni sürgün oluşumu azalmakta ve yapraklarda fizyolojik stres belirtileri görülebilmektedir (Park vd. 2024a).

Sıcaklığın pigment metabolizması üzerindeki etkileri, ışıqlanma süresi ve şiddeti ile birlikte değerlendirildiğinde daha belirgin hale gelmektedir. Kontrollü çevre çalışmalarında sıcaklık ve ışık şiddetinin birlikte düzenlenmesiyle bitki morfolojisi, klorofil birikimi ve yaprak renk yoğunluğunun değişebildiği gösterilmiştir. Bu durum, sıcaklığın büyümeyi olduğu kadar, kolyos'un dekoratif değerini belirleyen pigment oluşumunu da dolaylı olarak etkilemektedir (Manodya vd. 2025, 2026). Uygun sıcaklık yönetimi, kolyos'ta sağlıklı bitki gelişiminin yanı sıra kompakt büyüme, dengeli dallanma ve yüksek yaprak kalitesinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle özellikle kontrollü çevre yetiştiriciliğinde sıcaklık rejiminin ışık ve nem değerleriyle birlikte yönetilmesi, yüksek kaliteli süs bitkisi üretiminin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

6.3. Nem ve Hava Sirkülasyonunun Önemi

Bağıl nem ve hava sirkülasyonu, kolyos yetiştiriciliğinde bitki gelişimi kadar yaprak kalitesinin korunması ve hastalıkların önlenmesi açısından da önemli çevresel faktörlerdir. Tropikal kökenli bir tür olan kolyos, orta–yüksek bağıl nemli ortamlarda sağlıklı gelişim göstermekle birlikte, uzun süre yüksek nem altında ve yetersiz hava hareketinin bulunduğu ortamlarda hastalık riski oldukça fazla artmaktadır. Sera ve kontrollü çevre üretim sistemlerinde bağıl nemin uygun düzeylerde tutulması ve yeterli hava dolaşımının sağlanması önem taşımaktadır (Harlan ve Hausbeck 2012, UMass Extension 2023).

Optimum gelişme için yaklaşık %60–80 bağıl nem önerilmektedir (Alp ve Bayram 2026). Yetersiz hava sirkülasyonu, yaprak yüzeyinde serbest suyun daha uzun süre kalmasına neden olmakta ve özellikle mildiyö etmeninin yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Yapılan epidemiyolojik çalışmalarda, %95'in üzerindeki bağıl nemde izleyen nem düşüşlerinin sera atmosferine yüksek miktarda spor salınımını tetiklediği belirlenmiştir. Buna karşılık uygun bitki sıklığı, etkin havalandırma ve düzenli hava hareketinin sağlanması, yaprak ıslaklık süresini azaltarak hastalık gelişimini sınırlandırmaktadır (Harlan ve Hausbeck 2012).

Bağıl nemin aşırı düşük olduğu yetiştirme koşullarında ise transpirasyon hızının artmasına bağlı olarak yaprak turgoru azalabilmekte, yaprak kenarı kurumaları ve genel süs bitkisi kalitesinde gerileme görülebilmektedir. Kolyos yetiştiriciliğinde uygun nem düzeyinin korunması kadar, sera içerisinde homojen hava dolaşımı sağlanmasının da yüksek kaliteli bitki üretiminin temel bileşenlerinden biri olduğu göz ardı edilmemelidir.

6.4. Toprak Özellikleri ve Beslenme Yönetimi

Kolyos, iyi drene olan, zengin organik madde içeriğine sahip ve yeterli su tutma kapasitesi bulunan yetiştirme ortamlarında en iyi gelişimi gösterir. Saksılı süs bitkisi üretiminde torf esaslı yetiştirme ortamları yaygın olarak kullanılmakta olup, uygun fiziksel yapı ve dengeli su-hava ilişkisi kök gelişimi ile bitki kalitesini doğrudan etkiler. Bunun yanında yetiştirme ortamının pH ve elektriksel iletkenliği (EC), besin elementlerinin alınabilirliğini belirleyen temel faktörler arasında yer alır. Kolyos üretiminde yetiştirme ortamı pH'sının 5.5–6.2 arasında tutulması uygundur (Whipker vd. 2022).

Bitki gelişimi açısından azot ilk sıralardaki makro besin elementlerinden biridir. Bununla birlikte aşırı azot uygulamaları her zaman süs bitkisi kalitesini artırmamaktadır. Chen vd. (2017), vejetatif olarak çoğaltılan kolyos çeşitlerinde 70–140 mg L⁻¹ düzeyindeki azot uygulamalarının yüksek görsel kalite sağladığını, daha yüksek azot dozlarının ise biyokütleyi artırmaya karşın yaprak renk yoğunluğunu olumsuz etkileyebildiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada, yetiştirme ortamında başlangıç düzeyinde yeterli fosfor bulunması durumunda ilâve fosfor uygulamasının çoğu çeşitte kayda değer bir katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

Beslenme dengesizlikleri kolyos'ta morfolojik gelişim ve yaprak kalitesi üzerinde belirgin semptomlar oluşturur. Azot noksanlığında alt yapraklarda sararma ve gelişme geriliği, yüksek EC ortamında yaprak kenarı nekrozları, düşük potasyum düzeylerinde ise aşağı doğru kıvrılan yapraklar görülebilir. Ayrıca yüksek pH olması halinde demir noksanlığına bağlı damarlar arası kloroz gelişirken, düşük pH değerleri bazı mikro elementlerin toksisite riskini artırabilmektedir. Düzenli pH ve EC takibi, dengeli gübreleme programları ile birlikte yüksek süs bitkisi kalitesinin korunmasında hassas bir rol oynamaktadır (Whipker vd. 2022).

6.5. Çevresel Stresler ve Süs Bitkisi Kalitesinin Korunması

Kolyos yetiştiriciliğinde yüksek süs bitkisi kalitesinin sürdürülebilmesi, uygun yetiştirme şartlarının sağlanmasının yanı sıra bitkinin çevresel streslere verdiği fizyolojik yanıtların anlaşılmasına da bağlıdır. Yüksek sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, aşırı ışık ve düşük bağıl nem gibi

abiyotik stres faktörleri; bitki gelişimini, yaprak morfolojisini ve pigment metabolizmasını olumsuz yönde etkileyerek dekoratif değerin azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle çevresel streslere tolerans gösteren çeşitlerin belirlenmesi ve uygun yetiştirme stratejilerinin geliştirilmesi, süs bitkisi üretiminde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Liu vd. 2015, García-Caparrós ve Lao 2018).

Çevresel streslerin ilk etkileri çoğunlukla büyüme hızında azalma, yaprak alanında küçülme, pigment kayıpları ve fotosentetik etkinlikte gerileme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında bitkiler, ozmotik dengeyi koruyabilmek amacıyla prolin ve diğer uyum çözücü bileşiklerin sentezini artırmakta, antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek oksidatif hasarı sınırlandırmaya çalışmaktadır. Ancak stres şiddeti arttıkça bu koruyucu mekanizmalar yetersiz kalabilmekte ve yaprak estetiğinde bozulmalar meydana gelmektedir (Wang vd. 2025).

Kuraklık stresi altında kolyos bitkilerinde ozmotik düzenleme mekanizmalarının aktive olduğu, antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı ve bitkinin belirli düzeyde stres toleransı geliştirebildiği gösterilmiştir (Liu vd. 2015). Kolyos üzerinde gerçekleştirilen fizyolojik çalışmalarda, tuzluluk stresinin bitki boyu, yaprak alanı, klorofil içeriği ve nispi su içeriğini azalttığı; buna karşılık hücre zarı geçirgenliğini artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte türler ve genotipler arasında stres toleransı bakımından farklılıklar bulunduğu, bazı genotiplerin su dengesini ve pigment içeriğini daha etkin şekilde koruyabildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, Kolyos'ta çevresel stres toleransının ıslah programlarında yer alması gereken başlıca özelliklerden biri olduğunu göstermektedir (Kotagiri ve Kolluru 2017).

İklim değişikliğinin etkilerinin giderek arttığı zamanımızda çevresel streslere dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi tek başına üretim sürekliliği açısından değil, aynı zamanda süs bitkisi kalitesinin korunması bakımından da önem taşımaktadır. Fizyolojik ve moleküler düzeyde stres tolerans mekanizmalarının daha ayrıntılı olarak ortaya konulması, kolyos ıslah çalışmalarına katkılar sağlayacaktır (Liu vd. 2025).

7. ÇOĞALTMA YÖNTEMLERİ VE YETİŞTİRİCİLİK

Kolyos generatif ve vejetatif yöntemlerle çoğaltılabilmektedir. Tohumla çoğaltım yeni genetik kombinasyonların elde edilmesine olanak sağlarken, satışa yönelik üretimde yaprak rengi, deseni ve bitki formunun korunabilmesi amacıyla ağırlıklı olarak vejetatif çoğaltma tercih edilmektedir. Her iki çoğaltma yöntemi de kullanım amacına bağlı olarak farklı üstünlük ve sınırlılıklar taşımaktadır.

7.1. Generatif (Tohumla) Çoğaltma

Kolyos'ta generatif çoğaltma, yeni genetik kombinasyonların elde edilmesine olanak sağlaması nedeniyle özellikle ıslah programları için vazgeçilmez bir üretim yöntemidir. Tohumla çoğaltım sonucunda elde edilen genetik varyasyon; yaprak rengi, deseni, şekli ve büyüme formu bakımından geniş bir fenotipik çeşitlilik oluşturmaktadır. Buna karşılık ticari üretimde istenen fenotipik uniformitenin korunamaması nedeniyle tohumla çoğaltım sınırlı düzeyde kullanılmakta; yaprak özelliklerinin klonal olarak korunabilmesi amacıyla ağırlıklı olarak vejetatif çoğaltma tercih edilmektedir (Lebowitz 1985, Nagpal vd. 2008).

Kolyos tohumları küçük, hafif ve koyu renkli olup yüzeysel ekime uygundur. Tohumların küçük olması nedeniyle ekim işlemi sırasında üzerlerinin kalın bir örtü toprağıyla örtülmemesi önerilmektedir. Çimlenme için yeterli nem, uygun sıcaklık ve ışık sağlanması büyük önem taşımaktadır. Uygun çevre şartlarında çimlenme genellikle yaklaşık bir hafta içerisinde, kısa sürede gerçekleşmekte ve fideler hızlı bir gelişim göstermektedir. Bununla birlikte tohum iriliğinin küçük olması, özellikle ticari fide üretiminde düzensiz çimlenme ve başlangıç gelişiminde farklılıklara neden olabilmektedir (Ijaz vd. 2025).

Tohum canlılığı ve fide performansı çeşitli tohum uygulamalarıyla iyileştirilebilmektedir. Özellikle farklı priming yöntemlerinin çimlenme oranını artırdığı, çimlenme süresini kısalttığı ve fide gelişimini olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir. Ijaz vd. (2025), farklı tohum priming uygulamalarının *C. blumei* tohumlarında çimlenme performansını artırdığını, fide büyümesini teşvik ettiğini ve başlangıç gelişimini daha homojen hâle getirdiğini belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, özellikle hibrit tohum üretimi ve yeni çeşit geliştirme çalışmalarında generatif çoğaltmanın etkinliğinin artırılabilirliğini göstermektedir.

Kolyos tohumlarının morfolojik özellikleri de türler arasında belirli farklılıklar göstermektedir. *Plectranthus* cinsi üzerinde gerçekleştirilen ayrıntılı tohum morfolojisi çalışmalarında, tohum şekli, büyüklüğü, tohum kabuğu yüzey özellikleri ve renk özelliklerinin taksonomik açıdan ayırt edici karakterler olduğu ortaya konulmuştur. Bu özelliklerin yalnızca sistematik çalışmalarda değil, genetik kaynakların tanımlanması ve ıslah materyalinin karakterizasyonunda da yararlı olabileceği bildirilmektedir (Khalik 2016).

7.2. Vejetatif Çoğaltma

Kolyos'un ticari üretiminde en yaygın kullanılan çoğaltma yöntemi vejetatif çoğaltmadır. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, bitkinin süs bitkisi değerini belirleyen yaprak rengi,

deseni, yaprak şekli ve büyüme formu gibi özelliklerin klonal olarak korunabilmesidir. Tohumla çoğaltımda yüksek düzeyde genetik varyasyon meydana gelirken, vejetatif çoğaltma ile ana bitkinin tüm fenotipik özellikleri büyük ölçüde korunabilmektedir. Bu sebeple ticari çeşitlerin üretiminde vejetatif çoğaltma standart yöntem olarak kabul edilmektedir (Lebowitz 1985, Nguyen vd. 2005). Vejetatif çoğaltma, kolyos üretiminde genetik saflığın korunması, yüksek kaliteli fide üretimi ve ticari çeşitlerin standart özelliklerinin devamlılığının sağlanması bakımından vazgeçilmez bir yöntemdir.

Kolyos'ta vejetatif çoğaltma çoğunlukla sürgün çelikleri ile gerçekleştirilmektedir. Apikal veya nodal sürgünlerden alınan 5–10 cm uzunluğundaki çelikler, uygun nem ve sıcaklıklarda kısa sürede adventif kök oluşturabilmektedir. Çeliklerde alt yaprakların uzaklaştırılması, transpirasyonun azaltılması ve köklenme ortamında yeterli hava-su dengesinin sağlanması kök oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir. Perlit, torf-perlit karışımları veya benzeri iyi drene olan yetiştirme ortamları başarılı köklenme için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kolyos, adventif kök oluşturma kapasitesi yüksek olan süs bitkilerinden biridir. Birçok ticari çeşitte herhangi bir büyüme düzenleyicisi kullanılmadan da yüksek köklenme oranları elde edilebilmektedir. Çeliklerin köklenmesi sırasında yaklaşık 20–25°C sıcaklık ve %70'in üzerinde bağıl nem sağlanması köklenme başarısını artırmaktadır (Alp ve Bayram 2026). Bununla birlikte köklenmenin hızlandırılması ve daha homojen fide gelişiminin sağlanması amacıyla özellikle indol-3-bütirik asit (IBA) gibi oksin grubu büyüme düzenleyicilerinden yararlanılmaktadır. Köklenme başarısı; çeşide, çeliğin fizyolojik yaşına, anaç bitkinin gelişme durumuna ve ekolojik duruma bağlı olarak değişebilmektedir (Davies vd. 2018).

Vejetatif çoğaltmada anaç bitki yönetimi, elde edilecek fide kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Sağlıklı, hastalık ve zararlılardan arı anaç bitkilerden alınan sürgünler daha yüksek köklenme performansı göstermekte ve kaliteli fide üretimine olanak sağlamaktadır. Düzenli uç alma (pinching) uygulamaları ile anaç bitkilerde yeni sürgün oluşumu teşvik edilmekte, böylece daha fazla sayıda kaliteli çelik elde edilebilmektedir. Ayrıca anaç bitkilerin dengeli beslenmesi ve uygun ışıklandırma altında yetiştirilmesi hem sürgün kalitesini hem de köklenme başarısını artırmaktadır.

Günümüz koşullarında kontrollü LED aydınlatma uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu sistemler, köklenme süresinin kısaltılması, fide kalitesinin artırılması ve yıl boyunca standart çoğaltım yapılabilmesi açısından avantajlar sağlamaktadır. Özellikle kontrollü yetiştiricilik de,

farklı çeşitlerde daha homojen gelişim ve daha yüksek pazarlanabilir fide kalitesi elde edilmesine katkıda bulunmaktadır (Park vd. 2024a, Manodya vd. 2025).

7.3. Kültürel İşlemler

Kolyos yetiştiriciliğinde uygulanan kültürel işlemler, bitkinin morfolojik özelliklerinin korunması ve süs bitkisi kalitesinin sürdürülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle bitki formunun düzenlenmesi, yaprak renk yoğunluğunun korunması ve dengeli sürgün gelişiminin sağlanması amacıyla budama, çiçek sürgünlerinin uzaklaştırılması, dengeli gübreleme ve uygun sulama programları birlikte uygulanmaktadır.

Budama, kolyos yetiştiriciliğinde en yaygın uygulanan kültürel işlemlerden biridir. Özellikle sürgün uçlarının alınması (pinching), apikal dominansın kırılmasını sağlayarak yan sürgün gelişimini teşvik etmekte ve daha kompakt, simetrik ve dolgun bitki formunun oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Alp ve Bayram 2026). Düzenli pinching uygulamaları aynı zamanda çelik üretiminde kullanılabilecek sürgün sayısını artırmakta ve ticari fide üretimine olumlu etki yapmaktadır (Lebowitz 1985, Nguyen vd. 2005).

Çiçeklenmenin kontrolü de süs bitkisi kalitesinin korunmasında önemli uygulamalardan biridir. Kolyos'ta çiçek oluşumu çoğu zaman vejetatif gelişimin yavaşlamasına, boğum arası (internod) uzunluğunun artmasına ve yaprak yoğunluğunun azalmasına neden olabilmektedir. Ticari üretimde çiçek sürgünleri genellikle erken dönemde uzaklaştırılarak bitkinin fotosentetik ürünlerinin yaprak ve sürgün gelişimine yönlendirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece daha kompakt gelişim, yoğun dallanma ve daha uzun süre korunabilen dekoratif yaprak görünümü elde edilebilmektedir.

Beslenme ve sulama yönetimi de bitki kalitesini doğrudan etkileyen uygulamalar arasında yer almaktadır. Dengeli gübreleme programları sağlıklı büyüme ile birlikte yaprak pigmentasyonunun korunmasına katkı sağlarken, aşırı azot uygulamaları hızlı ve gevşek büyümeye, boğum aralarının uzamasına ve bazı çeşitlerde yaprak renk yoğunluğunun azalmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde düzensiz sulama uygulamaları büyümenin yavaşlamasına, geçici solgunluklara ve yaprak kalitesinin düşmesine yol açabilmektedir. Kontrollü çevre koşullarında ışık kalitesi, besleme programları ve sulama yönetiminin birlikte optimize edilmesiyle Yaprak Güzeli bitkisinde daha kompakt bitki formu, daha yüksek pigment yoğunluğu ve daha kaliteli ticari materyal elde edilebilmektedir (Park vd. 2024b, Manodya vd. 2025, 2026).

8. HASTALIK VE ZARARLILAR

Kolyos yetiştiriciliğinde bitki kalitesini ve ticari değeri sınırlandıran biyotik stres etmenleri çeşitli hastalıklar ve zararlılardır. Örtüaltı yetiştiricilikte ve yoğun üretim sistemlerinde bu etmenler bitki gelişimini, yaprak kalitesini ve çoğaltım materyalinin sağlığını daha da fazla olumsuz etkileyebilmektedir. Bununla birlikte kolyos'ta hastalık ve zararlılara dayanıklılık üzerine yürütülen genetik ve ıslah çalışmaları sınırlı olup, sürdürülebilir üretim açısından dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

8.1. Fungal Hastalıklar

Kolyos'ta ekonomik öneme sahip fungal hastalıkların büyük bölümü, sera ve fide yetiştirme sistemlerinde görülen toprak kökenli patojenler ile yüksek nem koşullarında gelişen yaprak hastalıklarından oluşmaktadır. Özellikle çelikle çoğaltım döneminde yüksek nem, sık dikim ve yetersiz hava sirkülasyonu; kök ve kök boğazı çürüklükleri ile yaprak enfeksiyonlarının gelişmesini kolaylaştırmaktadır. Kolyos'ta en yaygın bildirilen fungal hastalık etmenleri *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Botrytis cinerea* ve mildiyö etmeni *Peronospora* spp.'dir (McGovern ve Elmer 2018, Hoffmeister vd. 2020).

Rhizoctonia solani, özellikle çelik köklendirme ve fide yetiştiriciliği sırasında kök boğazında kahverengi-siyah nekrotik lezyonlar oluşturarak sürgün solgunluğu ve fide ölümlerine neden olabilmektedir. Benzer şekilde *Pythium* türleri de aşırı nemli yetiştirme ortamlarında kök sisteminde yumuşak çürüklük meydana getirerek bitki gelişimini sınırlandırmaktadır. Yüksek oransal nem ve sisleme uygulamalarının yaygın olduğu çoğaltma ünitelerinde ise *Botrytis cinerea* yaprak ve sürgünlerde gri küf enfeksiyonlarına neden olmakta; özellikle yaralanmış veya yaşlanan dokularda hızla gelişebilmektedir. Yaprak Güzeli bitkisinde dikkat çeken hastalıklardan biri olan *Peronospora* spp. ise yaprakların alt yüzeyinde gri-beyaz sporlanma, üst yüzeyinde ise klorotik ve nekrotik lekeler oluşturarak bitkinin dekoratif değerini azaltmaktadır (Gleason vd. 2009).

Kolyos'ta bu fungal hastalıklara karşı genetik dayanıklılığın kalıtımı veya dayanıklı çeşit geliştirilmesine yönelik çalışmalar henüz oldukça sınırlıdır. Hastalık yönetimi büyük ölçüde sağlıklı çoğaltım materyali kullanımı, uygun sanitasyon uygulamaları, yetiştirme şartlarının düzenlenmesi ve entegre mücadele yöntemlerine dayanmaktadır (Daughtrey ve Benson 2005). Bununla birlikte, özellikle *Peronospora* spp.'ye karşı çeşitler arasında duyarlılık farklılıklarının

bulunduğu ve tolerans düzeyi yüksek genotiplerin belirlenmesine yönelik çalışmaların hız kazandığı bildirilmektedir. Bu nedenle mildiyöye dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin geliştirilmesi, kolyos ıslah programlarının hedeflerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Hoffmeister vd. 2020).

8.2. Viral Hastalıklar

Kolyos'ta viral hastalıklar, fungal hastalıklara göre daha sınırlı sayıda bildirilmiş olmakla birlikte, özellikle vejetatif çoğaltımın yaygın olması nedeniyle bitkisel materyalin sağlığı açısından önem taşımaktadır. Çelikle çoğaltılan bitkilerde enfekteli anaçlardan alınan materyal, virüslerin nesiller boyunca taşınmasına neden olabilmektedir. Sağlıklı anaç bitki kullanımı ve sertifikalı çoğaltım materyali, viral hastalıkların kontrolünde temel uygulamalar arasında yer almaktadır. Kolyos'ta bildirilen başlıca viral etmenler arasında *Impatiens Necrotic Spot Virus* (INSV), *Tomato Spotted Wilt Virus* (TSWV) ve *Cucumber Mosaic Virus* (CMV) yer almaktadır. Bu virüsler yapraklarda mozaik, kloroz, halka lekeleri, deformasyon, gelişme geriliği ve dekoratif yaprak görünümünde bozulmalara neden olabilmektedir. Özellikle TSWV ve INSV'nin tripsler (*Frankliniella occidentalis*) tarafından taşınması, örtüaltında hastalığın kısa sürede yayılmasına yol açabilmektedir (Daughtrey ve Benson 2005, Hull 2014).

Bugüne kadar kolyos'ta viral hastalıklara karşı genetik dayanıklılığın kalıtımı veya dayanıklı çeşit geliştirilmesine yönelik yapılmış kapsamlı ıslah çalışmalarına rastlanmamıştır. Hastalıklarla mücadele; virüsten ari anaç materyali kullanımı, vektör populasyonlarının kontrolü, hijyen uygulamaları ve enfekteli bitkilerin üretim alanından uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Gelecekte moleküler tanı yöntemlerinin yaygınlaşması ve virüs indeksleme çalışmalarının geliştirilmesi, sağlıklı çoğaltım materyali üretimi ile dayanıklı genotiplerin belirlenmesine yönelik araştırmalara katkı sağlayacaktır. Şekil 7'de kolyos hastalıklarına ait semptomlardan örnekler verilmiştir.



Şekil 7. Kolyosta (*Coleus scutellarioides*) bildirilen başlıca hastalık etmenleri ve neden oldukları tipik belirtiler. a) *Botrytis cinerea* (gri küf) (UMass Extension), b) *Peronospora* spp. (mildiyö), c) *Pythium* spp.'ye bağlı kök çürüklüğü, d) *Rhizoctonia solani*'ye bağlı kökboğazı çürüklüğü, e) *Impatiens necrotic spot virus* (INSV) enfeksiyonuna bağlı yaprak belirtileri, f) *Pythium* spp. enfeksiyonunda görülen bitki çökmesi (solgunluk) belirtisi (Owen vd. 2022).

8.3. Zararlılar

Kolyos yetiştiriciliğinde ekonomik kayıplara neden olan zararlılar büyük ölçüde özsuyu emici böcekler ve akarlar grubunda yer almaktadır. Bu zararlılar yalnızca bitki gelişmesini yavaşlatmakla kalmayıp, yaprak renklenmesini, desen bütünlüğünü ve dekoratif görünümü de olumsuz etkileyerek süs bitkisi kalitesini düşürmektedir. Özellikle örtüaltı yetiştiricilikte yüksek sıcaklık ve düşük hava sirkülasyonu zararlı popülasyonlarının kısa sürede artmasına neden olabilmektedir (Daughtrey ve Benson 2005, Cloyd 2016).

Kolyos'ta en yaygın görülen zararlılar arasında yaprak bitleri (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*), beyazsinek (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), tripsler (*Frankliniella occidentalis*), kırmızı örümcek akarları (*Tetranychus urticae*) ve unlu bitler (*Planococcus citri*, *Pseudococcus* spp.) yer almaktadır. Bu zararlılar bitki özsuyunu emerek yapraklarda renk solması, deformasyon, gelişme geriliği ve yoğun popülasyonlarda yaprak dökülmesine neden olabilmektedir. Özellikle tripsler, yalnızca doğrudan beslenme zararları nedeniyle değil, aynı

zamanda *Impatiens Necrotic Spot Virus* (INSV) ve *Tomato Spotted Wilt Virus* (TSWV) gibi virüslerin vektörü olmaları nedeniyle de büyük önem taşımaktadır (Hull 2014, Cloyd 2016).

Kolyos'ta zararlılara karşı genetik dayanıklılık üzerine yürütülmüş çalışmalar oldukça sınırlıdır. Zararlılarla mücadele büyük ölçüde biyolojik mücadele etmenlerinin kullanımı, kültürel önlemler, hijyen uygulamaları ve gerektiğinde seçici insektisitlerin entegre kullanımına dayanmaktadır. Bununla birlikte, yaprak dokusu, kutikula kalınlığı, trikom yoğunluğu ve sekonder metabolit bileşimi gibi bazı morfolojik ve fizyolojik özelliklerin zararlılara karşı toleransı etkileyebileceği bildirilmektedir (War vd. 2012, Smith 2005). Şekil 8'de kolyos zararlılarına ait semptomlardan örnekler verilmiştir.



Şekil 8 Kolyosta (*Coleus scutellarioides*) yaygın olarak görülen başlıca zararlılar. a) Kırmızı örümcek akarı (*Tetranychus urticae*), b) Unlu bit (*Planococcus citri* ve *Pseudococcus* spp.), c) Beyazsinek (*Bemisia tabaci* ve *Trialeurodes vaporariorum*), d) Yaprak biti (*Aphis gossypii* ve *Myzus persicae*). (a. Missouri Botanical Garden (Spider Mites); b–d. Bertone vd. 2022).

9. KOLYOS (*COLEUS*) ISLAHI

Kolyos (*Coleus scutellarioides*), sahip olduğu geniş fenotipik çeşitlilik, kolay çoğaltılabilirliği ve yüksek çevresel plastisitesi nedeniyle ıslah açısından en dikkat çekici süs bitkilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yaprak rengi, pigment dağılımı, desen oluşumu, yaprak ve bitki mimarisi bakımından ortaya çıkan küçük varyasyonların dahi belirgin görsel farklılıklar oluşturabilmesi, türün klasik seleksiyon çalışmalarına son derece uygun olmasını sağlamaktadır (Lebowitz 1985, Osman 2013).

Türün doğal yayılış alanındaki geniş genetik çeşitlilik, geliştirilmiş olan yüzlerce ticari çeşidin temel genetik kaynağını oluşturmaktadır (Alp ve Bayram 2026). Geçmişte kolyos ıslahı büyük ölçüde doğal varyasyonların, spontan mutasyonların ve melez populasyonlarından elde edilen bireylerin fenotipik seleksiyonuna dayanmıştır. Bu süreçte özellikle yaprak renkleri, pigment dağılımı, kontrast oluşturan desenler ve farklı büyüme formları ön plana çıkmış; ticari değeri

yüksek çok sayıda çeşit geliştirilmiştir. Günümüzde ise klasik seleksiyon yaklaşımlarına ek olarak dijital görüntü analizi, yüksek verimli fenotipleme, moleküler markır teknolojileri ve genomik yaklaşımlar, süs bitkileri ıslahında giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Li vd. 2021, 2022).

Süs bitkileri sektöründe yeni çeşit geliştirme hedefleri yalnızca estetik özelliklerle sınırlı değildir. Yaprak renk stabilitesinin korunması, kompakt büyüme, güçlü dallanma, güneş ve gölge toleransı, çevresel streslere uyum, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık ile iç ve dış mekânlara uygunluk da günümüz ıslah programlarının temel amaçları arasında yer almaktadır. Kolyos ıslahı, klasik seleksiyon yöntemlerinin yanı sıra biyoteknolojik ve moleküler yaklaşımların birlikte kullanıldığı disiplinler arası bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Özellikle doku kültürü, mutasyon ıslahı, moleküler markır destekli seleksiyon ve yeni nesil genomik teknolojilerinden birlikte yararlanma ilkesi, estetik değeri yüksek ve adaptasyonu iyi yeni çeşitlerin elde edilmesini hızlandıracaktır.

9.1. Yaprak Rengi ve Morfolojik Özelliklerin Islahı

Kolyos ıslahında ilk sıralarda yer alan seleksiyon kriterlerini yaprak rengi, pigment dağılımı, desen özellikleri ve bitki morfolojisi oluşturmaktadır. Türün pazarlama değerini belirleyen temel unsur çiçeklerinden çok yıl boyunca dekoratif özelliğini koruyan yaprakları olduğundan, ıslah çalışmaları büyük ölçüde yaprak estetiğini geliştirmeye yönelik yürütülmektedir. Bu kapsamda yalnızca yeni renk kombinasyonlarının elde edilmesi değil; renk kontrastının artırılması, pigmentlerin yaprak üzerindeki dağılımının iyileştirilmesi, damar belirginliğinin güçlendirilmesi ve farklı yaprak şekillerinin oluşturulması da temel ıslah hedefleri arasında yer almaktadır (Lebowitz1985, Li vd. 2021).

Klasik kolyos ıslahında seleksiyon uzun yıllar fenotipik gözlemlere dayandırılmıştır. Özellikle geniş melez popülasyonları içerisinde parlak ve dikkat çekici renk kombinasyonları, yüksek kontrastlı damar yapıları, simetrik yaprak desenleri, yoğun ve kapatıcı büyüme, güçlü dallanma ve geç çiçeklenme gösteren bireyler seçilerek yeni çeşitler geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın en başarılı örneklerinden biri olan University of Florida (UF/IFAS) Coleus Breeding Programı, bugüne kadar dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen 125'in üzerinde Coleus çeşidinin ıslah edilmesini sağlamış olup, seleksiyon çalışmalarında yaprak renk parlaklığı, desen stabilitesi, bitki kuvveti, dallanma kapasitesi ve çevresel adaptasyon temel değerlendirme kriterleri olarak kullanılmaktadır (Nguyen vd. 2005, UF/IFAS Extension 2024).

Kolyos'ta yaprak renklenmesi, çok genli kontrol altında olan karmaşık bir karakter olup, klorofil, karotenoid ve antosiyanin pigmentlerinin miktarı ile yaprak içerisindeki dağılımına bağlı olarak görünür olmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntü analiz sistemlerinin (Vines ve Zhang 2022), yaprak renk desenlerinin objektif olarak ölçülmesinde uygulanabilir duruma gelmesi sayesinde görsel farklılıklar ölçülebilir duruma gelmiştir. Dijital fenotipleme yaklaşımları, klasik görsel seleksiyonun yanında yeni nesil ıslah programlarının uygulanabilirliğini doğrulamaktadır (Li vd. 2021, 2022).

Yaprak morfolojisi de kolyos ıslahında kullanılan seleksiyon kriterlerinden biridir. Yaprak büyüklüğü, şekli, kenar yapısı, kıvrımlılık, loblanma derecesi ve bitki mimarisi birlikte göz önünde bulundurularak kompakt gelişen saksı çeşitleri, geniş yapraklı peyzaj tipleri, sarkıcı formlar ve yüksek dallanma kapasitesine sahip genotipler sektör açısından önem kazanmıştır. Özellikle yaprak şekli ile renk desenlerinin bir arada yorumlanması, tüketici tercihlerini doğrudan etkileyen başlıca özellikler arasında yer almaktadır (Lebowitz 1985, Nguyen vd. 2005).

Klasik seleksiyon çalışmalarında uzun yıllar boyunca fenotipik gözlemler esas alınmış olmakla birlikte, zaman içerisinde görüntü işleme teknolojileri, yapay zekâ destekli analizler ve yüksek verimli fenotipleme (high-throughput phenotyping, HTP) sistemleri sayesinde binlerce bireyin kısa sürede objektif olarak değerlendirilebilmesi mümkün hâle gelmiştir (Ninomiya 2022, Vines ve Zhang 2022). Bu teknolojiler yalnızca yeni renk ve yaprak tiplerinin belirlenmesini kolaylaştırmamakta, aynı zamanda ebeveyn seçiminde karar verme sürecini de hızlandırmaktadır. Gelecekte moleküler markır teknolojileri ile yüksek çözünürlüklü görüntü analizi yöntemlerinin bir arada çalışılması, kolyos'ta görsel etkisi çarpıcı yeni çeşitlerin elde edilmesini hızlandıracaktır (Li vd. 2021, 2022, Ninomiya 2022).

9.2. Bitki Mimarisi ve Büyüme Formunun Islahı

Bitki mimarisi, süs bitkileri ıslahında estetik kaliteyi, verimliliği ve tüketici tercihlerini doğrudan etkileyen temel seleksiyon kriterlerinden biridir. Kolyos'ta bitki boyu, boğum arası uzunluğu, dallanma kapasitesi, sürgün gelişimi, büyüme habitusu ve taç yapısı gibi morfolojik özellikler sadece bitkinin dekoratif değerini belirlemekle kalmamakta; bunun yanında üretim, taşıma ve pazarlama süreçlerini de etkilemektedir. Kolyos ıslah programlarında yaprak özelliklerinin yanı sıra bitki mimarisine ilişkin karakterler de ıslah hedefleri arasına girmiştir (Teichmann ve Muhr 2015, Partap vd. 2023).

Kolyos'ta büyüme formunun genetik kontrolü üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, dik, yarı dik ve sarkıcı gelişim tiplerinin kalıtsal olarak farklılaştığını ve bu karakterlerin seleksiyon yoluyla başarıyla geliştirilebildiğini göstermektedir. Özellikle sarkıcı büyüme formunun tek bir çekinik gen tarafından kontrol edildiği ve uygun ebeveyn kombinasyonları kullanılarak bu özelliğin yeni çeşitlere aktarılabilirdiği bildirilmiştir. Bu bulgular, büyüme habitusunun yalnızca estetik bir özellik olmadığını, aynı zamanda klasik ıslah yöntemleriyle etkin biçimde yönlendirilebilen seleksiyon karakterlerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır (Nguyen 2008).

Saksılı süs bitkisi üretiminde kısa boğum aralarına sahip, yoğun dallanan ve simetrik taç oluşturan çeşitler tercih edilirken; peyzaj uygulamalarında geniş taç oluşturan, kuvvetli vejetatif gelişim gösteren veya sarkıcı büyüme karakterine sahip genotipler ön plana çıkmaktadır. Hedef kullanım alanına bağlı olarak farklı bitki mimarilerine sahip çeşitlerin ortaya çıkarılması günümüz ıslah programlarının esas stratejilerinden biri hâline gelmiştir. Florida Üniversitesi Coleus Islah Programı'nda da bitki kuvveti, dallanma kapasitesi, büyüme formu ve çevresel adaptasyon özellikleri, yaprak estetiğinin yanında değer taşıyan başlıca seleksiyon kriterleri arasında yer almaktadır (Nguyen vd. 2005, UF/IFAS Extension 2024).

Bitki mimarisinin değerlendirilmesinde günümüz koşullarında teknolojik gelişmeler yaşanmaya devam etmektedir. Görüntü işleme teknikleri ve yüksek verimli fenotipleme sistemleri sayesinde bitki yüksekliği, taç genişliği, dallanma yoğunluğu, boğum arası uzunluğu ve kısa boğum aralığına sahip olma gibi karakterler kısa sürede ve güvenilir doğrulukla ölçülebilmektedir. Bu yöntemler, geniş ıslah popülasyonlarında fenotipik seleksiyonun objektifliğini artırmakta ve üstün genotiplerin daha erken dönemlerde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Dijital fenotipleme sistemlerinin moleküler markır teknolojileriyle birlikte kullanılması, kolyos'ta farklı kullanım amaçlarına uygun bitki mimarisine sahip yeni çeşitlerin geliştirilmesini önemli ölçüde hızlandıracaktır (Ninomiya 2022, Vines ve Zhang 2022).

9.3. Abiyotik Stres Toleransı Islahı

İklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve sürdürülebilir üretim sistemlerine olan gereksinimin artması, süs bitkileri ıslahında seleksiyon hedeflerini değiştirmiştir. Süs bitkileri sektöründe türlerin estetik bakımdan çeşitlendirilmesinin yanı sıra kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık ile tuzluluk gibi abiyotik stres faktörlerine dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi de ıslah programlarının temel amaçları arasında yer almaktadır. Özellikle kent peyzajlarında ve iç mekân bitkisi üretiminde düşük bakım gereksinimi gösteren, değişken çevresel faktörlerin etkisi altında büyümesini ve dekoratif özelliklerini sürdürebilen çeşitlere olan talep giderek

artmaktadır. Çevresel adaptasyon ve stres toleransı, yalnızca bitki performansını değil, aynı zamanda profesyonel üretim başarısını belirleyen seleksiyon kriterleri olarak görülmektedir (Dole ve Wilkins 2005, Guo vd. 2022).

Kuraklık, süs bitkileri üretiminde üzerinde en fazla çalışılan abiyotik stres faktörlerinden biridir. Azalan su kaynakları ve sürdürülebilir peyzaj uygulamalarına yönelik artan gereksinim nedeniyle, düşük su tüketimine rağmen büyümesini ve dekoratif özelliklerini koruyabilen çeşitlerin eldesi öncelikli ıslah hedefleri arasına girmiştir. Kolyos'ta kuraklık stresi; büyüme hızının azalması, yaprak alanının küçülmesi, pigment metabolizmasının değişmesi ve dekoratif kalitenin düşmesi gibi olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bundan dolayı kuraklık toleransının fizyolojik ve moleküler mekanizmalarının belirlenmesi ile su kullanım etkinliği yüksek genotiplerin kullanılmaya başlanmasına yönelik çalışmalar artmaktadır (Guo vd. 2022, Alaswad vd. 2025).

Yüksek sıcaklık stresi, özellikle yaz aylarında dış mekân yetiştiriciliği ve kent peyzaj uygulamalarında süs bitkisi kalitesini sınırlandıran çevresel faktörlerden biridir. Yüksek sıcaklık stresi, özellikle uzun süre 30–35 °C'nin üzerinde seyreden sıcaklıklarda, kolyos'ta bitkilerde fotosentetik aktivitenin ve büyüme hızının azalmasına, yaprak pigmentasyonunun zayıflamasına ve dekoratif kalitenin düşmesine neden olabilmektedir. Bunun sonucu olarak süs bitkisi ıslahında yüksek sıcaklıklarda büyümesini sürdürebilen, yaprak renk stabilitesini koruyan ve dekoratif değerini kaybetmeyen genotiplerin belirlenmesi önem kazanmıştır. Isı toleransının artırılmasına yönelik fizyolojik ve biyoteknolojik yaklaşımlar, iklim değişikliğine uyum sağlayabilecek yeni çeşitlerin yaygınlaştırılmasının araştırma alanları arasında yer almaktadır (Partap vd. 2023).

Kolyos tropik kökenli bir tür olduğundan soğuk stresine karşı duyarlıdır ve serin iklim koşullarında büyümesi kısıtlanmaktadır. Optimum büyüme genellikle 20–25 °C arasında gerçekleşirken, sıcaklığın 15 °C'nin altına düşmesiyle büyüme yavaşlamakta, yaklaşık 10 °C ve altındaki sıcaklıklarda ise yapraklarda solma, renk bozulmaları ve gelişme geriliği gibi soğuk zararı belirtileri görülebilmektedir. Don olayları ise bitkilerde ciddi doku hasarına ve çoğu zaman bitkinin tamamen ölmesine neden olmaktadır. Dış mekân yetiştiriciliğinde ilkbahar geç donları ve sonbahar erken donları, kolyos'un kullanımını sınırlandıran kritik çevresel faktörler arasında yer almaktadır (Dole ve Wilkins 2005, UF/IFAS Extension 2024). Düşük sıcaklıklar hücre zarı bütünlüğünü, enzim aktivitelerini ve metabolik süreçleri olumsuz etkileyerek bitki gelişimini yavaşlatmakta ve dekoratif kaliteyi azaltabilmektedir. Özellikle ılıman iklim bölgelerinde yetiştiricilik sezonunun uzatılabilmesi ve dış mekân kullanım alanlarının

genişletilebilmesi amacıyla soğuğa toleranslı genotiplerin ıslah edilmesine yönelik çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Genomik ve moleküler yaklaşımlar, soğuk stresine tolerans sağlayan mekanizmaların ortaya konulmasına hizmet eden teknikler arasına girmeye devam etmektedir (Muhammed vd. 2025).

Tuzluluk stresi, özellikle sera yetiştiriciliğinde ve düşük kaliteli sulama sularının kullanıldığı yetiştiricilikte önem kazanan bir diğer abiyotik stres faktörüdür. Toprakta veya sulama suyunda tuz birikimi, bitkilerde ozmotik stres oluşturmakta, besin elementi dengesini bozmakta ve büyüme ile yaprak kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. *Coleus*'ta tuzluluk toleransına yönelik çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, bazı çeşitlerin yaklaşık 7.0–9.8 dS m⁻¹ elektriksel iletkenlik düzeylerine kadar belirgin bir büyüme geriliği göstermeden gelişebildiği bildirilmiştir. Bu bulgular, tür içerisinde tuzluluğa bağlı genetik farklılıkların bulunduğunu ve toleranslı genotiplerin seleksiyon yoluyla ıslah çalışmalarına entegre edilebileceğini göstermektedir. Kolyos'ta tuzluluk toleransına yönelik çalışmalar henüz sınırlı olmakla birlikte, süs bitkilerinde tuzluluğa dayanıklı genotiplerin belirlenmesi ve bu karakterlerin ıslah programlarına kazandırılması sürdürülebilir yetiştiricilik açısından stratejik önem taşımaktadır. Bu doğrultuda fizyolojik, moleküler ve genomik yaklaşımların birlikte kullanıldığı çalışmaların önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir (Guo vd. 2022, Alaswad vd. 2025).

10. DOKU KÜLTÜRÜ VE BİYOTEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Kolyos (*Coleus scutellarioides*), yüksek rejenerasyon kapasitesi, hızlı vejetatif gelişimi ve geniş fenotipik varyasyon oluşturma potansiyeli nedeniyle biyoteknolojik çalışmalar açısından dikkat çekici süs bitkisi türlerden biridir. Birçok süs bitkisinde olduğu gibi kolyos'ta da mikroçoğaltım, somaklonal varyasyon, mutasyon ıslahı ve moleküler biyoloji uygulamaları yeni tiplerin ortaya çıkartılması ve üstün genotiplerin korunması açısından fırsatlar sunmaktadır. Buna rağmen kolyos üzerine yürütülen biyoteknolojik çalışmaların, türün pazarlama açısından sahip olduğu öneme kıyasla henüz sınırlı olduğu görülmektedir.

10.1. Mikroçoğaltım

Mikroçoğaltım, üstün özelliklere sahip bitki genotiplerinin kısa sürede, hastalıklardan ari ve yüksek oranda genetik uniformiteye sahip bireyler şeklinde çoğaltılmasını sağlayan bitki biyoteknolojisi uygulamalarının başında gelmektedir. Kolyos (*Coleus scutellarioides*), yüksek rejenerasyon kapasitesi, hızlı sürgün gelişimi ve vejetatif çoğaltmaya yatkın yapısı nedeniyle

mikroçoğaltım çalışmalarına son derece uygun süs bitkileri arasında yer almaktadır. Özellikle yaprak renkleri ve desenleri gibi karakterlerin klonal olarak korunabilmesi, mikroçoğaltım tekniklerini kolyos üretiminde ilk sıralara yerleşen çoğaltım yöntemi hâline getirmiştir (Nagpal vd. 2008).

Kolyos'ta *in vitro* kültür çalışmalarında en yaygın olarak nodal segmentler, sürgün uçları (shoot tip), binodal boğum parçaları ve genç sürgün eksplantları kullanılmaktadır. Bu eksplantlar yüksek rejenerasyon kapasitesine sahip olup steril koşullarda kültüre alındıklarında kısa sürede çoklu sürgün oluşturabilmektedir. Özellikle nodal segmentlerden elde edilen aksiller tomurcukların gelişmesi, hem yüksek çoğaltım katsayısı sağlamak hem de genetik stabilitenin korunmasına katkıda bulunmaktadır (Laslo vd. 2011).

Coleus türlerinde rejenerasyon büyük ölçüde doğrudan organogenesis yoluyla gerçekleştirilmektedir. En yaygın yaklaşım, eksplantlarda bulunan aksiller tomurcukların uyarılmasıyla çoklu sürgün proliferasyonunun sağlanmasıdır. Doğrudan organogenesis, kallus oluşumunu büyük ölçüde ortadan kaldırdığı için genetik stabilitenin korunması açısından avantaj sağlamaktadır. Buna karşılık adventif sürgün rejenerasyonu veya kallus üzerinden sağlanan rejenerasyon daha fazla bitki elde etmeyi artırdığı halde, somaklonal varyasyon riskini de çoğaltmaktadır. Bu nedenle ticari mikroçoğaltım protokollerinde mümkün olduğunca doğrudan organogenesis esas alınmaktadır (Nagpal vd. 2008, Rajasekharan vd. 2010).

Kolyos'ta mikroçoğaltım çalışmalarında en yaygın kullanılan temel besin ortamı Murashige ve Skoog (1962) tarafından geliştirilen MS ortamıdır. Sürgün proliferasyonunun artırılması amacıyla ortama farklı sitokininler ilave edilmekte olup, en yaygın kullanılan bitki büyüme düzenleyicileri 6-benziladenin (BA/BAP), thidiazuron (TDZ), kinetin (KIN) ve 2-isopentenil adenin (2-iP)'dir. Sitokininlerin etkinliği genotipe ve kullanılan eksplant tipine bağlı olarak değişebildiğinden, optimum bitki büyüme düzenleyicisi kombinasyonlarının belirlenmesi mikroçoğaltım başarısını doğrudan etkilemektedir (Nagpal vd. 2008).

Laslo vd. (2011), *Coleus blumei* üzerinde yürüttükleri çalışmada iki boğum içeren sürgün eksplantlarını MS besin ortamında farklı sitokinin kombinasyonlarında kültüre almış ve 1.5 mg L⁻¹ BAP uygulamasının en yüksek sürgün proliferasyonunu sağladığını bildirmiştir. Aynı çalışmada kinetin ve 2-iP uygulamalarının da sürgün oluşumunu desteklediği, ancak çoğaltım katsayısının BAP uygulamalarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca köklenmenin bitki büyüme düzenleyicisi içermeyen MS ortamında başarıyla gerçekleştiğini ve kolyos'un doğal köklenme kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde

Rajasekharan vd. (2010), *Coleus forskohlii*, *C. parviflorus* ve *C. zeylanicus* türlerinde yarı konsantrasyonlu temel besin ortamına (Murashige ve Skoog 1962) 8.87 µM BAP ve 0.54 µM NAA ilavesiyle kallus oluşumu olmaksızın doğrudan sürgün oluşumu elde etmişlerdir. Aynı kültür ortamında eş zamanlı köklenmenin gerçekleştiği ve elde edilen bitkilerin *ex vitro* koşullara yaklaşık %85 başarı ile adapte olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bitkilerin 10 °C'de altı aya kadar alt kültüre gerek duyulmaksızın *in vitro* korunabildiği gösterilmiş ve bu yöntemin genetik kaynakların muhafazası açısından da kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Güncel çalışmalar, mikroçoğaltım protokollerinin yalnızca hızlı fide üretimi amacıyla değil, aynı zamanda kültür ortamlarının bitki gelişimi ve fizyolojisi üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak da geliştirildiğini göstermektedir. Jakobina vd. (2024), *Coleus scutellarioides* 'Electric Lime' çeşidinde farklı bitki büyüme düzenleyicilerinin *in vitro* gelişim üzerine etkilerini incelemiş ve kültür ortamındaki oksin-sitokinin dengesinin sürgün gelişimi, kök oluşumu ve bitki morfolojisini yüksek seviyede etkilediğini saptamışlardır. Araştırma, mikroçoğaltım protokollerinin genotipe özgü olarak optimize edilmesinin rejenerasyon başarısını artırdığını göstermektedir.

Kolyos, doku kültüründe gelişmeye olumlu cevap vermesi, kolay köklenebilmesi ve doğrudan organogenesis yoluyla genetik stabilitenin korunabilmesi sayesinde mikroçoğaltım çalışmalarına uygun bir süs bitkisidir. Geliştirilen *in vitro* çoğaltım sistemleri; hızlı klonal üretim, elit genotiplerin korunması, hastalıksız başlangıç materyali elde edilmesi ve biyoteknolojik ıslah çalışmalarına uygun materyal sağlanması açısından avantajlar sunmaktadır.

10.2. Somaklonal Varyasyon

Süs bitkileri ıslahında somaklonal varyasyon, doku kültürü sırasında ortaya çıkan kalıtsal ve epigenetik değişimlerden yararlanılarak yeni varyantların elde edilmesini sağlayan önemli biyoteknolojik yaklaşımlardan biridir. Özellikle vejetatif olarak çoğaltılan süs bitkilerinde yaprak rengi, desen, bitki formu, çiçek özellikleri ve çevresel adaptasyon gibi karakterlerde ortaya çıkan yeni fenotipler, klasik melezleme yöntemlerine alternatif varyasyon kaynakları oluşturmaktadır. Somaklonal varyasyon yeni çeşit geliştirme programlarında kullanılan değerli bir ıslah aracıdır (Chen ve Henny 2008). Kolyos (*C. scutellarioides*), yaprak pigmentasyonu ve desen oluşumundaki fenotipik çeşitliliği nedeniyle somaklonal varyasyondan yararlanılabilecek süs bitkileri arasında yer almaktadır.

Somaklonal varyasyon; *in vitro* kültür sürecinde meydana gelen genetik, epigenetik veya kromozomal değişiklikler sonucunda oluşan kalıtsal ya da fenotipik farklılıkları ifade etmektedir. Bu değişimler; eksplant tipi, kültür süresi, kullanılan bitki büyüme düzenleyicileri, organ ve sürgün oluşumu, özellikle de kallus oluşumu gibi birçok faktörden etkilenir. Genel olarak aksiller tomurcuklardan gerçekleştirilen doğrudan organogenesis sürecinde genetik stabilite yüksek düzeyde korunurken, kallus üzerinden elde edilen rejenerasyon sistemlerinde varyasyon oluşma olasılığı oldukça artmaktadır (Rajasekharan vd. 2010).

Kolyos'ta somaklonal varyasyon üzerine gerçekleştirilen en kapsamlı çalışmalardan biri Marcotrigiano vd. (1990) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar, farklı yaprak renk ve desen özelliklerine sahip *Coleus × hybridus* çeşitlerini MS besi ortamında 1–3 mg L⁻¹ BAP (6-benzil aminopürin) içeren sürgün kültürlerinde çoğaltarak yapraklardaki desenlilik stabilitesini incelemişlerdir. Çalışmada, klorofil dağılımı ile antosiyanin renklenmesinin kültür sürecindeki davranışları karşılaştırılmış; albino orta damar karakterinin oldukça stabil olduğu, buna karşılık antosiyanin pigmentasyonunun bazı genotiplerde daha değişken özellik gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmada özellikle desenli antosiyanin çeşitliliği (Pattern Anthocyanin Variegation, PAV) gösteren çeşitlerin mikroçoğaltım sonrasında fenotipik özelliklerini büyük ölçüde koruduğu, buna karşılık desensiz antosiyanin dağılımı (Non-pattern Anthocyanin Variegation, NAV) gösteren genotiplerde yeni yaprak renkleri ve desenlerinin daha yüksek çeşitlilik oranında ortaya çıktığı bildirilmiştir. Oluşan bazı varyantların generatif çoğaltma sonrasında da aktarılmış olduğunun belirlenmesi, *in vitro* kültür sırasında meydana gelen değişimlerin yalnızca fizyolojik değil, kalıtsal özellik de taşıyabileceğini göstermiştir (Marcotrigiano vd. 1990).

Somaklonal varyasyon mikroçoğaltım açısından istenmeyen bir durum olarak nitelendirilse de, süs bitkileri ıslahında fayda sağlamaktadır. Kolyos'ta yaprak rengi, pigment dağılımı, damar belirginliği, yaprak şekli ve bitki mimarisinde ortaya çıkan yeni fenotipler, seleksiyon programlarında kullanılabilecek değerli varyasyon kaynakları oluşturmaktadır (Nagpal vd. 2008). Birçok süs bitkisinde olduğu gibi kolyos'ta da kontrollü somaklonal varyasyonun klasik seleksiyon, mutasyon ıslahı ve moleküler biyoteknolojik yaklaşımlar yoluyla kullanımı sayesinde, yeni çeşitlerin oluşturulmasında etkin rol alması mümkündür (Chen ve Henny 2008).

10.3. Mutasyon Islahı ve Poliploidi

Süs bitkileri ıslahında yeni çeşit geliştirme çalışmalarının temelini, estetik değeri artıracak yeni varyasyon kaynaklarının oluşturulması oluşturmaktadır. Klasik melezleme ve seleksiyon

yöntemleri birçok türde başarıyla uygulanmakla birlikte, özellikle vegetatif olarak çoğaltılan süs bitkilerinde yeni renk, desen ve büyüme özelliklerinin elde edilmesinde mutasyon ıslahı ve poliploidi uygulamaları uygulanabilir biyoteknolojik araçlar hâline gelmiştir. Doku kültürü teknikleriyle birlikte uygulandığında bu yaklaşımlar, kısa sürede geniş populasyonların oluşturulmasına ve üstün fenotiplerin etkin biçimde seçilmesine olanak sağlamaktadır (Chen ve Henny 2008, Datta 2023).

Kolyos (*C. scutellarioides*), yaprak rengi, pigment dağılımı, desen oluşumu ve bitki mimarisi bakımından küçük genetik değişimlere bile belirgin fenotipik tepkiler verebilen nadir süs bitkilerinden biridir. *In vitro* çoğaltım sistemlerinin başarılı biçimde uygulanabilmesi, mutasyon uygulamaları sonrasında oluşan varyantların hızla çoğaltılmasına ve üstün genotiplerin korunmasına katkı sağlamaktadır (Nagpal vd. 2008). Fiziksel ve kimyasal mutajenlerin doku kültürü teknikleriyle birlikte kullanılması, klasik seleksiyonla elde edilmesi güç olan yeni yaprak renkleri, desen tipleri ve büyüme formlarının geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Benzer şekilde kromozom katlanması sağlayan poliploidizasyon uygulamalarından da daha iri yapraklı, yoğun pigmentasyon gösteren ve çevresel streslere daha dayanıklı yeni genotiplerin elde edilmesinde faydalanılmaktadır. Bunun sonucu olarak mutasyon ıslahı, *in vitro* mutasyon ve poliploidi uygulamaları birbirini tamamlayan biyoteknolojik yöntemler olarak yeni nesil süs bitkileri ıslah programlarında giderek daha fazla yer almaktadır (Datta 2023).

***In vitro* Mutasyon Uygulamaları**

In vitro mutasyon, steril şartlarda ve besin ortamları üzerinde çoğaltılan bitki materyaline fiziksel veya kimyasal mutajenlerin uygulanması esasına dayanan ve kontrollü genetik varyasyon oluşturmayı amaçlayan biyoteknolojik ıslah yöntemlerinden biridir. Doku kültürü ile mutasyon ıslahının birlikte uygulanması; mutasyonların tek hücre veya küçük doku gruplarında oluşturulmasına, mutasyona uğrayan hücrelerin doğrudan sürgün oluşumu yoluyla bitkiye dönüştürülmesine ve üstün fenotiplerin kısa sürede seçilmesine zemin hazırlamaktadır. Böylece *in vitro* mutasyon uygulamaları, özellikle vegetatif olarak çoğaltılan süs bitkilerinde klasik mutasyon ıslahına göre daha yüksek seleksiyon etkinliği sağlamaktadır (Predieri 2001, Jain 2005, Datta 2023).

Süs bitkilerinde *in vitro* mutasyon çalışmalarında en yaygın kullanılan fiziksel mutajen gama ışınları olmakla birlikte, X ışınları ve iyon demetleri de bazı türlerde başarılı sonuçlar vermektedir. Kimyasal mutajenler arasında ise etil metansülfonat (EMS) en yaygın kullanılan ajan olup, bunun yanında sodyum azid (NaN₃) ve N-metil-N-nitrozoure (MNU) gibi

mutajenlerden de yararlanılmaktadır. Kullanılan mutajen tipi ve dozu, eksplantın rejenerasyon kapasitesi ile doğrudan ilişkili olup, yüksek doz uygulamaları adventif sürgün gelişimini baskımlarken düşük dozlar yeterli çeşitlilik oluşturmayaabileceğinden; her tür ve genotip için optimum mutasyon dozunun belirlenmesi mutasyon ıslahının gerekli aşamalarından biridir (Ahloowalia vd. 2004, MBA 2013).

Kolyos'ta bugüne kadar *in vitro* mutasyon üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, türün yeniden bitki oluşturma kapasitesi, kolay mikroçoğaltıma uygunluğu ve yaprak estetiğinin küçük genetik değişimlere duyarlı olması, mutasyon oluşturma olasılığını artırmaktadır. Özellikle yaprak rengi, pigment dağılımı, damar belirginliği, yaprak şekli ve bitki mimarisinde meydana gelecek küçük değişimlerin dahi yeni süs bitkisi tiplerinin ortaya çıkmasına katkı sağlayabildiğinden; mikroçoğaltım sistemleri ile mutasyon uygulamalarının birlikte kullanılması, kolyos'ta süs bitkisi potansiyeli yüksek yeni genotiplerin oluşturulması açısından tercih edilebilir görülmektedir (Chen ve Henny 2008, Datta 2023, Muhammed vd. 2025).

Poliploidi ve Kromozom Katlanması

Poliploidizasyon, kromozom takım sayısının artırılması yoluyla bitkilerde yeni fenotipik özelliklerin ortaya çıkarılmasını sağlayan ıslah yöntemlerinden biridir. Özellikle vejetatif olarak çoğaltılan süs bitkilerinde poliploid bireyler; daha iri yapraklar, daha kalın dokular, koyu ve yoğun pigmentasyon, kompakt büyüme, artmış biyokütle ve bazı çevresel streslere karşı daha yüksek uyum kapasitesi gibi özellikler gösterebilmektedir. Yapay poliploidizasyon, süs bitkileri ıslahında estetik değeri yüksek yeni çeşitlerin ortaya çıkartılmasında yaygın olarak kullanılan biyoteknolojik yaklaşımlardan biri hâline gelmiştir (Dhooghe vd. 2011, Datta 2023).

Yapay poliploidizasyon çalışmalarında en yaygın kullanılan antimitotik maddeler kolhisin ve oryzalin olup, trifluralin gibi dinitroanilin grubu bileşiklerden de yararlanılmaktadır. Bu bileşikler mitoz sırasında iğ ipliklerinin oluşumunu engelleyerek kromozomların ayrılmasını önlemekte ve kromozom katlanmasına neden olmaktadır. Özellikle oryzalinin kolh'isine göre daha düşük toksisite göstermesi ve bitki hücrelerinde daha yüksek seçiciliğe sahip olması nedeniyle birçok süs bitkisinde tercih edildiği bildirilmektedir (Dhooghe vd. 2011, Touchell vd. 2020). Poliploid bitkilerde meydana gelen morfolojik değişimler yalnızca organ büyüklüğündeki artışla sınırlı değildir. Yaprak kalınlığında artış, stomataların büyümesi ve yoğunluğunun değişmesi, daha koyu yeşil veya yoğun pigmentli yapraklar, toplu ve kısa boğum arasına sahip bitki formu ve bazı türlerde çiçek büyüklüğünde artış gibi özellikler de

poliploidizasyonun yaygın sonuçları arasında yer almaktadır. Bu karakterler özellikle süs bitkilerinde görsel kaliteyi doğrudan etkilediğinden, poliploidi uygulamaları çeşit geliştirme programlarında kullanılabilmektedir (Dhooghe vd. 2011, Datta 2023).

Kolyosta doğal olarak yüksek kromozom sayısına ve allopoliploid kökene sahip bir genom yapısının bulunması, türün kromozomal manipülasyonlara uygun olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, *Coleus scutellarioides* türünde yapay poliploidizasyon üzerine yürütülen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Türün yüksek rejenerasyon kapasitesi ve mikroçoğaltım sistemlerinin başarılı biçimde uygulanabiliyor olması, kolhisin veya oryzalin destekli *in vitro* poliploidizasyon çalışmalarının yürütülmesine olanak sağlayabilir. Özellikle daha iri yapraklı, yoğun pigmentasyon gösteren, toplu ve yoğun gelişen ve çevresel streslere daha dayanıklı yeni genotiplerin ıslahı bakımından poliploidizasyonun kolyos ıslahında önemli potansiyel taşıdığı bir gerçektir (Santra vd. 2022, Datta 2023, Muhammed vd. 2025).

10.4. *In vitro* Sekonder Metabolit Üretimi

Coleus cinsi yalnızca süs bitkisi olarak değil, aynı zamanda içerdiği biyolojik aktif sekonder metabolitler nedeniyle de bilimsel açıdan ilgi gören bitki grupları arasında yer almaktadır. Özellikle diğer *Coleus* türleri arasında yer alan *Coleus forskohlii* (syn. *Plectranthus barbatus*), farmasötik öneme sahip diterpen yapısındaki forskolin bileşiğinin doğal kaynağı olması nedeniyle uzun yıllardır doku kültürü ve biyoteknoloji araştırmalarında model tür olarak kullanılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak *Coleus* cinsinde geliştirilen birçok *in vitro* kültür sistemi, başlangıçta sekonder metabolit üretiminin artırılmasına yönelik olarak geliştirilmiştir (Nagpal vd. 2008).

In vitro kültür teknikleri; kontrollü çevre şartlarında, mevsimden bağımsız ve standart çoğaltım olanağı sağlamasının yanı sıra sekonder metabolit sentezini etkileyen faktörlerin yönlendirilebilmesine de olanak vermektedir. Özellikle sürgün kültürleri, kallus kültürleri, hücre süspansiyonları ve hairy root (*Agrobacterium rhizogenes*) kültürleri kullanılarak forskolin üretiminin artırılmasına yönelik çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca metil jasmonat, salisilik asit ve çeşitli biyotik elisitörlerin uygulanmasıyla hücre kültürlerinde forskolin birikimi artırılabilir. Yapılan çalışmalar, *in vitro* kültür sistemlerinin yalnızca çoğaltım amacıyla değil, yüksek katma değerli doğal bileşiklerin kontrollü üretimi için de önemli biyoteknolojik platformlar olduğunu göstermektedir (Nagpal vd. 2008, Mitra vd. 2020).

Coleus scutellarioides üzerine gerçekleştirilen biyoteknolojik çalışmalar, büyük ölçüde mikroçoğaltım, sürgün farklılaşması ve bitki gelişimi üzerine yoğunlaşmış olup, sekonder

metabolit üretimine yönelik araştırmalar henüz sınırlı sayıdadır. Bununla birlikte çeşitli araştırmalar, kültür ortamının bileşimi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin yalnızca sürgün gelişimini değil, aynı zamanda uçucu bileşiklerin sentezi ve metabolit profili üzerinde de etkili olduğunu ortaya koymuştur. Jakobina vd. (2024), *C. scutellarioides* 'Electric Lime' çeşidinde farklı bitki büyüme düzenleyicilerinin *in vitro* gelişim ve uçucu bileşik kompozisyonunu değiştirebildiğini bildirerek, türün sekonder metabolit biyoteknolojisi açısından da araştırma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Kolyos'un sahip olduğu *in vitro* doku ve organ oluşturma kapasitesi, başarılı mikroçoğaltım sistemleri ve doku kültürüne uygunluğu dikkate alındığında; ilerleyen dönemde pigment biosentezi, fenolik bileşikler, antioksidan metabolitler ve uçucu bileşiklerin kontrollü üretimine yönelik çalışmaların artması beklenmektedir. Özellikle metabolomik, transkriptomik ve genomik yaklaşımların *in vitro* kültür sistemleriyle birlikte kullanımları hem süs bitkisi kalitesinin artırılmasına hem de biyolojik aktif bileşiklerin sürdürülebilir üretimine katkılar sağlayabilecektir (Rattray ve Van Wyk 2021, Muhammed vd. 2025).

10.5. Moleküler Genetik ve Yeni Nesil Islah Yaklaşımları

Moleküler biyoloji, genomik ve biyoinformatik alanlarında yaşanan gelişmeler, süs bitkileri ıslahında klasik seleksiyon yaklaşımlarının ötesine geçilmesini sağlamaktadır. Yeni nesil dizileme teknolojileri (NGS), yüksek verimli moleküler markır sistemleri, transkriptom analizleri ve genom düzenleme teknikleri sayesinde hedef karakterlerin genetik temelleri daha ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmekte ve çeşit geliştirme süreci hızlandırılabilir. Geline zaman diliminde, süs bitkileri ıslahında yalnızca fenotipik seleksiyon değil, moleküler verilerle desteklenen genom temelli yaklaşımlar da giderek yaygınlaşmaktadır (Muhammed vd. 2025).

Kolyos'ta moleküler genetik çalışmaları henüz sınırlı olmakla birlikte, yaprak renklenmesi ve desen oluşumunun yüksek çözünürlüklü görüntü analizleri ile ölçülmesi, bu karakterlerin genetik kontrolünün daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır. Böylece pigment dağılımının nicel olarak analiz edilmesi, estetik değerin objektif ölçütlerle değerlendirilmesi mümkün olmuş ve yeni nesil çalışmalarda moleküler markır geliştirme faaliyetlerine altyapı sağlamıştır (Li vd. 2021, 2022). Moleküler markır teknolojileri, genetik çeşitliliğin belirlenmesi, ebeveyn seçimi, genetik saflığın doğrulanması ve markır destekli seleksiyon (MAS) uygulamalarında faydalar sağlamaktadır. Özellikle SNP temelli yüksek verimli markır sistemleri, KASP genotipleme platformları ve dizileme tabanlı yaklaşımlar, giderek klasik SSR

ve RAPD markırlarının yerini almaya başlamıştır. Transkriptom analizleri ve fonksiyonel genomik çalışmaları sayesinde antosiyanin biyosentezi, pigment dağılımı, yaprak gelişimi ve çevresel stres yanıtlarında görev alan genlerin belirlenmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu bilgiler, yakın gelecekte kolyos türünde yaprak renk stabilitesi, çevresel adaptasyon ve bitki mimarisi gibi pazarlamada önemi bulunan karakterlerin moleküler düzeyde daha etkin biçimde yönetilebilmesine olanak sağlayacaktır (Muhammed vd. 2025).

Genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas sistemleri, süs bitkileri ıslahında son yılların en dikkat çekici gelişmeleri arasında yer almaktadır. Bu teknikler kullanılarak çiçek ve yaprak rengi, bitki formu, çiçeklenme zamanı, dayanıklılık ve süs değeriyle ilişkili birçok karakter üzerinde başarılı düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar *C. scutellarioides* üzerinde gen düzenleme uygulamalarına ilişkin çalışmalar henüz başlangıç aşamasında olsa da, türün yüksek rejenerasyon kapasitesi ve başarılı doku kültürü sistemleri dikkate alındığında önümüzdeki yıllarda CRISPR/Cas tabanlı genom düzenleme çalışmalarına uygun aday türlerden biri olacağı öngörülmektedir. Bu teknolojilerin doku kültürü, mutasyon ıslahı ve yüksek çözünürlüklü görüntü analizi sistemleriyle entegre edilmesi, süs bitkisi değeri geliştirilmiş, çevresel adaptasyonu yüksek ve çoğaltım performansı üstün yeni kolyos çeşitlerinin elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

11. TÜRKİYE AÇISINDAN GELECEK PROJEKSİYONU VE ARAŞTIRMA POTANSİYELİ

Süs bitkileri sektörü dünya genelinde hızlı bir gelişim göstermiş ve yalnızca estetik amaçlı bir tarımsal üretim olmaktan çıkarak yüksek katma değer oluşturan stratejik bir üretim faaliyeti alanına dönüşmüştür. Kentleşmenin artması, peyzaj uygulamalarının yaygınlaşması, iç mekân bitkilerine olan ilginin yükselmesi ve sürdürülebilir yaşam anlayışının güçlenmesi, süs bitkilerine yönelik talebi sürekli artırmaktadır. Türkiye'de de süs bitkileri üretiminde giderek artan gelişmeler yaşanmasına rağmen sektörde kullanılan çeşitlerin büyük bölümü hâlen yabancı ıslah programlarından elde edilen materyallere dayanmaktadır. Yerli çeşit geliştirme çalışmalarına ise rastlanmamıştır. Bu açıdan bakıldığında kolyos (*Coleus scutellarioides*), sahip olduğu yüksek fenotipik varyasyon kapasitesi, üstün dekoratif özellikleri ve biyoteknolojik uygulamalara uygun yapısıyla Türkiye için değer taşıyan araştırma ve ıslah fırsatları sunan süs bitkilerinden biri olarak dikkati çekmektedir.

İklim değişikliği ile birlikte sürdürülebilir peyzaj uygulamalarının önemi giderek artmaktadır. Su kaynaklarının etkin kullanımı, yüksek sıcaklıklara dayanıklı bitkilerin tercih edilmesi ve düşük bakım gereksinimine sahip türlerin geliştirilmesi günümüz peyzaj anlayışının temel hedefleri arasında yer almaktadır. Yüksek sıcaklıklarda renk stabilitesini koruyabilen, düşük su tüketimiyle yetiştirilebilen ve güneşlenme süresi/ şiddeti adaptasyonu iyi olan çeşitlerin ıslahı geleceğin öncelikli araştırma konuları arasında yer alabilir.

Türkiye'nin Akdeniz, Ege, Karadeniz ve karasal iklim kuşaklarını aynı anda barındıran geniş ekolojik çeşitliliği, kolyos'un farklı ekolojilerdeki performansının incelenmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Farklı bölgelerde yürütülecek adaptasyon çalışmaları sayesinde sıcaklık, ışık şiddeti, UV radyasyonu, kuraklık ve su kısıtı gibi çevresel faktörlerin yaprak pigmentasyonu, bitki mimarisi ve süs bitkisi kalitesi üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ortaya konulabilir. Böylece farklı kullanım amaçlarına uygun, çevresel streslere yanıtı uyumlu yeni genotiplerin ıslahına yönelik seleksiyon kriterleri oluşturulabilir. Türkiye açısından kolyos'un biyoteknolojik potansiyeli oldukça dikkat çekicidir. Bu bitkinin yüksek rejenerasyon kapasitesi ve doku kültürüne uygun yapısı; mikroçoğaltım, somaklonal varyasyon, *in vitro* mutasyon, poliploidi ve moleküler biyoloji çalışmalarına uygun bir yapı sergilemektedir. Ülkemizde gelişen bitki doku kültürü altyapısı dikkate alındığında, hastalıksız başlangıç materyali üretimi, elit genotiplerin korunması ve yeni varyasyon kaynaklarının oluşturulmasına yönelik çalışmaların hız kazanabileceği öngörülmektedir.

İç mekân süs bitkilerine yönelik ilginin özellikle 2020'den sonra küresel sosyal değişimlerle birlikte belirgin biçimde artması, kolyos için sektörde fırsatlar oluşturmaktadır. Toplu ve yoğun gelişim gösteren, düşük ışıklanma durumunda pigment yoğunluğunu koruyabilen, uzun süre dekoratif görünümünü sürdüren ve sınırlı bakım gerektiren çeşitlerin ıslah edilmesi, iç mekân bitkileri sektöründe ekonomik katkılar sağlayabilir. Bu doğrultuda yalnızca estetik özelliklerin değil, iç mekân koşullarına adaptasyon, uzun süreli renk stabilitesi ve çoğaltım performansının da ıslah hedefleri arasına alınması gerekmektedir. Kolyos iç mekan olduğu kadar özellikle bina ve çeşitli mekanlara giriş kısımlarında aranjman halinde kullanılarak peyzaj açısından çekici bir özellik katmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı yaprak renk ve desen özelliklerine sahip kolyos çeşitlerinin birlikte kullanıldığı dekoratif bitki aranjmanlarından örnekler.

Mutasyon ıslahı, kolyos için Türkiye'de çeşit geliştirme çalışmalarına hızla entegre edilebilecek öncelikli araştırma alanlarından biridir. Yaprak renklenmesindeki küçük genetik değişimlerin dahi belirgin fenotipik farklılıklar oluşturabilmesi, türü mutasyon seleksiyonu açısından oldukça uygun hâle getirmektedir. Özellikle gama ışınları, kimyasal mutajenler ve *in vitro* mutasyon uygulamalarıyla yeni pigment kombinasyonları, farklı yaprak desenleri, sık dallanma gelişimi gösteren tipler ve çevresel streslere dayanımı iyi olan genotiplerin geliştirilmesi mümkün görünmektedir. Doku kültürü teknikleriyle desteklenen mutasyon ıslahı programları, kısa sürede genetik farklılık içeren geniş popülasyonların oluşturulmasına olanak sağlayarak yerli çeşit geliştirme çalışmalarına değerli katkılar sunabilir.

Bunun yanında kontrollü çevre sistemleri, LED aydınlatma teknolojileri, dijital görüntü analizi ve yüksek verimli fenotipleme sistemleri de kolyos araştırmalarında aydınlatıcı ve hızlandırıcı olacaktır. Farklı ışık spektrumlarının pigment sentezi, yaprak kontrastı, bitki mimarisi ve dekoratif kalite üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak ortaya konulması, hem temel bilim hem de profesyonel üretim açısından yeni olanaklar sağlayacaktır.

Türkiye'de kolyos üzerine yürütülecek araştırmaların öncelikle genetik varyasyonun belirlenmesi, adaptasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi, doku kültürü ve mutasyon ıslahı ile çeşitlilik oluşturulması, ardından dijital fenotipleme, moleküler markır teknolojileri ve genomik yaklaşımlarla desteklenen bütünleşik ıslah programlarına dönüştürülmesi kritik bir araştırma stratejisi oluşturabilir. Bu süreçte üniversiteler, kamu araştırma enstitüleri, özel sektör doku kültürü laboratuvarları, süs bitkisi üreticileri ve peyzaj firmaları arasında kurulacak güçlü iş birlikleri büyük önem taşımaktadır. Üniversite-özel sektör ortaklıklarıyla yürütülecek disiplinler arası projeler, kolyos'un yalnızca akademik açıdan değil, ekonomik açıdan da stratejik bir süs bitkisi hâline gelmesine katkı sağlayacaktır.

Kolyos, Türkiye açısından yalnızca dekoratif değeri yüksek bir süs bitkisi değil; aynı zamanda genetik, pigment biyolojisi, çevresel stres fizyolojisi, doku kültürü, biyoteknoloji ve güncel ıslah stratejileri açısından çok yönlü araştırma potansiyeline sahip bir akademik bilgi açığı bulunan bitki türlerinden biridir. Türkiye'nin sahip olduğu bitki biyoteknolojisi altyapısı, gelişen süs bitkileri sektörü ve artan Ar-Ge kapasitesi dikkate alındığında, kolyos üzerine yürütülecek bütünleşik ıslah programlarının önümüzdeki yıllarda hem bilimsel hem de üretim sistemi açısından nitelikli çıktılar oluşturması beklenmektedir.

12. SONUÇ

Kolyos (*Coleus scutellarioides*), sahip olduğu zengin yaprak çeşitliliği, zengin pigment çeşitliliği ve geniş çevresel adaptasyon kapasitesi sayesinde dünya süs bitkileri sektörünün dikkat çeken türlerinden biri hâline gelmiştir. Türün ticari değerinin büyük ölçüde yaprak estetiğine dayanması, kolyos'u klasik çiçek odaklı süs bitkilerinden ayırmakta; yaprak rengi, desen oluşumu, bitki mimarisi ve dekoratif performansı temel kalite kriterleri hâline getirmektedir. Bununla birlikte kolyos, yalnızca estetik özellikleriyle değil, yüksek fenotipik esnekliği (plastisite özelliği) ve biyolojik çeşitliliğiyle de bilimsel araştırmalar açısından model bitki niteliği taşımaktadır.

Bu bölümde kolyos'un taksonomik yapısı, morfolojik özellikleri, pigment biyolojisi, genetik temelleri, çevresel faktörlere verdiği yanıtlar, çoğaltma teknikleri, yetiştiricilik uygulamaları, hastalık ve zararlıları ile klasik ve modern ıslah yaklaşımları güncel literatür ışığında kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Yaprak renklenmesi ve desen oluşumu yalnızca genetik faktörlerin değil, ışık kalitesi, sıcaklık, su durumu ve diğer çevresel etmenlerin ortak etkisiyle

belirlenmektedir. Bu özellik, kolyos'u pigment biyolojisi, çevresel adaptasyon ve fenotipik plastisite çalışmalarında nitelikli bir araştırma materyali hâline getirmektedir.

Doku kültürü, mikroçoğaltım, somaklonal varyasyon, mutasyon ıslahı, poliploidi uygulamaları ve moleküler biyoloji alanlarında sağlanan gelişmeler, kolyos ıslahında klasik seleksiyon yöntemlerini tamamlayan güçlü araçlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle dijital görüntü analizi, yüksek verimli fenotipleme sistemleri, moleküler markır teknolojileri, yeni nesil dizileme yaklaşımları ve genom düzenleme tekniklerinin kolyos ıslah programlarına entegre edilmesiyle, estetik değeri yüksek, çevresel streslere tolerant ve üretim performansı geliştirilmiş yeni çeşitlerin daha kısa sürede elde edilmesi mümkün olabilecektir.

Türkiye kapsamında düşünüldüğünde ise kolyos üzerinde yürütülen araştırmaların ve yerli çeşit geliştirme çalışmalarının henüz başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir. Buna karşın ülkemizin farklı ekolojik koşulları, gelişen süs bitkileri sektörü, güçlü bitki doku kültürü altyapısı ve Özel sektör Ar-Ge Merkezlerinin de devreye girmesiyle artan araştırma kapasitesi dikkate alındığında, kolyos üzerine yürütülecek bütünlüklü araştırma ve ıslah programları için fırsatlar bulunmaktadır. Adaptasyon çalışmaları, mutasyon ıslahı, kontrollü çevre sistemleri, LED teknolojileri, yüksek çözünürlüklü görüntü analizi ve moleküler biyoloji uygulamalarının birlikte kullanılmasıyla hem bilimsel bilgi üretiminin artırılması hem de yüksek katma değerli yerli çeşitlerin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Nitekim Onaran Fide Ar-Ge Merkezi olarak bizler de saksılı süs bitkilerinde yoğunlaşan ıslah temelli araştırma faaliyetlerimiz kapsamında kolyos türünde yerli çeşit geliştirme alanında *in vitro* mutasyon ve poliploidizasyon çalışmalarına özel bir gayret göstermekteyiz.

Sonuç olarak kolyos, bir yandan dekoratif yapraklarıyla öne çıkan ticari bir süs bitkisi olması özelliğiyle, diğer yandan genetik, pigment biyolojisi, çevresel stres fizyolojisi, doku kültürü, biyoteknoloji ve yeni nesil ıslah stratejileri açısından geniş araştırma olanakları sunan stratejik bir model tür olması niteliğiyle Türkiye'nin sahip olduğu bilimsel altyapı, üniversite–araştırma enstitüsü–özel sektör iş birlikleri ve gelişen Ar-Ge kapasitesi dikkate alındığında, öncelikli olarak çalışılması gereken süs bitkileri arasında yer almaktadır. Kolyos üzerine yürütülecek disiplinler arası çalışmaların önümüzdeki yıllarda hem bilimsel bilgi üretimine hem de süs bitkileri sektörünün rekabet gücünün artırılmasına değerli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Estetik değeri sayesinde sektördeki canlılığı artırma potansiyeli ile bilimsel konulardaki açık alanları bir araya getiren kolyos; klasik yetiştiricilikten biyoteknoloji destekli modern ıslah programlarına uzanan geniş kullanım alanıyla, stratejik süs bitkisi türlerinden biri olmaya aday olarak değerlendirilmektedir.

Bilgi Notu: Bu kitap bölümünün hazırlanması sürecinde yapay zekâ tabanlı araçlardan metinlerin dil bilgisi, anlatım akıcılığı ve bilimsel ifade bütünlüğünün geliştirilmesi ile bazı şematik çizimlerin ve dekoratif kompozit görsellerin tasarımında yararlanılmıştır. Bilimsel içerik, yorumlar, literatür değerlendirmeleri, kaynak seçimi ve metnin son hâli tamamen yazarlar tarafından hazırlanmış ve doğrulanmıştır.

Bölümde yer alan hastalık ve zararlılara ait fotoğraflar yapay zekâ tarafından oluşturulmamış olup, orijinal fotoğraflarımızdan ve ilgili kurumların açık erişimli eğitim materyallerinden alınmış, yalnızca panel düzeni, boyutlandırma ve yerleşim açısından düzenlenerek kompozit şekiller hâline getirilmiştir. Gerçek hastalık ve zararlı belirtilerini yansıtan fotoğraflar üzerinde içerik değişikliği yapılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Ahloowalia, B. S., Maluszynski, M., & Nichterlein, K. (2004). Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica*, 135(2), 187–204. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000014914.85465.4f>
- Aisyah, S. I., Togatorop, E. R., & Damanik, M. R. M. (2016). Physically induced mutation by acute and fractionated irradiation on *Coleus* spp. In *I International Symposium on Tropical and Subtropical Ornamentals. Acta Horticulturae*, 1167, 227–236.
- Alaswad, A. A., El Esawi, M. A., Alaraidh, I. A., Alshaya, H., Alghamdi, M., Alshamrani, S., & Alzahrani, Y. (2025). Transcriptomic landscapes of ornamental plants under salt and drought stress: Key genes and pathways for tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1703649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1703649>
- Alp, Ş., & Bayram, M. (2026). Labiatae (Coleus). İçinde Y. Mendi & M. Zencirkıran (Ed.), *İç Mekan Bitkileri* (Bölüm 22, ss. 299–304). Akademisyen Yayınevi. <https://doi.org/10.37609/akya.3915.c2974>
- Anonim (2008). Royal Horticultural Society. *RHS A–Z Encyclopedia of Garden Plants* (C. Brickell, Ed.). Dorling Kindersley.
- Anonim (2013a). Royal Horticultural Society. (2013). *Solenostemon scutellarioides* 'Crimson Ruffles'. RHS Plant Selector. <http://apps.rhs.org.uk/plantselector/plant?plantid=414>.
- Anonim (2013b). Royal Horticultural Society. *Solenostemon scutellarioides* 'Wisley Tapestry'. RHS Plant Selector. <https://apps.rhs.org.uk/plantselector/plant?plantid=4149>
- Bailey, L. H. (1942). *Standard Cyclopaedia of Horticulture* (Vols. 1–3). Macmillan, New York.
- Bertone, M., Owen, W. G., & Whipker, B. E. (2022). *Coleus Pest Disorder Guide*. e-GRO Alert.
- Boldt, J. K. (2013). *Foliar anthocyanins in coleus and ornamental grasses: Accumulation, localization, and function* (Doctoral dissertation, University of Minnesota). University of Minnesota Digital Conservancy. <http://hdl.handle.net/11299/150590>
- Boye, C. L., & Rife, D. C. (1938). Genetic studies of Coleus. I. Leaf color. *Journal of Heredity*, 29(2), 55–60.
- Chen, Y., Bracy, R. P., & Beasley, J. S. (2017). Optimum N and P rates for greenhouse production of vegetative coleus using constant liquid feed. *Journal of Plant Nutrition*, 40(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1077970>
- Cho, K. H., Laux, V. Y., Wallace-Springer, N., Clark, D. G., Folta, K. M., & Colquhoun, T. A. (2019). Effects of light quality on vegetative cutting and *in vitro* propagation of *Coleus* (*Plectranthus scutellarioides*). *HortScience*, 54(5), 926–935. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13903-19>
- Cloyd, R. A. (2016). *Greenhouse Pest Management*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. <https://doi.org/10.1201/b20277>
- Cramer, L. H. (1978). A revision of *Coleus* (Labiatae) in Sri Lanka (Ceylon). *Kew Bulletin*, 32(3), 551–561. <https://doi.org/10.2307/4109658>
- Datta, S. K. (2023). Role of mutation breeding in floriculture industry. In S. Penna & S. M. Jain (Eds.), *Mutation Breeding for Sustainable Food Production and Climate Resilience* (pp. 305–334). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5675-3_11
- Daughtrey, M. L., & Benson, D. M. (2005). Principles of plant health management for ornamental plants. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 141–169. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.140007>
- Davies, F. T., Geneve, R. L., & Wilson, S. B. (2018). *Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices* (9th ed.). Pearson.

- Dhooghe, E., Van Laere, K., Eeckhaut, T., Leus, L., & Van Huylenbroeck, J. (2011). Mitotic chromosome doubling of plant tissues in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 104(3), 359–373. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9786-5>
- Dole, J. M., & Wilkins, H. F. (2005). *Floriculture: Principles and Species (2nd ed.)*. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, USA. ISBN: 0-13-046250-0
- García-Caparrós, P., & Lao, M. T. (2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae*, 240, 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.022>
- Gleason, M. L., Daughtrey, M. L., Chase, A. R., Moorman, G. W., & Mueller, D. S. (2009). *Diseases of Herbaceous Perennials*. APS Press. ISBN: 978-0-89054-374-0.
- Grayer, R. J., Paton, A. J., Simmonds, M. S., & Howes, M. J. R. (2021). Differences in diterpenoid diversity reveal new evidence for separating the genus *Coleus* from *Plectranthus*. *Natural Product Reports*, 38(10), 1720–1728.
- Guo, J., Shan, C., Zhang, Y., Wang, X., Tian, H., Han, G., Zhang, Y., & Wang, B. (2022). Mechanisms of salt tolerance and molecular breeding of salt-tolerant ornamental plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 854116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854116>
- Harlan, B. R., & Hausbeck, M. K. (2012). Epidemiology and management of downy mildew, a new pathogen of coleus in the United States. *Acta Horticulturae*, 952, 813–818. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.103>
- Hoffmeister, M., Ashrafi, S., Thines, M., & Maier, W. (2020). Two new species of the *Peronospora belbahrii* species complex, *Pe. choii* sp. nov. and *Pe. salviae-pratensis* sp. nov., and a new host for *Pe. salviae-officinalis*. *Fungal Systematics and Evolution*, 6, 39–53. <https://doi.org/10.3114/fuse.2020.06.03>
- Hull, R. (2014). *Plant virology* (5th ed.). Academic Press. ISBN: 978-0-12-384871-0.
- Ijaz, M. M., Younis, A., Parveen, A., Khan, M. A. S., Mushtaq, H., Akbar, A. F., Khan, N. A., & Akram, A. (2025). Evaluating the impact of seed priming techniques on germination and growth behavior of *Coleus blumei* Benth. *Sarhad Journal of Agriculture*, 41(5), 177–185. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2025/41.5.177.185>
- Jain, S. M. (2005). In vitro mutagenesis in crop improvement. In S. M. Jain & D. S. Brar (Eds.), *Molecular techniques in crop improvement* (pp. 365–382). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3213-7_12
- Jakobina, M., Łyczko, J., Szumny, A., & Gałek, R. (2024). Plant in vitro cultures of *Coleus scutellarioides* (L.) Benth. ‘Electric Lime’ and possibilities of modification in the biosynthesis of volatile compounds. *Molecules*, 29(10), 2193. <https://doi.org/10.3390/molecules29102193>
- Kazemi, D., & Dehestani Ardakani, M. (2022). Effect of different light spectra on growth characteristics and photosynthesis yield of four cultivars of coleus (*Solenostemon scutellarioides* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(1), 45–58. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2021.323696.1929>
- Khalik, K. A. (2016). Seed morphology and surface microstructure of the genus *Plectranthus* L. (Lamiaceae) in the Arabian Peninsula: Highlighting their systematic implications. *Australian Journal of Crop Science*, 10(9), 1222–1231. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.09.pne115>
- Kisvarga, S., Horotán, K., Hamar-Farkas, D., Kovács, Z., Szőke, A., Wani, M. A., & Orlóci, L. (2024). Morphological, histological and genetic evaluation of gamma radiation-induced mutation and its potential application in *Rudbeckia hirta* (L.). *Agronomy*, 14(6), 1292. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061292>
- Kotagiri, D., & Kolluru, V. C. (2017). Effect of salinity stress on the morphology and physiology of five different *Coleus* species. *Biomedical & Pharmacology Journal*, 10(4), 1639–1649. <https://doi.org/10.13005/bpj/1275>

- Lebowitz, R. J. (1985). The genetics and breeding of *Coleus*. In J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 3, pp. 343–360). AVI Publishing Company. ISBN: 0-87055-487-5.
- Li, M., Coneva, V., Robbins, K. R., Clark, D., Chitwood, D. H., & Frank, M. H. (2021). Quantitative dissection of color patterning in the foliar ornamental coleus reveals underlying features driving aesthetic value. *Plant Physiology*, 187(3), 1310–1324. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab393>
- Li, M., Frank, M. H., & Migicovsky, Z. (2022). ColourQuant: A high-throughput technique to extract and quantify colour phenotypes from plant images. In C. Kole (Ed.), *Plant Phenomics: Methods and Protocols (Methods in Molecular Biology)*, Vol. 2527, pp. 95–114. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2486-3_8
- Liu, A. R., Zhang, Y. B., Zhang, X. P., Wang, X. J., Huang, S. C., & Xie, Y. Q. (2015). *Physiological responses of Coleus blumei to simulated drought stress*. *Guihaia*, 35(5), 656–662.
- Logan, B. A., Stafstrom, W. C., Walsh, M. J. L., Reblin, J. S., & Gould, K. S. (2015). Examining the photoprotection hypothesis for adaxial foliar anthocyanin accumulation by revisiting comparisons of green- and red-leafed varieties of *coleus* (*Solenostemon scutellarioides*). *Photosynthesis Research*, 124(3), 267–274. <https://doi.org/10.1007/s11120-015-0130-0>
- Manodya, J. A. U., Park, J., Kim, M., & Oh, W. (2025). Effects of replacing blue light with green light on growth, morphological, and physiological characteristics of indoor-grown *coleus* (*Plectranthus scutellarioides*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 66(5), 1395–1408. <https://doi.org/10.1007/s13580-025-00761-4>
- Manodya, J. A. U., Park, J., Kim, M., Kwak, N., Lee, J., Yang, Y., Kang, S., & Oh, W. (2026). Effect of controlled red and blue LED light ratios on growth, morphology, leaf coloration, and chlorophyll fluorescence in *coleus* (*Plectranthus scutellarioides*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 67(1), 171–182. <https://doi.org/10.1007/s13580-025-00784-x>
- MBA, C. (2013). Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*, 3(1), 200–231. <https://doi.org/10.3390/agronomy3010200>
- McGovern, R. J., & Elmer, W. H. (Eds.). (2018). *Handbook of Florists' Crops Diseases*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39670-5>
- Missouri Botanical Garden. (n.d.). *Spider mites*. Missouri Botanical Garden.
- Mitra, M., Gantait, S., & Mandal, N. (2020). *Coleus forskohlii*: Advancements and prospects of in vitro biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(6), 2359–2371. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10377-6>
- Muhammed, M. P. K., Pagariya, M. C., Jadhav, P. R., Gawade, N. S., Sarode, D. K., Karkute, S. G., Kardile, H. B., Deshmukh, R., Penna, S., & Kavar, P. G. (2025). Advancing ornamental plant breeding through genomic technologies: Opportunities, challenges, and future directions. *Functional & Integrative Genomics*, 25(1), 140. <https://doi.org/10.1007/s10142-025-01640-y>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nagpal, A., Singh, B., Sharma, S., Rani, G., & Virk, G.S. (2008). *Coleus* spp.: Micropropagation and in vitro production of secondary metabolites. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 1–17.
- North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox. (2026). *Plectranthus (Coleus, spur flower)*. North Carolina State University Extension. <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/plectranthus/>
- Nguyen, P. N. (2007). *Genetics, breeding, and molecular study of coleus (Solenostemon scutellarioides (L.) Codd) during growth and development* (Doctoral dissertation, University of Florida). University of Florida. http://etd.fcla.edu/UF/UFE0021605/nguyen_p.pdf

- Nguyen, P., & Dal Cin, V. (2009). The role of light on foliage colour development in *Coleus* (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd). *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(10), 934–945. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.06.006>
- Nguyen, P., Hamilton, B., & Clark, D. (2005). *Making coleus better and brighter*. *Greenhouse Product News*. <https://gpnmag.com/article/making-coleus-better-and-brighter/>
- Ninomiya, S. (2022). High-throughput field crop phenotyping: Current status and challenges. *Breeding Science*, 72(1), 3–18. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.21069>
- Osman, A. R. (2013). Genetic variability and total phenolic compounds among six *Coleus blumei* varieties using RAPD analysis. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3), 1395–1400.
- Owen, W. G., Whipker, B. E., & e-GRO Team. (2022). *Coleus Disease Guide*. e-GRO Alert. <https://www.e-gro.org/>
- Park, S., Kim, J., & Oh, W. (2024). Growth and leaf color of *Coleus* under light conditions modified by translucent agrivoltaic panels and light-emitting diodes in a greenhouse. *Horticulturae*, 10(2), 115. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020115>
- Park, B. G., Lee, J. H., Shin, E. J., Kim, E. A., & Nam, S. Y. (2024b). Light quality influence on growth performance and physiological activity of *Coleus* cultivars. *International Journal of Plant Biology*, 15(3), 807–826. <https://doi.org/10.3390/ijpb15030058>
- Paton, A. J., Mwanyambo, M., Govaerts, R. H. A., Smitha, K., Suddee, S., Phillipson, P. B., Wilson, T. C., Forster, P. I., & Culham, A. (2019). Nomenclatural changes in *Coleus* and *Plectranthus* (Lamiaceae): A tale of more than two genera. *PhytoKeys*, 129, 1–158. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.129.34988>
- Predieri, S. (2001). Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 64(2–3), 185–210. <https://doi.org/10.1023/A:1010623203554>
- Rattray, R. D., & Van Wyk, B.-E. (2021). The botanical, chemical and ethnobotanical diversity of southern African Lamiaceae. *Molecules*, 26(12), 3712. <https://doi.org/10.3390/molecules26123712>
- Rife, D. C. (1944). The genetics of certain common variations in *Coleus*. *Ohio Journal of Science*, 44(1), 18–24.
- Rife, D. C. (1945). A series of five multiple alleles. *Ohio Journal of Science*, 45(1), 1–3.
- Rife, D. C. (1948). Simply inherited variations in *Coleus*: A résumé. *Journal of Heredity*, 39(3), 85–91. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105805>
- Robinson, G. M., & Robinson, R. (1934). A survey of anthocyanins. IV. *Biochemical Journal*, 28(5), 1712–1720. <https://doi.org/10.1042/bj0281712>
- Santra, I., Halder, T., & Ghosh, B. (2022). Cytogenetical evaluation and quantification of rosmarinic acid in *Coleus scutellarioides* (L.) R. Br., an allopolyploid ornamental medicinal plant. *Cytologia*, 87(3), 285–293. <https://doi.org/10.1508/cytologia.87.285>
- Semeniuk, P., & Stewart, R. N. (1979). Comparative sensitivity of cultivars of *Coleus* to increased UV-B radiation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 104(4), 471–474.
- Shoaib, R. M., Ali, S. I., Metwally, S. A., Ibrahim, M. M., & Aboud, K. A. (2020). Phytochemical and molecular analyses of some *Coleus* cultivars cultivated in Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 105. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00358-0>
- Smith, C. M. (2005). *Plant resistance to arthropods: Molecular and conventional approaches*. Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3702-3>
- Southern Gardener (2019). Collecting Coleus Seeds. <https://southern-gardener.com/wp-content/uploads/2019/08/collecting-coleus-seeds-2.jpg>

- Stout, A. B. (1916). The development of the horticultural varieties of *Coleus*. *Journal of the New York Botanical Garden*, 17(202), 209–218.
- Teichmann, T., & Muhr, M. (2015). Shaping plant architecture. *Frontiers in Plant Science*, 6, Article 233. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00233>
- Touchell, D. H., Palmer, I. E., & Ranney, T. G. (2020). In vitro ploidy manipulation for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 11, 722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00722>
- University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. (2024). *Coleus*. UF/IFAS Gardening Solutions. <https://gardeningsolutions.ifas.ufl.edu/plants/ornamentals/coleus/>
- University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. (2024). *UF/IFAS Coleus Breeding Program*. Environmental Horticulture Department. <https://hos.ifas.ufl.edu/uf-coleus-breeding-program/>
- University of Massachusetts Amherst Extension. (2023). *Downy mildew of coleus*. Greenhouse Floriculture Program. <https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/greenhouse-floriculture/fact-sheets/downy-mildew-of-coleus>
- University of Massachusetts Amherst Extension. (2023). *Botrytis blight of greenhouse ornamentals*. <https://ag.umass.edu>
- Vines, P. L., & Zhang, J. (2022). High-throughput plant phenotyping for improved turfgrass breeding applications. *Grass Research*, 2, 1. <https://doi.org/10.48130/GR-2022-0001>
- Wang, Z., Poudyal, S., Kopp, K., & Zhang, Y. (2025). Response of ornamental plants to salinity: Impact on species-specific growth, visual quality, photosynthetic parameters, and ion uptake. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1611767. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1611767>
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1306–1320. <https://doi.org/10.4161/psb.21663>
- Whipker, B. E., Veazie, P., Logan, D., Ballance, M. S., Owen, W. G., Rich, W. T., & Seltsam, L. (2022). *Coleus nutritional disorder guide*. *e-GRO Alert*, 11(4), 1–7. <https://www.e-gro.org/pdf/2022-11-04.pdf>
- Wu, X., Liang, S., & Byrne, D. H. (2019). Architectural components of compact growth habits in diploid roses. *HortTechnology*, 29(5), 629–633. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04343-19>

BÖLÜM 6

BUĞDAYGİL YEM BİTKİLERİNİN ÖNEMİ VE BAZI ÖNEMLİ BUĞDAYGİL YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Derya GÜLOĞLU¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Atabey Meslek Yüksekokulu 0000-0002-1839-8710

GİRİŞ

Buğdaygiller familyası (Poaceae = Gramineae), yaklaşık 800 cins ve 12.000'den fazla türü kapsayan, küresel olarak en yaygın ve en önemli bitki familyalarından biridir (Vorontsova, Clayton & Simon, 2015). Bu familya, insan beslenmesinin temelini oluşturan gıda maddelerini sağlayan tahılları ve hayvancılığın sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli olan yem bitkilerini de kapsamaktadır. Özellikle çayır ve mera ekosistemlerinin temel bileşenlerini oluşturan buğdaygil yem bitkileri, kaba yem üretiminin temelini oluşturmakta ve ruminant beslemesinde hem enerji hem de lif kaynağı olarak kritik rol oynamaktadır (Serin & Tan, 2014).

Buğdaygil yem bitkilerinin önemi hem yüksek biyokütle üretimleriyle hem de geniş adaptasyon yetenekleri, toprak koruma fonksiyonları, karbon tutma kapasiteleri ve mera ekosistemlerinin sürekliliğine olan katkıları ile öne çıkmaktadır (Deis et al, 2025). Bu familya bitkileri, saçak kök sistemleri sayesinde toprağın üst katmanlarında etkin bir tutunma sağlayarak toprak erozyonunun önlenmesinde, toprak agregat stabilitesinin artırılmasında ve su infiltrasyonunun iyileştirilmesinde önemli işlevler üstlenir (Zhang et al., 2025). Bu yönüyle buğdaygil yem bitkileri, yalnızca hayvansal üretim açısından değil, aynı zamanda ekosistem hizmetleri açısından da stratejik bir öneme sahiptir.

Morfolojik açıdan buğdaygil bitki türleri, familyaya özgü oldukça karakteristik yapılar gösterir. Çoğunlukla saçak kök tipinde olan kök sistemleri bazı türlerde rizom veya stolon adı verilen yapılara sahiptir. Bu özellikler, bitkilerin hem vejetatif olarak yayılma kabiliyetini hem de kuraklık, soğuk ve otlatma baskısı gibi stres koşullarına dayanımını belirleyen temel faktörlerdir (Turgeon & Fidanza, 2017). Gövde veya sap genellikle boğumludur. Boğum araları belirgin olup, içi boş veya dolu olabilir. Gövde yapısı, yatmaya dayanıklılık ve biçim sonrası yeniden sürme yeteneği açısından büyük önem taşımaktadır.

Yapraklar, paralel damarlı olup, türlere göre, farklı yapılardan oluşur. Bu farklı ayrıntılar (örneğin aya, kın, ligula) hem sistematik botanikte türlerin teşhisinde hem de lif oranı ve sindirilebilirlik gibi yem kalitesini belirleyen özellikler açısından belirleyici özelliklerdir (Laidlaw & Frame, 2013). Yaprak/gövde oranı yüksek olan buğdaygil yem bitkileri, genellikle daha yüksek yem kalitesine sahiptir.

Buğdaygillerde çiçek yapısı, familyaya özgü olarak başakçık (spikelet) sistemi ile tanımlanır. Çiçeklenme durumu başak, salkım veya bileşik salkım şeklinde olabilir ve bu yapı, cins ve türler arasında ayırt edici morfolojik bir karakterdir (Clayton et al., 2014). Meyve, tipik olarak bir karyopsistir ve tohum ile meyve kabuğu kaynaşmıştır. Tohumun büyüklüğü, bin dane

ağırlığı ve dormansi özellikleri, yem bitkilerinin tesis başarısı ve doğal yayılışı açısından büyük önem taşımaktadır (Sleugh et al., 2006).

Bu çalışma kapsamında ayrıntılı olarak ele alınacak olan brom (*Bromus spp.*), ayırık (*Agropyron*), çim (*Lolium spp.*) ve yumak (*Festuca spp.*) gibi önemli buğdaygil yem bitkisi türleri hem doğal çayır ve meralarda hem de yem bitkisi üretim alanlarında yaygın olarak kullanılan türlerdir. Bu türler, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum sağlayabilmeleri, değişen otlatma rejimlerine tolerans göstermeleri ve yem kalitesi bakımından sundukları çeşitlilik nedeniyle yem bitkileri tarımında önemli bir değere sahiptir (Sayar, et al.,2018; Çelikaş et al, 2019).

Bu çalışmanın temel amacı; buğdaygil yem bitkilerinin önemini, morfolojik yapılarını ve fonksiyonel özelliklerini bilimsel temellere dayalı olarak ortaya koymak, özellikle seçilmiş türlerin kök, gövde, yaprak, çiçek, meyve ve tohum özelliklerini ayrıntılı biçimde inceleyerek hem akademisyenler hem de uygulayıcılar için kapsamlı bir başvuru kaynağı oluşturmaktır.

BUĞDAYGİL YEM BİTKİLERİNİN ÖNEMİ

Hayvan Beslemedeki Önemi

Buğdaygil yem bitkileri, özellikle geniş getiren hayvanların beslenmesinde kaba yem kaynağı olarak vazgeçilmez değere sahiptir. Ruminant besleme sistemlerinde kaba yemler; iştahın fizyolojik fonksiyonlarının düzenlenmesi, sindirim sisteminin sağlıklı ve düzgün çalışması ve hayvan refahının korunması açısından temel bir gerekliliktir. Yüksek lif içerikleri sayesinde iştahı fermentasyonunu destekleyerek süt ve et veriminde süreklilik sağlar (Van Soest, 1994)

Buğdaygiller, hayvan beslemede başlıca enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Yapılarında bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi yapısal karbonhidratlar, ruminantların mikrobiyal sindirim sistemi tarafından uçucu yağ asitlerine dönüştürülerek metabolik enerji sağlar (Mertens, 2002). Özellikle vejetatif dönemde biçilen buğdaygil yem bitkileri, yüksek sindirilebilirlik ve düşük lignin içeriği sayesinde hayvan performansını olumlu yönde etkilemektedir (Laidlaw & Frame., 2013).

Buğdaygil yem bitkilerinin hayvan beslemedeki önemi yalnızca enerji teminiyle sınırlı değildir. Bu bitkiler, etkin lif (effective fiber) kaynağı olmaları nedeniyle hayvanların çiğneme faaliyetini artırarak tükürük salgısını teşvik eder ve iştah pH'sının dengede tutulmasına yardımcı olur. Bu durum, özellikle yüksek kesif yem kullanılan süt sığırcılığı sistemlerinde asidoz riskinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır (Allen, 1997).

Besin maddesi içeriği açısından değerlendirildiğinde, buğdaygil yem bitkilerinin ham protein oranları, baklagil yem bitkilerine kıyasla daha düşük olmakla birlikte, dengeli bir rasyonun

temel bileşeni olarak kullanılmaktadır. Nitekim birçok besleme sisteminde buğdaygil yem bitkileri, baklagiller veya protein kaynaklarıyla birlikte kullanılarak rasyonun besin madde dengesi sağlanmaktadır (Sleugh et al., 2006). Tür, gelişme dönemi, biçim zamanı ve çevresel koşullar; ham protein, NDF, ADF ve sindirilebilirlik gibi parametreler üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Sayar et al., 2018).

Buğdaygil yem bitkileri, mera hayvancılığı açısından da temel bir role sahiptir. Doğal ve suni meralarda yaygın olarak bulunan brom, ayırık, çim ve yumak türleri; otlatmaya dayanıklılıkları, yeniden büyüme ve gelişme yetenekleri ve uzun otlatma sezonu sağlamaları sayesinde sürdürülebilir hayvansal üretimi destekler (Turgeon, 2011). Özellikle yumak (*Festuca* spp.) ve ayırık (*Agropyron* spp.) türleri, kuraklık ve soğuk stresine dayanıklılıkları sayesinde marjinal alanlarda hayvancılığın devamlılığına katkı sağlamaktadır (Wrage et al., 2011).

Silaj ve kuru ot üretimi açısından da buğdaygil yem bitkileri büyük öneme sahiptir. Çim (*Lolium* spp.) ve brom (*Bromus* spp.) türleri, uygun biçim zamanında hasat edildiklerinde yüksek kaliteli silaj üretimine olanak tanımaktadır. Bu da yıl boyunca taze yem teminini mümkün kılmaktadır (Frame & Laidlaw, 2011).

Sonuç olarak, buğdaygil yem bitkileri; hayvanların enerji ihtiyacını karşılayan, sindirim sisteminin sağlıklı çalışmasını destekleyen, mera ve ahır hayvancılığında sürdürülebilirliği sağlayan temel yem kaynaklarıdır. Tür seçimi, biçim zamanı ve uygun yönetim uygulamaları ile buğdaygil yem bitkilerinden elde edilen fayda en üst düzeye çıkarılabilmektedir. Bu nedenle, buğdaygil yem bitkilerinin hayvan beslemedeki rolünün doğru anlaşılması hem verimlilik hem de ekonomik hayvancılık açısından kritik öneme sahiptir.

Toprak Koruma ve İyileştirmedeki Etkileri

Buğdaygil yem bitkileri toprak koruma, toprak verimliliğinin sürdürülmesi ve ekosistem işlevlerinin devamlılığı açısından da kritik bir öneme sahiptir. Özellikle Çayır-mera ekosistemlerinin dominant bitki türü olan buğdaygiller, toprak-bitki-su ilişkilerinin düzenlenmesinde temel bir rol üstlenmektedir (Brady & Weil, 1996). Bu bitkilerin yaygın ve yoğun kök sistemleri, toprak yüzeyinin korunmasını sağlayarak erozyonun azaltılmasına ve toprak yapısının iyileştirilmesine katkı sunmaktadır.

Buğdaygil yem bitkilerinin en belirgin toprak koruma etkisi, saçak kök sistemleri aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Bu kök sistemi, toprağın üst katmanlarında yoğun bir kök ağı oluşturarak toprağın agregat stabilitesini artırmakta, yağış ve sulama sularının yüzey akışını azaltmakta ve böylece su ve rüzgâr erozyonuna karşı etkin bir koruma sağlamaktadır (Blanco & Lal, 2023).

Ayrıca köklerin toprakta oluşturduğu canlı boşluklar, infiltrasyon hızını artırarak suyun toprak profiline daha etkin şekilde girmesine olanak tanımaktadır (Zhou et al., 2010).

Buğdaygil yem bitkileri, toprak organik maddesinin artırılmasında da önemli rol oynar. Kök ve anız artıkları yoluyla toprağa sürekli organik materyal kazandıran bu bitkiler, toprak mikroorganizma faaliyetini teşvik ederek besin maddesi döngüsünü düzenler (Richardson et al., 2019).

Özellikle çok yıllık buğdaygil yem bitkileri, yıllık bitkilere kıyasla daha fazla kök biyokütlesi üretmekte ve bu durum toprakta karbon birikimini desteklemektedir. Bu özellik, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında karbon birikimi açısından da büyük önem taşımaktadır (Blanco-Canqui, 2022).

Bu çalışmada ele alınan brom (*Bromus* spp.), ayrık (*Agropyron*) çim (*Lolium* spp.) ve yumak (*Festuca* spp.) türleri, toprak koruma ve iyileştirme açısından farklı fakat tamamlayıcı işlevler üstlenmektedir. Brom türleri, hızlı toprak örtüsü oluşturabilme yetenekleri sayesinde özellikle eğimli arazilerde ve erozyona hassas alanlarda yüzey toprağının korunmasında etkili olmaktadır. Ayrıca yüksek biyokütle üretimleri, toprak organik maddesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Laidlaw & Frame, 2013).

Ayrık türleri, rizomlu ve derin yapılı kök sistemleri sayesinde toprağın mekanik stabilitesini artırmakta ve özellikle ağır otlatma koşullarında dahi toprak yüzeyinin çıplak kalmasını engellemektedir. Bu özellikleri, ayrık türlerini bozulmuş mera alanlarının rehabilitasyonu ve toprak yapısının yeniden kazanılmasını sağlaması açısından önemli kılmaktadır (Christians & Patton, 2016). Ayrıkların yayılcı kök yapısı, erozyon kontrolü ve yüzey akışının sınırlandırılmasında etkili bir bariyer oluşturmaktadır.

Çim türleri (*Lolium* spp.), yoğun ve ince kök sistemleriyle toprağın üst katmanlarında güçlü bir tutunma sağlamakta, bu sayede yüzey erozyonunun azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Çim türleri, özellikle suni çayır ve mera tesislerinde toprak yüzeyinin kısa sürede kaplanmasını sağlayarak genç tesis döneminde oluşabilecek toprak kayıplarını sınırlandırmaktadır (Conant et al., 2017).

Yumak türleri (*Festuca* spp.) ise kuraklık, soğuk ve düşük verimli toprak koşullarına toleransları sayesinde marjinal alanlarda toprak koruma açısından stratejik öneme sahiptir. Derin ve güçlü kök sistemleri, toprağın alt katmanlarında da tutunmayı sağlayarak uzun vadeli stabilite sunmakta ve toprak yapısının sürekliliğini desteklemektedir (Brady & Weil, 2008). Bu yönüyle yumaklar, mera sürdürülebilirliği ve toprak bozulmasının önlenmesinde temel türler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, buğdaygil yem bitkileri ve özellikle brom, ayrik, çim ve yumak türleri; erozyonun önlenmesi, toprak organik maddesinin artırılması, su tutma kapasitesinin iyileştirilmesi ve toprak yapısının korunması gibi çok yönlü ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Bu bitkilerin uygun tür seçimi ve doğru yönetim uygulamalarıyla kullanılması hem tarımsal üretimin sürdürülebilirliği hem de doğal kaynakların korunması açısından vazgeçilmez bir yaklaşımdır.

Ekim Nöbetindeki Önemi

Ekim nöbeti, aynı tarlada farklı kültürlerin ardışık olarak yetiştirilmesi uygulamasıdır ve toprak sağlığını koruma, besin döngüsünü düzenleme, zararlı ve yabancı ot baskısını kırma gibi çok yönlü faydalar sağlar. Literatürde, nöbetleşe yapılan tarım uygulamalarının toprak yapısını iyileştirdiği, organik maddeyi artırdığı ve yabancı ot baskısını azalttığı çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Li et al., 2018). Ekim nöbeti, monokültürün olumsuz etkilerini önleyerek toprak verimliliğini ve biyolojik çeşitliliği artırır.

Ekim nöbetinde buğdaygil yem bitkileri; özellikle brom, ayrik, çim ve yumak türleri, toprak fiziksel yapısının iyileştirilmesi ve biyolojik aktivitenin teşvik edilmesi açısından kritik bir rol üstlenir. Sabit bir bitkinin art arda ekilmesi, topraktaki zararlı patojenlerin ve yabancı otların artmasına yol açabilirken, ekim nöbeti uygulamaları bu döngüleri bozabilir (Sun et al., 2024).

Brom gibi buğdaygil yem bitkileri, özellikle yüksek kök biyokütle üretimiyle toprakta organik maddenin artmasını destekler ve nöbet sistemlerine dahil edildiğinde toprakta karbon birikimi ve mikrobiyal aktivite artışına katkıda bulunur (Zhao et al., 2022). Ayrik ve çim türlerinin ekim nöbetlerindeki kullanımı, toprak besin döngüsünü dengeleme ve toprak yapısal özelliklerini iyileştirme becerisiyle ilişkilendirilmiştir (Singh et al., 2024). Yumaklar ise uzun kök yapıları sayesinde toprakta organik kalıntı bırakma kapasitesi ile nöbet sistemlerine entegre edildiğinde daha sürdürülebilir toprak koşulları sağlar (Ghimire et al., 2022).

Nöbet sistemlerinde yem bitkilerinin yer almasının bir diğer önemli faydası, yabancı ot ve hastalık baskısının azaltılması üzerinde yapılan etkilerin azaltılmasıdır. Farklı türlerin ekilmesi, belirli zararlı veya patojenlerin konakçı döngüsünü kırar ve bir sonraki yıl ekilecek üründe verim ve sağlık üzerinde olumlu etki sağlar (Shahzad et al., 2016). Ayrıca bu döngüler; özellikle *Festuca* ve *Lolium* gibi türlerin rotasyonlarda yer alması ile toprak mikroorganizma yapısında olumlu değişimler sağlayabilir (Singh et al., 2016)).

BAZI ÖNEMLİ BUĞDAYGİL YEM BİTKİSİ TÜRLERİNİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

KÖK

Buğdaygiller familyasına ait yem bitkileri, genel olarak saçak kök sistemine sahiptir. Ana kökten ziyade çok sayıda ince lateral kök ve saçak kök ile toprağın üst yüzeyini ve orta derinliklerini sıkıca sararlar. Bu kök yapısı, bitkilerin topraktan su ve besin maddelerini verimli bir şekilde almasını sağlamayı amaçlar (Liu et al., 2025).



Şekil 1. Buğdaygil yem bitkisi kökleri

Brom (*Bromus spp.*)

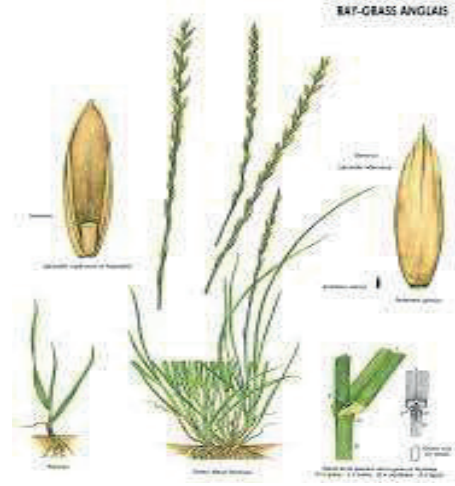
Brom türleri, yüksek kök yoğunluğuna sahip ve mekanik dayanımı güçlü türler olarak tanımlanmaktadır. Araştırmalar, bu türlerin toprağın yüzeysel katmanında yoğun bir kök ağı kurduğunu ve bu ağın hem su hem de besin elementleri alımını artırırken aynı zamanda toprağın yapısal bütünlüğüne katkı sağladığını göstermektedir (Zhang et al., 2022). *Bromus inermis*'in kökleri, mekanik çekme dayanımı yüksek olup erozyona ve toprağın yüzeyden ayrışmasına karşı önemli derecede direnç sağlar (Zhang et al., 2025). Bu özellik, özellikle eğimli ve erozyon riski yüksek arazilerde bu türlerin tercih edilmesinde rol oynamaktadır.



Şekil 2. Brom spp. kök yapısı

Çim (*Lolium spp.*)

Çim türleri, özellikle *Lolium* perenne, ince ve yoğun saçak kök sistemine sahip olmalarıyla bilinirler. Köklerin, yüzeysel toprak katmanlarında yüksek yoğunlukta dağılması yağış sonrası suyun üst topraktan hızlıca alınmasına olanak tanımaktadır (Velasco-Sánchez et al., 2024). Bu kök yapısı aynı zamanda toprağın üst katmanlarını kısa sürede kaplayarak yabancı ot baskısını azaltır ve toprağın organik madde birikimine katkı sağlar (Liu et al., 2025).



Şekil 3. *Lolium spp.* kök yapısı

Ayrık (*Agropyron spp.*)

Bu türlerin kök sistemi çok sayıda lateral ve saçak kökten oluşur. Mavi ayrık türü ise, kısa rizomlara sahiptir ve kuvvetli çim meydana getirir. Ayrıklar, kuraklık ve değişken toprak nemi koşullarına toleranslı türlerdir.



Şekil 4. *Agropyron spp.* kök yapısı

Yumak (*Festuca spp.*)

Yumak türleri, genellikle kısa rizomlu, derin ve saçak kök sistemine sahiptir. Bu kök sistemi toprağın daha derin katmanlarına ulaşarak su ve besin maddesi alımını destekler. Literatürde *Festuca* türlerinin kök sisteminin su stresi durumunda daha derinlere yayıldığı ve bu nedenle kuraklığa toleransının yüksek olduğu ifade edilmektedir (Mastalerczuk et al., 2022).



Şekil 5. *Festuca spp.* kök yapısı

SAP-GÖVDE

Buğdaygiller familyasına ait yem bitkilerinde sap veya gövde, bitkinin dik duruşunu sağlayan, boğumlar (nodus) ve boğum araları (internodus) ile karakterize edilen temel morfolojik yapıdır. Bu saplar genellikle silindirik formda olup boğum aralarının içi boş veya dolu olabilir. Gövde morfolojisi; bitkinin mekanik dayanıklılığı, çevresel streslere adaptasyonu, otlatmaya ve biçime dayanımı ile doğrudan ilişkilidir (Gibson, 2009; Taiz et al., 2023)

Brom (*Bromus spp.*)

Bromus cinsine ait türlerde saplar genellikle ince, düzgün ve silindirik yapıdadır. Özellikle tek yıllık brom türlerinde saplar tüysüz veya çok az tüylü olup boğumlar belirgin, boğum araları ise nispeten uzundur. Bu yapı, bitkinin hızlı büyümesine ve kısa vejetasyon süresinde generatif döneme geçmesine olanak tanır (Basbag & Çağan, 2025). Çok yıllık *Bromus* türlerinde ise saplar daha dayanıklı, boğum araları daha kısa ve mekanik direnci daha yüksektir; bu özellikler meralarda otlatmaya karşı toleransı artırmaktadır (Sanderson et al, 2012).



Şekil 6. *Brom spp.* sap yapısı

Çim (*Lolium spp.*)

Lolium cinsine ait türlerde saplar düz, silindirik ve boğumları belirgin yapıdadır. *Lolium perenne*'de gövde yapısı, yoğun kardeşlenme özelliğinde olduğundan bitkinin çim örtüsü oluşturma yeteneği çok yüksektir. Saplar esnek olup yaprak kınları tarafından sıkıca sarılıdır. Bu durum bitkinin otlatma ve basılmaya karşı dayanımını artırır (Murphy et al., 2021). *Lolium* türlerinde sap uzunluğu çevresel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 60–90 cm arasında olup yem kalitesi ile yakından ilişkilidir (Wilkins & Humphreys, 2003).

Şekil 7. *Lolium spp.* sap yapısı**Ayrık (*Agropyron spp.*)**

Gövde genellikle kalın, sert ve boğumludur. Bu özellik, bitkinin hem yoğun otlatmaya hem de kuraklık gibi çevresel streslere karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Kallida et al., 2016). Ayrıca bu durum bitkinin mera karışımlarında rekabet gücünü de yükseltir. Sap dayanıklılığı, ayrığın biçim sonrası hızlı yeniden büyümesine olanak sağlar (Frame & Laidlaw, 2007).

Şekil 8. *Agropyron spp.* sap yapısı

Yumak (*Festuca spp.*)

Festuca cinsine ait türlerde saplar çoğunlukla boğumlu kısa, narin ve esnek yapıdadır. Bu türlerde sap morfolojisi, kök sistemiyle birlikte stres toleransını belirleyen temel unsurlardan biridir. Yapılan çalışmalar, *Festuca* türlerinde gövde yapısının genotipe ve çevresel faktörlere bağlı olarak önemli varyasyonlar gösterdiğini ortaya koymuştur (Chen et al., 2024). Bu özellikler, yumak türlerinin hem mera hem de toprak koruma amaçlı kullanımını desteklemektedir.



Şekil 9. *Festuca spp.* sap yapısı

YAPRAK

Buğdaygiller familyasına ait yem bitkilerinde yapraklar, bitkinin fotosentez kapasitesini belirleyen temel yapılar olup yem kalitesi ve çevresel stres toleransı üzerinde belirleyici role sahiptir. Genel olarak paralel damarlı, lineer formda, yaprak ayası (lamina), yaprak kını (sheath), ligula ve bazı türlerde aurikula gibi morfolojik bileşenlerden oluşur (Gibson, 2009; Taiz et al., 2023).

Brom (*Bromus spp.*)

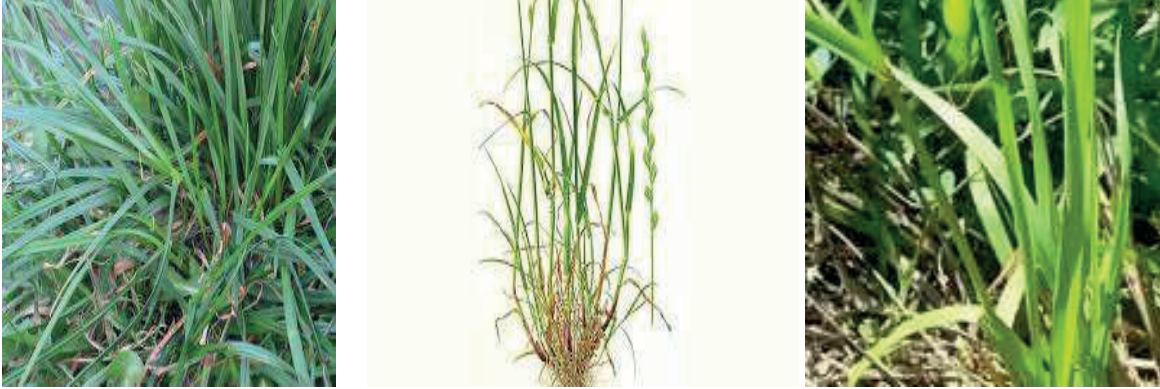
Brom cinsine ait türlerde yapraklar genellikle uzun, dar ve paralel damarlıdır. Yaprak yüzeyi türlere bağlı olarak tüylü (pubescent) veya tüysüz (glabrous) olabilir. Çok sayıda *Brom* türünde yaprak ayası nispeten ince yapılı olup, bu durum hem fotosentez etkinliğini artırır hem de hızlı büyüme ve erken generatif döneme geçişi destekler (Mack & Pyke, 1983; Basbag & Çağan, 2025). Ligula genellikle kısa ve zarımsı yapıdadır; aurikula çoğu türde bulunmaz veya zayıf gelişmiştir. Bu yaprak özellikleri, brom türlerinin özellikle serin ve yarı kurak ekosistemlerde başarıyla gelişmesini sağlamaktadır (Sanderson et al., 2012).



Şekil 10. Bromus spp yaprak yapısı

Çim (*Lolium spp.*)

Lolium cinsine ait çim türleri, yaprak morfolojisi bakımından yüksek yem kalitesi ile ilişkilendirilen türler arasında yer alır. Aurikula belirgin, ligula ise kısa ve zarımsı yapıdadır. İnce ve yumuşak dokulu yapraklar, hayvanlar tarafından kolay tüketilebilmekte ve bu durum çim türlerinin sindirilebilirliğini artırmaktadır (Wilkins & Humphreys, 2003).



Şekil 11. Lolium spp. yaprak yapısı

Ayrık (*Agropyron spp.*)

Ayrık türlerinden bazıları bol yapraklı, ince gövdeli olmalarına rağmen bazıları az yapraklı ve kaba gövdelidir. Yaprakların bu nispeten sert ve dayanıklı yapısı, ayırığın kuraklık ve yoğun otlatmaya karşı toleransını artırmaktadır (Frame, & Laidlaw, 2007). Geniş yaprak yüzeyi yüksek fotosentez kapasitesi sağlarken, olgunluk ilerledikçe yaprak dokusundaki lignifikasyon yem kalitesini sınırlayıcı bir faktör hâline gelebilmektedir (Sanderson et al., 2012).



Şekil 12. Agropyron spp. yaprak yapısı

Yumak (*Festuca spp.*)

Festuca cinsine ait yumak türlerinde yaprak morfolojisi oldukça değişken olmakla birlikte, çoğu türde ince, dar ve lineer yaprak ayası hâkimdir. Bazı türlerde yapraklar nispeten daha geniş ve kalın yapılı iken, ince yapraklı türlerde lamina çoğunlukla içe kıvrılmış (involute) yapıdadır. Bu özellik, transpirasyonu sınırlayarak kuraklık toleransını artırmaktadır (Reynaert et al., 2017). *Festuca* türlerinde ligula kısa, aurikula ise genellikle yoktur. Güncel çalışmalarda, yaprak morfolojisinin *Festuca* türlerinde genotip ve çevresel koşullara bağlı olarak önemli varyasyonlar gösterdiği bildirilmiştir (Chen et al., 2024).



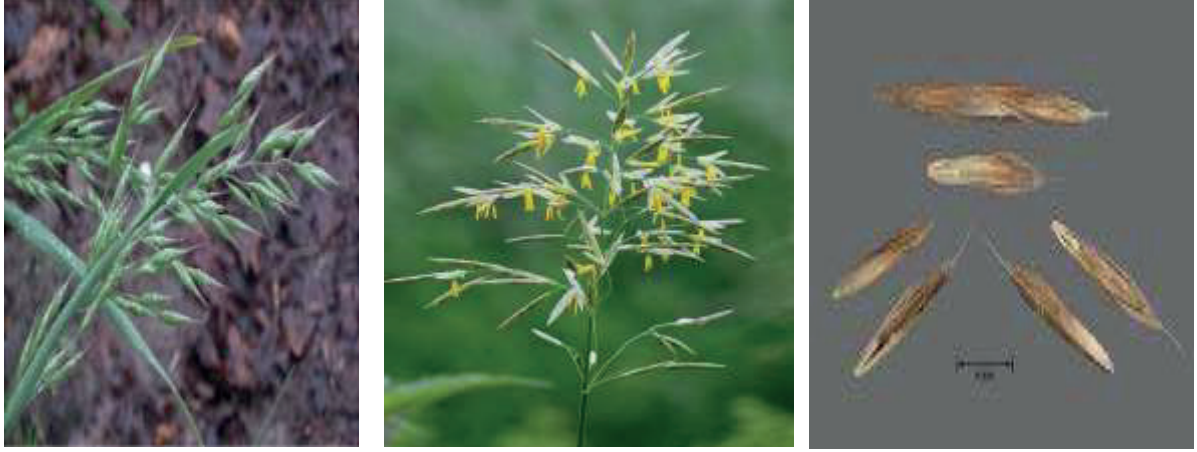
Şekil 13. *Festuca* spp yaprak yapısı

Çiçek, Meyve ve Tohum

Buğdaygiller familyasına ait yem bitkilerinde çiçek, meyve ve tohum yapıları, türlerin dağılım ve yayılım yetenekleri, ekim nöbeti sonrası doğal rejenerasyon, yem tohumlarının depolama ve çimlenme özellikleri, sınıflandırılması ve tohum verimi açısından kritik morfolojik karakterlerdir (Kellogg, 2016; Wang et al., 2022). Bu yapıların temel birimi olan başakçık, cins ve türler arasında farklı sayıda çiçek, çiçek örtüsü yapısı ve tohum morfolojisi ile karakterize edilir.

Brom (*Bromus spp.*)

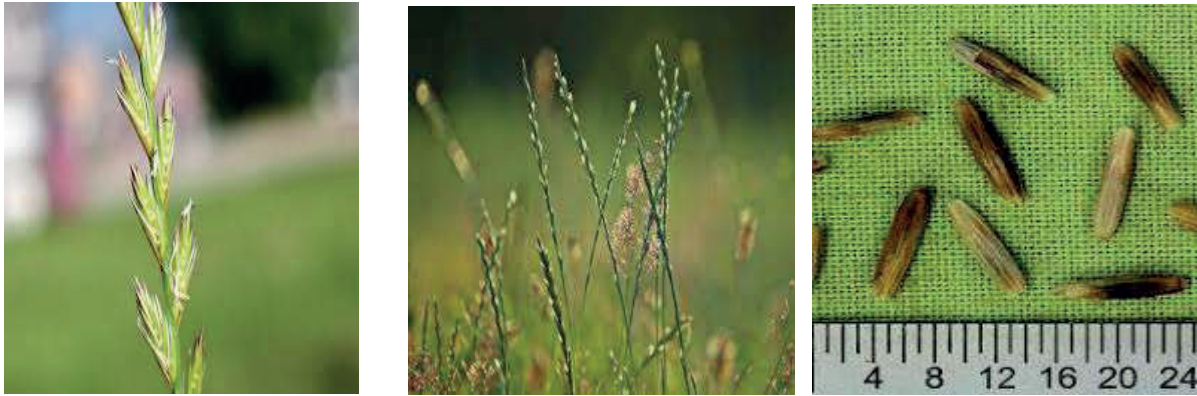
Brom cinsine ait türlerde çiçek morfolojisi genellikle karışık salkım şeklinde çiçek durumuyla ifade edilir. (Taylor et al., 2014). Başakçıklar genellikle ince ve oblong formdadır; Brom türleri yüksek sayıda tohum üretme eğilimindedir; örneğin *B. tectorum* uygun koşullarda hektar başına yüz binlerce tohum üretebilir (Taylor et al., 2014).



Şekil 14. Brom spp çiçek ve tohum yapısı

Çim (*Lolium spp.*)

Lolium cinsinin çiçek yapısı tipik olarak terminal spike (uç başak) şeklinde olup, başakçıklar gövde üzerinde tek sırada dizilmişlerdir. Her başakçık genellikle birkaç çiçekten(floret) oluşur. Tohum karyopsis yapıda olup tohum yapısı dorsally groove (sırtı oluklu) olarak tanımlanmıştır; bu özellik, çim tohumlarının depolanması ve çimlenme davranışlarında belirgin rol oynar (Kellogg, 2022).



Şekil 15. Lolium spp. çiçek ve tohum yapısı

Ayrık (*Agropyron spp.*)

Çiçek topluluğu bazı türlerde sık veya seyrek başak şeklindedir. 2-5 adet çiçek içeren başakçıklar kılçıklı veya kılçıksız olabilir. Bu yapısal düzenleme ayrığın tohum üretim stratejilerinin çeşitliliğini artırır ve adaptasyon kapasitesini güçlendirir. Tohum, diğer buğdaygil türlerinde olduğu gibi karyopsis olup, tohum boyutları tür içi varyasyon göstermektedir (Abdo et al., 2023).



Şekil 16. Agropyron spp çiçek ve tohum yapısı

Yumak (*Festuca spp.*)

Festuca cinsinde çiçek yapısı genellikle salkım veya sık başak şeklindedir ve başakçıklar birkaç çiçek içerir (Erdal, 2023). Festuca tohumları diğer Poaceae türlerinde olduğu gibi karyopsis şeklindedir.



Şekil 17. Festuca spp. çiçek ve tohum yapısı

SONUÇ

Bu çalışmada ele alınan buğdaygil yem bitkileri; hayvan besleme, mera amenajmanı, toprak koruma, ekim nöbeti ve sürdürülebilir tarım sistemleri açısından vazgeçilmez bir bitki grubunu temsil etmektedir. Poaceae familyasına ait yem bitkileri, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye koşullarında da kaba yem açığının kapatılmasında, hayvansal üretimin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğinin sağlanmasında temel bir rol üstlenmektedir. Özellikle brom (*Bromus spp.*), ayırık (*Agropyron spp.*), çim (*Lolium spp.*) ve yumak (*Festuca spp.*) türleri; adaptasyon yetenekleri, yüksek biyokütle üretimleri ve çok yönlü kullanım olanakları nedeniyle öne çıkan türlerdir.

Ayrıntılı biçimde ele alınan morfolojik özellikler, buğdaygil yem bitkilerinin dayanıklılığı ve tarımsal performansı ile doğrudan ilişkilidir. Güçlü ve yaygın saçak kök sistemleri sayesinde bu türler, toprakta agregat stabilitesini artırmakta, erozyonu azaltmakta ve organik madde birikimine katkı sağlamaktadır. Gövde (sap) yapıları, bitkilerin yatmaya dayanıklılığı, biçim sıklığına toleransı ve kuru madde verimi üzerinde belirleyici olurken; yaprak morfolojisi, doğrudan yem kalitesi, sindirilebilirlik ve hayvanlar tarafından tercih edilebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Çiçeklenme yapıları ile meyve ve tohum özellikleri ise buğdaygil yem bitkilerinin çoğaltılması ve tohum verimi açısından belirleyici faktörlerdir. Özellikle çiçek durumu tipleri, başakçık yapısı ve tohum yapısı, türlerin hem doğal ekosistemlerdeki kalıcılığını hem de kültür bitkisi olarak kullanım başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu yönüyle morfolojik özelliklerin bilinmesi, yalnızca taksonomik ve botanik açıdan değil, aynı zamanda pratik tarımsal uygulamalar bakımından da büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan bilgiler; buğdaygil yem bitkilerinin morfolojik, ekolojik ve tarımsal özelliklerini bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak hem akademik çalışmalar hem de uygulamaya dönük tarımsal faaliyetler için güçlü bir başvuru kaynağı niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdo El Samad, N. K. K., Gabr, D. G., & Mohamed, A. H. (2023). Pollen grains and caryopsis features of selected *Poaceae* species and their taxonomic significance. *International Journal of Theoretical and Applied Research*, 2(2), 256–274. doi:10.21608/ijtar.2023.212100.1059
- Allen, M. S. (1997). Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1447–1462. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76074-0
- Başbağ, M., & Çaçan, E. (2015). Doğadan toplanan bazı *Bromus* türlerinin kalite özellikleri açısından değerlendirilmesi. *Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5(1), 15–21.
- Blanco-Canqui, H. (2022). Örtü bitkileri ve karbon tutulumu: ABD çalışmalarından dersler. *Soil Science Society of America Journal*, 86(3), 501–519. doi:10.1002/saj2.20378
- Blanco, H., & Lal, R. (2023). Management of grazing lands. In *Soil conservation and management* (pp. 381–402). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-031-30341-8_18
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (1996). *The nature and properties of soils* (11th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (13th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Chen, Z., Wang, Y., Li, X., & Zhang, H. (2024). Morphological and anatomical variation in *Festuca* species under different environmental conditions. *BMC Plant Biology*, 24, 112–124. doi:10.1186/s12870-024-05231-0
- Christians, N. E., Patton, A. J., & Law, Q. D. (2016). *Fundamentals of turfgrass management* (5th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Clayton, W. D., Vorontsova, M. S., Harman, K. T., & Williamson, H. (2014). *GrassBase: The online world grass flora*. Kew, UK: Royal Botanic Gardens.
- Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: A new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662–668. doi:10.1002/eap.1473
- Çeliktaş, N., Can, E., Kaya, Ş., & Uygur, V. (2019). Differentiation of nutritional quality depending on the phenological stages of native cool-season grasses and satisfying the daily maintenance requirements of livestock. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3), 279–294.

- Deiss, L., Fort, F., Lin-Yang, Q., Balda, P., & Pou, A. (2025). Carbon sequestration, plant cover and soil health in grassland systems. *Plants*, 14(23), 3610. doi:10.3390/plants14233610
- Erdal, J. (2023). *Systematic revision of the genus Festuca L. in Türkiye* (Doctoral dissertation). Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Frame, J., & Laidlaw, A. S. (2007). Temperate forage legumes for adverse conditions. *CAB Reviews*, 2, 1–10. doi:10.1079/PAVSNNR20072010
- Frame, J., & Laidlaw, A. S. (2011). *Improved grassland management* (2nd ed.). Ramsbury, UK: Crowood Press.
- Ghimire, R., Ghimire, B., Mesbah, A., & Sainju, U. M. (2022). Soil organic carbon dynamics under perennial grass systems. *Soil Science Society of America Journal*, 86(4), 1311–1325. doi:10.1002/saj2.20423
- Gibson, D. J. (2009). *Grasses and grassland ecology*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Kallida, R., Papanastasis, V. P., & Kazoglou, Y. (2016). Grazing tolerance of perennial grasses in Mediterranean rangelands. *Grass and Forage Science*, 71(2), 256–268. doi:10.1111/gfs.12182
- Kellogg, E. A. (2016). *Flowering plants: Monocots*. Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-15332-2
- Kellogg, E. A. (2022). Genetic control of branching patterns in grass inflorescences. *The Plant Cell*, 34(7), 2518–2533. doi:10.1093/plcell/koac080
- Laidlaw, A. S., & Frame, J. (2013). *Improved grassland management*. Ramsbury, UK: Crowood Press.
- Li, X., Zhang, Y., Sun, Z., & Wang, Q. (2018). Crop rotation improves soil structure and suppresses weeds. *Soil & Tillage Research*, 184, 21–29. doi:10.1016/j.still.2018.07.003
- Liu, Q., Huang, G., Zhang, Z., Lin, Z., Deng, X., Dong, X., ... Cao, X. (2025). Forage crop research in the modern age. *Advanced Science*, 2415631. doi:10.1002/advs.202415631
- Mack, R. N., & Pyke, D. A. (1983). The demography of *Bromus tectorum*: Variation in time and space. *Journal of Ecology*, 71, 69–93. doi:10.2307/2259964
- Mastalerzczuk, G., Borawska-Jarmułowicz, B., & Darkalt, A. (2022). Changes in the physiological and morphometric characteristics and biomass distribution of forage grasses growing under drought conditions and silicon application. *Plants*, 12(1), 16. doi:10.3390/plants12010016

- Mertens, D. R. (2002). Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. *Journal of Nutrition*, 132(6), 1607S–1615S. doi:10.1093/jn/132.6.1607S
- Murphy, D. J., Murphy, M. D., O'Brien, B., & O'Donovan, M. (2021). A review of precision technologies for optimising pasture measurement on Irish grassland. *Agriculture*, 11(7), 600. doi:10.3390/agriculture11070600
- Richardson, A. E., Coonan, E., Kirkby, C., & Orgill, S. (2019). Soil organic matter and carbon sequestration. In J. Pratley & J. Kirkegaard (Eds.), *Australian agriculture in 2020: From conservation to automation* (pp. 255–271). Canberra, Australia: Australian Society of Agronomy.
- Sanderson, M. A., Skinner, R. H., Barker, D. J., Edwards, G. R., Tracy, B. F., & Wedin, D. A. (2012). Plant species diversity and management of temperate forage systems. *Crop Science*, 52(2), 639–654. doi:10.2135/cropsci2011.04.0201
- Sayar, M. S., Başbağ, M., & Çağan, E. (2018). Bazı buğdaygil bitki türlerinin yem kalite değerlerinin belirlenmesi ve biplot analiz yöntemi ile özelliklerarası ilişkilerin değerlendirilmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 92–101. doi:10.21566/tarbitderg.501484
- Serin, Y., & Tan, M. (2014). *Buğdaygil yem bitkileri*. Erzurum, Türkiye: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Shah, K. K., Modi, B., Pandey, H. P., Subedi, A., Aryal, G., Pandey, M., & Shrestha, J. (2021). Diversified crop rotation: An approach for sustainable agriculture production. *Advances in Agriculture*, 2021, 8924087. doi:10.1155/2021/8924087
- Shahzad, T., Chenu, C., Repinçay, C., Mougin, C., Ollier, J. L., & Fontaine, S. (2016). Plant clipping effects on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 94, 59–66. doi:10.1016/j.soilbio.2015.11.003
- Singh, B. K., Trivedi, P., Egidi, E., Macdonald, C. A., & Delgado-Baquerizo, M. (2016). Crop rotation impacts on soil microbial diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(6), 1482–1487. doi:10.1073/pnas.1518435113
- Singh, G., Kaur, R., & Sharma, P. (2024). Crop rotation strategies for soil sustainability. *Agronomy*, 14(3), 612. doi:10.3390/agronomy14030612
- Sleugh, B., Moore, K. J., George, J. R., & Brummer, E. C. (2006). Binary legume–grass mixtures improve forage yield and quality. *Agronomy Journal*, 98(4), 1089–1095. doi:10.2134/agronj2000.92124x

- Sun, Y., Yang, X., Elsgaard, L., Du, T., Siddique, K. H. M., Kang, S., & Butterbach-Bahl, K. (2024). Diversified crop rotations improve soil microbial communities and functions in a six-year field experiment. *Journal of Environmental Management*, 370, 122604. doi:10.1016/j.jenvman.2024.122604
- Taiz, L., Møller, I. M., Murphy, A., & Zeiger, E. (2023). *Plant physiology and development*. Oxford, UK: Oxford University Press. doi:10.1093/hesc/9780197614204.001.0001
- Taylor, K., Brummer, T., Rew, L. J., Lavin, M., & Maxwell, B. D. (2014). *Bromus tectorum* response to fire varies with climate conditions. *Ecosystems*, 17(6), 960–973.
- Turgeon, A. J. (2011). *Turfgrass management* (9th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Turgeon, A. J., & Fidanza, M. A. (2017). *Turfgrass: Biology, use, and management*. Madison, WI: ASA–CSSA–SSSA. doi:10.2134/agronmonogr56
- Wang, Y., Bi, X., & Zhong, J. (2022). Revisiting the origin and identity specification of the spikelet: A structural innovation in grasses (*Poaceae*). *Plant Physiology*, 190(1), 60–71. doi:10.1093/plphys/kiac257
- Wilkins, P. W., & Humphreys, M. O. (2003). Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 140(2), 129–150. doi:10.1017/S0021859603003058
- Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, H. M., Isselstein, J., & Kayser, M. (2011). Phytodiversity of temperate grasslands. *Grass and Forage Science*, 66(1), 3–17. doi:10.1111/j.1365-2494.2010.00763.x
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Velasco-Sánchez, E., De la Fuente, M., & González-Andrés, F. (2024). Root traits of *Lolium perenne* under grazing. *Grass and Forage Science*, 79(1), 89–101. doi:10.1111/gfs.12629
- Vorontsova, M. S., Clayton, D., & Simon, B. K. (2015). Grassroots e-floras in the *Poaceae*: Growing GrassBase and GrassWorld. *PhytoKeys*, (48), 73–84. doi:10.3897/phytokeys.48.7159
- Zhang, X., et al. (2022). Contribution of fine root mechanical properties of *Poaceae* grasses to soil erosion resistance. *Geoderma*, 426, 116122. doi:10.1016/j.geoderma.2022.116122
- Zhang, M., Zhang, K., Cen, Y., Wang, P., & Xia, J. (2025). Effects of grass cover on the overland soil erosion mechanism under simulated rainfall. *Water Resources Research*, 61(2), e2023WR036888. doi:10.1029/2023WR036888

- Zhao, X., Dong, Q., Han, Y., Zhang, K., Shi, X., Yang, X., ... Yu, H. (2022). Maize/peanut intercropping improves nutrient uptake of side-row maize and system microbial community diversity. *BMC Microbiology*, 22(1), 14. doi:10.1186/s12866-021-02425-6
- Zhou, Z. C., Gan, Z. T., Shangguan, Z. P., & Dong, Z. B. (2010). Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China). *Catena*, 82(2), 87–91. doi:10.1016/j.catena.2010.05.005

BÖLÜM 7

BİTKİSEL ÜRÜN SİGORTASI ARAŞTIRMALARININ KÜRESEL EĞİLİMLERİ: BİBLİYOMETRİK ANALİZ

Seda GÜRÜN¹

¹ Ziraat Yüksek Mühendisi, Bağımsız Araştırmacı, ORCID: 0000-0002-2233-6002

1. Giriş

Bitkisel üretim, iklim değişikliği, ekstrem hava olayları, zararlılar ve hastalıklar gibi çeşitli risklere karşı oldukça hassastır (Kaya, 2025). Tarımsal üretimi olumsuz etkileyen doğal risklerin zararlarını azaltmak ve üreticiyi korumak için kullanılan önemli araçlardan biri tarım sigortasıdır (Birinci ve Tümer, 2006). Küresel ölçekte, tarım sektörünün doğal süreçlere, iklimsel dalgalanmalara ve ekonomik belirsizliklere açık doğası, tarımsal üretim risklerinin bilimsel olarak tanımlanmasını ve yönetilmesini gerektirmiştir. Tarım sigortası, bu risklerin finansal etkilerini azaltarak üreticilerin gelir istikrarını korur ve yatırım kararlarını desteklemesi açısından tarımsal risk yönetim sistemlerinin merkezi bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Adeyinka, 2022; Zhichkin ve ark., 2023). Sigorta sistemleri, risk paylaşımı yoluyla üreticilerin finansal dayanıklılığını artırırken tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine de doğrudan katkı sağlamaktadır.

Doğal afetler, kuraklık, don, dolu ve aşırı yağış gibi olaylar üretim miktarında ciddi düşüşlere yol açabilmekte ve üreticilerin ekonomik sürdürülebilirliğini tehdit edebilmektedir (Lesk ve ark., 2016). İklim değişikliğinin etkisiyle birlikte bu tür aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetinin artması, tarımsal üretimde belirsizliği daha da artırmakta ve üreticilerin risk yönetim araçlarına olan ihtiyacını güçlendirmektedir (Ray ve ark., 2015). Tarımsal risklerin etkin bir şekilde yönetilmesi, üreticilerin gelir istikrarının korunması ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından önemlidir. Tarım sigortası sistemleri, üreticilerin karşı karşıya kaldıkları üretim ve gelir kayıplarını azaltarak risklerin paylaşılmasını sağlayan önemli bir finansal mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Glauber, 2004; Goodwin ve Smith, 2013). Tarım sigortası uygulamaları, kamu ve özel sektör iş birliğiyle geliştirilen kapsamlı risk yönetim stratejilerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Hellmuth ve ark., 2007).

Son yıllarda iklim değişikliği, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği konularının önem kazanmasıyla birlikte tarım sigortası ve tarımsal risk yönetimi alanındaki bilimsel çalışmaların sayısında önemli bir artış olmuştur. Alandaki literatürün sistematik bir biçimde incelenmesi ve araştırma eğilimlerinin ortaya konulması önem kazanmıştır. Bibliyometrik analiz yöntemleri, belirli bir araştırma alanındaki yayınların gelişimini, araştırma eğilimlerini, iş birliklerini ve bilimsel etkiyi değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Donthu ve ark., 2021). Tarım sigortası alanındaki küresel araştırma eğilimlerini inceleyen çalışmalar bu alandaki bilimsel üretimin son yıllarda hızla arttığını ve araştırmaların özellikle iklim

riskleri, indeks temelli sigortalar ve tarımsal risk yönetimi konularında yoğunlaştığı yönündedir (Vyas ve ark., 2021).

Bu araştırmada, bitkisel ürün sigortası alanındaki bilimsel üretimi bibliyometrik yöntemlerle ve küresel ölçekte alandaki araştırma eğilimlerini incelemek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, tarım sigortası alanında yayımlanmış bilimsel makaleler, dergiler ve indekslerdeki veriler taranacak ve bibliyometrik göstergeler üzerinden analiz edilmiştir. Bu analizler, yayın üretkenliği, atıf yapıları, yazar iş birlikleri ve anahtar kelime ilişkileri gibi göstergeleri kapsayarak literatürdeki gelişim süreçlerini, odak konuları ve bilgi ağlarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma, araştırmacılar, politika yapıcılar ve tarımsal risk yönetimi alanındaki paydaşlar için bitkisel ürün sigortası literatürünün yapısını anlamak, öncelikli araştırma konularını belirlemek ve gelecekteki araştırma stratejilerini şekillendirmek açısından katkı sağlayacaktır.

1.1. Tarım Sigortasının Gelişimi

Çeşitli risk ve belirsizlikler altında üretimin yapıldığı tarım sektöründe üreticiler birden fazla amacı gerçekleştirmek için karar vermektedirler (İkikat Tümer ve Birinci, 2020). Bu kararlar, üretim sürecinde karşılaşılan doğal, ekonomik ve çevresel risklerin etkisiyle şekillenmekte olup üreticilerin risk yönetimi araçlarına yönelmesini sağlamaktadır. Tarım sigortası, üreticilerin doğal afetler, iklim değişikliği ve piyasa dalgalanmalarından kaynaklanan risklere karşı korunmasını sağlayan temel risk yönetim araçlarından biridir (İkikat Tümer ve ark., 2019). Temel işlevi, üreticilerin gelir istikrarını sağlamak ve üretim risklerini azaltmaktır.

Dünya genelinde tarım sigortası uygulamaları doğal afetlere karşı üreticiyi koruma ihtiyacından kaynaklı ortaya çıkmıştır. Tarım sigortasının ilk örnekleri 18. yüzyılda Avrupa’da, özellikle dolu riskine karşı geliştirilen sigorta uygulamalarıyla başlamış (Glauber, 2004) olup 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında ise Amerika Birleşik Devletleri’nde tarımsal üretimde yaşanan büyük kayıplar, kuraklık ve ekonomik krizlerin etkisiyle daha kapsamlı sigorta sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Goodwin ve Smith, 2013).

1930’lu yıllarda yaşanan Büyük Buhran ve kuraklık felaketleri sonrasında devlet destekli tarım sigortası programları yaygınlaşmış ve bu süreç modern tarım sigortası sistemlerinin temelini oluşturmuştur (Glauber, 2004). Sonraki dönemlerde Avrupa ülkelerinde de benzer şekilde kamu destekli sigorta modelleri geliştirilmiş ve 1980’li yıllardan itibaren ise gelişmekte olan ülkelerde tarım sigortası uygulamaları yaygınlık kazanmaya başlamıştır (Goodwin ve Smith, 2013). Günümüzde ise tarım sigortası sistemleri, geleneksel zarar sigortalarının ötesine geçerek

indeks temelli sigortalar, uydu verileri ve dijital teknolojilerle desteklenen yenilikçi yapılar kazanmış ve küresel ölçekte tarımsal risk yönetiminin temel unsurlarından biri haline gelmiştir (Adeyinka ve ark., 2022).

Türkiye’de tarım sigortaları uygulamalarının tarihi 1930’lu yıllara dayanmaktadır. Ancak bu dönemde tarım sigortalarının yeterince gelişmemesinin temel nedeni, tarımsal risklerin yüksek ve katastrofik nitelikte olması nedeniyle sigorta şirketlerinin bu riskleri tek başına üstlenmekte zorlanmasıdır (Çift yıldız ve İsel, 2020). Türkiye’de tarım sigortası uygulamaları, 1980’li yılların sonlarına kadar ağırlıklı olarak özel sigorta şirketleri tarafından sınırlı bir kapsamda yürütülmüştür. 1995 yılında kurulan Tarım Sigortaları Vakfı, bu alandaki kurumsal gelişime önemli katkılar sağlamış ve Tarım Sigortaları Kanunu’nun yürürlüğe girmesine kadar geçen süreçte çeşitli kurum ve kuruluşlarla iş birliği içerisinde çalışarak sigorta şirketlerinin tarım sigortası faaliyetlerini desteklemiştir. Yürütülen çalışmalar kapsamında farklı ülkelerde uygulanan tarım sigortası modelleri incelenmiş ve bu deneyimlerin değerlendirilmesi sonucunda, 2005 yılında Tarım Sigortaları Kanunu yürürlüğe konulmuştur (Sümer ve Polat, 2016).

2005 yılında yürürlüğe giren 5363 sayılı Tarım Sigortaları Kanunu kapsamında Devlet Destekli Tarım Sigortaları Sistemi (TARSİM) kurulmuş ve 2006 yılından itibaren faaliyet göstermeye başlamıştır (TARSİM, 2005; Özdemir ve Baylan, 2017). TARSİM sistemi, kamu ve özel sektör iş birliğine dayalı bir model olarak tasarlanmış olup üreticilerin karşı karşıya kaldıkları doğal afet risklerine karşı devlet destekli prim sistemi ile güvence altına alınmasını sağlamaktadır. Sistem kapsamında bitkisel üretim, hayvancılık ve su ürünleri gibi farklı alanlar sigorta kapsamına alınmış ve zamanla kapsam genişletilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2026).

Türkiye’de tarım sigortası alanındaki çalışmalar incelendiğinde, üretici davranışları ve sigorta benimseme düzeyi üzerine odaklanan araştırmalar (İkikat Tümer, 2011; Tufan ve ark., 2019; Tekin ve Karlı, 2021; Yıldız, 2022; Başer ve ark., 2023; Rakan ve Birinci, 2025) mevcuttur. Türkiye’deki literatürün önemli bir kısmı tarım sigortası sisteminin geliştirilmesine yönelik politika önerileri ve uygulama sorunları üzerine yoğunlaşmaktadır.

1.2. Tarım Sigortasında Risk Yapısı ve Üretici Davranışları

İklim değişikliğinin etkilerinin artmasıyla birlikte tarımsal riskler çeşitlenmiş ve tarım sigortası analizleri daha karmaşık hale gelmiştir (Ray ve ark., 2015; Lesk ve ark., 2016). Kuraklık, aşırı yağış ve sıcaklık dalgalanmaları gibi faktörlerin üretim üzerindeki etkileri daha ayrıntılı biçimde incelenmekte ve sigorta ürünlerinin tasarımı doğrudan etkilenmektedir (Lesk ve ark.,

2016). Tarım sigortası literatürü, klasik üretim riski yaklaşımından iklim temelli risk modellemelerine doğru şekillenmektedir (Vyas ve ark., 2021).

Literatürde üreticilerin tarım sigortası sistemlerine katılımını etkileyen davranışsal faktörler de önemli bir araştırma alanıdır. Risk algısı, gelir düzeyi, eğitim seviyesi ve deneyim gibi değişkenlerin sigorta benimseme kararlarında belirleyicidir. Tarım sigortası, finansal bir koruma aracı olmasının yanı sıra davranışsal ekonomi ile ilişkilendirilen çok boyutlu bir karar mekanizmasıdır (Cole ve ark., 2013; Hill ve ark., 2013). Çiftçilerin riske yönelik algıları, tarım sigortasına katılım eğilimlerini belirleyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Eğitim düzeyi de üreticilerin risk değerlendirme biçimlerini ve tarım sigortasına yönelik tutumlarını şekillendiren temel faktörlerden biri olup eğitim faaliyetlerinin sigorta farkındalığını artırmada önemli bir rol oynamaktadır (İkikat Tümer ve ark., 2010).

Üreticilerin sigortası sistemini benimsemeleri üzerinde sisteme erişim, bilgi düzeyi ve kurumsal yapı gibi faktörlerde de etkilidir. Özellikle sigorta ürünlerine ilişkin bilgi eksikliği ve karmaşık poliçe yapıları, üreticilerin sigortaya yönelik tutumlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Literatürde, sigorta sistemine duyulan güvenin ve bilgiye erişimin artmasının, üreticilerin sigorta benimseme düzeyini artırdığı belirlenmiştir (Gine ve Yang, 2009; Cole ve ark., 2013).

Üreticilerin risk alma eğilimleri ve yenilikleri benimseme düzeyleri, tarım sigortasına katılım kararlarında belirleyicidir. Riskten kaçınma eğilimi yüksek olan üreticilerin gelirlerini güvence altına almak amacıyla sigorta sistemlerine yönelme olasılıklarının daha yüksek olduğu risk alma eğilimi yüksek üreticilerin sigortaya olan talebinin daha sınırlı kalabildiği belirlenmiştir (Hill ve ark., 2013; Elabed ve Carter, 2018). Yenilikleri benimseme düzeyi yüksek olan üreticilerin yeni sigorta ürünlerine ve uygulamalarına daha hızlı adapte olmakta ve sigorta sistemine katılım eğilimleri artmaktadır (Marr ve ark., 2016). Tarım sigortasına yönelik talebin üreticilerin bireysel özelliklerine bağlı olarak farklılaşmakta ve sigorta sistemlerinin tasarımında bu heterojen yapının dikkate alınması önemlidir.

Bitkisel üretim yapan üreticilerin genellikle daha temkinli bir risk yaklaşımına sahip olmaları, tarım sigortasına yönelik tutumlarını doğrudan etkilemektedir. Özellikle sosyal güvencesi bulunan üreticilerin, gelirlerinin yanı sıra üretim faaliyetlerini de güvence altına alma eğilimindedirler. Riskten kaçınan üreticilerin, riske nötr veya risk almayı tercih eden üreticilere kıyasla tarım sigortası gibi risk transfer araçlarına daha olumlu yaklaştıkları değerlendirilmiştir (İkikat Tümer ve Birinci, 2013).

Tarım sigortası literatüründe üretici davranışlarının, risk algısının ve kurumsal faktörlerin birlikte ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Üreticilerin bireysel özellikleri, ekonomik koşulları ve bilgi düzeyleri ile şekillenen bu çok boyutlu yapı, tarım sigortası sistemlerine yönelik talebin farklılaşmasına neden olmaktadır. Sigorta sistemlerinin etkinliğinin artırılması ve yaygınlaştırılması açısından politika tasarımlarında üretici davranışlarının dikkate alınması önemlidir. Tarım sigortası alanındaki bilimsel çalışmaların bu tematik yapı çerçevesinde sistematik olarak incelenmesi, literatürdeki gelişim eğilimlerinin ve araştırma odaklarının belirlenmesi açısından gereklidir. Bu çalışmada bitkisel ürün sigortası alanındaki bilimsel üretim bibliyometrik analiz yöntemi ile ele alınarak literatürün yapısı ve gelişim dinamikleri belirlenmiştir.

1.3. Tarım Sigortası Sistemleri ve Uygulama Modelleri

Tarım sigortası sistemleri ülkelerin ekonomik yapısına, tarımsal risk düzeyine ve kamu politikalarına bağlı olarak farklı modeller çerçevesinde uygulanmaktadır. Genel olarak bu sistemler, özel sektör temelli, kamu destekli veya kamu-özel sektör iş birliğine dayalı modeller şeklinde sınıflandırılmaktadır. Özellikle yüksek risk içeren tarım sektöründe, tamamen özel sektör tarafından yürütülen sigorta sistemlerinin sınırlı kaldığı ve kamu müdahalesinin gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Mahul ve Stutley, 2010; Keskinkılıç, 2013).

Gelişmiş ülkelerde sigortacılık sektörü güçlü bir kurumsal altyapı üzerine kurulmuş olup tarım sigortaları da bu yapı içerisinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. İspanya, Amerika Birleşik Devletleri ile birlikte en gelişmiş tarım sigortası sistemlerine sahip ülkeler arasında yer almakta ve uyguladığı model birçok ülke için örnek teşkil etmektedir. Türkiye’de tarım sigortası sisteminin geliştirilmesinde de bu modelden yararlanılmış ve önemli kurumsal ilerlemeler sağlanmıştır. Tarım sigortası sistemlerinin kapsamı, işleyişi ve organizasyonu; ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeyine, tarımsal yapısına ve risk koşullarına göre şekillenmektedir. Sigorta kapsamına alınan risklerin türü ve sigorta tekniklerinin belirlenmesinde ise ürünlerin doğal afetlere duyarlılığı, risklerin gerçekleşme sıklığı, hasar büyüklüğü ve tarım sektörünün ekonomi içerisindeki konumu gibi faktörler belirleyici olmaktadır (Sümer ve Polat, 2016).

Tarım sigortası sistemleri genel olarak geleneksel ve yenilikçi (modern) sigorta modelleri olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Geleneksel sigorta uygulamaları ise kapsam ve risk yapısına göre farklı alt kategorilere ayrılmaktadır. Bu çerçevede geleneksel sigorta ürünleri; tek risk sigortası, adlandırılmış risk sigortası ve çoklu risk sigortası olmak üzere üç temel grupta incelenmektedir (Yazgı ve Olhan, 2017). Tek risk sigortası, belirli bir doğal afete karşı koruma

sağlayan en basit sigorta türü olup genellikle dolu, don veya yangın gibi tek bir risk unsurunu kapsamaktadır. Adlandırılmış risk sigortalarında poliçe kapsamında birden fazla ve açıkça tanımlanmış risk yer almaktadır. Çoklu risk sigortaları ise üretimi etkileyebilecek geniş bir risk yelpazesini kapsayarak farklı nedenlerden kaynaklanan verim kayıplarının tazmin edilmesine imkân tanımaktadır. Yenilikçi tarım sigortası ürünleri; gelir sigortası, verim sigortası, tüm çiftlik sigortası ve indeks temelli sigorta sistemlerinden oluşmaktadır. Bu sigorta türlerinde amaç yalnızca fiziksel üretim kayıplarının yanı sıra fiyat, gelir ve çevresel değişkenlerden kaynaklanan riskleri de kapsayan daha bütüncül bir koruma sağlamaktır. Özellikle indeks temelli sigortalar, bireysel hasar tespitine ihtiyaç duymadan meteorolojik veya bölgesel verim göstergelerine dayalı tazminat mekanizmaları sayesinde işlem maliyetlerini azaltmakta ve uygulama sürecini kolaylaştırmaktadır (Tekin, 2015).

Son yıllarda tarım sigortası sistemlerinde önemli bir dönüşüm yaşanmakta ve özellikle indeks temelli sigorta modelleri ön plana çıkmaktadır. Bu sistemler, hasar tespit süreçlerini kolaylaştırmakta ve işlem maliyetlerini azaltarak daha geniş üretici kitlelerine ulaşmayı hedeflemektedir. Ayrıca dijital teknolojilerin kullanımıyla birlikte risk değerlendirme süreçleri daha hızlı ve veri temelli bir yapıya dönüşmektedir (Greatrex ve ark., 2015).

Tarım sigortası sistemlerinin ülkelere göre farklılaşması, tarımsal üretim yapısı ile risk profillerinin yanı sıra kamu müdahalesi düzeyi ve kurumsal kapasite ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle gelişmiş ülkelerde uygulanan sistemlerin daha kapsamlı, veri temelli ve yüksek organizasyon kapasitesine; gelişmekte olan ülkelerde kamu desteklerinin sigorta sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir role sahiptir. Tarım sigortası uygulamalarında tek bir ideal modelden söz etmek mümkün olmayıp her ülkenin kendi sosyo-ekonomik ve tarımsal koşullarına uygun hibrit modeller geliştirdiği değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

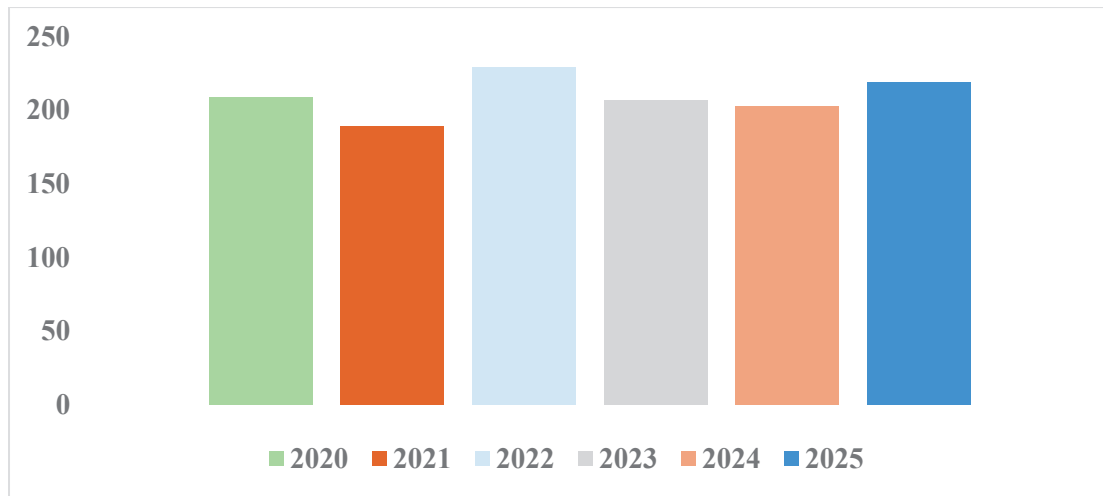
Bitkisel ürün sigortası alanındaki bilimsel üretimi değerlendirmek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, belirli bir araştırma alanındaki yayınların üretimini, etkisini, iş birliklerini ve tematik eğilimlerini nicel ve görsel olarak incelemeye olanak sağlayan yaygın bir yöntemdir (Hassan ve Duarte, 2024). Araştırmada, ilgili literatür Web of Science (WoS) veri tabanı üzerinden taranmış ve 2005-2025 yılları arasında bitkisel ürün sigortası ile ilgili toplam 2.554 yayın seçilmiştir. Seçilen yayınlar, dergi makaleleri, derleme yazılar ve konferans bildirileri gibi akademik yayın türlerini kapsamaktadır. Analiz, araştırma alanındaki yazar iş birlikleri, ülke katkıları, anahtar kelime ilişkileri ve tematik

odaklar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Veri görselleştirmesi ve ağ analizi için VOSviewer programı kullanılmıştır. Bu program, yazarlar, kurumlar ve ülkeler arasındaki iş birliklerini, yayın temalarını ve anahtar kelime ilişkilerini haritalayarak alanın yapısını ve bilgi ağlarını görselleştirmeye olanak tanımaktadır. Analizler, alanın disiplinler arası yapısını, araştırma eğilimlerini ve literatürdeki bilgi boşluklarını belirlemek için tasarlanmıştır. Bu yöntem sayesinde, bitkisel ürün sigortası alanındaki küresel literatürün genel yapısı, bilimsel iş birlikleri ve araştırma odakları sistematik olarak ortaya konulmuş ve alandaki gelişim eğilimleri akademik olarak değerlendirilebilmiştir.

3. BULGULAR

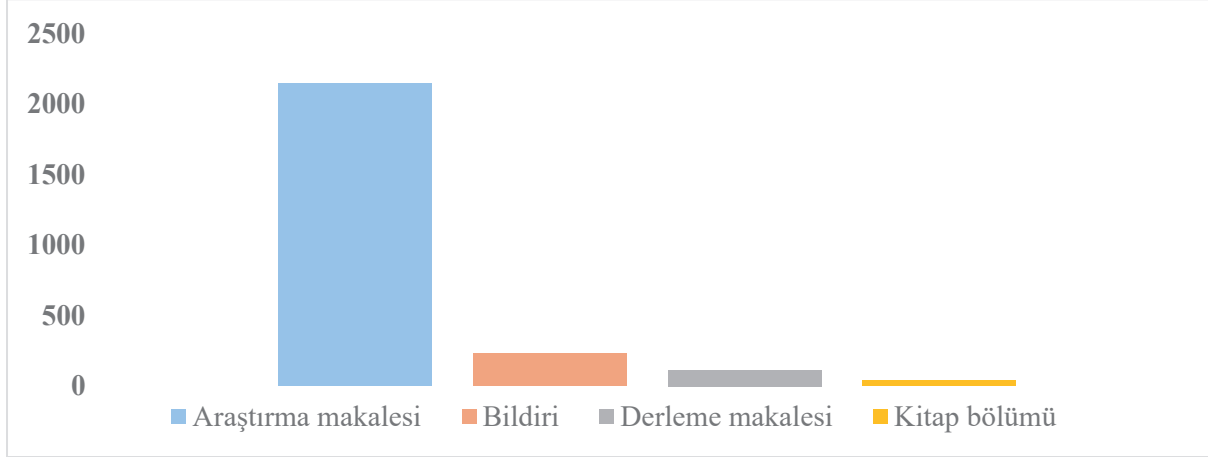
Bitkisel ürün sigortası literatüründe 2020-2025 yılları arasındaki yayın dağılımı incelendiğinde, alana yönelik akademik ilgi genel olarak yüksek düzeyde olup 2020 yılında 209 olan yayın sayısı 2021 yılında 189'a düşmüş ancak 2022 yılında 229 yayın ile dönem içerisindeki en yüksek seviyeye ulaşmıştır. İzleyen yıllarda yayın sayıları 2023 yılında 207 ve 2024 yılında 203 olarak gerçekleşmiş, 2025 yılında ise 219 yayına ulaşmıştır. Yıllar arasında sınırlı dalgalanmalar olmakla birlikte bitkisel ürün sigortası konusunun son yıllarda istikrarlı biçimde araştırılan bir alan olduğu tespit edilmiştir. Özellikle iklim değişikliği, üretimde artan riskler ve tarımsal risk yönetimi politikalarına yönelik ilginin artması, alandaki akademik çalışmaların süreklilik göstermesine katkı sağlamaktadır. Bitkisel ürün sigortasının sürdürülebilir tarımsal üretim ve risk yönetimi açısından önemli bir araştırma konusu haline geldiği belirlenmiştir (Şekil 1).

Şekil 1. Bitkisel ürün sigortası araştırmalarının yıllara göre yayın sayıları (2020-2025)

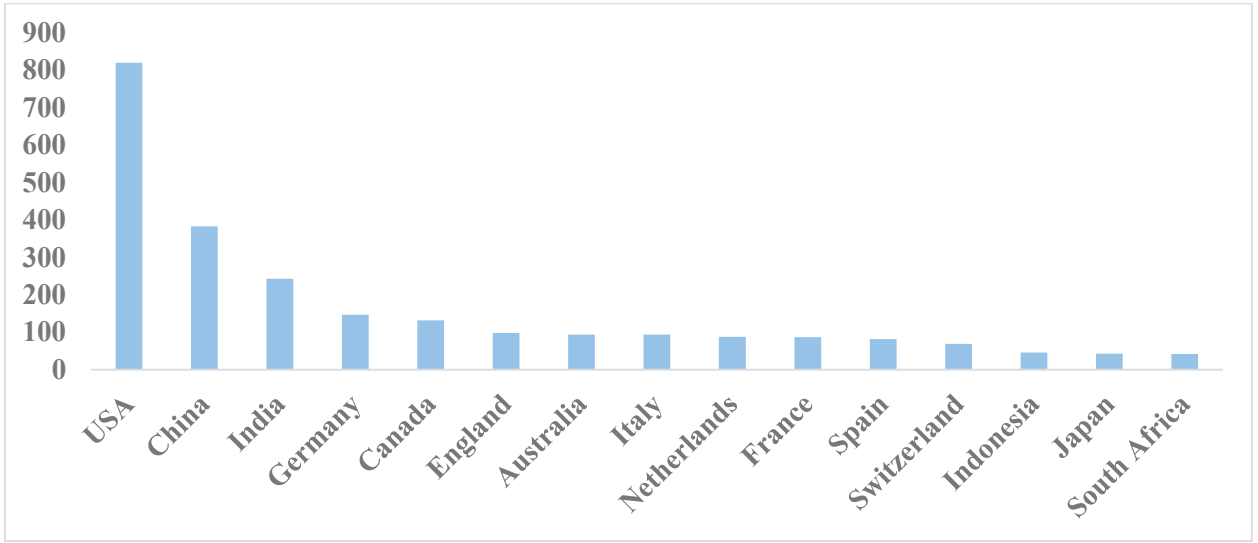


Bitkisel ürün sigortası alanında yayımlanan çalışmaların türleri incelendiğinde, araştırma makalelerinin çoğunlukta (2.145) olduğu saptanmıştır. Bildiri tam metinleri (232), derleme makaleler (115) ve kitap bölümleri (38) yaygın türlerdir (Şekil 2).

Şekil 2. Bitkisel ürün sigortası literatüründe yayın türlerine göre dağılım

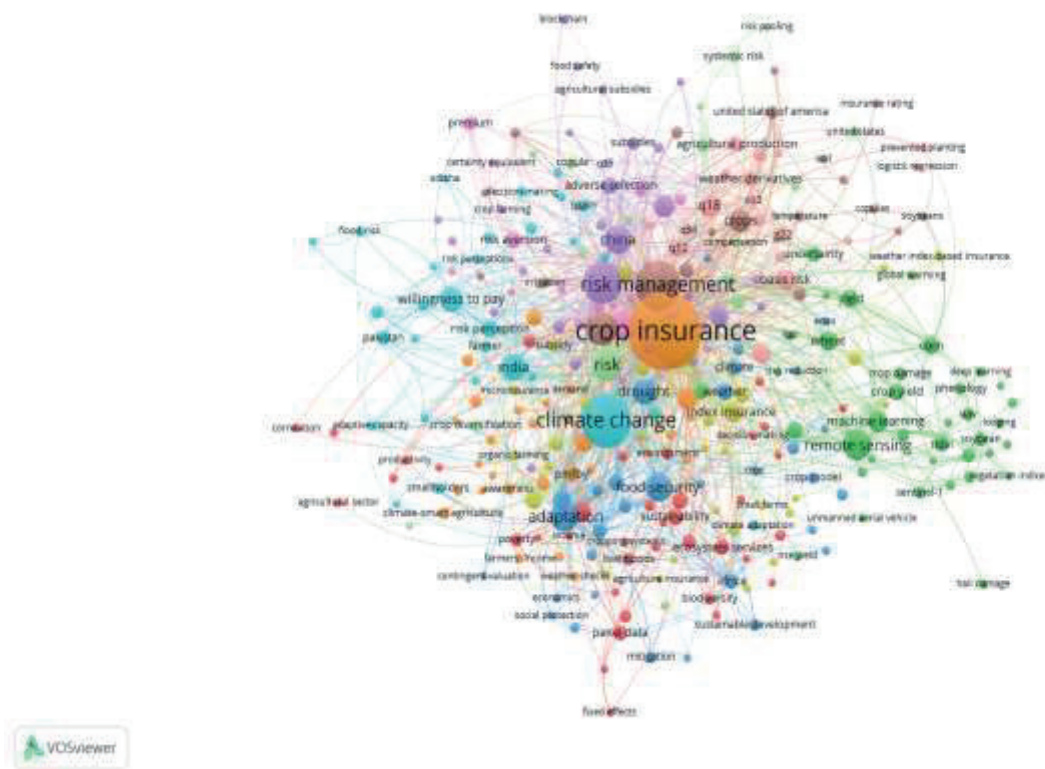


Bitkisel ürün sigortası literatüründe en çok yayın yapan ülkeler incelenmiş ve Şekil 3'te verilmiştir. ABD (820 yayın) açık ara lider konumda olup literatürün merkezi eksenini oluşturmaktadır. Çin (383) ve Hindistan (243) özellikle Asya ve gelişmekte olan ülkelerde sigorta uygulamaları ve risk yönetimi üzerine yoğunlaşan araştırmalar üretmektedir. Avrupa ülkeleri arasında Almanya (147), Kanada (132) ve İngiltere (98) literatüre önemli katkılar sağlamaktadır; genellikle sürdürülebilirlik, iklim adaptasyonu ve ekonomik modelleme temaları etrafında çalışmalar yürütmektedirler. Diğer ülkelerin (Avustralya, İtalya, Hollanda, Fransa, İspanya, İsviçre, Endonezya, Japonya ve Güney Afrika) literatürde daha sınırlı sayıda yayına sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

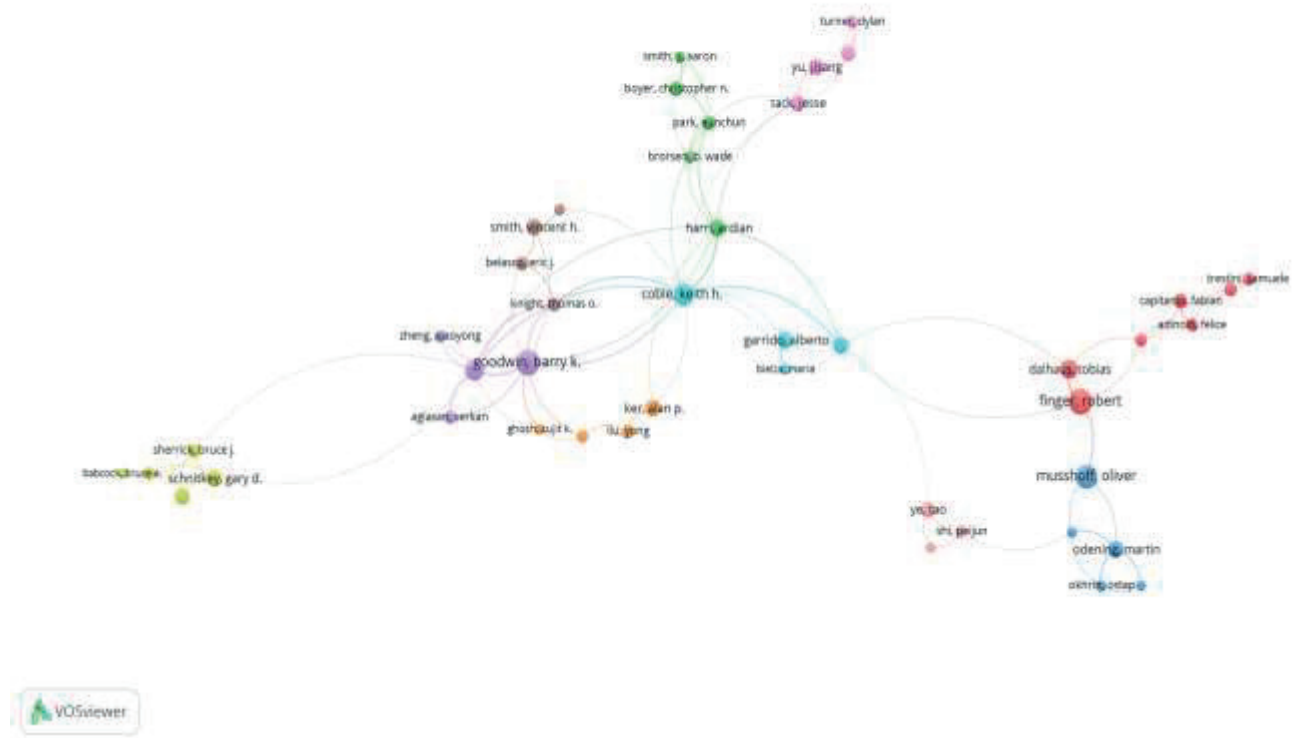
Şekil 3. Bitkisel ürün sigortası literatüründe en çok yayın yapan 15 ülke

Anahtar kelime eş-oluşum analizi yapılmış olup literatürün merkezinde “crop insurance” kavramının yer aldığı ve etrafında üç ana tematik eksenin şekillendiği belirlenmiştir. İlk eksen risk yönetimi, iklim değişikliği, kuraklık ve adaptasyon kavramları etrafında yoğunlaşmaktadır. İkinci eksen remote sensing, machine learning ve deep learning gibi teknolojik kavramları içermekte ve literatürde veri temelli risk modelleme ve hasar tespit yöntemlerinin yükselişini yansıtmaktadır. Üçüncü eksen ise willingness to pay, risk aversion, smallholders ve microinsurance gibi kavramlarla çiftçi davranışı ve sigorta benimseme çalışmalarını temsil etmektedir. Crop insurance araştırmalarının geleneksel gelir istikrarı yaklaşımından çıkarak iklim, teknoloji ve davranışsal ekonomi boyutlarını kapsayan çok disiplinli bir çerçeveye genişlediği değerlendirilmiştir (Şekil 4).

Şekil 4. Bitkisel ürün sigortası literatüründe anahtar kelime analizi ve tematik eğilimler

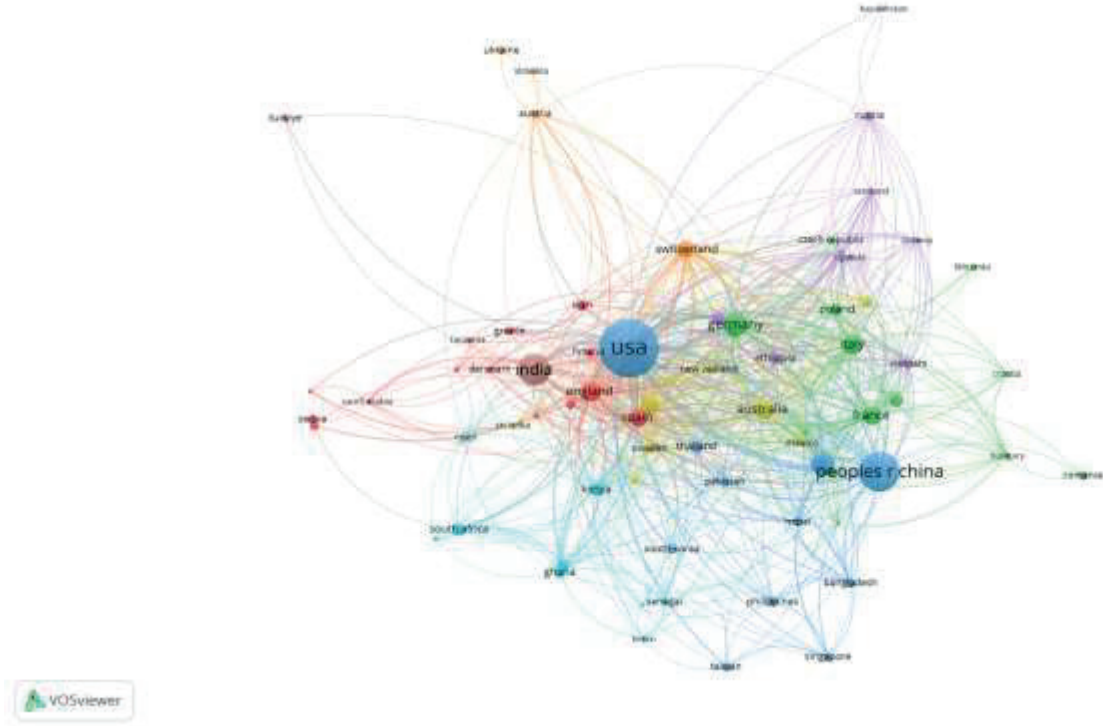


Yazar iş birliği ağı analizinde, bitkisel ürün sigortası literatürünün belirli çekirdek araştırmacılar etrafında kümелendiği ve sekiz farklı iş birliği bloğu olduğu tespit edilmiştir. Ağ yapısında özellikle Coble, Goodwin, Finger ve Musschoff gibi araştırmacıların merkezi konumda yer aldığı ve yüksek bağlantı gücüne sahip olduğu belirlenmiştir. Literatür ABD merkezli politika, risk modelleme geleneği, Avrupa merkezli tarım ekonomisi ve sürdürülebilirlik çalışmalarına dayanmaktadır. Çin ve Asya merkezli araştırmacı gruplarının üretim riski, iklim etkileri ve indeks sigortası konularına odaklanılmıştır (Şekil 5).

Şekil 5. Bitkisel ürün sigortası literatüründe yazar iş birliği ağı analizi

Ülke iş birliği analizinde en az beş yayına sahip 71 ülkenin sekiz farklı küme oluşturduğu belirlenmiştir. ABD literatürde merkezi konumda yer almakta olup geniş iş birliği ağı ile küresel araştırma sisteminin ana eksenini oluşturmaktadır. Çin ikinci büyük üretim merkezi olarak özellikle Asya ve gelişmekte olan ülkelerle güçlü bağlantılara sahiptir. Avrupa ülkeleri (Almanya, Fransa, İtalya, İsviçre vb.) daha çok sürdürülebilirlik, iklim adaptasyonu ve tarımsal risk yönetimi ekseninde kümelenmektedir (Şekil 6).

Şekil 6. Bitkisel ürün sigortası literatüründe ülke iş birliği ağı analizi



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkisel ürün sigortası, çiftçilerin iklim, hastalık ve piyasa dalgalanmaları gibi risklere karşı ekonomik kayıplarını azaltmayı amaçlayan ve tarımsal üretimde istikrar sağlayan kritik bir risk yönetimi aracıdır. Bibliyometrik analizler ile literatür yazar, ülke ve anahtar kelime iş birliği ağları açısından incelenerek alanın gelişim trendleri belirlenmiştir. Literatür, ABD merkezli çekirdek araştırmacılar etrafında kümelenmekte ve belirli iş birliği blokları oluşturmaktadır. ABD'nin liderliği, uzun süredir uyguladığı tarımsal sigorta politikaları ve risk modelleme geleneği ile ilişkilendirilebilirken Çin ve Asya merkezli araştırmacı grupları üretim riski, iklim etkileri ve indeks sigortası konularına odaklanmaktadır. Avrupa ülkeleri ise sürdürülebilirlik, iklim adaptasyonu ve tarımsal risk yönetimi ekseninde önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar kelime analizinde merkezde “bitkisel ürün sigortası” kavramının yer aldığı ve etrafında risk ve iklim yönetimi, teknoloji ve veri odaklı uygulamalar ile çiftçi davranışı ve sigorta benimseme temaları bulunduğu tespit edilmiştir. Alanın geleneksel gelir istikrarı yaklaşımından çıkarak iklim, teknoloji ve davranışsal ekonomi boyutlarını kapsayan çok disiplinli bir

çerçeveye genişlediği belirlenmiştir. Türkiye'nin literatüre katkısı sınırlı kalmakta olup bunun nedeni araştırmancının nispeten yeni bir konu olması, veri tabanı sınırlamaları ve yerel yayınların uluslararası veri tabanlarında sınırlı yer alması olarak değerlendirilmiştir. Türkiye ve diğer gelişmekte olan ülkelerin literatüre katkılarını artırmak için veri tabanlarını genişletmeleri, uluslararası iş birliğini güçlendirmeleri, konu çeşitliliğini ve disiplinler arası araştırmaları teşvik etmeleri gerektiği önerilmiştir. Akademik ve uygulamalı projelerin entegrasyonu ise tarımsal sigorta politikalarının etkinliğini ve bilimsel görünürlüğü artıracak önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Bitkisel ürün sigortası alanındaki araştırmalar hızla gelişen, çok disiplinli ve küresel iş birliğine açık bir literatür oluşturmaktadır ve Türkiye'nin bu alandaki katkılarının güçlendirilmesi hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan önemlidir.

Bitkisel ürün sigortası alanındaki bilimsel üretimin sayısal olarak artışın yanı sıra içerik bakımından da önemli bir dönüşüm geçirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde geleneksel olarak tarımsal risklerin finansal boyutuna odaklanan çalışmaların yerini, daha karmaşık ve çok katmanlı analizler almıştır. Özellikle iklim değişikliği, teknolojik gelişmeler ve üretici davranışlarının birlikte ele alınması, alanın disiplinler arası bir yapıya doğru evrildiğini kanıtlar niteliktedir.

Bitkisel ürün sigortası araştırmalarının küresel ölçekte belirli ülkeler ve araştırma merkezleri etrafında yoğunlaşmış olup bilgi üretiminde coğrafi eşitsizlikler olduğu değerlendirilmiştir. Gelişmiş ülkelerin veri altyapısı ve araştırma kapasitesi açısından daha avantajlı konumda iken gelişmekte olan ülkelerin literatürde daha sınırlı temsil edilmektedir. Küresel tarım sigortası politikalarının bilgi üretim süreçlerinde eşit şekilde temsil edilmediği belirlenmiştir. Üretici davranışları ve sigorta benimseme süreçleri literatürde önemini korumaya devam etmektedir. Çiftçilerin risk algısı, gelir düzeyi, eğitim seviyesi ve kurumsal güven gibi faktörlerin sigorta katılımını doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Bu açıdan tarım sigortası sistemlerinin teknik ve finansal araçlarla, sosyal ve davranışsal boyutları dikkate alarak tasarlanması gerektiği önerilmiştir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, bitkisel ürün sigortası literatürüne katkının artmakta olduğu ancak uluslararası düzeyde görünürlüğün halen sınırlı kaldığı analiz edilmiş olup bunun üzerinde veri erişim kısıtları, uluslararası yayın ağlarına sınırlı entegrasyon ve araştırma fonlarının yetersizliği faktörlerinin etkili olduğu değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha geniş veri setlerine dayanması, farklı ülkelerle karşılaştırmalı analizler içermesi ve disiplinler arası yaklaşımı güçlendirmesi önerilmektedir. Özellikle iklim değişikliği senaryoları ile tarım sigortası sistemlerinin birlikte modellenmesi, literatüre önemli katkılar

sağlayacaktır. Ayrıca üretici düzeyinde mikro verilerin kullanıldığı çalışmaların artırılması, sigorta sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik politika geliştirme süreçlerine doğrudan katkı sunacaktır. Tarım sigortası alanında akademi, kamu kurumları ve özel sektör arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi önemlidir. Bu iş birliği sayesinde bilimsel bilgi üretimi artarak bilginin uygulamaya dönüşme hızı yükselecektir. Bitkisel ürün sigortası araştırmaları hızla gelişen, küresel ölçekte önem kazanan ve çok disiplinli bir yapıya dönüşen bir alandır. Bu alanın gelecekte akademik ve uygulamalı düzeyde daha da genişlemesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Adeyinka, A. A., Kath, J., Nguyen-Huy, T., Mushtaq, S., Souvignet, M., Range, M., & Barratt, J. (2022). Global disparities in agricultural climate index-based insurance research. *Climate Risk Management*, 35, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100394>
- Adeyinka, A. A., Kath, J., Nguyen-Huy, T., Mushtaq, S., Souvignet, M., Range, M., & Barratt, J. (2022). Global disparities in agricultural climate index-based insurance research. *Climate Risk Management*, 35, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100394>
- Başer, U., Bozoğlu, M., & Mennan, H. (2023). Çiftçilerin tarım sigortası yaptırmalarını etkileyen faktörler. *Akademik Ziraat Dergisi*, 12(1), 77-82.
- Birinci, A., Tümer, E.İ. (2006). The Attitudes of Farmers Towards Agricultural Insurance: The Case of Erzurum, Turkey. *Die Bodenkultur Austrian Journal of Agricultural Research*, 56(2), 41-47.
- Cole, S., Giné, X., Tobacman, J., Topalova, P., Townsend, R., & Vickery, J. (2013). Barriers to household risk management. *American Economic Journal: Applied Economics*, 5(1), 104-135.
- Çiftçiyıldız, K. ve İsel, M. (2020). Türkiye’de Tarım Sigortalarının Gelişimi TARSİM’e Geçiş Süreci ve Sigorta Sektörü İşgücü ve İstihdamı Açısından Değerlendirilmesi. *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 1(1), 105-119.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296.
- Elabed, G., & Carter, M. R. (2015). Ex-ante impacts of agricultural insurance: Evidence from a field experiment in Mali. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(2), 530-545.
- Giné, X., & Yang, D. (2009). Insurance, credit, and technology adoption: Field experimental evidence from Malawi. *Journal of Development Economics*, 89(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2008.09.007>
- Glauber, J. W. (2004). Crop insurance reconsidered. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(5), 1179-1195.
- Glauber, J. W. (2004). Crop insurance reconsidered. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(5), 1179-1195. <https://doi.org/10.1111/j.0002-9092.2004.00663.x>
- Goodwin, B. K., & Smith, V. H. (2013). What harm is done by subsidizing crop insurance? *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), 489-497.
- Goodwin, B. K., & Smith, V. H. (2013). What harm is done by subsidizing crop insurance? *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), 489-497.

- Greatrex, H., Hansen, J., Garvin, S., Diro, R., Blakeley, S., Le Guen, M., Rao, K., & Osgood, D. (2015). Scaling up index insurance for smallholder farmers: Recent evidence and insights (CCAFS Report No. 14). CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Hassan, W., & Duarte, A. E. (2024). Bibliometric analysis: A few suggestions. *Current Problems in Cardiology*, 49(8), <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2024.102640>
- Hellmuth, M. E., Moorhead, A., Thomson, M. C., & Williams, J. (2007). Climate risk management in Africa: Learning from practice. International Research Institute for Climate and Society (IRI) Technical Report.
- Hill, R. V., Hoddinott, J., & Kumar, N. (2013). Adoption of weather-index insurance: Learning from willingness to pay among a panel of households in rural Ethiopia. *Agricultural Economics*, 44(4-5), 385-398. <https://doi.org/10.1111/agec.1202>
- İkikat Tümer E, Ağır HB, Uslu Z 2019. Çiftçilerin Tarım Sigortası Yaptırma İstekliliği: Konya İli Ilgın İlçesi Örneği. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(4): 571-576.
- İkikat Tümer, E. (2011). Bitkisel ürün sigortası yaptırma isteğinin belirlenmesi: Tokat ili örneği. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2), 153-157.
- İkikat Tümer, E., & Birinci, A. (2013). TRA I bölgesindeki çiftçilerin riske karşı tutumları açısından sosyo-ekonomik özellikleri. *BİLADER Dergisi*, (7), 55-66.
- İkikat Tümer, E., & Birinci, A. (2020). Üreticilerin tarımsal üretim amaçlarının bulanık eşli karşılaştırma yöntemi ile analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 3020-3030.
- İkikat Tümer, E., Birinci, A., & Aksoy, A. (2010). Çiftçilerin sosyo-ekonomik özelliklerinin kümeleme analiziyle belirlenmesi: Erzurum ili örneği. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1), 29-37.
- Kaya, Çağlar. (2025). Özet Bitkisel Üretimin İklim Değişikliğinden Etkilenebilirliği ve Çözüm Önerisi Olarak Modern Biyoteknolojik Yaklaşımlar . IV. International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, Niğde, Türkiye, 234-234.
- Keskinkılıç, K. (2013). Tarım sigortacılığı: Dünya ve Türkiye'deki uygulamaların değerlendirilmesi. *İzmir Ticaret Borsası, Ar-Ge Müdürlüğü*. 13s.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84-87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Mahul, O., & Stutley, C. J. (2010). Government support to agricultural insurance: Challenges and options for developing countries. World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/698091468163160913>

- Marr, A., Winkel, A., van Asseldonk, M., Lensink, R., & Bulte, E. (2016). Adoption and impact of index-insurance and credit for smallholder farmers in developing countries: A systematic review. *Agricultural Finance Review*, 76(1), 94-118. <https://doi.org/10.1108/AFR-11-2015-0050>
- Özdemir, A., & Baylan, G. (2017). Türkiye’de tarım sigortacılığının gelişimi ve yarattığı etkiler. *Kesit Akademi Dergisi*, 3(12), 89-115.
- Rakan, Y. & Birinci, A. (2025). Farmers in Torul District of Gümüşhane Province to Agricultural Insurance. *Journal of Animal Science and Economics*, 4(1), 12-19.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989. <https://doi.org/10.1038/ncomms6989>
- Sümer, G., & Polat, Y. (2016). Dünyada tarım sigortaları uygulamaları ve TARSİM. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 236-263.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2026). Tarım sigortaları (TARSİM) uygulamaları. <https://eskisehir.tarimorman.gov.tr/Duyuru/846/Tarim-Sigortalari-tarsim-Uygulamalari>
- TARSİM. (2005). Tarım sigortaları kanunu (Kanun No. 5363). <https://www.tarsim.gov.tr/staticweb/krm-web/mevzuatlar/kanunlar/5363-sayili-tarim-sigortalari-kanunu.pdf>
- Tekin, A., & Karlı, B. (2021). Denizli ili Çivril ilçesinde elma üretimi yapan tarım işletmelerinde üreticilerin tarım sigortası yaptıırma tercihleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(1), 8-19. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.697737>
- Tekin, M.K. (2015). AB, ABD ve Türkiye’de tarım sigortacılığı uygulamalarının karşılaştırılması. AB Uzmanlık Tezi. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ankara. 106s.
- Tufan, H., Pahsa, S., Işık, B., Bağcı, E., Demir, F., & Akın, T. (2019). Türkiye’de tarım sigortaları: Aydın ilindeki üreticilerin tarım sigortası bilinci. *Aydın İktisat Fakültesi Dergisi*, 4(1), 44-60.
- Vyas, S., Dalhaus, T., Kropff, M., Aggarwal, P., & Meuwissen, M. P. M. (2021). Mapping global research on agricultural insurance. *Environmental Research Letters*, 16, 103003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac263d>
- Yazgı, F.E., Olhan, E. (2017). Gelişmiş ülkeler ve Türkiye’de tarım sigortası sistemlerinin karşılaştırılması. *Tarım Ekonomisi Dergisi (Turkish Journal of Agricultural Economics)*, 23(2), 231-239.

- Yıldız, L. (2022). Bursa ili Gürsu ilçesinde üreticilerin tarım sigortası yaptırma tercihlerini etkileyen faktörler. Yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa.
- Zhichkin, K. A., Nosov, V. V., & Zhichkina, L. N. (2023). Agricultural insurance, risk management and sustainable development. *Agriculture*, 13(7), <https://doi.org/10.3390/agriculture13071317>