



All Sciences Academy

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE TREND VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR



**TARIM, ORMAN VE SU
BİLİMLERİNDE TREND VE
YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR**

Editör

Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN





Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Trend ve Yenilikçi Araştırmalar

Editör: Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Şubat 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-8676-59-4

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm	5
Ata Tohumları Gerçeği? Buğday Örneği <i>Burhan KARA</i>	
2. Bölüm	26
Abiyotik Stres Koşullarında Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Bitki Gelişimindeki Rolü ve Önemi <i>Emine KARADEMİR, Çetin KARADEMİR</i>	
3. Bölüm	53
TOPRAKSIZ TARIM SİSTEMLERİNDE ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİ (Sürdürülebilirlik, Verimlilik ve Uygulanabilirlik Üzerine Bir Değerlendirme) <i>Mehmet Settar ÜNAL</i>	
4. Bölüm	69
Kuşburnu (<i>Rosa Canina L.</i>) Yetiştiriciliği <i>Mehmet Settar ÜNAL</i>	
5. Bölüm	86
Beslenmede Yenilikçi Bir Kaynak: Mikroalgler <i>Ahmet BOZAVLI, Pınar OĞUZHAN YILDIZ</i>	
6. Bölüm	102
Mevsimsel Sıcaklık Koşullarının Bal Arılarının Fizyolojik ve Davranışsal Özellikleri Üzerine Etkileri <i>Recep SIRALI</i>	

Ata Tohumları Gerçeği? Buğday Örneği

Burhan KARA¹

1- Prof. Dr. Burhan KARA; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü-Isparta. burhankara@isparta.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4207-0539>

ÖZET

Bu çalışmasının amacı; ata tohumu olarak isimlendirilen eski buğdaylar ile ıslah edilmiş buğday tohumlarının kökeni, önemi, verim ve kalite yönünden karşılaştırılması ve bilimsel bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Genetik kaynaklar; yabani ve üzerinde ıslah çalışması yapılmış veya yapılmamış tohumların herhangi bir ekolojik bölgeye yüksek adaptasyon sağlamış, üreticiler tarafından verim ve bazı kalite özellikleri bakımından benimsenmiş ve uzun yıllar yetiştirilen tohumlara denir. Gen kaynaklar; köy çeşidi, yerel çeşit, yerel populasyon, yerel ırk ve ata tohumları olarak isimlendirilmektedir. Günümüzde ata tohumu olarak isimlendirilen tohumlar; genetik olarak buğdayın atası olduğu için mi, eskiden beri yetiştirildiği için mi ata buğdayı olarak isimlendirilmektedir? Anadolu üreticisi buğdayı tane rengi, güzlük-yazlık, lokasyon ismi, başak özellikleri ve tane rengi özelliklerine göre yerel olarak isimlendirmişlerdir. Ata tohumu; Anadolu'ya ait bir isimlendirme olup, genellikle menşei ve ismi bilinmeyen veya üreticinin uzun süre ektiği tohumlara verilen genel bir ifadedir. Ancak ata buğdayı olarak adlandırılan tohumlar; bilimsel olarak gen kaynağı olarak isimlendirilmektedir.

Halk arasında; eski buğdayların üzerinde ıslah çalışması yapılmadığı, bu nedenle daha az genetik değişikliğe uğradığı düşüncesinden dolayı günümüzde yaygın olarak yetiştirilen tescilli buğdaylardan daha güvenli, sağlıklı ve doğal oldukları varsayılmaktadır. Halk arasında her eski tohum veya köy menşeli, ince taneli, şekilsiz, az verimli tohuma ata tohumu olarak nitelendirilmektedir. Eski tohumların ata tohumu olduğunu kanıtlayan bir veri olmayıp herhangi bir çeşidin adının unutulmuş hali olabilir. Modern yeni çeşitler; genetik kaynaklardan faydalanılarak kurağa, soğuğa, yatmaya, hastalık ve zararlılara dayanıklılık, farklı besin içerikleri, verim, un kalitesi vb. özellikleri dikkate alınıp, uygun ıslah metodunu kullanılarak uzun yıllar çalışma sonucu geliştirilmektedir. Aynı zamanda mevcut çeşitlerden en az bir özellik bakımından üstün nitelik taşıması sonucu tescil edilmekte ve üretimi yapılmaktadır. Bu nedenle daha verimli, kaliteli, üretici ve sanayicinin isteklerini karşılayabilmektedir. Eski çeşitler verim ve birçok kalite özelliği bakımından özellikle un sanayinin isteklerini ve standartları karşılayamamaktadır.

Anahtar kelimeler: Ata tohumları, genetik kaynaklar, buğday, ıslah çeşitleri

GİRİŞ

İnsanlığın ve tüm diğer canlıların varoluşundan itibaren yaşam için gerekli olan beslenme ve barınma gibi temel iki ihtiyacı vardır. Beslenme temel yaşam ihtiyaçlarının başında gelmektedir. Çünkü canlılarda tüketilen besin maddeleri vücutta depolanamadığı için beslenme ihtiyacı süreklilik arz

etmektedir. İlk toplumlar göçer-konar yaşam döngüsünde avcılık ve toplayıcılık ile besin maddesi tedarik ederken, nüfus artışı ile birlikte gıda temini zorlaşmış ve ihtiyaçları karşılayamamaya başlamıştır. Artan nüfusa bağlı olarak yerleşik hayata geçmeye başlanmasıyla birlikte daha fazla besin elde etme yolları aramaya başlamış ve üretim zorunlu hale gelmiştir. Gıda üretiminin başlaması ile toplumlar büyüyerek gelişmiş, bitkilerden gıda üretme kabiliyetlerini kazanmış, tarım bölgeleri, şehirler ve medeniyetler ortaya çıkmıştır. Medeniyetlerin gelişmesiyle betlikte ilk üretilen ürünlerin başında yabancı olarak yetişen ve besleyici bir değer taşıyan tahıl türleri olduğu (Siyez ve Gernik) düşünülmektedir (Weiss ve Zohary, 2011:17). Yabancı buğdaylar, zamanla doğal melezlemeler yoluyla modern buğdayların atası haline gelmiştir. Günümüzde bilim insanlarının bu tahılların genetik çeşitliliğinden faydalanarak yeni çeşitler geliştirmişlerdir.

Antik çağlardan günümüze yaklaşık 10000 bin yıl geçmiş olan ve yaklaşık 4 bin yıldır ekmek olarak ekonomik değeri bilinen buğday günümüzde de en önemli temel besindir. Dünyada savaşlar dışında yapılan kitseler göçlerin en temel nedeni beslemedir. Dünyada hiçbir toplum bir yerden başka diyarlara iyi bir evde yaşamak için göç etmez, beslenme amacıyla göç edilmesi daha kabul edilebilen bir nedendir. Tarih boyunca aralıklı periyotlarla oluşan kuraklık nedeniyle baş gösteren kıtlık tehlikesi kitlesel göçlere, savaşlara, devletlerin yıkılmasına, farklı medeniyetlerin oluşmasına ve ırkların şekillenmesine neden olmuştur. Bu nedenle tarih boyunca günümüze kadar buğday saygı duyulan ve kutsal bir değer verilen bir ürün olmuştur. Hitit geleneğinde “Ekmek yiyeceksin, su içeceksin” şeklinde başlayan günümüzde, Allah insanı açlıkla terbiye etmesin duası ile devam eden ve israf edilmemesi gereken kutsal ve değerli bir besindir (Özberk vd., 2016a:15).

Modern tarımın başlamasıyla özellikle 20. yüzyılın başlarından itibaren toplumlar daha sağlıklı gıda tüketim farkındalığı ortaya çıkmıştır. 1910 yılında Albert Howard “tarımsal vasiyetname” 1924 yılında Rudolf Steiner “biyodinamik tarım yöntemi” (İlbaş, 2009:267) çalışmaları ile daha duyarlı üretici ve tüketici oluşmasının önünü açmıştır. Genetik biliminin ilerlemesiyle yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve modern tarım tekniklerinin (gübreleme, ilaçlama, hormonlar vb.) uygulanmasıyla önemli oranda verim artışını meydana getirmiştir. Bu gelişmeyle birlikte insanlarda sağlıklı beslenme duyarlılığı, toplumların ekolojik tarım, ata tohumu ve genetik olarak bozulmamış tohumlardan üretilen gıdalara duyarlılığı artırmıştır. Temel besin maddesi olan buğday en önemli ilgi duyulan bitkilerden biridir. Toplum tarafından daha sağlıklı olduğu düşünülen ve ata tohumu olarak nitelendirilen buğdaydan elde edilen un, bulgur ve ekmek ürünleri popüler hale gelmiş daha fazla ücret ödenerek temin edilmektedir. Bu çalışmanın amacı; ata tohumu olarak nitelendirilen buğdaylar ile ıslah edilmiş buğday tohumları üzenine daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar değerlendirerek, bu tohumların önemi,

verim ve kalite yönünden karşılaştırılması ve ata tohum ifadesini bilimsel bir bakış açısıyla değerlendirmektir.

ATA TOHUMU NEDİR?

Gen kaynakları; köy çeşidi, yerel çeşit, yerel populasyon, yerel ırk ve ata tohumları olarak farklı adlarla isimlendirmektedir. Ata buğdayı, genetik olarak buğdayın atası olduğu için mi veya eskiden (dededen veya babadan) beri yetiştirildiği için mi bu ismi almıştır? Anadolu üreticisi buğdayı tane rengi, güzlük-yazlık, lokasyon ismi, başak özellikleri ve tane rengi özelliklerine göre yerel olarak isimlendirmişlerdir (Gökgöl, 1939:564). Ata tohumu; Anadolu üreticisi tarafından genellikle menşei ve ismi bilinmeyen veya uzun süre ekilen tohumlara verilen genel bir addır, yani Anadolu'ya ait bir isimlendirmedir. Eskiden beri yetiştirilen hatta ilk yetiştirilen buğdaylar olarak bilinen Siyez ve Gernik'i Anadolu üreticisi tarafından ata buğdayı olarak isimlendirmektedir. Siyez ve Gernik buğdayları bilimsel olarak buğdayın atası olarak kabul görmektedir. Bu yönüyle Siyez ve Gernik buğdayına ata buğdayı deyimi ile eşleşebilir. Ancak ister yabani, ister eski veya ilk buğdaylar olsun, ata buğdayı olarak adlandırılan tohumlar; bilimsel olarak gen kaynağı olarak isimlendirilmektedir.

Genetik kaynak nedir: Yabani ve üzerinde ıslah çalışması yapılmış veya yapılmamış tohumların, herhangi bir ekolojik bölgeye yüksek adaptasyon sağlamış, üreticiler tarafından bazı özellikleri bakımından benimsenmiş (verim, kurağa, soğuğa dayanıklılık, ekmeçlik kalitesi, vb.) ve uzun yıllar yetiştirilen tohumlara denir. Tanksley ve MacCouch (1997:4) ve İlhan (2017:10)'a göre genetik kaynakları üç grup altında sınıflandırılmaktadır; 1. Yabani formlar; tamamen doğal koşullarda ve belirli coğrafik bölgelerde yayılış gösteren türlerdir. Tarımsal ekonomik değerleri düşük olmasına rağmen ıslah açısından yüksek adaptasyon ve farklı stres koşullarına dayanıklılık bakımından oldukça değerli kaynaklardır.

2. Yerel çeşitler (köy çeşidi, yerel ırk, yerel populasyon, ata tohumu); üreticilerin her sene elde ettikleri tohumları kullanarak yeni tohumları ürettikleri genetik kaynaklardır.

3. Modern çeşitler; üzerinde bir veya birkaç özellik bakımından ıslah çalışması yapılmış, laboratuvar ve arazi testleri yapılmış yüksek performansa sahip olup, ülkelerin tohum tescil kontrol ve sertifikasyon kuruluşları tarafından tescil edilen tohumlardır.

Türkiye'ye 1960'lı yıllarda Meksika kökenli Norin 10/ Brevor ile melezlemeler ile geliştirilen yarı cüce (Penjamo-62, Pitic-62, Lerma Rojo-64, Süper-X) (Özberk vd., 2016b:85) ve devamında geliştirilen modern çeşitler ile buğday üretimi önemli ölçüde artmıştır. Birçok bitki türünde olduğu gibi buğdayda da modern çeşitlerin yaygınlaşması ve verimi yüksek çeşitlere yönelmesi sonucunda yerel çeşitlerin ekiminin azalması ve genetik çeşitliliğin tehlike altında olduğu bildirilmiştir (Genç vd., 1994:3; Altındal ve

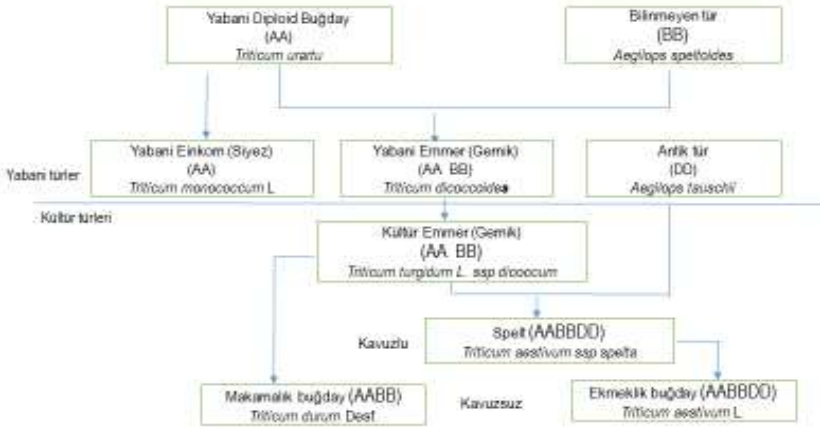
Akgün, 2015:7). Ancak geçmişten günümüze yapılan ıslah çalışmaları ile geliştirilen çok sayıda buğday çeşidi genetik varyasyonu ve gen kaynağı havuzunu artırmıştır. Modern ıslah çeşitlerinin geliştirilmesi, yerel çeşitlerin önemin yitirdiği anlamına gelmez. Türkiye’de bölgelere göre değişmekle birlikte daha çok yöresel isimlendirilen, ekimi yapılan ve hatta ürünlerinden patent alınan Zerun, Ak Buğday, Kırmızı Buğday, Sarı Buğday, Karakılçık, Kırık, Siyez, Koca Buğday, Topbaş, Şahman ve Üveyik buğdayı gibi eski buğdaylar mevcuttur (Kan vd., 2015:170; Özberk vd., 2016b:85; Akman, 2025:8). Yerel populasyonlar sahip oldukları genetik çeşitlilik, yüksek adaptasyon, sahip oldukları dayanıklılık (biyotik ve abiyotik strese dayanıklılık) ve bazı kalite (ekmeklik kalitesi, protein vb) özelliklerinden dolayı modern ıslah yöntemleri ile ekolojik değeri yüksek yeni çeşitlerin geliştirilmesine imkân sağlaması bakımından önemlidir (Genç vd., 1994:3; Altındal ve Akgün, 2015:7).

BUĞDAYIN ATASI

Buğday ilk olarak ön Asya ve Mezopotamya havzasında kendiliğinden melezlenip yetiştiği düşüncesi hâkimdir (Arzani ve Ashraf, 2017:11). İlk buğdaylar kavuzlu ve kırılğan başağa sahip olup zamanla yabancı formlarının evcilleşmesi veya evcilleştirilmesi ile günümüzde genel olarak kültürü yapılan kavuzlu (diploid) ve çıplak taneli (ekmeklik ve makarnalık) buğdaylar ortaya çıkmıştır. Diploid bir tür olan Siyez (*Triticum monococcum*) ve Gernik (*Triticum dicoccon*) başta Türkiye olmak üzere Balkan ülkeleri ve Fransa’da da yetiştirilmektedir. Kaplıca adıyla da anılan bu türler bazı bölgelerde “kavılca” adıyla üretilmektedir. Yabancı Siyez (*Triticum boeoticum*) ve yabancı Gernik (*Triticum dicoccoides*) doğal seleksiyonla günümüzde yetiştirilen kültür Siyez ve Gernik buğdayları meydana gelmiştir (Diamond 1997:2; Nesbit and Samuel 1998:60; Lev-Yadun vd., 2000:2; Özkan vd., 2010:42; Atar, 2017:12).

Günümüzde tarımı yapılan tetraploid makarnalık buğdaylar (*Triticum durum* Desf, $2n=28$, AABB) ve hekzaploid ekmeklik buğdaylar (*Triticum aestivum* L. $2n=42$, AABBDD) yapılan ıslah çalışmaları sonucunda çevresel faktörlere, hastalıklara, zararlılara ve birçok stres faktörüne karşı güçlendirilerek (Peng vd., 2011:20) daha verimli ve kaliteli bir duruma gelmişlerdir. Buğdayda A genomu *Triticum urartu* (AA, $2n = 2x = 14$), B genomu *Aegilops speltoides*’den (BB, $2n = 2x = 14$) alıp tetraplooid (AABB; $2n = 4x = 28$) buğdayı ve D genomu ise *Aegilops tauschii*’den (DD, $2n = 2x = 14$) geldiği ve hekzaplooid buğdayın oluştuğu (AABBDD; $2n = 6x = 42$) kabul edilmektedir (Şekil 1) (Petersen vd., 2006:12; Peng vd., 2011:20; Consortium, 2014:14). D genomu karasal iklim yapısına adaptasyonu sağlayan genler ve alleler taşıdığı bu sayede hekzaplooid buğdayların daha yaygın yetiştirilmesine olanak sağladığı bildirilmiştir (Chantret vd., 2005:12). Buğdayın kökenine ilişkin ilk sitogenetik çalışmalarda tetraploid türlerinde A

genomunun vericisi olarak diploid tür olan *T. monococcum* L olduğu öne sürülmüş (Feldman ve Sears, 1981:11) fakat son yıllarda yapılan çalışmalarda A genomundaki tekrarlayan nükleotid dizilerindeki varyasyonların *T. monococcum* L. genomundan ziyade *T. urartu* genomuyla daha ilişkili olduğunu bildirilmiştir (Gustafson vd., 2009:25; Ling vd., 2009:4). *Aegilops speltoides*'in morfolojik, coğrafi, sitolojik, genetik ve moleküler olarak hem yumuşak hemde sert buğdayın B genomunun vericisi olduğu kabul edilmekle birlikte (Gustafson, vd., 2009:25; Feldman vd., 2005:8), B genomunun kökeninin henüz çözülemediğini, poliploid buğdayda, DNA düzeyindeki genetik varyasyon yüksek olduğundan B genomunun gerçek vericisini belirlemek çok zor olduğu (Gustafson, vd., 2009:25) bildirilmiştir. Araştırmacılar B genomunun donörünün değişikliğe uğradığını, ebeveyn soyunun tükendiğini veya diploid ebeveyn hala mevcut olduğu ancak henüz keşfedilmediği teorilerini ileri sürmüşlerdir (Feldman vd., 2005:8; William vd., 2011:29; Shewry, 2018:8). Horasan buğdayı olarak bilinen *Triticum turgidum* ssp. *uranicum* morfolojik olarak durum buğdaylarına oldukça fazla benzerdir. Bu benzerlikten dolayı durum buğdayının oluşumunda önemli bir antik tür olarak düşünülmektedir ancak kesin bir kanıt yoktur (Ikanović vd., 2014:10). Bu melezlemelerin başlangıçta steril melezler olduğu ve kromozomların katlanması sonucu verimli türlerin ortaya çıktığı bildirilmiştir (Zohary vd., 2012:8).



Şekil 1. Buğdayın evrimleşme süreci (Sousa vd., 2021:4)

ATA TOHURLARI NEDEN TERCİH EDİLİYOR?

Günümüzde unlu mamuller sanayinin gelişmesiyle birlikte, bu sektöre yönelik kaliteli hammadde ve ürün geliştirme çalışmaları önem kazanmıştır. Özellikle insanların eğitim ve ekonomik düzeyleri arttıkça sağlıklı beslenme ve özel istekleri doğrultusunda gıda üretimi faaliyetleri artmıştır. Bu durum

temel besin maddesi olan buğday içinde geçerlidir. Halk arasında eski buğdayların üzerinde ıslah çalışması yapılmadığı (daha az genetik değişikliğe uğradığı) düşüncesinden dolayı günümüzde yaygın olarak yetiştirilen tescilli buğdaylardan daha güvenli, sağlıklı ve doğal oldukları varsayılmaktadır. Bunun yanında halk arasında eski tohumlara olan ilgisinin artmasının nedenleri;

a - Üzerinde ıslah çalışması yapılarak geliştirilen çeşitlerin geninden oynandığı algısı,

b- Daha önceleri su değirmeninde öğütülen tam buğday unun elde edilirken, modern değirmenciliğin gelişmesiyle tohumun kabuğunun ve embriyosunun alınmasıyla daha beyaz un ve beyaz ekmeğin üretilmesi,

c- Modern fırıncılıkta pişirme tekniklerinin değişimi ile buğdayın eski tadının kalmadığı inancı,

d- Modern tarım uygulamalarında aşırı pestisit kullanımı nedeniyle insanların eski tohumlara yönelmesi,

e- Bilgi eksikliği, kamuoyu oluşması ve insanların birbirlerini psikolojik olarak etkilemeleri sayılabilir.

ISLAH EDİLMİŞ (ÇEŞİTLER) TOHUMLAR SAĞLIĞA ZARARLI MI? GENLERİNDEN OYNANDI MI?

Buğday insan beslenmesinde kullanılmaya başlamasından ve ekmeğin ekonomik olarak öneminin farkına varılmasından itibaren (yaklaşık 4 bin yıl) ıslah edilme süreci başlamış ve günümüze kadar gelmiştir. Islahçılar daha iyi özelliklere sahip yeni çeşitler geliştirmek amacıyla, üzerinde çalıştıkları bitkinin birçok yönden üstün özellikler taşıyan (yüksek verim, yüksek kalite, hastalılara, zararlılara, dona, soğuğa, yatmaya dayanıklı, adaptasyon kabiliyeti yüksek gibi...) türleri tespit ederek, bu özelliklerin birkaçını veya amaca yönelik niteliklerini göz önüne almışlar ve tüm dünyada bilimsel olarak kabul gören ıslah metodlarını kullanarak yeni çeşitler geliştirmektedirler.

I-Klasik Islah Yöntemleri: Bu ıslah yöntemleri ile geliştirilen çeşitlerde bitkinin sahip olduğu genetik yapısına herhangi bir müdahale söz konusu değildir. İnsan sağlığına ve çevreye herhangi bir zararlı etkileri tespit edilmemiştir. Bu ıslah amaçlarının temel amaçları, yüksek verim, yüksek kalite, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklı türlerin elde edilmesidir.

a. İntroduksiyon ıslahı: Bu ıslah metodu ekonomik öneme sahip türlerin bir yerden (yurtiçi veya yurt dışı) başka bir lokasyona taşınması temeline dayanır. Bölgede yeni bir çeşit olarak üretilebilir veya kışa, kurağa, hastalıklara ve zararlılara dayanıklılık gibi sahip olduğu üstün özelliklerden faydalanılarak tohumluk kaynağı olarak kullanılabilir (Şehrali ve Özgen, 2007:263).

b. Seleksiyon ıslahı: Bu yöntemin temeli, doğal olarak ortaya çıkan veya genetik olarak değişim gösteren popülasyonlar arasından üstün özelliklere sahip bireylerin seçilmesine dayanır. En eski ve en fazla kullanılan ıslah yöntemlerinden biridir (Tuğay, 1996:162).

c. Melezleme ıslahı: Kalıtsal yönden farklı iki cinsiyet hüresinin birleşmesine denir. Başka bir ifadeyle; ana olarak kullanılan bitkin kendine döllenmesi farklı yöntemlerle engellenerek, aynı türe ait başka bir bitkinin polenleri ile dllendirilmesine denir. Melezleme birden fazla hat, çeşit veya türde bulunan üstün özelliklerin (yüksek verim, bitki boyu, erkencilik, yatmaya dayanıklılık...) bir çeşitte toplamak amacıyla yapılır (şehrli ve zgen, 2007:263; Tuğay, 1996:162). Daha sonra arzu edilen özelliklere sahip bireyler seçilerek yeni çeşitler geliştirilir.

Buğday kendine döllenen bir bitki olmasına rağmen, azda olsa (%3-4) yabancı dllenebilmektedir. Bu nedenle ata tohumu olarak adlandırılan tohumlar zaten uzun süre serbest tozlaşma nedeniyle birbirinden polen alıp doğal melezlenme gerçekleşmektedir. Uzun süre serbest tozlanmaya maruz kalan tohumlarda bir yozlaşma meydana gelmekte, verim ve kalite düşmektedir. İslahı tarafından yapılan melezlemelerde ise kontrollü ve hedefler doğrultusunda bir melezleme yapıldığı için yeni çeşide istenen özellikler kazandırılır ve üstün özelliklere sahip olurlar.

Melezleme ıslahı ile yeni bir çeşidin geliştirme çalışmalarında istenilen özelliklerin yeni bireylere daha kolay aktarılabilmesi için genetik olarak birebirine en yakın aynı iki tür melezlenir. Örneğin, ekmeklik buğday x ekmeklik buğday ile, makarnalık buğday x makarnalık buğday ile melezlenir. İstisna olarak buğday x avdar melezi tritikale mevcuttur. Tritikalenin gluten kalitesinin düşük ve alfa amilaz aktivitesinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak ekmek yapımında ve insan beslenmesinde kullanılmamaktadır. Buna ilaveten tritikalenin sağlığa zararlı herhangi bir etkisi tespit edilmemiştir.

d. Poliploid ıslahı: İslah amacına yönelik olarak bir türe daha üstün özellikler kazandırmak için o türün kromozom sayısının takım halinde artmasına, başka bir ifade ile türün kromozom sayısının ikiye katlanmasına denir. Kromozom sayısının iki katına çıkmasıyla türün ekolojik ve fizyolojik özellikleri de değişebilir. Poliploidleşme ile fertilitate artar, daha iri yapraklar, meyveler, dallar ve daha uzun bitki boyu meydana gelir (Tuğay, 1996:162). Bu yöntemde herhangi bir gen aktarımı söz konusu değildir.

e- Mutasyon ıslahı: Türlerde meydana gelen kalıtsal değişiklik temeline dayanır. Mutasyonla değişen organizmaya mutant, kalıtsal değişikliği sağlayan sürece mutagenез denir. Bitki ıslahında mutasyonun amacı; bitkilerin genetik yapısında değişiklik oluşturarak çeşitlilik (varyasyon) sağlamaktır. Radyasyon veya kimyasallar aracılığıyla oluşturulan bu değişiklikler, daha sonra tarımsal açıdan olumlu özellikler taşıyan bireylerin seçilmesiyle değerlendirilir. Mutasyon ıslahında her ne kadar genetik değişiklik olsa da, GDO kapsamı dışında tutulmaktadır. Genomlardaki daha çok rastgele mutasyonlarının oluşması (Mago vd., 2017:6), şiddeti ve olumsuz mutasyonların fazla olması nedeniyle bu yöntemle geliştirilen türlere halk arasında biraz daha mesafeli yaklaşılmaktadır. Ancak günümüzde besin maddesi olarak tüketilen birçok bitki yüzlerce yıldır doğal mutasyon geçirerek

geldiği düşünölmektedir. Mutasyon yoluyla geliştirilen çeşitlerde zararlı herhangi bir etki tespit edilmemiştir

II- Çeşit İslahında Moleküler ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Moleküler ve biyoteknolojik metotları kullanılmadan önce klasik ıslah yöntemleri ile geliştirilmiş ve modern tarım teknikleri kullanılarak yüksek verim ve kalite sağlanmış çok sayıda çeşit mevcuttur. Moleküler ve biyoteknolojik metotları ile klasik ıslah yöntemleri birbirini tamamlayıcıdır. Klasik ıslah yöntemlerinde melezleme yoluyla yeni bireye hastalık ve zararlılara dayanıklılık genlerinin aktarılması sınırlı kalmakta ve aynı zamanda oldukça zaman alıcıdır. Klasik ıslah yöntemlerinde başarı popülasyonun genetik çeşitliliğine bağlı olup aynı zamanda (fenotip gözlemler için) çok sayıda popülasyona ihtiyaç vardır. Klasik ıslah yöntemlerinde genetik çeşitlik daha düşük kalabilir, kısırılık ve uyumsuzluklar oluşabilir. Bazı bitkilerde çiçek yapısının küçük olması, çiçeklenme zamanlarının denk gelmemesi, doğal iziölasyon, yabancı döllemeyi engelleme, kendine döllenenlerde kendine döllemeyi engelleme, farklı türler ve cinsler arasındaki melezleme zorlukları mevcuttur. Bu nedenle genetik haritalama, gen analizleri, moleküler markörler, mikroçoğaltım teknikleri, doku kültürü, anter kültürü ve emriyo kültürü gibi moleküler ve biyoteknolojik yöntemler kullanılarak klasik ıslah yöntemlerinin dezavantajlarını büyük ölçüde ortadan kaldırılmakta ve hedeflenen özellikler taşıyan bireyler çok daha erken aşamada tanımlanabilmektedir. Modern biyoteknoloji ile cinsler arası melezlemeler kolaylaşmakta, istenmeyen genlerin engellenmesi, bitkinin gelişme dönemine bağlı kalınmadan invitro yöntemlerle önemli zaman ve başarı kazanılmaktadır (Şehrali ve Özgen, 2007:263; Tuğay, 1996:162). Bu yöntemlerle geliştirilen çeşitlerde herhangi bir gen değişimi, bitkinin doğal yapısında olmayan bir gen aktarımı veya gen diziliminde bir değişiklik söz konusu olamayıp, beslenme bakımından insan veya canlı sağlığına herhangi bir zararlı etki tespit edilmemiştir.

III- Genom Düzenleme (CRISPR/Cas9 vb.)

Yeni nesil bitki ıslah yöntemleri çeşitlere nitelikli özellikler kazandırmada önemli bir çığır açmıştır. Klasik ıslah yöntemleri ile mümkün olmayan yeni bir özelliği gen teknolojisini kullanarak bitkiye kazandırmak mümkün hale gelmiştir. Gen teknolojisi ile belirlenen özellik izole edilip doğrudan hedeflenen gen bölgesine aktarılarak genetik yapı değiştirilip yeni özellik kazandırılmaktadır. Klasik ıslah yöntemlerinde yabancı genler alıcı hücredeki kromozomlara rasgele yerleşirken, gen teknolojisinde belirlenen DNA parçalara ayrılabilmekte, izolasyonu yapılarak saf olarak elde edilen kalıtım materyali hedef hücrenin sitoplazma veya çekirdeğine aktarılabilir (Şehrali ve Özgen, 2007:263; Tuğay, 1996:162, Elpe, 2021:9). Genetiği değiştirilmiş organizma (GDO) olarak bilinen bu yöntemle kendi türü dışında bir canlıdan izole edilen genlerin, başka bir türün sahip olduğu genetik

dizilimlerden oynayarak mevcut özelliklerinin değiştirilmesi veya türün kendisinde doğal olarak bulunmayan yeni bir özellik kazandırılarak elde edilen organizmalar olarak tanımlanmaktadır (Kulaç ve Ağirdil, 2006:5; Güngör ve Demiryürek, 2021:14).

Bitkilere gen transferi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Doğrudan gen transferi; partikül veya gen tabancası ve mikroenjeksiyon ile protoplastlara gen aktarılır. Bu metod en sık kullanılan yöntemlerdir. Mikroenjeksiyon yönteminde, istenen gen mikroskop altında hedef hücreye injeksiyonla aktarılır. Protoplastlara gen transferinde ise yüksek voltajlı elektrik akımı veya kimyasal maddelerle DNA'nın geçebileceği büyüklükte gözenekler açılarak gen transfer edilir. Dolaylı gen transferi; *Agrobacterium tumefaciens* bakterisini bitkiyi enfekte ederek tümör oluşumuna yoluyla yapılmaktadır (Elpe, 2021:9; Yılmaz, 2014:219).

GDO, dünyada gelecekte oluşabilecek kıtlığa çözüm yolu olarak ortaya çıkmıştır. GDO çalışmaları ilk olarak 1946 yılında DNA'nın organizmalar arasında transfer edilebileceğini keşfedilmiştir. 1960'lı yıllarda genetik mühendisli çalışmaları başlamış ve 1973 yılında rekombine DNA'yı elde edilmiştir (Çetinkaya vd., 2015:5). 1990'lı yıllarda dünya sağlık örgütü GDO lu ürünler üzerine standartlar oluşturmuş ve bu ürünler ticari amaçlı ekimeye başlamıştır. 1996 yılında ilk transgenik bitki ürün dünya sağlık örgütü onayı ile uzun ömürlü domates "Flavr Savr" elde edilmiştir (Atsan ve Kaya, 2008:6). Daha sonra altın pirinç (beta karoten içeren), sap kurudun dayanıklı mısır, elastik lifli pamuk gibi bitkiler geliştirilmiştir (Bayraç vd., 2014:15). Devam eden çalışmalarda; soya fasulyesi, mısır, kanola gibi ekonomik değeri yüksek bitkiler üzerine farklı amaçlar hedeflenerek yeni çeşitler geliştirilmiştir. 2024 verilerine göre Dünyada GDO ekimi yapan ülkelerin başında ABD, Brezilya, Arjantin, Kanada, Hindistan gelmektedir. En çok ekilen ürünler ise soya fasulyesi, mısır, pamuk ve kanola'dır. Daha önce GDO' lu çeşitleri mevcut olmayan bazı yaygın kullanılan bitkilerin 2025 yılı itibari ile GDO' lu çeşitleri geliştirilmiştir. Bu türler; yonca, elma, fasulye, karanfil, börülce, okaliptüs, patlıcan, keten, kavun, ananas, erik, patates, çeltik, gül, aspir, kabak, şekerpancarı, şeker kamışı, tatlı biber, türün, domates ve buğday'dır (<https://www.isaaa.org>)

GDO' LU ÜRÜNLER ZARARLIMIDIR?

Gen teknoloji ile geliştirilen türlere yeni ve nitelikli özellikler kazandırılması, bu türlerin hastalık ve zararlılara, biyotik ve abiyotik sters faktörlerine dayanıklı hale getirilip nihai hedef olan verimin artırılması bakımından çok önemli bir bilimsel gelişmedir (Çetinkaya vd., 2015). Ancak tüm bu nitelikli özelliklerin yansırı bu yeni türlerde özellikle sağlığa etkileri üzerine tartışmalar devam etmektedir. GDO'lu ürünlerde alerjik reaksiyonlar, direnç genlerinin patojen mikroorganizmalara geçmesi sonucunda enfeksiyonlarla mücadelede zorlanılacağı (Kulaç vd., 2006:14), herbisitlere karşı dayanıklılık

genlerin kansere neden olabileceği (Haspolat, 2012:5) ve toksik özelliklerin olabileceği (Ergin ve Karababa, 2021:9; Çelik vd., 2018:9) vurgulanmaktadır. Bunun yanında GDO'lu ürünlerden kendi türüne ait diğer bitkilere yabancı döllenme yoluyla gen kaçması nedeniyle riskli ürünler kategorisine sokmaktadır (Özcan, 2009:34). Bu nedenle GDO'lu ürünlerin güvenilirliği önemli tartışma konusudur.

Günümüzde buğdayda GDO'lu çeşitler var mı?: Farklı bitki türlerine gen aktarım yoluyla çeşitli dayanıklılık özellikleri kazandırılan nitelikli türler (mısır, pamuk, kanola ve soya gibi) geliştirilmiştir. Gen teknolojisinin gelişmesiyle beraber buğdayda da bilimsel olarak bazı hastalık (fusarium) ve herbisitlere dayanıklı genotipleri geliştirme çalışmaları başlamıştır. 2025 yılına kadar dünyada ticari olarak GDO'lu bir buğday çeşidi mevcut değildi, fakat 2025 yılında Arjantin'de HB4 (Code: IND-00412-7, kuraklığa toleranslı, üretim izni alınmış) ve MON71800 (Code: 71800-3, herbisite toleranslı) ticari isimleri ile 2 adet GDO buğday çeşidi geriletilmiştir (Anonim, 2025:5). Ancak tüm dünyada temel gıda besin maddesi olan buğdayda pazarlama endişesi ve tüketici tepkileri nedeniyle bu çeşitlerin ekimi, üretimi, ticareti ve dolayısıyla tüketimi günümüz itibariyle yaygın değildir.

Sentetik Buğday: Buğdayın yabani akrabaları (*Aegilops squarrosa*-2n=14 DD, *T. dicoccum*-2n=28, AABB) ile veya *T. durum* (2n=28,AABB) türleri arasında melezlemeler yapıldıktan sonra embriyo kurtarma tekniği kullanılarak primer sentetik heksaploid ekmeklik buğdaylar (2n=42, AABBDD) elde edilmektedir. Elde edilen bu genotipler modern heksaploid buğdaylarla 2 defa geri melezleme yolu ile kavuzundan kolay ayrılabilen, uzun boylu ve üretime uygun genotiplere "Sentetik Heksaploid Buğday" olarak isimlendirilmektedir (Mujeeb-Kazi vd., 1996:5; Aktaş vd., 2017:7). Sentetik buğdaylar buğdayın genetik tabanını genişletmek ve üstün verimli türler elde etmek amacıyla yapılır. Günümüzde CIMMYT tarafından geliştirilen sentetik çeşitler İspanya ve Çin'de geniş alanlarda ekilmektedir. Yine CIMMYT tarafından Chuanmai 42' adında bir çeşit tescil edilmiştir (Lage ve Trehotwan 2008:8). Bu çeşitler buğdayın benzer genetik yapıya sahip olan yabani formlarından faydalanılarak melezlendiği için gen diziliminde herhangi bir değişiklik olmayıp beslenme yönünden herhangi bir olumsuzluk taşımamaktadır (Hajjar ve Hodgkin, 2007:13).

EVCİLLEŞTİRME SÜRECİNDE TEMEL DEĞİŞİKLİKLER

Buğdayın atası kabul edilen ilk diploid buğdaylar kavuzlu, küçük taneli, yarı kırılğan başaklara ve derin kök sistemine sahipken, günümüzde üretimi yapılan tetraploid ve heksaploid buğdaylar; çıplak taneli, yapraklar daha kısa ve sayısı fazla, daha yüksek net fotosentez oranına ve azot içeriğine sahip, kök sistemi daha sığ ve ince yapıda olup toprak üstü biyokütlesi daha yüksektir (Roucou vd., 2017:12). Bunun yanında modern çeşitler ile kıyaslandığında

eski buğdaylar tarımsal açıdan da daha az gübreleme, sulama, ilaçlama ile yetiştirilmektedir (Gomez-Becerra vd., 2010:7; Koenig vd., 2015:6). Modern ıslah çeşitleri ile karşılaştırıldığında yerel çeşitler; yatmaya ve herbisitlere daha hassas (Koç vd., 2020), daha uzun boylu, başakta tane sayısı daha az, başaklanma sürelerinin daha geç, kardeşlenme sayısı fazla, tane ağırlığının daha hafif olduğu bildirilmiştir (Ehdaie ve Waines, 1989:7; Moghaddam vd., 1997:8).

ESKİ BUĞDAYLAR DAHA MI SAĞLIKLIDIR?

Eski buğdayların tescilli buğdaylarla karşılaştırılarak sağlığa olan etkileri araştırılmaktadır. Günümüzde eski ve yeni buğdaylardan ekme, yufka, tandır, pişi, hamur yemekleri yaygın olarak yapılmaktadır. Eski buğdaylar pastacılık, makarna sanayi, nişasta, karotenoidler, fitokimyasallar ve antioksidanlar gibi bazı bileşenlerin eksikliğini gidermek için modern çeşitlerden elde edilen unlarla karıştırılmaktadır (Arzani, 2011:9; Hayit ve Gül, 2017:6). Eski buğdaylardan yapılan ürünler markalaşma yoluyla ticareti yapılmaktadır. Siyez ve Gernik buğdayları İtalya'da az miktarda olsa makarna üretiminde kullanıldığı ve İran'ın kırsal bölgelerinde karbonhidrat kaynağı olarak kullanılmaktadır (Arzani, 2011:9). Siyez ve Gernik buğdayın protein, lisin ve lipit oranının modern buğdaylardan daha yüksek olduğu, Gernik buğdayının durum buğdayından daha yüksek tekli doymamış yağ asitleri, daha düşük çoklu doymamış yağ asitleri içerdiği bildirilmiştir (Hidalgo ve Brandolini, 2014:11). Karbonhidrat içeriği bakımından karşılaştırıldığında ekmeçlik buğdayda ortalama %75, durum buğdayında %71 ve siyez buğdayında ise %67 dolayındadır (Boukid vd., 2018:13). Buğday lifinin büyük çoğunluğu endospermin iç katmanlarında bulunur ve beyaz un %2,0-2,5 dolayında lif içerir (Khan ve Shewry, 2009:467). Bu nedenle, 40 g beyaz buğday ekmeği yaklaşık 1 g diyet lifi sağlayabilirken, benzer bir porsiyon tam buğday ekmeği 3-4,5 g diyet lifi sağlamaktadır. Genel olarak Siyez %9,8, Gernik %9,8, makarnalık buğdaylar %12 ve ekmeçlik buğdaylar %13,4 lif içeriğine sahiptirler (Bushuk ve Rasper, 1984:232; Poutanen, 2012:4; Arzani ve Ashraf, 2017:11; Rodríguez-Quijano vd., 2019:9).

Son yıllarda çölyak hastalığının insanlarda oluşturduğu, şişkinliği, kabızlık, hazımsızlık gibi sorunlardan dolayı, tıbbi destek almadan glutensiz, şekeriz, yağsız, tuzsuz, düşük nişastalı ürünler tüketme gibi alışkanlıklar oluşmaya başlamıştır. Eski buğdayların bu tür sorunların üstesinden gelebileceği inancı oluşmaya başlamıştır (Ribeiro vd., 2006:3; Gül ve Özkan, 2025:15). Yapılan bir çalışmada uzun süreli ekşi mayalı bir ekmeğin mayasız ekmeğe göre çölyak hastalarında daha iyi bağışıklık kazandırdığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin protein açısından zengin peptitleri hidrolize edebilen asitleştirici ve proteini parçalayan laktik asit bakterilerinin olduğu bildirilmiştir (DiCagno vd., 2010:6). Başka bir çalışmada ise çölyak hassasiyeti ilgili; kavuzlu buğday > yerel buğday çeşitleri > modern buğday

çeşitleri = tetraploid çeşitler sıralaması tespit edilmiştir. Bu sonucun ıslah programlarının buğdaydaki glutenin içeriğinin artmasına ve dolayısıyla gliadin/glutenin oranının azalmasına yol açmış olabileceği hipotezi öne sürülmüştür (Ribeiro vd., 2006:3). Aynı şekilde, Prandi vd. (2017:8) eski ve modern *Triticum* çeşitlerinin in vitro sindiriminden sonra salınan gluten peptitlerini analiz ederek, eski çeşitlerin modern çeşitlere kıyasla daha yüksek miktarda bağıışıklık oluşturduğu ve ancak hem eski hem de modern çeşitlerin çölyak hastaları için tüketim açısından güvenli olmadığı, bağıışıklık seviyesinin ploidi seviyesi veya kökenleriyle (eski/modern) doğrudan ilişkili olmadığını sonucuna varmışlardır. Örneğin, ekmeçlik buğday (heksaploid), emmer ve durum buğdayı (tetraploid) ile aynı miktarda bağıışıklık direnci göstermiştir (Prandi vd., 2017:8; Malalgoda vd., 2018:6). Bu nedenle buğday ıslah programları için daha uygun olan çeşitlerin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

SORUN TOHUMDA MI, YETİŞTİRİCİLİKTE Mİ?

Yukarıda buğdayın çeşit geliştirme yöntemleri özet olarak açıklanmıştır. Genetiği değiştirilmiş (GDO) tohumlar dışında, diğere ıslah yöntemleri ile geliştirilen çeşitler genetik olarak birbirine en yakın akraba türlerden faydalanılarak geliştirildiği için tohumun kendi yapısında doğal olarak bulunan bazı özellikleri iyileştirilmiş olarak yeni çeşitler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu çeşitlerin doğal yapısında olmayan herhangi bir özellik bulunmamaktadır. Buna ilaveten yüzlerce yıldır buğday türleri doğal yada bilimsel yöntemler yoluyla melezlenerek günümüze kadar gelmiştir. Bu nedenle ister bilimsel yollarla olsun, ister doğal yollarla olsun bitkilerin birbirleri ile tozlaşması, yani melezlemesi aynı şeyi ifade eder. Doğal yollarla melezlemede bitkinin hangi bitkiden melezlendiği belli değildir, bu durum yıllar içinde rejenerasyona (yozlaşmaya) neden olur ve verim önemli ölçüde düşer. Bilimsel yollarla melezlemede ise ıslahçının belirlediği üstün özelliklere sahip çeşitler melezlendiği için oluşan F1 ler daha kaliteli ve üstün özelliklere sahip olurlar. Dolayısıyla günümüzde modern tohumların genetik yapısından oynanmış algısı bir önyargıdan ibarettir.

Son yıllarda özellikle 1960 yıllarının sonlarından itibaren yeşil devrimle birlikte modern çeşitlerin geliştirilmesi, gübreleme ve pestisit kullanımı ile verimde önemli artışlara neden olmuştur. Günümüzde aşırı gübre, pestisit ve hormon kullanımı ürünlerde kalıntılara neden olduğu ve bunun birçok hastalığın sebebi olduğu düşünülmektedir. Özellikle mevsimi dışında yetiştirilen meyve, sebze ve sera ürünlerinde bu endişe daha yüksektir. Buğday yetiştiriciliğinde aşırı pestisit kullanımı sebze ve meyveler kadar yüksek değildir. Ancak yine de bu algı temel gıda maddesi olan buğday içinde geçerli olup, tüketicilerde psikolojik olarak eski buğdayların daha sağlıklı olduğu düşüncesi oluşturmuştur. Bu nedenle günümüzde sağlık açısından modern ıslah yöntemleri ile geliştirilen buğday çeşitlerinin (GDO dışında)

genetik yapılarından ziyade, yetiştiricilik teknikleri (aşırı pestisit ve gübre kullanımı) üzerinde durulmalı ve iyileştirilmelidir.

YEREL ÇEŞİTLER, TESCİLLİ ÇEŞİTLER İLE YARIŞABİLİR Mİ?

Geleneksel yâda modern ıslah yöntemleri ile geliştirilen çeşitler günümüzde çok büyük oranda üreticiler tarafından kullanılmaktadır. Yeni çeşitler ıslah aşamasından sonra tohumun tarla ve laboratuvar analizleri, fiziksel özellikleri (safiyet, tohum iriliği), biyolojik (çimlenme testleri) özellikleri ve genetik değerleri ölçülmektedir. Yeni çeşit geliştirme aşamasında farklı ekolojik koşullarda performans denemeleri yapılmakta ve tescil aşamasında mevcut olan önceki çeşitlerden en az bir özellik yönünden üstün olması gerekmektedir. Ata tohumu olarak adlandırılan tohumlar uzun yıllar serbest tozlaşmaya bırakıldığı için açılmalar ve rejenerasyona (yozlaşma) uğrayarak verim ve kalite değerleri önemli ölçüde düşmektedir. Eski tohumlardan üretilen buğdaylar özellikle un sanayinin ve çeşitli unlu mamullerin üretiminde gerekli olan standartları karşılayamamaktadır. Bu nedenle kendine döllenmiş bitkilerde ekilen tohumun 3-4 yıl arayla sertifikalı tohum ile değiştirilmesi önerilmektedir.

Gökgöl (1935) eski botanikçilerin bitkileri sınıflandırırken sadece bitkinin dış görünüşünü yani şekil ve rengini dikkate aldıklarını, tarımsal özelliklerine önem vermediklerini belirterek örneğin Akbaşak, Karabaşak, Karakılıçık, Sarıbaşak şeklinde isimlendirilen çeşitlerin kendi içerisinde tarımsal özelliklerinin farklı olduğunu, dolayısıyla botanikçilerin yaptıkları tasnifin tarımsal yönünün eksik olduğunu bildirmiştir. Kara ve Akman (2008) Isparta yöresinde toplanan 15 adet yerel buğdayların 1000 tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve tane verimi bakımından tescilli çeşitler ile yarışmadığı, ancak çok az sayıda populasyonun deneme ortalamasını yakaladığını bildirmişlerdir. Sağır ve Kara (2023:6) eski ve yeni tescil edilmiş (1929 dan 2016 ya kadar) 25 adet buğdayın verim ve kalite yönünden karşılaştırdığı çalışmada son yıllarda tescil edilen çeşitlerin verim ve kalitelerinin yüksek olduğu söylenebilir. Ancak araştırmacılar yaklaşık 60-70 yıl önce tescil edilen bazı çeşitlerin günümüz tarım teknikleri ile yetiştirildiğinde son yıllarda tescil edilen çeşitler ile yarışabildiklerini bildirmişlerdir. Atar ve Kara (2017:5) kavuzlu (Gernik ve Siyez) ve makarnalık (Kızıltan-91 ve Ç-1252) buğdayların verim, protein ve azot alım özellikleri bakımından karşılaştırmışlar, kavuzlu buğdayların verim ve azot alımı makarnalık buğdaylara göre daha düşük olduğu protein oranı bakımından ise Gernik çeşidinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Doğan (2024:73) ticari çeşitlere göre tane verimi bakımından yerel genotipler daha düşük değerler gösterdiğin, bin tane, NDVI, klorofil, protein oranı bakımından ise yerel genotiplerin ticari çeşitlerle benzer özellikler taşıdığını bildirmiştir. Morgounov vd. (2016:12) tarafından yapılan çalışmada, çiftçilerin %70-75'nin yerel buğdayların veriminden memnun olmadıkları, ancak saman verimi ve saman kalitesi bakımından memnun

oldukları ve bunun yerel buğdayların korunmasında önemli bir etken olduğu rapor edilmiştir.

ESKİ VE MODERN ÇEŞİTLER HAKKINDA YANLIŞ BİLGİLER VE ÖNYARGILAR

- 1- Modern çeşitlerin genetiğinden oynanmış veya genetiği değiştirilmiş algısı.
- 2- Halk arasında her eski tohum veya köy menşeli tohum ata tohumu olarak nitelendirilmektedir.
- 3- Menşei bilinmeyen her tohum ata tohumu olarak isimlendirilmektedir.
- 4- İnce taneli, şekilsiz, az verimli tohumu ata tohumu denilmektedir. Düzgün şekilli, iri taneli, iri başaklı görünen her tohumu önyargı ile bakılmaktadır (bu durum, çeşit, iklim ve bakım koşullarına bağlıdır).
- 5- Eski tohumlar daha sağlıklıdır.
- 6- Eski tohumlar (Ata tohumları) daha lezzetlidir. Oysa öğütme (su veya modern değirmen), pişirme ve ekmek yapma yöntemleri ekmeğin lezzetini etkilemektedir. Örneğin tam tahıl ekmeği, ekşi mayalı veya mayasız ekmek, taş fırın ekmeği, yufka, lavaş, tandır, sac, fetir, kömbe, bazlama, hamursuz adlarıyla bilinen çok sayıda yöresel pişirme yöntemleri ile elde edilen ekmeklerin lezzetleri farklı olabilir.

ATA TOHUMLARINI YOK MU SAYALIM?

Modern bitki ıslahının başlamasıyla birlikte mevcut olan populasyonların veya türlerin önemli özelliklerinden (kurağa, soğuğa, yatmaya, hastalık ve zararlılara dayanıklılık, farklı besin içerikleri, verim, un kalitesi vb.) faydalanılarak yeni çeşit geliştirilmiştir. Bu nedenle yerel populasyonların mutlaka muhafaza edilmesi ve ıslah amacına göre önemli olan özelliklerinden faydalanılarak ıslah programlarına dâhil edilmesi ve biyolojik çeşitliliği artırarak genetik kaynak olarak muhafaza edilmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Buğday; tüm dünyada insanların temel gıda besin maddesi olması nedeniyle üzeninde daha fazla çalışılan, ilgi gösterilen ve önemsenen bir bitki olmuştur. 1980'lerden sonra tarımda kullanılan aşırı pestisit kullanımı nedeniyle tüm ürünlerde olduğu gibi buğday içinde sağlık yönünden endişelere neden olmuştur. Sağlıklı beslenme endişesi kamuoyunda modern buğdaylara karşı bir önyargı oluşmasına neden olmuş ve ata buğdayı adı altında eski buğdaylara olan ilgi bir pazarlama stratejisine dönüşmüştür. Modern ıslah yöntemleri ile geliştirilen buğdaylar çeşitleri genetik olarak en yakın olan kendi türlerinden geliştirilmektedir. Bu nedenle modern çeşitlerin eski buğdaylardan farklı olarak sağlığa zararlı olan hiçbir etkisi tespit edilememiş

olup, modern çeşitlere olan bu bakış açısı bilimsel bilgidен yoksun bir önyargıdan ibarettir.

Ata buğdayı olarak isimlendirilen eski buğdaylar daha önce ıslah edilmiş herhangi bir modern çeşidin bir çeşidin adının unutulmuş hali olabilir bu nedenle bilimsel olarak genetik kaynaklar olarak adlandırılmalıdır.

Bilimsel olarak Siyez ve Gernik buğdaylarının günümüz modern buğdayların atası olduğu kabul edilmekle birlikte, üreticinin elinde bulunan tohumların ata tohumu olduğunu kanıtlayan bir veri yoktur.

Laboratuvarlarda bilimsel olarak GDO' lu buğday çalışmaları sürmektedir, ancak tarımsal olarak üretimi yapılan ve insanların beslendiği herhangi bir GDO' lu buğday çeşidi mevcut değildir.

Sonuç olarak; kamyonda bir pazarlama tekniği olarak sunulan ata buğday popülizmi, zaman zaman bilimsel çalışmaların önüne geçmektedir. İlk buğdaylardan günümüze kadar birbirinin devamı olan modern çeşitlere olan önyargının ortadan kalkmaması ve tüketicinin güven duygularının istismar edilmemesi için doğru ve sürekli bilgilendirme önem taşımaktadır.

REFERANSLAR

- Akman, H. (2025). Cultivated ancient wheat species: A potential for wheat based products and crop trait improvement. *Advances in Veterinary and Agricultural Sciences, Book Chapter*, 399-407.
- Aktaş, H., Karaman, M., Erdemci, İ., Kendal, E., Tekdal, S., Kılıç, H. ve Oral, E. (2017). Sentetik ve modern ekmeklik buğday genotiplerinin (*Triticum aestivum* L.) verim ve kalite özelliklerinin karşılaştırılması. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*. 3(1), 25-32, 10.24180/ijaws.309693
- Altındal, D. ve Akgün, İ. (2015). Bitki genetik kaynakları ve tahıllardaki durumu. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 12(1), 147-153
- Anonim, (2025). <https://capitalpress.com/2025/09/24/colorado-farmers-bioceres-to-develop-hb4-wheat-commercially/> (Erişim tarihi: 02.02.2026), <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/crop/default.asp?CropID=25&Crop=Wheat> (Erişim tarihi: 02.02.2026)
- Arzani, A. ve Ashraf, M. (2017). Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health-beneficial food products. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 16, 477-488.
- Arzani, A. (2011). Emmer (*Triticum turgidum* spp. *dicoccum*) flour and breads. In *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2011; pp. 69-78.
- Atar, B. (2017) Gıdamız buğdayın geçmişten geleceğe yolculuğu. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 2(1): 1-12.
- Atar, B. ve Kara, B. (2017). Comparison of grain yield and some characteristics of hulled, durum and bread wheat genotypes varieties. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(2), 159-163.
- Atsan, T. ve Kaya, T. E. (2008). Genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) tarım ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 1-6.

- Bayraç, A.T., Kalemtaş, G., Baloğlu, M.C. ve Kavas, M. (2014). Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar: 3. Basım. 25-40, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2014.
- Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E. ve Prandi, B. (2018). Current trends in ancient grains-based foodstuffs: insights into nutritional aspects and technological applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17, 123–136
- Bushuk, W. ve Rasper, V.F. (1994). Wheat: Production, Properties and Quality; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, 1994.
- Chantret, N., Salse, J., Sabot, F., Rahman, S., Bellec, A., Laubin, B., Dubois, I., Dossat, C., Sourdille, P., Joudrier, P., et al. (2005). Molecular basis of evolutionary events that shaped the hardness locus in diploid and polyploid wheat species (*Triticum* and *Aegilops*). *Plant Cell*, 17, 1033–1045.
- Consortium, I.W. (2014). A chromosome-based draft sequence of the hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) genome. *Science*, 345, 1251788.
- Çelik, C., Muslu, M. ve Özkam, Ö.P. (2018). Genetiği değiştirilmiş organizmalar. *Sağlık Bilimleri ve Yaşam Dergisi*, 3(1), 1-9.
- Çetinkaya, P.G., Soyer, Ö. U. ve Şahiner, Ü. M. (2015). Genetiği değiştirilmiş organizmalar ve alerji arasındaki ilişki. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 58, 166-170.
- Diamond, J. (1997). Location. The first farmers. *Science*, 278, 1243-1244.
- Doğan, İ. (2024). Bazı yerel buğdayların morfolojik, fizyolojik ve kalite özellikleri bakımından karakterize edilmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 73s, Bursa.
- DiCagno, R., Barbato, M., Di Camillo, C., Rizzello, C.G., De Angelis, M., Giuliani, G., De Vincenzi, M., Gobbetti, M. ve Cucchiara, S.J. (2010). Gluten-free sourdough wheat baked goods appear safe for young celiac patients: A pilot study. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, 51, 777–783.
- Ehdaie, B. ve Waines, J.G. (1989). Genetic variation, heritability and path-analysis in landraces of bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica*, 41, 183-190,
- Elpe, S. (2021). Genetiği değiştirilmiş organizmalar insan sağlığı ve çevre için güvenli mi? *Journal of Medical Sciences*, 2(4), 10-19.
- Ergin, I. ve Karababa, A. (2011). Genetiği değiştirilmiş organizmalar: Sağlığa zararlarını kanıtlamak neden zor? Sorunlar ve riskin ipuçları. *Türkiye Halk Sağlığı Dergisi*, 9:2, 113-122.
- Escarnot, E., Dornez, E., Verspreet, J., Agneessens, R. ve Courtin, C.M. (2015). Quantification and visualization of dietary fibre components in spelt and wheat kernels. *J. Cereal Sci.*, 62, 124–133
- Feldman, M., Sears, E.R. (1981). The wild gene resources of wheat. *Sci. Am.*, 244, 102–113.
- Feldman, M. ve Levy, A. (2005). Allopolyploidy-A shaping force in the evolution of wheat genomes. *Cytogenet. Genome Res.* 109, 250–258.
- Genç, İ., Koç, M. ve Barutçular, C. (1994). Yerel buğday çeşitlerimiz gen kaynağı olarak gerçekten önemli mi? Türkiye I. Tarla Bitkileri Kongresi 25-29 Nisan 1994, 244-246.
- Gökgöl, M. (1935). Türkiye Buğdayları I. T.C. Tarım Bakanlığı İstanbul-Yeşilköy Tohum Islah Enstitüsü Yayını No: 7
- Gökgöl, M. (1939). Türkiye Buğdayları II. T.C. Tarım Bakanlığı, Yeşilköy Tohum Islah Enstitüsü Yayın No. 14, Tan Basımevi, İstanbul

- Gomez-Becerra, H.F., Erdem, H., Yazici, A., Tutus, Y., Torun, B., Ozturk, L. ve Cakmak, I. (2010). Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *J. Cereal Sci.* 52, 342–349.
- Gustafson, P., Raskina, O., Ma, X. ve Nevo, E. (2009). Wheat evolution, domestication, and improvement. In *Wheat: Science and Trade*; Wiley: Danvers, MA, USA, 5–30.
- Hidalgo, A. ve Brandolini, A.J. (2014). Agriculture. Nutritional properties of einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 94, 601–612.
- Gül H. ve Özkan, H. (2025). Evaluation of the impact of fig (*Ficus carica* L.) seed flour on the physicochemical, textural and sensory attributes of gluten-free muffins. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology*, 82(1), 119-134., 10.15835/buasvmcn-fst:2025.0003.
- Güngör, E. ve Demiryürek, K. (2021). Türkiye’de genetiği değiştirilmiş organizmalar. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 140-154
- Hajjar R ve Hodgkin T. (2007). The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica*, 156, 1-13.
- Haspolat, I. (2012). Genetiği değiştirilmiş organizmalar ve biyogüvenlik. *Ankara Üni Vet Fak Der*, 59, 75-80.
- Hayit, F. ve Gül, H. (2017). Çölyak ve çölyak hastaları için üretilen ekmeklerin kalite özellikleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 163-169.
- Heun, M., Schafer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B. ve Salamini, F., (1997). Site domestication of einkorn wheat identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278, 1312–1314.
- İlbaşı, A. İ. (2009). Organik Tarım, İlkeler ve Ulusal Mevzuat. Eflatun yayınevi, Genel Yayın No:11, ISBN: 978-605-4160-08-2.
- İlhan, D. (2017). Bitki biyoteknolojisinde genetik kaynakların önemi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), 134-144.
- Ikanovi’c, J., Popovi’c, V., Jankovi’c, S., Živanovi’c, L., Raki’c, S. ve Don’ci’c, D.J.G. (2014). Khorasan wheat population researching (*Triticum turgidum*, ssp *turanicum* (mckey) in the minimum tillage conditions. *Genetika*, 46, 105–115.
- Kan M., Küçükçongar M., Keser M., Morgounov A., Muminjanov H., Özdemir F. ve Qualset C. (2015). Wheat landraces in farmers' fields in Turkey: National Survey, Collection and Conservation, 2009-2014, FAO publication, 178 p
- Kara, B. ve Akman, Z. (2008). Comparison of yield and some quality components of wheat cultivars and landraces. *Turkish Journal of Field Crops*, 13, 2-23.
- Khan, K. ve Shewry, P.R. (2009). *Wheat: Chemistry and Technology*; AACCC Inter. Eagan, MN, USA, 2009.
- Koç, E., Akın, B. ve Olgun, M. (2020). Modern ve yerel buğdayların bazı önemli özelliklerindeki uzunluk varyasyonlarının biyolojik verim ve hasat indeksi üzerine etkileri. *Research Journal of Biology Sciences*, 14(2), 87-97.
- Koenig, A., Konitzer, K., Wieser, H. ve Koehler, P. (2015). Classification of spelt cultivars based on differences in storage protein compositions from wheat. *Food Chem.*, 168, 176–182.
- Kulaç İ., Ağirdil Y. ve Yakın M. (2006). Sofralarımızdaki tatlı dert, genetiği değiştirilmiş organizmalar ve halk sağlığına etkileri. *Türk Biyokimya Dergisi*, 31(3), 151-155.

- Lage, J. ve Trethowan, R.M. (2008). CIMMYT's use of synthetic hexaploid wheat in breeding for adaptation to rainfed environments globally. *Australian Journal of Agriculture Research*, 59, 461-469.
- Lev-Yadun, A., Gopher, A. ve Abbo, S. (2000). The Cradle of agriculture. *Science*, 288, 1602-1603
- Ling, H.-Q., Zhao, S., Liu, D., Wang, J., Sun, H., Zhang, C., Fan, H., Li, D., Dong, L. Ve Tao, Y. (2013). Draft genome of the wheat A-genome progenitor *Triticum urartu*. *Nature*, 496, 87-90.
- Mago, R., Till, B., Periyannan, S., Yu, G., Wulff, B. B. ve Lagudah, E. (2017). Generation of loss-of-function mutants for wheat rust disease resistance gene cloning. *In Wheat Rust Diseases*, 1659, 199-205.
- Malalagoda, M., Meinhardt, S.W. ve Simsek, S. (2018). Detection and quantitation of immunogenic epitopes related to celiac disease in historical and modern hard red spring wheat cultivars. *Food Chem.*, 264, 101-107.
- Moghaddam, M., Ehdaie, B. ve Waines, J.G. (1997). Genetic variation and interrelationship of agronomic characters in landraces of bread wheat from southeastern Iran. *Euphytica*, 95, 361-369
- Morgounov, A., Keser, M., Kan, M., Küçükçongar, M., Özdemir, F., Gummadov, N. Ve Qualset, C.O. (2016). Wheat landraces currently grown in Turkey: distribution, diversity and use. *Crop Science*, 56, 3112-3124. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0192>
- Mujeeb-Kazi, A., Rosas, V. ve Roldan, S. (1996). Conservation of the genetic variation of *Triticum tauschii* (Coss.) Schmal. (*Aegilops squarrosa* auct. non L.) in synthetic hexaploid wheats (*T. turgidum* L. s.lat., *T. tauschii*; 2n = 6x = 42, AABBDD) and its potential utilization for wheat improvement. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 129-134.
- Nesbitt, M ve Samuel, D. (1996). From staple crop to extinction? The archaeology and history of the hulled wheat. In: Padulosi S, Hammer K, Heller J (eds) Hulled wheats, promoting the conservation and used of underutilized and neglected crops. IPGRI, Rome, pp 40-99.
- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., Atlı, A. (2016a). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233.
- Özberk, İ., Atay, S., Altay, F., Cabi, E., Özkan, H., Atlı, A. (2016b). Türkiye'nin Buğday Atlası". Türkiye. Büyük Postane Cad. No:19, İstanbul. ISBN: 978-605-9903-07-3.
- Özcan, S. (2009). Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: genetiği değiştirilmiş (Transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 2, 1-34.
- Özkan, H., Willcox, G., Graner, A., Salamini, F. ve Kilian, B. (2010). Geographic distribution and domestication of wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 11-53.
- Peng, J.H., Sun, D. ve Nevo, E. (2011). Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Mol. Breed.*, 28, 281-301.
- Petersen, G., Seberg, O., Yde, M. ve Berthelsen, K. (2006). Phylogenetic relationships of *Triticum* and *Aegilops* and evidence for the origin of the A, B, and D genomes of common wheat (*Triticum aestivum*). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 39, 70-82.

- Poutanen, K.J. (2012). Past and future of cereal grains as food for health. *Trends Food Sci. Technol.*, 25, 58-62.
- Prandi, B., Tedeschi, T., Folloni, S., Galaverna, G., Sforza, S. (2017). Peptides from gluten digestion: A comparison between old and modern wheat varieties. *Food Res. Int.*, 91, 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.03>
- Ribeiro, M., Rodriguez-Quijano, M., Nunes, F.M., Carrillo, J.M., Branlard, G., Igrejas, G. (2016). New insights into wheat toxicity: Breeding did not seem to contribute to a prevalence of potential celiac disease's immunostimulatory epitopes. *Food Chem.*, 213, 8-18.
- Ribeiro, M. ve Nunes, F.M. (2019). We might have got it wrong: Modern wheat is not more toxic for celiac patients. *Food Chem.*, 278, 820-822.
- Rodríguez-Quijano, M., Vargas-Kostiuk, M.E., Ribeiro, M. ve Callejo, M.J. (2019). *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* and ssp. *spelta* cultivars. 1. Functional evaluation. *Eur. Food Res. Technol.*, 245, 1561-1570.
- Roucou, A., Violle, C., Fort, F., Roumet, P., Ecnart, M. ve Vile, D. (2017). shifts in plant functional strategies over the course of wheat domestication. *Journal of Applied Ecology*, 55 (1), 25-37. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13029>
- Sağır, F. ve Kara, B. (2021). Eski ve son yıllarda tescil edilmiş bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin tane verimi ve başak özelliklerinin karşılaştırılması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 10(2), 36-42.
- Sousa, T., Ribeiro, M., Sabença, C. ve Igrejas, G. (2021). The 10,000-Year success story of wheat! *Foods*, 10(9), 21-24. <https://doi.org/10.3390/foods10092124>.
- Şanal, T. (2010). Bazı yerel buğday çeşitlerinin kalite parametreleri, *TÜRKTOB*, 38-44. <https://www.turktob.org.tr/dergi/makaleler/dergi23/38.pdf>.
- Şehrali, S., Özgen, M. (2007). Bitki Islahı, *Ankara Üni. Ziraat Fak Yayın No:1553*, 263 s. ISBN: 975-482-569-6.
- Shewry, P.R. (2018). Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? *J. Cereal Sci.* 2018, 79, 469-476.
- Tanksley, S.D. ve McCouch, S.R. (1997) Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild, *Science*, 277, 1063-1066. <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5329.1063>
- Tosun, M. (2015). Mutasyon Islahı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 364 s, Erzurum
- Tuğay, M.E. (1996). Genel Bitki Islahı. *Gaziosmanpaşa Üni. Ziraat Fakültesi Ders Notları Serisi*. 162 s, Tokat.
- Venske, E., Dos Santos, R.S., Busanello, C., Gustafson, P. ve Costa de Oliveira, A. (2019). Bread wheat: A role model for plant domestication and breeding. *Hereditas*, 156, 16.
- Weiss, E. ve Zohary, D. (2011). The Neolithic southwest asian founder crops. Their biology and archaeobotany. *Current Anthropology*, 52,4, 237-254.
- William, A., Alain, B. ve Maarten, V.G. (2011). *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*; Lavoisier: 2, 852-879 Paris, France,
- Yılmaz, F. (2014). Bitkisel üretimde genetiği değiştirilmiş organizmalar ve ürünleri ile biyogüvenlik. *Kalkınma Bakanlığı*, 219s, 2014.
- Zohary, D., Hopf, M. Ve Weiss, E. (2012). *Domestication of plants in the old world: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin*; Oxford University Press on Demand: Oxford, UK, 2012.

Abiyotik Stres Koşullarında Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Bitki Gelişimindeki Rolü ve Önemi

Emine KARADEMİR¹

Çetin KARADEMİR²

- 1- Prof. Dr.; Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. eminekarademir@siirt.edu.tr
ORCID No: 0000-0001-6369-1572
1. Prof. Dr.; Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. cetinkarademir@siirt.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-6370-2427

GİRİŞ

Dünya nüfusu giderek artmakta ve 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Küresel gıda güvenliği son yıllarda ciddi bir endişe haline gelmiştir. Gelecekteki dünya nüfusunu besleyebilmek için tarımsal alanlarda ürün verimliliğini artırmak sürdürülebilir bir yaklaşımdır (Li ve ark., 2021). İklim değişikliği şu anda biyolojik çeşitlilik, türlerin yer değiştirmesi ve organizmaların çoğunun dağılımı ve metabolizması için en büyük tehdittir. Biyotik stresin ana nedeni olan bu iklim değişikliğinden bitkiler ve bunlarla etkileşim içindeki flora ve fauna da oldukça etkilenir. Bitkiler büyüme ve gelişme sürecinde genellikle farklı türde biyotik ve abiyotik streslerle karşılaşır. Çimlenme ile başlayan ve yaşlanmaya kadar geçen süreçte, bitki gelişiminin her aşaması bu streslere karşı oldukça savunmasızdır. Bitkiler, diğer primatlar gibi bağışıklık sistemine sahip olmasa da biyotik ve abiyotik streslere savunma sistemi/mekanizması olarak bilinen bir dizi yaklaşımlar sistemiyle yanıt verirler (Kumari ve Singh, 2021).

Savunma mekanizmaları, doğuştan gelen ve sistemik bir yanıt olarak kategorize edilir. Bitkiler, bu streslere karşı kendilerini korumak ve mücadele etmek için çeşitli yöntemler ve savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bu savunma mekanizmalarını ve sinyallerini anlayabilmek, bitkileri hastalıklardan ve zararlılardan korumaya yönelik yenilikçi yaklaşımları teşvik etmek için kritik bir öneme sahiptir, çünkü patojenler sürekli olarak bitki savunmasını aşmak için karmaşık yöntemler geliştirmektedir. Bitkilerin, farklı istilacıların saldırı biçimlerine göre biyotik strese karşı farklı tolerans mekanizmaları geliştirdikleri ve sergiledikleri bildirilmektedir (Kumari ve Singh, 2021). Tarımda başarı büyük ölçüde iklimle ilişkilidir ve tarım iklim değişikliğine karşı oldukça savunmasızdır. Dünyada ortalama yeryüzü sıcaklıkları, küresel iklim değişikliği nedeniyle artmaktadır. Büyüme için fizyolojik optimumun ötesindeki sıcaklıklar, bitkilerde sıcaklık stresine neden olarak bitki gelişimine, büyümesine ve üretkenliğine zararlı ve geri dönüşümü olmayan hasarlar vermektedir (Li ve ark., 2021). Abiyotik stresler, dünya çapında bitkisel ürünlerde verim kaybının birincil nedeni olarak bilinmekte olup, en fazla ürün elde edilen kültür bitkilerindeki ortalama ürün verimini %50'den fazla azaltmaktadır (Wang ve ark., 2004). Biyotik ve abiyotik stres sonucunda yaşanan stresin düzeyine, süresine ve şiddetine bağlı olarak bitkilerde meydana gelen ortalama verim kaybı %65-90'ı bulabilmektedir. Bitkilerin stresin olduğu andaki gelişme dönemleri de stresten etkilenme düzeyini etkileyebilmektedir. Bitkilerin büyümesi ve coğrafi dağılımı, tuzluluk, kuraklık, soğuk ve sıcaklık gibi bir takım abiyotik stresler nedeniyle ciddi bir şekilde sınırlanmaktadır. Küresel ısınmanın neden olduğu aşırı mevsimsel sıcaklık, dünya çapında ürünlerin normal bir şekilde büyümesini ve verimini önemli ölçüde olumsuz etkilemekte ve bozmakta, bu da gıda güvensizliğini

ve yetersiz beslenmeyi daha da şiddetlendirmektedir. Mevsimsel sıcaklıklardaki 1°C'lik bir artışın, tropikal ve subtropikal bölgelerde %2,5-16 oranında verim kayıplarına neden olabileceği belirtilmektedir (Battisti ve Naylor, 2009).

Sıcaklık stresinin bitkilerin büyümesi ve gelişimleri üzerinde önemli zararlı etkileri vardır. Sıcaklık stresini takip eden biyokimyasal ve fizyolojik sonuçlar, oksidatif stresi indükleyen reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı birikimine, proteinlerin yanlış katlanmasına ve agregasyonuna yol açarak proteinlerin geri dönüşümsüz denatürasyonuna ve membran geçirgenliğinin zarar görmesine ve raft bozulmasına neden olan lipid membran değişikliklerini içermektedir (Lippmann ve ark., 2019). Ayrıca bitkilerde fotosentez sistemi sıcaklık stresine karşı oldukça hassastır. Yüksek sıcaklıklar, temel olarak fotosentez hızını azaltan orta dereceli stresten, fotosentez kapasitesini ortadan kaldıran kalıcı bozulmaya kadar değişen çeşitli hasar düzeylerine neden olmaktadır. Hareketsiz organizmalar olarak bilinen bitkiler, yakınlarındaki tehlikeleri hemen algılamakta, ancak zararlı ortamlardan kaçamadıkları için bu tehlikelere maruz kalmaktadırlar. Bitkiler, sıcaklık stresi altında hayatta kalabilmek için bir takım adaptif mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bitkilerin, stresi algıladıktan hemen sonra hücrel redoks dengesini ve homeostazı korumak için antioksidan kapasitelerini artırmak üzere metabolizmalarını değiştirdikleri belirtilmektedir (Nadarajah, 2020).

Absisik asit (ABA), brassinosteroidler (BR'ler), sitokinin (CK), oksin (Auksin), salisilik asit (SA), jasmonat (JA) ve etilen (ET) gibi klasik bitki büyüme düzenleyicileri, sıcaklığı da içeren çeşitli çevresel streslere cevap olarak bitki savunmasını düzenlemek amacıyla endojen sinyalleri ve çevresel uyarıcıları entegre eder. Sıcaklık stresinden önce veya paralel olarak bu hormonların dışsal (eksojen) uygulamaları, bitkileri sıcaklığa karşı daha fazla toleranslı hale getirir (El-Sabagh ve ark., 2022). Isı şoku proteinlerinin (Heat shock protein= HSP'ler) ekspresyonu ve birikmesi, proteinleri ısı kaynaklı geri dönüşü olmayan hasara karşı korumak için şaperonlar olarak geliştirilmiştir (Jacob ve ark., 2017; Ul Haq ve ark., 2019). Artan sıcaklığa yanıt olarak gen ekspresyonu değişiklikleriyle fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri koordine etmek için hücrel sinyalleşme basamakları ve transkripsiyonel aktivitelerin aktive edildiği bildirilmektedir (Qu ve ark., 2013). Fitohormonlar, bitki gelişimi, büyümesi ve savunma süreçlerinin hemen her alanında önemli rol oynayan içsel sinyal molekülleri olarak bilinmektedir (Küpers ve ark., 2020; Li ve ark., 2021). Son yıllarda yapılan araştırmalar, fitohormonların dışsal uygulanmasının ısının neden olduğu hasarı ve bitkilerde sıcaklık stresi toleransını iyileştirdiğini göstermiştir, bu durum fitohormonların bitkinin ısı stresine verdiği tepkiye aktif olarak katıldığını açıkça ortaya koymaktadır. Fitohormon biyosentez ve sinyal yolları esas olarak başlıca model bir bitki olan *Arabidopsis thaliana*'da kapsamlı bir şekilde aydınlatılmıştır. Bitki hormonunun aracılık ettiği ısı

tepkisinin altında yatan moleküler süreçlerin araştırılması, değişen iklime tepki olarak ısıya dayanıklı çeşitlerin üretilmesi ve tarımsal açıdan önemli ürün çeşitlerinin yetiştirilmesi için fırsatlar sağlayabileceği bildirilmektedir (Grover ve ark., 2013). Fitohormonlar, optimum ve stres koşulları altında bitkilerin büyümesini ve verimini yöneten çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin düzenlenmesinde rol oynar. Bu bitki büyüme düzenleyicilerinin etkileşimi, sinyal yollarını tetikledikleri için stresli ortamlarda bitkinin hayatta kalması için çok önemlidir. Hormonal çapraz düzenleme, bitki mimarisindeki fizyolojik süreçleri hassas bir şekilde ayarlayan ve bitkinin optimum olmayan büyüme koşullarında da büyümesine yardımcı olan bir dizi reaksiyon başlatır. Son zamanlarda, araştırmalar bitki büyüme düzenleyicilerinin, bitkilerin çevresel streslere karşı tepkilerindeki rolünü açıkça vurgulamaktadır (El-Sabagh ve ark., 2022). Bu fitohormonlara ve işlevlerine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

Absisik Asit (ABA)

Absisik asit 1960'ların başında keşfedilmiş ve tohumların uyku halinin kırılmasından sorumlu olduğu bildirilmiştir (Cornforth ve ark. 1965; Khan ve ark., 2024). Daha sonra yapılan araştırmalar bunun bitki gelişimi ve bitkilerde strese uyum tepkilerinde potansiyel rolü olduğu belirtilmiştir (Guschina ve ark., 2002). ABA, izopentenil difosfatın bir türevi olan karotenoidlerden metiliteritrol fosfat yoluyla plastidlerde üretilir. Sıklıkla "stres hormonu" olarak adlandırılan ABA, bir bitkinin strese dayanma yeteneğini artıran birçok süreci düzenlemede çok önemli bir rol oynar. ABA bitki büyümesi için hayati önem taşıyan bir fitohormondur. Stres hormonu olan ABA sıcaklık stresine karşı bitki toleransını artırır. Genel olarak ABA, bitkilerin tuzluluk, kuraklık, soğuk ve sıcak gibi stres koşullarına uyumunu koordine etmek amacıyla bitki büyümesini sınırlar (Suzuki ve ark., 2016). ABA tuz, düşük sıcaklık ve kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerine karşı cevap oluşturma konusunda etkili bir sinyal molekülüdür. Abiyotik stres faktörleri genellikle bitki dokularındaki ABA miktarını artırır ve böylece stresle ilgili bazı genlerin ekspresyonu ve stomaların kapanması sağlanmış olur. ABA'nın tohumun olgunlaşması ve dinlenmesi ile stomaların açılıp kapanması yoluyla bitki gövdesindeki suyun düzenlenmesi ve bir bitkinin çevresel streslere adaptasyonunda rol oynadığı bildirilmektedir (El-Sabagh ve ark., 2022). Su eksikliği koşullarında, ABA köklerde biyosentezlenir ve ksilem yoluyla yapraklara taşınır, böylece yapraklardaki konsantrasyonu artar. ABA'daki bu artış, bekçi hücrelerin hücre turgorunu düzenlemek için bir sinyal görevi görür (Awan ve ark., 2017). Stres altındaki bitki dokularında hormon miktarları değişim göstermekte ve sonuçta bitki büyümesi yavaşlamaktadır. ABA, bitki-su ilişkilerindeki işlevleriyle oldukça önemlidir. Ayrıca ABA, fizyolojik tepkilere kendi sinyali yoluyla aracılık etmekle kalmaz, aynı zamanda abiyotik streslere maruz kalan bitkilerde diğer bitki büyüme düzenleyicileri ile etkileşime girerek fizyolojik tepkileri de düzenlemektedir (He ve ark., 2018). ABA'nın prolin biyosentezi,

antioksidanlar, ROS detoksifiye edici enzimler, ısı şoku proteinleri ve doymamış yağ asitleri gibi bir dizi biyokimyasal savunmayı tetiklediğini ve harekete geçirdiğini ve ayrıca bitkilerde olumsuz etkileri önlemeyi sağlayan kutiküler mum tabakayı güçlendirdiği bilinmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007; Lee ve Suh, 2015; El-Sabagh ve ark., 2022). ABA bitkilerde kuraklığa uyumu iyileştirir. ABA'nın eksojen (dışarıdan) uygulanmasının, bir transkripsiyonel hafızayı hazırlayarak Arabidopsis direncini kuraklıkla tetiklenen dehidrasyon stresine karşı daha hızlı ve etkili hale getirdiği bildirilmiştir (Virlouvet ve ark., 2014). ABA'nın, potasyum iyon (K⁺) akışını değiştirdiği ve böylece bitkilerin kuraklık stresi altında stomaların kapanmasını sağladığı bilinmektedir. Araştırmalar absisik asidin henüz tam olarak bilinmeyen bazı faktörler aracılığıyla klorofil miktarının azalmasını, kloroplastlarda fonksiyonel ve yapısal değişikliklerin gerçekleşmesini ve fotosentez ürünlerinin birikim, taşınım ve dağıtım mekanizmalarını da etkilediğini ve böylece kuraklık stresi altında fotosentez mekanizmasının düzenlenmesinde etkin rol oynadığını göstermektedir. ABA, birikimi gen anlatımı değişikliklerine yol açmakta ve kuraklık stresi esnasında metabolizmanın yeniden yapılandırılmasında önemli rol oynamaktadır. ABA seviyesindeki geçici artışların, genlerin ifadesinin indüklenmesi, koruyucu proteinlerin birikimi, antioksidantların seviyesinin artması ve enerji tüketim yollarının baskılanması gibi çok sayıda değişikliğe yol açtığı bilinmektedir.

ABA strese uyum sağlanmasında gerekli olan birtakım fizyolojik, moleküler ve gelişimsel değişimlerin gerçekleşmesinde etkili bir kimyasal mesaj oluşturmada, bu nedenle bitkilerin değişen ortam koşullarına göre dokularındaki ABA miktarını sürekli ayarlamaları gerekmektedir. Bitki dokularındaki ABA miktarının soğuğa uyum sırasında geçici olarak arttığı dışarıdan uygulanan ABA'nın soğuğa uyumun yerini alabildiği (Chen ve Lawrence, 1983) bildirilmiştir. Bu genlerden bazılarının sadece düşük sıcaklığa, bazılarının ise sadece ABA'ya cevap olarak açıklandığı, bazı genlerin ifadesi için hem ABA'nın hem de düşük sıcaklığın etkisi gerekmektedir. Bu açıklamalar soğuğa uyumun tam sağlanması için, ABA'ya bağımlı ve ABA'dan bağımsız olan mekanizmaların koordinasyonunun gerekliliğini ve bu iki mekanizma arasındaki koordinasyonun kalsiyum iyonları ile sağlandığını düşündürmektedir. Bitki hücrelerindeki ABA ve kalsiyum iyonu miktarının düşük sıcaklık uygulaması sonucunda arttığı, ABA'nın dehidrasyon tolerans genlerini indükleyerek donma toleransının kazanılmasında etkili olduğu Xiong ve Zhu (2003) tarafından rapor edilmiştir. ABA sentezleyemeyen mutant bitkilerin soğuğa uyum gösterme yeteneklerinin daha az olduğu ve ABA'nın bazı genlerin ifadesi üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir. Belirli eşik seviyelerini aşan hava sıcaklıkları, aşırı oksidatif strese ve membran hasarına neden olur, bunlar da bitkinin fotosentetik ve transpirasyon etkinliğini azaltır. Isı şokunun, içsel ABA seviyelerinde hızlı ve geçici bir artışa neden

olduğu bildirilmektedir (Larkindale ve ark., 2005). ABA, antioksidan kapasiteyi artırmak için ROS seviyelerini artırarak ısı toleransı sağlar. ABA, ROS'u teşvik etmek için solunum patlaması oksidaz homologları (RBOH'ler) olarak bilinen bitki NADPH oksidazlarının (Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat Oksidaz) ekspresyonunu indükler. RBOH'lar plazma membran proteinleridir. ABA'nın dışsal uygulanması hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimini arttırır. H_2O_2 , ROS temizleyici enzimleri ve antioksidan maddeleri yükselterek ABA'nın neden olduğu termotoleransa aracılık eder. ABA üretimi olmayan ABA biyosentezi eksik olan mutant bitkilerde, ısı ile indüklenebilir H_2O_2 birikimi ortadan kalkar. Sonuç olarak, ABA eksikliği olan mutant bitkiler yeterli sıcaklık toleransı gösteremezler, ancak ABA'nın dışsal ilavesiyle sıcaklık toleransı bu bitkilerde geri döndürülebilir (Larkindale ve Knight, 2002). Benzer şekilde, ABA sentez inhibitörü ile muamele, bitkilerdeki ROS seviyelerini azaltarak ısı tepkisini bozar. ABA biyosentetik ve sinyal yollarının her ikisi de sıcaklık stresi tepkisinde yer alır. ABA sentetik mutantlarına ek olarak, ABA sinyal bileşenlerinde mutasyona sahip bitkiler, termotolerans oluşturmada başarılı olamaz ve ısı stresine karşı artan hassasiyet gösterirler (Larkindale ve ark., 2005).

ABA ayrıca bitkilerin ısı stresine daha hızlı ve verimli bir şekilde tepki vermesini sağlayan bir termo-hazırlık hormonu olarak da görev yapabilmektedir. ABA, çeşitli abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransına aracılık eder ve ayrıca farklı stres faktörlerine karşı hazır olmak için de gereklidir (Sah ve ark., 2016). Kuraklığın tetiklediği ısı toleransı için ABA gereklidir ve ABA eksikliği olan Arabidopsis mutant bitkilerinde veya ABA sentez inhibitörü ile muamele edilen uzun çayır bitkilerinde hazırlama etkisi tehlikeye girer (Zhang ve ark., 2019). ABA, bitkinin termal toleransını güçlendirmek için hızlandırılmış iletim ve artırılmış şeker metabolizması yoluyla karbonhidrat seviyelerini ve enerji durumunu ayarlayabilir (Santiago ve Sharkey, 2019). Sukroz taşıyıcıları, sukroz sentaz ve invertaz gibi sukroz taşınması ve metabolizmasında yer alan genlerin ekspresyonu, ısı stresi altında ABA tarafından aktive edilir. Bununla birlikte, sakaroz tek başına enerji sağlayarak veya düzenleyici bir sinyal görevi görerek bitkinin termal adaptasyonuna katkıda bulunabilir. Isı tepkileri sırasında gen ekspresyonunun indüksiyonu, protein üretimi ve ROS temizleme, yüksek enerji maliyetli süreçlerdir. Bu nedenle, ABA ve sukroz bitki ısı toleransını iyileştirmede sinerjistik etkiler gösterir. Du ve ark. (2024), ABA'nın bitki savunma tepkilerinin düzenlenmesindeki karmaşık rolünü incelemiştir. Biriken kanıtlar, ABA'nın patojen saldırısına yanıt olarak stomaların kapanmasını tetiklediğini ve bu olayın stoma bağıışıklığı" olarak bilindiğini göstermektedir. Bununla birlikte, patojenlerin stomaların kapanmasını sınırlamak için ABA sinyalini ele geçirdiği ve böylece bitki dokularına girişlerini kolaylaştırdığı, ABA'nın salisilik asit (SA), reaktif oksijen türleri (ROS) ve Kalsiyum sinyal yollarıyla etkileşime girdiği ve patojen saldırısına yanıt olarak stomaların kapanmasını düzenlediği bildirilmiştir.

Oksinler

Oksinler, sitokininlere benzer içsel büyüme düzenleyicileridir ve temel olarak kök-sürgün oluşumu ve göreceli büyümede rol oynarlar (Sachs, 2005). Çalışmalar, oksinlerin tohum olgunlaşması sırasında hücre döngüsü ilerlemesi, hücre genişlemesi, apikal baskınlık, yaprak gelişimi ve embriyonik gelişim gibi çeşitli hücresel veya fizyolojik süreçlerde sitokininlerle birlikte çalıştığını göstermiştir (Jurado ve ark., 2010). Oksinler çevresel stresler altında, bitki büyüme tepkilerini etkiler. Buna karşılık, bu tür çevresel değişikliklerden dolayı oksin homeostazındaki müteakip değişiklikler, bitkilerde çarpık büyüme ve gelişmeye neden olarak değişmiş morfogenezlere neden olabilir. Bu tür stres kaynaklı morfojenik tepkiler, çevresel streslerin zararlı etkilerini önlemeye yardımcı olan bir uyum stratejisidir (Potters ve ark., 2009). Genetik çalışmalar ve in vitro analizler, Auxin biyosentetik yollarının bir triptofandan (Trp) bağımsız ve dört Trp'ye bağımlı yola, yani indol-3-asetamid (IAM) yolu, indol-3-asetaldoksim (IAOx) yolu, triptamin (TAM) yolu ve indol-3-pirüvik asit (IPA) yolu olup, bunlar arasında TAM ve IPA yollarının bitki gelişimine katkıda bulunduğu bildirilmektedir (Taiz ve ark., 2015). Gibberellik aside benzer şekilde, oksinin reseptör proteini bir baskılayıcı proteindir ve çekirdekte lokalizedir, baskılayıcı proteinin bozunması, oksin tepki faktörlerinin oksin ile indüklenebilir genin promotör bölgesi ile bağlanmasına ve gen ekspresyonuna aracılık etmesine izin verir.

Hücre ortamında oksin homeostazı, dağılımı ve metabolizmasında rol oynayan çeşitli abiyotik stresler mevcuttur. Stres ortamları altında oksin dağılımındaki bu tür değişiklikler için iki moleküler mekanizma önerilmiştir; polar oksin taşınması için gerekli olan PIN gen ifadesindeki değiştiriciler ve strese maruz kalma sırasında biriken fenolik bileşikler yoluyla üretilen polar oksin taşınmasının inhibe edici etkisidir (Potters ve ark., 2009). Ayrıca, stres kaynaklı oksin metabolizması, peroksidazlar tarafından katalize edilen Indol Asetik Asit (IAA) bozunması ile düzenlenir. Oksinler, belirli strese duyarlı genlerin ekspresyonunu değiştiren, doğrudan veya dolaylı aracılığa sahip stres hormonları olarak kabul edilebilir; Oksinin bitkilerdeki çok yönlü işlevlerinden yanal köklerin oluşumu bitki gelişiminde, kök sisteminin mimarisinde, bitkinin stabilitesi ve tüm organizma için verimli besin ve su alımını düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bitkiler, daha yüksek ortam sıcaklıklarına adaptif bir tepki olarak, termomorfogenez adı verilen dramatik morfolojik ve mimari değişiklikler sergiler. Bitki hormonu olarak oksin, gövde (hipokotil) uzaması ve yaprak hiponastisi dahil olmak üzere ısı stresinin neden olduğu termomorfogenezde önemli bir rol oynar (Küpers ve ark., 2020). Isıyla indüklenecek büyüme tepkisi, nispeten daha düşük seviyede serbest IAA içeren bakteriyel IAA-lisin sentaz (iaaLys) genini eksprese eden oksin sinyal mutantlarında veya transgenik bitkilerde büyük ölçüde kısıtlanır. Buna bağlı olarak, ısı stresi altında yetiştirilen fidelerde oksin konsantrasyonu önemli ölçüde artar. Bununla birlikte, dışsal oksin

uygulamasını normal büyüme sıcaklıklarında hipokotil uzamasını tetiklemez, bu da oksin birikiminin gerekli olduğunu, ancak sıcaklık kaynaklı termomorfogenez için yeterli olmadığını düşündürür (Gray ve ark., 1998). PIN-LIKES (PILS) proteinleri, endoplazmik retikulumda (ER) lokalize olan ve hücre içi oksin dağılımını düzenleyen, çekirdekdeki oksin miktarını sınırlayarak oksin sinyal çıktısını kontrol eden oksin taşıyıcılarıdır (Sauer ve Kleine-Vehn, 2019). Bu proteinler arasında PILS6 sıcaklığa duyarlıdır; ısı şoku PILS6 protein düzeylerini azaltır ve bunun sonucunda hücre içi oksinin yeniden dağılımına ve oksin sinyal yanıtında artışa neden olur (Feraru ve ark., 2019). Oksin Yanıt Faktörleri (ARF'ler), oksine yanıt veren hipokotil uzamasında rol oynar ve oksine duyarlı genlerin ifadesini aktive eder. ARF eksikliği bulunan bitkiler, yüksek sıcaklıklara karşı azalmış bir yanıt sergiler (Reed ve ark., 2018).

HSP90, bitki termomorfogenez için gereklidir. HSP90 inhibitörünün uygulanması, ısı kaynaklı hipokotil uzamasını etkiler. HSP90, oksine yanıt veren genlerin uyarılması ve transkripsiyonel baskılayıcı Aux/IAA'ların tükenmesi için gereklidir. Oksin sinyal yolunda, Aux/IAA'lar, ARF'lerin transkripsiyonel aktivitesi ile etkileşime girer ve onları kısıtlar. HSP90 şaperon sistemi, oksin ko-reseptör F-box proteini TIR1'i yüksek sıcaklıklarda stabilize eder (Wang ve ark., 2016). Genetik araştırmalar, ısı stresine karşı gövde uzaması ve yaprak hiponasti tepkilerinin, temel sarmal-döngü-sarmal (bHLH) transkripsiyon düzenleyicileri Fitokrom Etkileşim Faktörü 4 (PIF4) ve PIF7'nin aktivitesini gerektirdiğini göstermiştir (Koini ve ark., 2009). Arabidopsis PIF ailesi, fitokrom fotoreseptörlerinden en az biriyle etkileşime girebilen sekiz üye, yani PIF1-8 içerir (Leivar ve Monte, 2014; Pham ve ark., 2018). Yüksek sıcaklık aracılı termomorfogenez, PIF4 ve PIF7 fonksiyon kaybı mutantlarında ortadan kaldırılmıştır. PIF4 ve PIF7 aktivitesi, heterodimerler oluşturarak birbirine bağlıdır, oysa diğer PIF'ler, eğer varsa, Arabidopsis ısı stresi tepkisinde ihmal edilebilir bir rol oynar. Yüksek sıcaklıklarda pif4 mutant bitkilerinde oksin seviyelerinin artmadığı saptanmıştır.

PIF'lerin ifadesi, bitkiler ısı stresine maruz kaldığında da indüklenir. Bir in vitro çalışma, PIF4'ün, oksin sentezinin hız sınırlayıcı bir enzimi olan YUCCA8 geninin promotör bölgesine doğrudan bağlandığını ve ekspresyonunu aktive ettiğini göstermiştir (Sun ve ark., 2012). Bu nedenle, PIF'ler, oksin biyosentez genlerinin ekspresyonunu kontrol ederek oksin aracılı termomorfogenezde önemli bir rol oynar. Ek olarak, PIF'ler ayrıca yüksek sıcaklık kaynaklı hipokotil büyümesini düzenlemek için oksin sinyal yolunun bileşenlerine gereksinim duyar. İlginç bir şekilde, kromatin değiştirici enzim Histon Deacetylation 9 (HDA9), yüksek sıcaklıklarda stabilize edilir. HDA9, H2A.Z tükenmesini teşvik etmek için YUCCA8 nükleozomlarında histon deasetilasyonuna aracılık eder ve son olarak PIF4 gibi bir transkripsiyon regülatörünün YUCCA8 promotörüne bağlanmasını kolaylaştırır. Fitokrom etkileşim faktörü 4 ayrıca fotomorfogenezde yer alır

(Choi ve Oh, 2016). Mavi ışık reseptörü kriptokrom 1 (CRY1), PIF4 ile fiziksel etkileşim yoluyla ve PIF4'ün transkripsiyon aktivitesini engelleyerek sıcaklığa bağlı hipokotil uzamasını baskılar (Ma ve ark., 2016). CRY1 ektopik ifade bitkilerinde ısı kaynaklı oksin tepkili gen ifadesi ortadan kalkmıştır. Termomorfogenez için potansiyel termosensör, phyB, PIF4'ü fosforile eder ve 26S proteazom yoluyla PIF4 protein bozulmasına yol açar (Huq ve Quail, 2002). Son zamanlarda, epidermal oksin yanıtının hipokotil büyüme fenotipi için çok önemli olduğu bildirilmiştir (Procko ve ark., 2016). Gerçekten de içsel PIF4 protein seviyeleri, özellikle epidermal hücrelerde yüksek sıcaklıklarla artmıştır. Vascular promotör altında değil de epidermise özel promotör altında PIF4'ün ectopic ekspresyon'u, pifs null mutantlarında ısı kaynaklı hipokotil büyümesini onarabilir, bu da epidermal PIF4'ün termomorfogenez için gerekli olduğunu gösterir (Kim ve ark., 2020). Hem oksin sentezi algısı hem de sinyal yolu, bitkilerde ısı kaynaklı termomorfogenezde yer alır; böylece oksin, küresel iklim değişikliği bağlamında ürün ve gıda üretkenliğini sağlamak için iklim açısından akıllı bitkiler üretme şansı sağlar.

Sitokininler

Sitokininler (CK), bitki büyümesinden, gelişmesinden ve farklı abiyotik streslere karşı toleranstan sorumlu bitkilerde çeşitli süreçlerde genellikle ABA antagonistleri ve oksin antagonistleri/sinerjistleri olarak kabul edilen anahtar bitki büyüme düzenleyicisidir. Sitokininler Oksinler ve ABA gibi diğer bitki hormonları ile etkileşime girerek, tuz stresi toleransını önemli ölçüde artırabilir (Iqbal ve ark., 2006). Bitki içsel CK'leri, bitkilerde daha az miktarda bulunan izoprenoid veya aromatik yan zincirlere sahip adenin türevleridir. İzoprenoid CK'ler, yan zincirin hidroksilasyonu ve indirgenmesine göre izopentenil adenin (iP), trans-zeatin (tZ), cis-zeatin (cZ) veya dihidrozeatin tipi türevler olarak ayırt edilebilir. İzoprenoid CK biyosentezinin hız sınırlayıcı adımı, izopentenil transferaz (IPT'ler) tarafından katalize edilir. Rivero ve ark. (2010), bir *Agrobacterium tumefaciens* izopentenil transferaz geni (IPT) taşıyan transgenik tütün üretmiştir. Benzer şekilde, *Phaseolus vulgaris*'ten yaşlanmayla ilişkili reseptör protein kinaz (SARK) geninin promotörü, IPT geninin önünde inşa edilmiştir. Bu transgenik bitkiler (PSARK::IPT), kayda değer düzeyde su stresi toleransı ile sonuçlanan, kuraklığın neden olduğu yaprak yaşlanmasına karşı daha toleranslıdır. Rivero ve ark. (2010) su stresi koşullarında yürüttükleri çalışmalarında, yabancı tip bitkilerde fotosentetik işleyişin bozulduğunu, transgenik bitkilerde fotosentezin etkilenmediğini ve fotosentetik proteinlerin bozulmadığını belirlemişlerdir. Su stresi sırasında, yabancı tip bitkilerde elektron transferi ve fotokimyasal sönmülemde önemli bir azalma, fotokimyasal olmayan sönmülemde ise belirgin bir artış gözlemlendiğini; bu durumun da PSII çekirdek komplekslerine enerji transferinde bir azalma ve döngüsel elektron transfer reaksiyonlarında bir artış olduğunu düşündürdüğü ileri sürülmüştür. Bu nedenle, sitokininlerin,

transgenik bitkilerde stres toleransına katkıda bulunan fotosentetik süreçleri koruyabildiğini belirtmişlerdir. Ek olarak, sitokinin sinyali üzerine yapılan son araştırmalar, bu hormonun gerçekten bitkilerin tuz stresi tepkilerinde yer aldığını öne sürmüştür. Sentetik CK'ler, bitkilerin kuraklıktan kaynaklanan değişiklikleri tersine çevirir ve normal büyüme-gelişme faaliyetlerine izin verir. Pek çok araştırma bulgusu, CK'lerin ozmotik stresler altında normal büyüme ve gelişmeyi desteklediğini ve bitkilerin kuraklığa tolerans yeteneğini geliştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, CK aracılı kuraklık toleransının kesin moleküler mekanizmasının henüz keşfedilmediği bildirilmiştir (El Sabagh ve ark., 2022).

Sistemik sitokinin düzeyleri ısı stresi toleransını olumlu etkiler. Yapılan çalışmalar, sıcaklığın CK tepkilerini düzenlediğini ve CK düzeylerinin bitkinin sıcaklık stresine uyum sağlama mekanizmalarında yer aldığını dair bulgular sunmaktadır (Pavlu ve ark., 2018). CK uygulaması, yüksek ortam sıcaklıklarına karşı artan bir direnç göstermiştir. Yapraklarında daha yüksek CK bulunan izole edilmiş genotipler yaz aylarında çiçeklenmeye ulaşabilir. Bu sonuç, CK'nin ısı stresine maruz kalarak gelişmekte olan çiçekler için koruyucu bir rolü olduğunu ve ürün üretimini artırmak için gelecekteki ürün ıslahı ve tarla bitkileri uygulamalarında önemli etkilerinin olabileceğini düşündürmektedir. CK uygulamalarının, sürünen bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.) üzerindeki ısı stresi hasarını azaltabileceği bildirilmektedir (Wang ve ark., 2012). CK, ısı stresi altındaki köklerde süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz ve guaiakol peroksidaz aktivitelerini indükleyerek antioksidan metabolizmayı artırır.

Sıcaklık stresi uygulaması, pirinçte salkım CK miktarını ve salkım başına başakçık sayısını azaltır. Bununla birlikte sıcaklık stresi, ksilem özü akış hızını ve CK taşınma hızını ciddi şekilde azaltır. Ksilem yoluyla CK yer değiştirmeleri ile başakçık sayısı ve CK içeriği arasında olumlu yönde önemli korelasyon vardır. CK uygulamaları, yüksek sıcaklıkların salkım farklılaşması ve başakçık oluşumu üzerindeki olumsuz etkisini hafifletir. CK oksidaz/dehidrogenaz inhibitörü uygulamasının *Arabidopsis* model bitkisinde sıcaklık stresi toleransı üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu bildirilmiştir (Prerostova ve ark., 2020). Ayrıca, *Agrobacterium tumefaciens*'ten CK biyosentetik geni izopenteniltransferazın (ipt) ektopik ifadesi, CK seviyelerini artırarak bitkinin sıcaklık stresine karşı toleransı ile sonuçlanır. Sıcaklık stresine yanıt olarak ipt transgenik hatlarının yaprak ve köklerindeki protein profillerini belirlemek için kantitatif bir proteomik analiz gerçekleştirilmiştir. İpt'nin ifadesi, enerji metabolizması, protein kompartımanları ve depolanması ile stres savunması gibi çoklu fonksiyonlarda yer alan protein değişikliklerine neden olmuştur. Isı stresine yanıt olarak transgenik bitkilerde değişen proteinlerin kimliği, bitkilerde CK tarafından düzenlenen ısı toleransının biyokimyasal ve moleküler mekanizmaları hakkında daha fazla bilgi sağlamaktadır. Sürgünler veya tüm bitkiler sıcaklık stresine maruz bırakıldığında, CK seviyelerinde çarpıcı bir

artış ve ABA seviyelerinde kısa süreli bir düşüş, dolayısıyla daha yüksek bir CK/ABA oranı gözlenmiştir. Isı stresine maruz kalan bitkilerde ABA seviyeleri sıkı ve dinamik kontrol altındadır. Bitkinin bir kısmına uygulanan ısı stresi, maruz kalmayan dokularda CK sinyal yolunun bileşenlerinin hızlı bir şekilde ifade edilmesini sağlar. Isı kaynaklı CK, fotosentez ve karbonhidrat metabolizmasında yer alan genlerin transkripsiyonunu aktive eder (Dobrá ve ark., 2015). Son zamanlarda, CK tarafından düzenlenen ısı stresi yanıt proteinlerini belirlemek için dışsal CK'nın varlığında ve yokluğunda yüksek sıcaklıklara yanıt olarak Arabidopsis bitkilerinin zarif bir proteomik çalışması yapılmıştır. Isıya duyarlı proteomun büyük bir kısmı, CK tarafından düzenlenmiş gibi görünmektedir; bu, ısı stresi ve CK sinyal yolunun birbirine bağlı olabileceğini ve CK'nin bitkilerde ısı sinyallemesine doğrudan dahil olabileceğini göstermektedir. Isı ve CK tepkisi proteomları, tercihen ısı stresi tepkisinde önemli bir rol oynayabilen kloroplastları hedef alır. Arabidopsis'te CaMV 35S promotörünün kontrolü altında mısır bitkisinden küçük bir HSP geni olan (ZmsHSP) izole edilmiştir, ZmsHSP'nin ekspresyon seviyesinin çeşitli dokular arasında farklılık gösterdiğini ve en yüksek seviyenin yapraklarda görüldüğünü, erken gelişim aşamasında daha düşük içsel CK içeriğine ve CK'ye karşı daha yüksek duyarlılığa neden olduğu bildirilmiştir (Cao ve ark., 2010). Sonuçlar mısırdaki ZmsHSP ekspresyonunun dehidrasyonla önemli ölçüde yukarı yönlü düzenlendiğini göstermiştir. CK, kloroplast fonksiyonu ve fotosentetik kabiliyeti geri kazanmak için uzun vadeli sıcaklık uyumu ve bitki gelişim programındaki değişiklikler sırasında önemli roller oynamaktadır (Escandón ve ark., 2016).

Salisilik asit (SA)

Fenolik endojen (içsel) büyüme düzenleyicileri arasında salisilik asit (SA), en yaşamsal büyüme düzenleyicilerinden biridir ve tüm bitki türlerinde karakterize edilmiştir. Salisilik asit (SA, 2-hidroksibenzoik asit), aromatik bir halkadan oluşan ve hidroksil grubu veya fonksiyonel türevini taşıyan, bitkiler tarafından sentezlenen çeşitli fenolik bileşikler grubundan biridir (Dempsey ve ark., 2011). Bu fenolik bileşiklerin tüm organizmalar için ortak olan kritik süreçler için gerekli olmadığı ve bu nedenle "ikincil metabolitler" kategorisine dahil edildiği bildirilmektedir (Hadacek ve ark., 2011). Bu fenolikler lignin biyosentezi, abiyotik streslere karşı tepkilerin düzenlenmesi, allelopati ve hastalık direnci dahil olmak üzere çeşitli bitki süreçlerinde yer almaktadır. SA'nın bitkilerin büyüme ve gelişiminin çeşitli yönlerini düzenlediği ve termogenezde ve hastalık direncinde önemli sinyal rolleri oynadığı gösterilmiştir (Vlot ve ark., 2009).

SA sinyallemesi, sistemik kazanılmış direnç (SAR) olarak bilinen patojen enfeksiyonuna karşı kalıcı, geniş spektrumlu bir hastalık direncine aracılık edebilir. Salisilik asidin bitki bağışıklık tepkilerini şekillendirmedeki rolleri iyi bir şekilde tanımlanmıştır (Gupta ve ark., 2024). Ek olarak, bir sinyal molekülü olarak SA, bitki solunumu ve metabolizması, tohum çimlenmesi, çiçek indüksiyonu, yaşlanma ve stres direnci gibi fizyolojik

süreçleri düzenler. SA ayrıca bitki yapraklarında stoma hareketini, fotosentetik pigment içeriğini, fotosentetik mekanizma performansını ve fotosentetik karbon asimilasyon enzim aktivitesini düzenleyebilir. Deneysel sonuçlar, SA'nın yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, tuz stresi ve ağır metal stresi gibi abiyotik stres altında bitki stres direncini uyarabileceğini göstermiştir (Hu ve ark., 2022). Bitkilerde bir dizi biyokimyasal ve fizyolojik sürecin düzenleyicisi olarak rolü tanımlanmıştır. SA'nın önemli bir büyüme düzenleyicisi olduğuna dair artan kanıtlara rağmen, özellikle köklerle ilgili olarak morfogenetik rolü nadiren incelenmiştir. Köklerde, SA içeriğinin ve gelişim sırasındaki dinamiklerin sürgünlerdekinden farklı olabileceği ve bunun da SA fonksiyonlarında farklılıklara yol açabileceği, örneğin, sürgünlerdeki SA seviyesinin, türe bağlı olarak köklerdekinden 2-100 kat daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Bagautdinova ve ark., 2022). SA konsantrasyonunun, pirinç, arpa ve soya fasulyesi ürünlerinin taze biyokütlesinde $1 \mu\text{g g}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir. SA, patojenlere karşı dayanıklı ve uzun süreli bağışıklık sağladığı için bitki bağışıklık sisteminin ana hormonu olarak kabul edilir. Çeşitli patojenlere karşı sistemik kazanılmış direncin indüklenmesine yardımcı olduğu için geniş çapta incelenmiştir (Misra ve Saxena, 2009). SA'nın termogenezi düzenlediği gösterildikten birkaç yıl sonra, hastalık direncini aktive etmek için önemli bir sinyal olduğu, mikrobiyal patojen enfeksiyonuna yanıt veren bitkilerin analizleri esnasında kanıtlanmıştır (Dempsey ve ark., 2011). SA, hastalık direncini aktive etmek için önemli bir sinyaldir. Bununla birlikte, tuzluluk ve ozmotik strese maruz kalan bitkilerde SA rolü, stresin yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak çeşitli bitki türlerinde belirsiz kalmıştır. Eşzamanlı olarak, SA dışsal uygulaması tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletmiştir (Horváth ve ark., 2007).

SA, bitki bağışıklığının farklı yönlerinde kritik rollere sahip, önemli bir bitki savunma hormonu olarak ortaya çıkmıştır (Zhang ve Li, 2019). SA bitki tarafından sentezlendiği veya dışarıdan uygulandığı zaman floem yoluyla bitkinin farklı organlarına ulaşarak bitki bünyesinde ilerler hem biyotik hem de abiyotik faktörlere karşı bitki toleransında merkezi bir role sahiptir. SA stomaların kapanması için gerekli olan koruyucu hücrelerin işleyişinde ve fotosentezde hayati bir rolü bulunmaktadır. Abiyotik strese maruz kalan bitkilerde, antioksidan aktivitenin artırılması, ROS seviyelerinin düşürülmesi ve bodur büyümenin eski haline getirilmesi gibi birçok olumlu etkisi tespit edilmiştir. Dışarıdan uygulanan SA, farklı streslerin olumsuz etkilerini hafifletir ve bitkilerin fotosentetik verimliliğini ve değişen çevre koşullarına uyumlarını geliştirir (Janda ve Ruelland, 2015; Aamer ve ark., 2022). SA, alüminyum, kadmiyum, soğuk, tuz, kuraklık, UV-B radyasyonuna maruz kalma, alkalilik, demir ve azot eksikliği gibi abiyotik streslere yanıt olarak köklerde de birikebilmektedir, bu da SA'nın abiyotik stres direncindeki rolünü yansıtır. Bazı durumlarda, stres kaynaklı SA, stres faktörüyle doğrudan temas eden kökte lokal olarak birikir, ancak aynı

zamanda toprak üstü dokuya da taşınabilir. Örneğin, arpada, SA kuraklığa yanıt olarak köklerde birikir, ancak sürgünlerde birikmez. Isı stresine maruz kalan üzümelerde, SA kademeli olarak köklerden sürgünlere ksilem yoluyla taşınır. Dışsal SA seviyelerindeki stres kaynaklı değişiklikler türe özgüdür (Bagautdinova ve ark., 2022).

SA, genellikle biyotik ve abiyotik strese karşı koruyucu mekanizmaları bağlamında ele alınır. Bu ikili işlevi sağlayan SA, tohum çimlenmesinden başlayarak kök uzamasına, kök dallanmasına ve adventif köklenmeye kadar kök gelişimini büyük ölçüde etkiler. Olumsuz bir ortamda optimum bitki büyümesini sağlamak için, bitkilerde büyüme-savunma dengesini kontrol eden farklı mekanizmalar geliştirilmiştir ve SA bu mekanizmalarda önemli bir rol oynar. SA ile tohum ön hazırlığı, abiyotik stresleri hafifletmek için güvenilir ve ekonomik bir yaklaşım haline gelmiştir. Tütün mozaik virüsü ile enfekte olmuş tütün bitkileri üzerinde yapılan bir çalışma, dışsal SA uygulamasının sinyal molekülü olarak etkisi yoluyla, bitkilerde virüs direncini olumlu yönde etkileyebileceğini ve bitki içinde genetik ve fizyolojik değişiklikleri teşvik edebileceğini göstermiştir (Zahoor ve ark., 2025). SA, diğer bitki hormonlarıyla birlikte kök büyümesini düzenler. Oksin (indol-3-asetik asit, IAA), ABA ve brassinosteroidler için de kök büyümesi üzerinde konsantrasyona bağlı etkiler gösterilmiştir. Mısırdaki düşük dozda IAA veya ABA, yalnızca hızlı büyüyen köklere sahip fidelerde kök büyümesini uyarır ve yavaş büyüyen köklere sahip fidelerde kök büyümesini engeller; bu da içsel hormon seviyelerinin yalnızca büyüme hızını değil, aynı zamanda hormonal uygulamalara yanıt olarak modifikasyon şeklini de belirleyebileceğini gösterir (Bagautdinova ve ark., 2022). Çeşitli işlevselliklere ve uygulamalara sahip çok yönlü bir fenolik bileşik olan SA, mantar patojenlerine karşı uzun süreli bağışıklık sağlayan hayati bir sinyal molekülü olarak kabul edilmiştir (Zahoor ve ark., 2025). Çalışmalar, SA'nın çeşitli sinyal iletim süreçlerini düzenlemede daha büyük bir etkinliğe sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin, PR1, PR2 ve PR5 dahil olmak üzere patojenezle ilgili (PR) genlerin ifadesinde önemli bir rol oynar (Ali ve ark., 2018). PR genleri, patojen istilasını azaltma yetenekleri nedeniyle ilgi çekici olduğundan, SA, sistemik kazanılmış dirençte (SAR) yer alan ana hormon olarak kabul edilir. 1960'larda SA, iki biyosentez yolu ile sinnamik asitten (CA) sentezlenmiştir. Bitkilerde SA biyosentez yolunu aydınlatma çabaları, iki farklı yol için kanıt ortaya çıkarmıştır: izokorismat (IC) yolu (Yol 1) ve fenilalanin amonyak liyaz (PAL) yolu (Yol 2). Bu yolların her ikisi de şikimat yolunun son ürünü olan korismattan kaynaklanır. Bununla birlikte, bugüne kadar biyosentez yollarının hiçbiri tam olarak tanımlanmamıştır (Dempsey ve ark., 2011).

SA yüksek sıcaklığın neden olduğu bitki büyümesindeki olumsuz etkileri ve fizyolojik hasarı azaltır. SA'nın bitkileri ısı kaynaklı hasara karşı korumadaki rolü yapılan araştırmalarda bildirilmiştir. Yonca (*Medicago sativa* L.) fidelerinde dışsal SA uygulaması, ısı şokunun neden olduğu

olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltmıştır. Isı stresinden önce SA uygulaması genellikle bitki büyümesini ve bitki boyu, biyokütle ve fotosentetik verimlilik gibi fizyolojik aktiviteleri iyileştirmiştir (Wassie ve ark., 2020). Buna göre SA, ısı stresinin neden olduğu zar hasarını azaltır ve katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) ve peroksidaz (POD) dahil olmak üzere antioksidan enzimlerin aktivitelerini modüle eder. Benzer şekilde, dışsal SA, fotosentez verimliliğini iyileştirerek ve antioksidanların indüklenmesiyle reaktif oksijen türlerinin temizlenmesini sağlayarak ısı toleransını artırır. SA'nin normal büyüme sıcaklıklarında fotosentez üzerinde çok az etkisi vardır. SA ön işlemi, fotosistem II fonksiyonunu ve ısı stresi altında daha yüksek Rubisco aktivitelerini koruyarak net fotosentez oranındaki azalışı hafifletir (Wang ve ark., 2010). Ek olarak, kloroplast HSP21 proteinleri, ısı şokuyla strese sokulduğunda hem yapay hem de SA ile muamele edilmiş yapraklarda daha yüksek seviyeler göstermiş, iyileşme süresi boyunca, SA ile önceden muamele edilmiş yaprak numunelerindeki HSP21 seviyeleri yüksek kalmıştır. SA sadece ısı stresi altında fotosentez oranlarındaki düşüşü azaltmakla kalmaz, aynı zamanda özellikle kloroplastta daha yüksek HSP21 şaperon seviyelerini muhafaza etmesi nedeniyle stres sonrası fotosentezin geri kazanılmasını kolaylaştırır. Isı stresi işlemi, dışsal SA uygulamasıyla daha da artan prolin üretimini indükler (Khan ve ark., 2013). Prolin üretimi, bitkilerin olumsuz koşullar altında hayatta kalmak için geliştirdiği adaptif bir yanıttır. Prolin bir antioksidan görevi görür. SA, prolin metabolize eden enzimlerin aktivitelerini inhibe ederken, prolin biyosentez enzimlerinin aktivitelerini önemli ölçüde artırır (Lv ve ark., 2011). SA kaynaklı fotosentez koruması ve ısı stresi altında SA kaynaklı prolin üretimi arasındaki korelasyon, SA uygulamasının, görünüşe göre daha yüksek bir prolin birikimini koruyarak ısı stresi kaynaklı oksidatif stresi iyileştirdiği izlenimi vermektedir.

Aksine, bir prolin biyosentez genini ektopik olarak eksprese ederek aşırı prolin üreten transgenik Arabidopsis bitkileri kullanılarak, artan prolin üretiminin ısı stresi altında bitki termotoleransını azalttığı bulunmuştur (Lv ve ark., 2011). Sıcaklık şokundan sonra Transgenik Arabidopsis'in büyümesi kontrol bitkilere göre daha şiddetli bir şekilde inhibe edilmiştir. İnhibitör etki, prolin üretimine bağlanır. SA kaynaklı içsel prolin birikimi ile bitkilerin ısı tepkisi üzerindeki transgen aracılı prolinin aşırı üretimi arasındaki tutarsızlık henüz net değildir. SA ile tohum ön hazırlığının tohumun çimlenmesi üzerindeki konsantrasyona bağlı etkisi, yani düşük SA konsantrasyonlarında artan çimlenme yüzdesi ve daha yüksek seviyelerde azalan bir yüzde buğday başta olmak üzere bazı bitkilerde yapılan deneylerde rapor edilmiştir. Aktifleştirici/inhibitör SA konsantrasyonlarının türe özgü olduğu, buğdayda ise çeşide bağlı olarak değişebildiği ve iki farklı çeşit için 10-20 μM /30 μM ve 500 μM /1 mM olduğu bildirilmiştir (Dolatabadian ve ark., 2009). SA konsantrasyonuna bağlı etki, olgunlaşmamış mısır embriyolarında da gösterilmiştir. SA tozlanmadan 25

gün sonra izole edilmiş mısır embriyolarının çimlenmesini uyarmıştır. Son zamanlarda, SA ve melatoninin eş zamanlı uygulamasının nane gibi dünya genelinde üretimi yapılan bazı aromatik bitkilerde oransal nem içeriğini ve antioksidan enzim aktivitesini olumlu yönde etkileyerek sıcaklık stresinin etkisini hafiflettiği bildirilmiştir (Haydari ve ark., 2019). Sonuçlar, küresel ısınmanın ardından bu alanlarda aşırı sıcaklıklardan olumsuz etkilenen alanların yönetiminde gelecekteki uygulamalar için değerlendirilebilir.

Brassinosteroidler (BR)

Brassinosteroidler (BR'ler), doğal ve stresli koşullar altında bitkilerde çeşitli fizyolojik ve gelişimsel süreçlerin düzenlenmesinde çeşitli rollere sahip doğal olarak oluşan polihidroksillenmiş bitki steroidleri olarak bilinmektedir. BR'lerin, bitkilerde çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri düzenlemede oksin, poliaminler, sitokinin, etilen ve jasmonik asit gibi diğer fitohormonlarla etkileşime girme yeteneği gösterdiği görülmüştür. Öte yandan, kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar ve ağır metal toksisitesi gibi çeşitli stres koşulları altında büyümeyi ve verimi artırmak için tarımda BR'lerin dışarıdan uygulanması son derece önemlidir, çünkü bu stresler bitkilerin normal metabolizmasını ciddi şekilde engellemektedir. Brassinosteroidler, bitki metabolizmasını değiştirerek ve bitkileri çevresel streslerden koruyarak ürün verimini artırmada benzersiz bir olanak sunan, geniş kapsamlı biyolojik aktiviteye sahip, doğal olarak oluşan bitki steroid bileşiklerinden oluşan bir gruptur (Sabagh ve ark., 2021). Bitkide hücre uzaması, hücre bölünmesi, fotomorfogenez, ksilem farklılaşması, büyüme ve üreme gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri düzenlerler (Nolan ve ark., 2020). BR'ler doğaları ve biyolojik aktiviteleri bakımından çeşitlidir. BR'ler arasında, brassinolide (BL) en aktif BR olarak belgelenmiş ve Brassica napus poleninden izole edilmiştir (Grove ve ark., 1979).

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, BR'lerin fizyolojik, hücresel ve moleküler süreçlerin (anter gelişimi, polen üretimi, gövde uzaması, vasküler farklılaşma, kök gelişimi ve selüloz biyosentezi) aracısı olarak rol oynadığı yönündedir. Ayrıca, BR hücresel düzeyde farklılaşmayı teşvik eder, hipokotil uzamasını, kök, sürgün ve yaprak gelişimini düzenler, yaşlanmayı geciktirir ve erkek kısırlığını azaltır. BR'ler, yaprak, gövde, kök, çiçek, polen, anter ve tohumlar gibi bitkilerin tüm organlarında bulunmaktadır (Manghwar ve ark., 2022). BR'nin, bitkilerin tüm büyüyen dokularında bulunduğu, ancak tohum, polen ve meyvede önemli ölçüde daha yüksek konsantrasyonların tespit edildiği de rapor edilmiştir. Ticari olarak bulunabilirliği nedeniyle, 24-epibrassinolid (EBR), ekzojen steroid fitohormonların bitkiler üzerindeki fizyolojik etkilerini incelemek için en yaygın olarak kullanılan BR'dir. BR'ler, taşınımının modülasyonu yoluyla oksinlerle yakından ilişkilidir; bitki organlarının tropik tepkilerini koordine eder ve yanal kök gelişimi sırasında yanal kök primordial oluşumunu teşvik eder (Li ve ark., 2005). Son yirmi yılda, BR sinyal iletim yolu kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve karmaşık bir yol olarak rapor edilmiştir. İletim yolu,

bitkilerin büyüme ve gelişmesinde kritik bir role sahiptir. Sinyal iletim yolu, plazma zarında bulunan bitkiye özgü lösün açısından zengin tekrar (LRR) reseptör kinazının hücre dışındaki BR'leri algıladığını göstermektedir.

Diğer bitki büyüme düzenleyicilerden farklı olarak, BR'ler, uzun mesafeli taşıma yerine sentezleyen hücrelere yakın bir şekilde kullanılır. Yine de BR'ler oksin gibi PH'lerle çapraz etkileşime girerek uzun mesafeli bir etki gösterir (Symons ve ark., 2008). BR metabolizması, hücrelerde istenen biyoaktif BR seviyelerini korumak için asilasyon, glikosilasyon ve sülfonasyon dahil olmak üzere çeşitli işlemleri içerir (Saini ve ark., 2015). BR sinyali, zara bağlı olan lösün açısından zengin tekrar reseptörü benzeri kinaz (LRR-RLK'ler) BRI1 tarafından başlatılır. BR'ler sinyali, kinazlar tarafından fosforilasyon kaskadının başlatılması ve baskılayıcı protein BIN2'nin bozunması ve dolayısıyla transkripsiyon faktörlerinin gen ekspresyonu için DNA bağlama elemanları ile bağlanmasına izin vermek üzere iki strateji kullanılmıştır. Böylece, sinyal iletimleri sırasında BRs sinyali de yükseltilir. Bu nedenle, normal veya stresli koşullar altında gelişim programlarını başlatmak için az miktarda BR yeterlidir. Çok sayıda çalışma, bitkilerde abiyotik stres toleransını dışsal BR uygulamasıyla belgelemiştir (Bajguz ve Hayat, 2009). Bununla birlikte, BR'lere diğer büyüme düzenleyicileri gibi minimum miktarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, dışsal BR uygulamasına bitkilerin tepkileri konsantrasyona bağlıdır. Yüksek bir BR uygulamasının bitki büyümesini engellediği bulunurken, daha düşük konsantrasyonlarda bunun tersi gözlenir (Chaiwanon ve Wang, 2015). Abiyotik stresler, oksidatif strese yol açan ROS oluşumunu artırırken, BR'ler stresli ortamlarda hücrel ROS seviyesini düzenlemeye yardımcı olur. Örneğin, sıcaklık ve tuz stresine maruz kalan *Brassica juncea* L. bitkilerine 28-homobrassinolide uygulaması, enzimatik antioksidan aktiviteleri ve ROS homeostazını arttırmıştır. Benzer şekilde, *Lycopersicon esculentum*'da BR'lerin uygulanması, optimal üstü sıcaklık kaynaklı fotosentez inhibisyonunu iyileştirmiş ve antioksidan sistemin karboksilasyonunu ve aktivitelerini arttırmıştır. Son zamanlarda, Fàbregas ve ark. (2018), BRL3'ün (vasküler BR reseptörü) aşırı ekspresyonunun, Arabidopsis'te büyümeyi sınırlamadan kuraklık tepkilerini desteklediğini, tuz stresi altındaki bitkilerde BR'lerin hafifletici etkilerini belgelemiş, BR'lerin hücrelerde NaCl birikiminin kısmen tersine çevrilmesinde rol oynadığı bildirilmiştir. Ayrıca, ürünlerdeki bazı kritik agronomik özelliklerin, bitki boyu, yaprak açısı ve çiçeklenme yapısı gibi özelliklerin BR'ler tarafından düzenlendiği saptanmıştır (Yang ve ark., 2018).

Araştırmalar, BR'lerin çok yönlü işlevlerinden dolayı güçlü PH'lar olduğunu göstermektedir ve BR'lerin anti-stres ajanları olarak önemli rolünü desteklemektedir. Mazorra ve ark. (2011), içsel brassinosteroid (BR) içeriğinin, iyon sızıntısı, lipid peroksidasyonu ve ısı şokundan sonra hayatta kalma oranını değerlendirerek ısı stresi toleransını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. BR eksikliği olan ve aşırı olan üretim fideleri, benzer termal

toleransı temsil etmekte, bu da termotoleransın BR homeostazından bağımsız olduğunu, ancak BR sinyali ile aynı yönde olduğunu göstermektedir. İlkbahar arpasında (*Hordeum vulgare* L.), ısı stresi HSP'lerin ifadesini artırır. Yabani tip bitkilerle karşılaştırıldığında, HSP grubunun proteinleri, ısı stresi altında BR eksikliği olan veya BR sinyali veren mutantlarda daha az üretilmiştir. İlginç bir şekilde, BR ile indüklenen HSP90 proteini, BR sinyal yolunun iki homolog transkripsiyon faktörü, BRI1-EMS baskılayıcı 1 (BES1) ve brassinazole dirençli 1 (BZR1) ile etkileşime girer. BR uygulaması, temel termotoleransta önemli bir artışa yol açar.

Translasyon mekanizmasının translasyon başlatma ve uzama faktörleri, BR uygulanmış fidelerde önemli ölçüde daha yüksek seviyelerde mevcuttur. In vivo protein sentezi analizi, BR ile muamele edilmiş bitkilerde artan HSP birikiminin daha yüksek protein sentezinden kaynaklandığını ortaya çıkarmıştır (Dhaubhadel ve ark., 2002). Isı stresi, Arabidopsis transkripsiyon faktörleri bZIP17 ve bZIP28'in ER zarından çekirdeğe translokasyonunu tetikler ve burada ER şaperonu ve BR sinyal gen ekspresyonunu aktive ederler. Düşük ROS seviyeleri, ikinci sinyaller olarak hizmet edebilir ve bu nedenle bitki stres tepkisinde düzenleyici bir rol oynayabilir. Antioksidan enzimlerin ekspresyonu ve aktivitesi, ısı stresi altında dışsal BR işlemi ile indüklenir. ABA gibi, domateste (*Solanum lycopersicum* L.) BR uygulaması da yaprak apoplastında RBOH1 gen ekspresyonunda ve H₂O₂ birikiminde artışa, RBOH1'in virüs kaynaklı gen susturması, H₂O₂ birikiminin azalmasına ve ısı stresi toleransının bozulmasına neden olmuştur. RBOH1 tarafından üretilen H₂O₂, MPK2'yi aktive eder ve bu da RBOH1 gen ekspresyonunu artırır (Zhou ve ark., 2014). Bu nedenle, BR tarafından düzenlenen ısı stresi toleransı, RBOH1, H₂O₂ ve mitojenle aktive olan protein kinaz 2 (MPK2) arasında pozitif bir geri besleme döngüsü içerir. Bununla birlikte, BR'nin RBOH1 gen ekspresyonunu indüklediği moleküler mekanizma net değildir. Brassinazole-dirençli 1, BR sinyal yolunun önemli bir transkripsiyon faktörüdür (He ve ark., 2005). Isı stresinin ardından BZR1, büyümeyi teşvik eden genlerin ekspresyonunu düzenlediği çekirdekte birikir. BR-reseptör protein kinaz BRI1, yüksek sıcaklıklara karşı kök tepkisini düzenler. Yükseltilmiş ortam sıcaklıkları, BR sinyallesini azaltmak ve kök uzamasını hızlandırmak için transkripsiyon sonrası seviyede BRI1 seviyelerini özellikle etkiler.

Etilen (ET)

ET'nin bitki stresindeki rolü çok iyi bilinmektedir, büyümeden ziyade stres direncini destekleyerek stres toleransını artırır (Rasool, 2022). Etilen bitkilerde bulunan gaz halindeki bir fitohormondur (Joo ve Kim 2007). En basit olefin gazıdır ve bitkiler tarafından bitki gelişiminin, büyümesinin, biyotik ve çevresel streslere tepkinin çeşitli yönlerini düzenlemek için sentezlenir (Binder, 2020). ET biyosentezi, metiyoninin S-adenozil-metiyonine (SAM) enzimatik dönüşümü ile başlar. Tohumların çimlenmesi, çiçeklerin gelişmesi, meyvelerin olgunlaşması ve çevresel uyaranlara karşı

bitki tepkilerinin tetiklenmesi gibi birçok hayati morfo-fizyolojik süreçte yer alır. Ayrıca ET, ısı, kuraklık, üşüme, tuzluluk, ağır metaller, su tutma, sel gibi abiyotik streslere maruz kalan bitkilerin çeşitli biyokimyasal tepkilerini düzenler (Awan ve ark., 2017. Örneğin, Arabidopsis ve *Medicago truncatula*'da yüksek ET düzeyi ile donma ve soğuk stresi arasında yakın bir ilişki gözlenmiştir (Shi ve ark., 2012). Yüksek ET seviyeleri, tuza dayanıklı Arabidopsisde olduğu gibi tuz stresi toleransına yardımcı olur. Bitkilerin patojen saldırısına, dış mekanik yaralanmaya, UV ışınlarına ve besin eksikliğine verdiği tepkiyi değiştirmede önemli rol oynar. ET biyosentezi birçok durumda hasara/mekanik yaralanmaya yanıt olarak bildirilmiştir (Kendrick ve Chang, 2008). Etilen, yaprak ve çiçek yaşlanması sırasında salınımı arttığı için yaşlanmayı teşvik eden bir fitohormon olarak kabul edilir. Moleküler düzeyde, etilenin organize hücre parçalanmasında ve yaşanan yapraklardan diğer organlara besin geri dönüşümünün aktivasyonunda rol oynadığı bildirilmiştir (Panozzo ve ark., 2025).

Yüksek sıcaklık stresi sırasında, ET algısı, endoplazmik retikulum zarında bulunan etilen reseptörleri (ETR'ler) aracılığıyla sağlanır (Ju ve Chang, 2012). Bu, daha sonra ET'ye duyarlı genlerin transkripsiyonel düzenlenmesine yol açan bir sinyal kaskadını başlatır. ET biyosentezi, abiyotik strese maruz kalan bitkilerde çeşitli bitki dokularında, solmakta olan çiçeklerde ve olgunlaşan meyvelerde ölçülmüştür (Kendrick ve Chang, 2008). ET biyosentezinin altında yatan mekanizma, ET'nin öncüsü olan ve genellikle çeşitli ürünlerde ve meyve ağaçlarında yüksek konsantrasyonlarda sentezlenen S-Adenozil metiyonin (SAM) ile başlatılır. 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit (ACC) sentaz adı verilen bir enzim, SAM'ı ACC'ye ve daha sonra L-metionine geri dönüştürülen metiltiyoadenozini (MTA) dönüştürmek için ilk zincir reaksiyonunu katalize eder. Bu geri dönüşüm sayesinde, L-metiyonin seviyeleri, etilen biyosentezi zirvedeyken bile değişmeden kalır. ET biyosentez yolu, son derece kararsız olan ve biyosentez hızını sınırlama eğiliminde olan ve dokularda, çiçeklerde ve meyvelerde etilen seviyeleri ile orantılı olarak yükselen ACC sentaz enziminden etkilenir. Patojen istilasına yanıt olarak bitkiler, belirli hastalıkların büyümesini engelleyen önemli bir düzenleyici olan ET'yi salgırlar; bu, patojene duyarlı genlerin transkripsiyonunu değiştirerek gerçekleşir (Zahoor ve ark., 2025).

Jasmonatlar (JA)

Jasmonatlar, jasmonik asitler (JA'lar), jasmonik asit metil ester (JAME), JA'ların öncüsü gibi çeşitli bileşikler kapsayan geniş bir gruptur; oktadekanoid cis (+) 12 oksofitodienoik asit (OPDA), amino asit konjugatları ve 12-OH-JA ve 11-OH-JA gibi metabolitler ve genellikle bu bileşikler, biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki tepkilerinde yer alır. Jasmonik asit veya JA/MeJA, çeşitli bitki stres reaksiyonlarında önemli bir sinyal bileşiği olarak işlev görür. JA'in, ozon, tuz, yüksek sıcaklık, soğuk, UV, ağır metal ve kuraklık stresi gibi abiyotik streslerin zararlı etkilerini en

aza indirmede rol oynadığı bildirilmiştir (Dar ve ark., 2015). JA'lar, çiçeklenme, meyve verme, yaşlanma ve ikincil metabolizma dahil olmak üzere çeşitli bitki gelişim süreçlerinde hayati bir rol oynar. Bunların bitki savunmasında ve abiyotik stres tepkisinde kritik öneme sahip olduğu bilinmektedir. JA, çeşitli fizyolojik süreçlerde ve stres koşullarında hem sinyal hem de düzenleyici olarak işlev gören lipit türevli bir fitohormondur. JA'nın metil esteri (MeJA), *Jasminium grandiflorum* çiçeklerinden koku verici olarak tespit edilen ve izole edilen ilk aktif jasmonattır (Ankit ve ark., 2023). Jasmonatlar bitki gövdesinin tamamında bulunur; ancak sürgün ucu, kök uçları, olgunlaşmamış meyveler ve genç yapraklar gibi hassas büyüme kısımlarında oldukça yüksek konsantrasyonlar gösterirler. JA, bitki hücre zarlarının yaygın bir bileşeni olan linolenik asitten sentezlenen bir siklopentan yağ asididir. Jasmonatların biyosentezini gerçekleştiren başlıca bitki organları yapraklar ve köklerdir, kloroplastlar ve peroksizomlar ise JA biyosentezinin hücre altı birincil bölgeleridir (Cheong ve Choi, 2003). Raporlar, embriyo ve üreme organlarının gelişimi, cinsiyetin belirlenmesi, tohum çimlenmesi ve fide gelişimi, kök büyümesi, meyve olgunlaşması, yaprak hareketleri ve yaşlanması, gravitropizm, trikom oluşumu ve yumruların oluşumu gibi süreçlerin JA'lar tarafından düzenlendiğini göstermiştir (Wasternack ve Hause, 2013, Hu ve ark., 2017). Ayrıca, JA'lar bitkilerin kendilerini hastalıklardan ve böcek zararlarından korumalarına yardımcı olur. JA'lar genellikle gen ekspresyonunu artırır ve bitkileri çevresel stres faktörlerinin zararlı etkilerinden korumak için bazı fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri kontrol eder. JA, antioksidan sistemi aktive eder, amino asitlerin ve çözünen şekerlerin birikmesine neden olur ve stres sırasında stomaların açılıp kapanmasını düzenler (Rasool, 2022). JA, bitki savunma tepkisi sırasında SA, ET ve ABA ile etkileşime girer. Kök, stamen, hipokotil, ksilem gelişimi vb. gibi önemli gelişim süreçleri sırasında oksinler, gibberellinler ve sitokininlerle olan etkileşimleri de iyi bilinmektedir. JA'lar hem bitki gelişimini hem de bitki stres direncini etkiler (Zahoor ve ark., 2025).

JA'lar, prolin ve glisin betain gibi çeşitli ozmoprotektanların üretimini ve antioksidan kapasitesini artırarak, çeşitli biyotik koşullar altında bitki hücrelerinin bütünlüğünü korumaya yardımcı olabilir (Santino ve ark., 2013). Fotosentez ürünleri, bu büyüme düzenleyicileri tarafından vejetatif kısımlara yeniden mobilize edilerek, olumsuz koşullar altında bitki büyümesini artırabilmektedir. JA'ların yaprak yaşlanması (senescence) üzerindeki fizyolojik ve biyokimyasal etkileri kanıtlanmıştır (Dathe ve ark., 1981). Bu büyüme düzenleyicileri grubu, fizyolojik süreçleri teşvik etmekten engellemeye kadar çeşitli şekillerde bitki türlerini etkiler. JA'ların abiyotik stres toleransında çok önemli bir rolü vardır; bu nedenle, bitkiler üzerinde strese karşı önemli koruyucu kapasiteleri nedeniyle çalışmalar bu bileşikler üzerinde yoğunlaşmıştır (Sharma ve Laxmi, 2015). Örneğin, JA'ların aracılık ettiği bitki tepkileri arasında, sıcaklık, kuraklık, soğuk, ışık, tuzluluk, ağır

metaller, sel riski, ozon ve UV stresi (Sasaki-Sekimoto ve ark., 2005) yer almaktadır. Ek olarak, JA aracılı ikincil metabolit üretimi mevsimsel ve sirkadiyen ritimlere uyum sağlamakla ilgili bitki hareketlerinde yer alır. Wasternack ve Hause (2013), jasmonatların arbüsküler mikorhizal mantarlar ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) gibi mikropla ilişkili simbiyotik ilişkileri düzenlediğini bildirmişlerdir. Jasmonat uygulaması, önceki çalışmalarda belgelendiği gibi, tuz stresi koşulları altında bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde olumlu etkiler gösterir (Dar ve ark., 2015). Ayrıca, domates, arpa ve vb. gibi glikofitlerde tuz stresi sinyallemesine JA'ların katılımı incelenmiş, ancak halofitik bitkilerin tuzluluk stresine tepkisindeki rolü henüz araştırılmamıştır.

SONUÇ

Bitki hormonları abiyotik stres faktörleri altında bitkilerin büyüme ve gelişmesinde çok önemli bir rol oynar. Fitohormonlar, stres sinyallerinin algılanmasını ve adaptif stratejileri harekete geçiren sinyallerin iletimini düzenler. Oksinler, sitokininler, gibberellik asit, salisilik asit, jasmonatlar, absisik asit, etilen ve brassinosteroidler bitki savunmasının indüksiyonunda aktif olarak rol alarak, bitkilerin büyümelerini ve strese karşı başa çıkmalarını/tolerans göstermelerini teşvik eder. Stres koşulları, stomaların işlevini, bitki su dengesini ve antioksidan durumunu etkileyerek bitki adaptasyonuna yardımcı olan bu bileşiklerin miktarlarını değiştirir. Yüksek sıcaklıklar, bu hormonların daha fazla birikmesine neden olan biyosentetik yolları uyarır. Bitkilerin strese karşı savunmalarında bitki büyüme düzenleyicileri arasında ABA, SA, ET ve JA'nın bitkinin çevresel streslere verdiği tepkilerde merkezi bir role sahip olduğu kabul edilmiştir. Tarla bitkilerinde fitohormonların dışarıdan uygulanması, bu stres adaptasyon tepkilerini güçlendirme ve bitki büyüme ve gelişim yollarını değiştirme potansiyeline sahiptir. Son yıllarda fitohormon uygulamasının etkilerini değerlendiren çalışmaların sayısı artmış olmasına rağmen bitki büyüme düzenleyicilerinin uygulama zamanlarının belirlenmesi, en uygun bitki gelişim döneminin tespiti ile uygun konsantrasyonların saptanması konularında daha fazla araştırmalara ihtiyaç duyulduğu açıktır.

KAYNAKLAR

- Aamer, M., Chatta, M. U., et al. (2022). Regulation of Photosynthesis by Salicylic Acid Under Optimal and Suboptimal Conditions. Chapter 4. Book Editor(s): Sharma, A., Bhardwaj, R., Kumar, V., Zheng, B., Tripathi, D. K.
- Ali S, Ganai BA, Kamili AN, Bhat AA, Mir ZA, Bhat JA, Grover A (2018) Pathogenesis-related proteins peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. *Microbiol Res* 212:29-37.
- Ankit, A., Kamali, S., Singh, A. (2023). Jasmonic acid biosynthesis pathway and its functional role in plants. Chapter 9. *Plant Hormones in Crop Improvement*, p 167

- Ashraf, M., and Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59, 206-216.
- Awan, F. K., Khurshid, M. Y., and Mehmood, A. (2017). Plant growth regulators and their role in abiotic stress management. *Int. J. Innov. Res. Biosci.* 1, 9-22.
- Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., et al. (2022). Salicylic Acid in Root Growth and Development. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 2228.
- Bajguz, A., and Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiol. Biochem.* 47, 1-8.
- Battisti, D. S., and Naylor, R. L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323, 240-244.
- Binder, B. M. (2020). Ethylene signaling in plants. *J Biol Chem*, 295(22):7710-7725.
- Cao, Z., Jia, Z., et al. (2010). Constitutive expression of ZmsHSP in Arabidopsis enhances their cytokinin sensitivity. *Mol. Biol. Rep.* 37, 1089-1097.
- Chaiwanon, J., and Wang, Z. Y. (2015). Spatiotemporal brassinosteroid signaling and antagonism with auxin pattern stem cell dynamics in arabidopsis roots. *Curr. Biol.* 25, 1031-1042.
- Chen, H. H., Lawrence V. G. (1983). Abscisic Acid-Induced Freezing Resistance in Cultured Plant Cells, *Plant Physiology*, 73 (1), 71-75.
- Choi, H., and Oh, E. (2016). PIF4 integrates multiple environmental and hormonal signals for plant growth regulation in Arabidopsis. *Mol. Cells* 39, 587-593.
- Cheong, J., Choi, Y. D. (2003). Methyl jasmonate as a vital substance in plants, *Trends in Genetics*, 19 (7), 409-413.
- Cornforth, J. W., Milborow, B. V., Ryback, G., and Wareing, P. F. (1965). Identity of sycamore 'dormin' with abscisin II. *Nature* 205, 1269-1270.
- Dathe, W., Ronsch, H., et al (1981). Endogenous plant hormones of the broad bean, *Vicia faba* L. (-)-jasmonic acid, a plant growth inhibitor in pericarp. *Planta* 153:530-5.
- Dar, T.A., M. Uddin, M.M.A. Khan, K. Hakeem and H. Jaleel (2015) Jasmonates counter plant stress: a review. *Environ. Exp. Bot.* 115:49-57.
- Dempsey, D. A., Vlot, A. C., and et al. (2011). Salicylic Acid Biosynthesis and Metabolism. *The Arabidopsis Book*, December 20: e0156.
- Dhaubhadel, S., Browning, K. S., Gallie, D. R., and Krishna, P. (2002). Brassinosteroid functions to protect the translational machinery and heat-shock protein synthesis following thermal stress. *Plant J.* 29, 681-691.
- Dobrá, J., Cerný, M., et al. (2015). The impact of heat stress targeting on the hormonal and transcriptomic response in Arabidopsis. *Plant Sci.* 231, 52-61.
- Dolatabadian A., Sanavy, S., Sharifi M. (2009). Effect of salicylic acid and salt on wheat seed germination. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 59:456-464.
- Du Y, Zhang H, Jia K, Chu Z, et al. (2024) Role of abscisic acid-mediated stomatal closure in responses to pathogens in plants. *Physiol Plant* 176: e14135
- EL Sabagh, A., Islam, M. S., et al. (2022) Phytohormones as Growth Regulators During Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Front. Agron.* 4:765068.
- Escandón, M., et al. (2016). Integrated physiological and hormonal profile of heat-induced thermotolerance in *Pinus radiata*. *Tree Physiol.* 36, 63-77.
- Fàbregas, N., Lozano-Elena, F., et al. (2018). Overexpression of the vascular brassinosteroid receptor BRL3 confers drought resistance without penalizing plant growth. *Nat. Commun.* 9, 4680.

- Feraru, E., Feraru, M. I., Barbez, E., Waidmann, S., et al. (2019). PILS6 is a temperature-sensitive regulator of nuclear auxin input and organ growth in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 3893-3898.
- Gray, W. M., Ostin, A., Sandberg, G., Romano, C. P., and Estelle, M. (1998). High temperature promotes auxin-mediated hypocotyl elongation in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95, 7197-7202.
- Grove, M. D., Spencer, G. F., et al. (1979). Brassinolide, a plant growth promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature* 281, 216-217.
- Grover, A., Mittal, D., and Lavania, D. (2013). Generating high temperature tolerant transgenic plants: achievements and challenges. *Plant Sci.* 205-206, 38-47.
- Gupta, R., Poor, P., Wang, Y., Kim, S. T. (2024). Editorial: Role of phytohormones and plant-growth regulators in the regulation of plant immunity. *Physiologia Plantarum*;176:e14599.
- Guschina, I. A., Harwood, J. L., Smith, M., and Beckett, R. P. (2002). Abscisic acid modifies the changes in lipid brought about by water stress in the moss (*Atrichum androgynum*). *New Phytol.* 156, 255-264.
- Hadacek, F., Bachmann, G., and Chobot, V. (2011). Hormesis and a chemical raison d'être for secondary plant metabolites. *Dose-Response* 9: 79-116.
- Haydari, M., Maresca, V., Rigano, D., et al. (2019). Salicylic acid and melatonin alleviate the effects of heat stress on essential oil composition and antioxidant enzyme activity in *Mentha × piperita* and *Mentha arvensis* L. *Antioxidants (Basel)* 8:547.
- He, J. X., Gendron, J. M., Sun, Y., et al. (2005). BZR1 is a transcriptional repressor with dual roles in brassinosteroid homeostasis and growth responses. *Science* 307, 1634-1638.
- He, M., and Ding, N.Z. (2018). Abiotic stresses: general defenses of land plants and chances for engineering multistress tolerance. *Front. Plant Sci.* 9, 1771.
- Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E., and Janda, T. (2007). Exogenous 4 hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biol. Plantarum* 51, 480-487.
- Hu, Y., Jiang, Y., and et al. (2017). Jasmonate regulates leaf senescence and tolerance to cold stress: crosstalk with other phytohormones. *J. Exp. Bot.* 68, 1361-1369.
- Hu, Y., Zhi, L., Li, P., et al. (2022). The Role of Salicylic Acid Signal in Plant Growth, Development and Abiotic Stress. *Phyton*, 91 (1), 2591- 2605.
- Huq, E., and Quail, P. H. (2002). PIF4, a phytochrome-interacting bHLH factor, functions as a negative regulator of phytochrome B signaling in *Arabidopsis*. *EMBO J.* 21, 2441-2450
- Iqbal, M., Basra, S. M. A., and Jamil, A. (2006). Seed enhancement with cytokinins: changes in growth and grain yield in salt stressed wheat plants. *Plant Growth Regul.* 50, 29-39.
- Jacob, P., Hirt, H., and Bendahmane, A. (2017). The heat-shock protein/chaperone network and multiple stress resistance. *Plant Biotechnol. J.* 15, 405-414.
- Janda, M., Ruelland, E., 2015. Magical mystery tour: Salicylic acid signalling, *Environmental and Experimental Botany*, 114, 117-128.
- Joo, S., Kim, W. T. (2007). A gaseous plant hormone ethylene: The signaling pathway. *J Plant Biol.* 50 (2): 109-116.
- Jurado, S., Abraham, Z., Manzano, C., and Del Pozo, J. C. (2010). The *Arabidopsis* cell cycle F-box protein SKP2A binds to auxin. *Plant Cell* 22, 3891-3904.

- Ju, C., Chang, C. (2012) Advances in ethylene signaling: protein complexes at the endoplasmic reticulum membrane. *AOB Plants*. Volume 2012, pls031
- Kendrick, M. D., and Chang, C. (2008). Ethylene signaling: new levels of complexity and regulation. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11, 479-485.
- Khan, M. I. R., Iqbal, N., and Khan, N. A. (2013). Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signal. Behav.* 8:e26374.
- Khan, S., Singh, R., et al. (2024). Plant growth regulator-mediated response under abiotic stress: A review. *Journal of Applied Biology & Biotechnology Vol. X(XX)*, pp. 1-9.
- Kim, S., Hwang, G., et al. (2020). The epidermis coordinates thermoresponsive growth through the phyB PIF4-auxin pathway. *Nat. Commun.* 11:1053.
- Koini, M. A., Alvey, L., et al. (2009). High temperature-mediated adaptations in plant architecture require the bHLH transcription factor PIF4. *Curr. Biol.* 19, 408-413.
- Kumari, A., Singh, S. K., 2021. Chapter 18 - Role of plant hormones in combating biotic stress in plants. *Plant Perspectives to Global Climate Changes. Developing Climate-Resilient Plants Book*, 373-391.
- Küpers, J. J., Oskam, L., and Pierik, R. (2020). Photoreceptors regulate plant developmental plasticity through auxin. *Plants* 9:940.
- Larkindale, J., and Knight, M. R. (2002). Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves calcium, abscisic acid, ethylene, and salicylic acid. *Plant Physiol.* 128, 682-695.
- Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., and Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiol.* 138, 882-897.
- Lee, S. B., and Suh, M. C. (2015). Advances in the understanding of cuticular waxes in *Arabidopsis thaliana* and crop species. *Plant Cell Rep.* 34, 557-572.
- Leivar, P., and Monte, E. (2014). PIFs: systems integrators in plant development. *Plant Cell* 26, 56-78
- Li, L., Xu, J., Xu, Z. H., and Xue, H. W. (2005). Brassinosteroids stimulate plant tropisms through modulation of polar auxin transport in *Brassica* and *Arabidopsis*. *Plant Cell* 17, 2738-2753.
- Li, N., Euring, D., Cha, J. Y., and et al. (2021) Plant Hormone-Mediated Regulation of Heat Tolerance in Response to Global Climate Change. *Front. Plant Sci.* 11:627969.
- Lippmann, R., Babben, S., and et al. (2019). Development of wild and cultivated plants under global warming conditions. *Curr. Biol.* 29, R1326–R1338.
- Lv, W.T., Lin, B., and et al. (2011). Proline accumulation is inhibitory to *Arabidopsis* seedlings during heat stress. *Plant Physiol.* 156, 1921-1933.
- Ma, D., Li, X., Guo, Y., Chu, J., et al. (2016). Cryptochrome 1 interacts with PIF4 to regulate high temperature-mediated hypocotyl elongation in response to blue light. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113, 224-229.
- Manghwar, H., Hussain, A., Ali, Q., & Liu, F. (2022). Brassinosteroids (BRs) Role in Plant Development and Coping with Different Stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1012.
- Mazorra, L. M., Holton, N., and Núñez, M. (2011). Heat shock response in tomato brassinosteroid mutants indicates that thermotolerance is independent of brassinosteroid homeostasis. *Plant Physiol. Biochem.* 49, 1420-1428.

- Misra, N., and Saxena, P. (2009). Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Sci.* 177, 181-189.
- Nadarajah, K. K. (2020). ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 21:5208
- Nolan, T., and et al. (2020). Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *Plant Cell* 32, 295-318.
- Panozzo, A., Bolla, P. K., & Vamerali, T. (2025). Phytohormonal Regulation of Abiotic Stress Tolerance, Leaf Senescence and Yield Response in Field Crops: A Comprehensive Review. *BioTech*, 14(1), 14.
- Pavlů, J., Novák, J., Koukalová, V., and Cerný, M. (2018). Cytokinin at the crossroads of abiotic stress signalling pathways. *Int. J. Mol. Sci.* 19:2450.
- Pham, V. N., Kathare, P. K., and Huq, E. (2018). Phytochromes and phytochrome interacting factors. *Plant Physiol.* 176, 1025-1038.
- Prerostova, S., Dobrev, P. I., et al. (2020). Heat acclimation and inhibition of cytokinin degradation positively affect heat stress tolerance of Arabidopsis. *Front. Plant Sci.* 11:87.
- Potters, G., Pasternak, T., and Jansen, M. A. (2009). Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways. *Plant Cell Environ.* 32, 158-169.
- Procko, C., Burko, Y., Jaillais, Y., and Chory, J. (2016). The epidermis coordinates auxin-induced stem growth in response to shade. *Genes Dev.* 30, 1529-1541.
- Rasool, N., 2022. Plant Hormones: Role in Alleviating Biotic Stress Intech Open DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102689>
- Reed, J. W., Wu, M.-F., et al. (2018). Three auxin response factors promote hypocotyl elongation. *Plant Physiol.* 178, 864-875.
- Rivero, R. M., Gimeno, J and Blumwald, E. (2010). Enhanced cytokinin synthesis in tobacco plants expressing PSARK:IPT prevents the degradation of photosynthetic protein complexes during drought. *Plant Cell Physiol.* 51, 1929-1941.
- Sabagh AE, Mbarki S, et al. (2021) Potential Role of Plant Growth Regulators in Administering Crucial Processes Against Abiotic Stresses. *Front. Agron.* 3:648694.
- Sachs, T. (2005). Auxins role as an example of the mechanisms of shoot/root relations. *Plant Soil* 268, 13-19.
- Sah, S. K., Reddy, K. R., and Li, J. (2016). Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. *Front. Plant Sci.* 7:571.
- Saini, S., Sharma, I and Pati, P. K. (2015). Versatile roles of brassinosteroid in plants in the context of its homeostasis, signaling and crosstalks. *Front. Plant Sci.* 6, 950.
- Santiago, J. P., and Sharkey, T. D. (2019). Pollen development at high temperature and role of carbon and nitrogen metabolites. *Plant Cell Environ.* 42, 2759-2775.
- Santino A, Taurino M, De Domenico S, et al. (2013). Jasmonate signaling in plant development and defense response to multiple (a)biotic stresses. *Plant Cell Rep* 32:1085-98.
- Sasaki-Sekimoto, Y., Taki, N., and Obayashi, T. (2005). Coordinated activation of metabolic pathways for antioxidants and defence compounds by jasmonates and their roles in stress tolerance in Arabidopsis. *Plant J.* 44, 653-668.

- Sauer, M., and Kleine-Vehn, J. (2019). PIN-FORMED and PIN-LIKES auxin transport facilitators. *Development* 146:dev168088.
- Sharma, M., and Laxmi, A. (2015). Jasmonates: emerging players in controlling temperature stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 6:1129.
- Shi, Y., Tian, S., Hou, L., Huang, X., Zhang, X., et al. (2012). Ethylene signaling negatively regulates freezing tolerance by repressing expression of CBF and type-A ARR genes in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 24, 2578-2595.
- Sun, J., Qi, L., Li, Y., Chu, J., and Li, C. (2012). PIF4-mediated activation of YUCCA8 expression integrates temperature into the auxin pathway in regulating *Arabidopsis* hypocotyl growth. *PLoS Genet.* 8:e1002594.
- Suzuki, N., Bassil, E., et al. (2016). ABA is required for plant acclimation to a combination of salt and heat stress. *PLoS One* 11:e0147625.
- Symons, G. M., Ross, J. J., Jager, C. E., and Reid, J. B. (2008). Brassinosteroid transport. *J. Exp. Bot.* 59, 17-24.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., and Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*, Sixth Edition. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Qu, A.L., Ding, Y.F., Jiang, Q., and Zhu, C. (2013). Molecular mechanisms of the plant heat stress response. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 432, 203-207.
- UIHaq, S., Khan, A., et al. (2019). Heat shock proteins: dynamic biomolecules to counter plant biotic and abiotic stresses. *Int. J. Mol. Sci.* 20:5321.
- Virlouvet, L., Ding, Y., Fujii, H., and Fromm, M. (2014). ABA signaling is necessary but not sufficient for RD29B transcriptional memory during successive dehydration stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* 79, 150-161.
- Vlot, A.C., Dempsey, D.A., and Klessig, D.F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 47: 177-206.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in plant science*, 9(5), 244-252.
- Wang L. J., Fan L., Loescher W., Cheng J. S., et al. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biol.* 10:34 10.1186/1471-2229-10-34
- Wang, K., Zhang, X., and Ervin, E. (2012). Antioxidative responses in roots and shoots of creeping bentgrass under high temperature: effects of nitrogen and cytokinin. *J. Plant Physiol.* 169, 492-500.
- Wang, R., Zhang, Y., Kieffer, M., Yu, H., and Estelle, M. (2016). HSP90 regulates temperature-dependent seedling growth in *Arabidopsis* by stabilizing the auxin co-receptor F-box protein TIR1. *Nat. Commun.* 7:10269.
- Wassie, M., Zhang, W., et al. (2020). Exogenous salicylic acid ameliorates heat stress-induced damages and improves growth and photosynthetic efficiency in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 191:110206.
- Wasternack, C., and Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*. *Ann. Bot.* 111, 1021-1058.
- Xiong, L., Zhu, J. K. (2003). Regulation of Abscisic Acid Biosynthesis. *Plant Physiology*, 133 (1), 29-36.
- Yang, J., Thames, S., Best, N. B., Jiang, H., Huang, P., and Eveland, A. L. (2018). Brassinosteroids modulate meristem fate and differentiation of unique inflorescence morphology in *Setaria viridis*. *Plant Cell.* 30, 48-66.

- Zahoor, A. M., Sajad, A., et al. 2025. Plant Defense Hormones: Thermoregulation and Their Role in Plant Adaptive Immunity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44:2689-2706
- Zhang, X., Wang, X., and et al. (2019). Abscisic acid mediation of drought priming-enhanced heat tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea*) and *Arabidopsis*. *Physiol. Plant.* 167, 488-501.
- Zhang, Y., Li, X. (2019). Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Curr Opin Plant Biol.*50:29-36.
- Zhou, J., Xia, X.J., Zhou, and Yu, J.Q. (2014). RBOH1-dependent H₂O₂ production and subsequent activation of MPK1/2 play an important role in acclimation-induced cross tolerance in tomato. *J. Exp. Bot.* 65, 595–607.

**TOPRAKSIZ TARIM SİSTEMLERİNDE
ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİ
(Sürdürülebilirlik, Verimlilik ve
Uygulanabilirlik Üzerine Bir
Değerlendirme)**

Mehmet Settar ÜNAL

Doç. Dr. Şırmak Üni. Zir. Fak. Bahçe Bit. Böl. munal62@hotmail.com, ORCID No: 0000-0001-5903-0157,
Tel.: 0 555 662 12 96

ÖZET

Çilek; üzümü meyveler içerisinde en fazla tanınan, sevilen ve değerlendirme imkanı en fazla olan meyve türlerinin başında gelir. Bu yüzden üretim alanı ve üretim miktarı da en fazla olanıdır. Ülkemiz genelinde hem açık arazide hem de örtüaltında değişik ortamlarda yetiştirilmektedir. Meyve, çokça Vitamin A, B, C, Ca, Fe ve P gibi mineral maddeler içerdiğinden dengeli beslenmeye de katkısı büyüktür. Bu çalışmada; artan nüfus, azalan tarım arazileri ve sürdürülebilirlik ihtiyaçları doğrultusunda gelişen topraksız tarım sistemlerinin, bilhassa çilek yetiştiriciliğindeki uygulanabilirliği ve etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretim verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik boyut ve teknolojik gereklilikler ele alınmıştır. Topraksız tarım; yüksek verim, kaliteli ürün elde etme, su ve gübre tasarrufu, toprak kaynaklı hastalıkların önlenmesi gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu yetiştiricilik yönteminde hava şartlarına bağlı kalınmıyor; iş gücünden tasarruf sağlanıyor; yetiştirme ortamı toprak olmadığından mahsul enfekte olmuyor. Bundan dolayı da bu tip ürün yetiştiriciliği iyi tarım uygulamaları sınıfına girmiş oluyor. Araştırma sonuçlarına göre, dikey tarım gibi sistemlerle sınırlı alanlarda dahi yüksek üretim sağlanabilmekte, kontrollü besleme sayesinde ürün kalitesi artırılmaktadır. Ancak, yüksek başlangıç maliyetleri, teknik bilgi gerekliliği ve çevresel riskler gibi sınırlayıcı faktörler de bulunmaktadır. Bu sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi için teknolojik altyapının geliştirilmesi, üretici eğitimlerinin artırılması ve kamu desteğinin sağlanması tavsiye edilmektedir. Topraksız çilek yetiştiriciliği, ülkemizde en fazla Mersin'in Anamur ve Silifke yöreleriyle Antalya'nın Gazipaşa yöresinde yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Topraksız tarım, Çilek yetiştiriciliği, Sürdürülebilirlik, Dikey Tarım, Tarımsal inovasyon.

GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus, iklim değişikliği ve tarım arazilerinin azalması, geleneksel tarım yöntemlerinin yerini daha sürdürülebilir ve verimli üretim tekniklerine bırakmasını zaruri hale getirmiştir. Bu bağlamda, topraksız tarım (hidroponik sistemler), bilhassa meyve ve sebze yetiştiriciliğinde dikkat çeken yeni bir üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Yetiştirme ortamı olarak toprak yerine Perlit, Kokopit, Hindistan cevizi kabuğu vb. kullanılarak bitkinin su ve gıda çözültüsüyle beslendiği bu sistem, bilhassa çilek gibi yüksek pazar değerine sahip ürünlerin yetiştirilmesinde tercih edilmektedir. Topraksız tarımda çilek yetiştiriciliği, hem kapalı alanlarda hem de seralarda yıl boyu üretim yapma imkânı sunmasından dolayı üreticilere cazip fırsatlar sunmaktadır. Bitki gelişiminin kontrollü ortamlarda sağlanması, verim artışı

ve ürün kalitesinde iyileşme sağlarken, çevre unsurlarına bağlı risklerin en aza indirilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca toprak kaynaklı hastalıkların ortadan kalkması, kimyevi ilaç kullanımının azalması gibi çevresel yararlar da bu yöntemin tercih edilme sebepleri arasındadır. Bununla beraber sistemin tesisi yüksek maliyet gerektirmekte, teknik bilgi ve daimi bir denetim ihtiyacı bulunmakta ve enerji tüketimi gibi bazı noksan tarafları da barındırmaktadır. Çalışmada, topraksız tarım yöntemleri kapsamında gerçekleştirilen çilek yetiştiriciliğinin üstünlükleri ve eksik tarafları, mevcut literatür ve ilmi veriler ışığında değerlendirilerek sektörel uygulanabilirliği tartışılacaktır.

Çileğin Bitki Sistematiğinde İsimlendirilmesi

Sınıf:	Dicotyledoneae
Takım:	Rosales
Familya:	Rosaceae
Cins:	Fragaria
Tür:	F. vesca L.



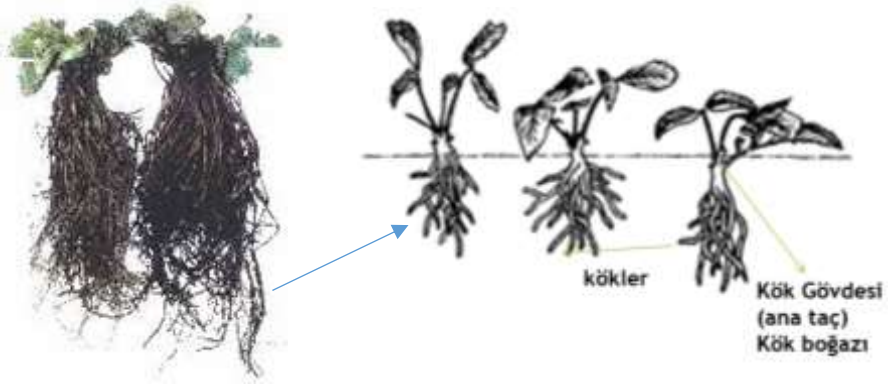
Şekil 1. Çilek meyvesi ve sistematikteki yeri

Çilek (Şekil 1); üzüksü meyveler sınıfına dahil türlerden en mühimi olup, botanik olarak yalancı bir meyvedir ve 40-60 kadar pistilin birleşmesiyle oluşur. Tohumları (aken), meyve üzerinde olan birkaç meyveden biridir. Evvela bahçe çileği, *F. virginiana* ve *F. chiloensis*'in melezlenmesi ile elde edilmiştir. Dünyada, isimlendirilmiş çok sayıda çilek türü vardır; yine değişik melezler ve çeşitler de mevcuttur. Fakat dünyada ticari olarak en fazla kültürü yapılan çilekler, *Fragaria* × *ananassa* melezi çeşitlerdir. Anavatanı; Kuzey ve Güney Amerika'dır. Mutedil ve subtropik iklim yanında birçok tropik ülkelerin yüksek rakımlı alanlarında yetiştirilebilmektedir. ABD, Avrupa, Avustralya, Güney ve Doğu Afrika ülkeleri, Yeni Zelanda, Türkiye ve Japonya en çok çilek yetiştiren devletlerdir. Ekvatorda, 3200-3500 m rakımda yer alan arazilerde, volkanik alanlarda, Ambato isimli orijinal bir çilek çeşidinin yetiştirildiği bildirilmektedir. Çilek, verim ve kalite açısından en iyi ılıman iklime sahip bölgelerde yetiştirilir. Yeryüzünde en yaygın tür ise *Fragaria vesca*'dır. Çilek; adaptasyon kabiliyetinin ve pazarlama imkanının yüksek olması, çok sevilmesi, değerlendirme imkanlarının fazla olması, beslenmeye olan katkısı, aile işletmeciliğine uygunluğu ve yüksek gelir

sağlaması bakımından yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan bir üzüksü meyve türüdür. *Fragaria* cinsinin ana kromozom adedi 7 olup, ($x=7$) değişik kromozom seti sayısına sahip türler de mevcuttur.

Bitkisel Özellikleri

Çilek, *çok yıllık ve herdem yeşil* otsu bir bitkidir. Ancak karasal iklime sahip bölgelerde yaprakları kışın döktüğü için herdem yeşil olmadığı düşünülür. Üzerinde kolları, yaprakları, kökleri ve çiçek salkımı bulunan merkezi bir gövdeye sahiptir. *Buna; kök gövdesi, ana taç ya da kök boğazı* da denilir (Şekil 2,3).



Şekil 2. Çilek kökleri ve çilek bitkisi



Şekil 3. Çilek kolları (Stolon)

Bitkinin kök gövdesi veya taç kısmı çok kısa bir gövde olup, yüzlek kök yapısına sahip otsu bir bitkidir. Ağır topraklarda kökler yatık olarak gelişme gösterirler. İlkbaharda sıcaklıklar yükseldiğinde tomurcukların uyanmasıyla

gözükten yapraklar 2-3 hafta sonra tam büyüklüğe erişir. Çilek yaprakları 3 parçalıdır ve kenarları testere dişlidir. Rengi çeşide ve ortama göre çeşitlilik gösterir ve ömürleri 1-3 aydır. Stomalar yaprağın altında olup, yapraktaki hücrelerarası boşluklar çok büyük oldukları için terleme ile su kaybı fazladır. Bu yüzden çok düzenli sulama gerektirir. Kollar (stolonlar) yaz boyunca yeni yaprakların koltuklarındaki tomurcuklardan gelişirler. İyi gelişmiş bir çilek bitkisi yılda 10-15 kol oluşturabilir. Yetiştiriciliği yapılan çeşitlerin ekseriyetinde stolonlar kış başlangıcında ölürler. Ana bitkiler, yavru bitkilere gıda maddelerini kolları vasıtasıyla iletirler. Yavru bitkiler, köklendikten 2-3 hafta sonra bağımsız hale gelirler. Kol teşekkülü ile meyve teşekkülü arasında menfi bir bağlantı bulunur. Meyve için bahçede kol oluşumuna, fide için ise çiçek oluşumuna izin verilmez. Çilekte çiçekler salkım şeklinde ve çoğunlukla erselik olup herbir çiçekte 5 sepal (çanak yaprak), 5 petal (taç yaprak), çok sayıda erkek ve dişi organ bulunur. Yüksek verim için iyi bir tozlanma lazımdır. Eğer iyi tozlanma olmazsa meyve şeklinde bozulmalar görülebilir. Tozlaşmadan sonra meyve 30-35 günde olgun hale gelir. Genelde kırmızı olmakla beraber farklı renkte olanları da mevcuttur (Şekil 4). Çilekte kısa günde tomurcuk, uzun günde kol gelişimi olur. Bu sebeple bir bölgeye uyum sağlayan bir çeşit diğer bölgeye uyum sağlamayabileceğinden dikkatli olunmalıdır. Çiçek gözü teşekkülünde gün uzunluğuyla sıcaklık ve çeşit özelliği arasında bir ilgi vardır.



Şekil 4. Değişik renkte çilek meyveleri

Ekolojik İstekleri

Bitki, ilkbaharda sıcaklığın 0°C'nin üzerine çıkmasıyla beraber gelişmeye başlarken 20-25 °C sıcaklıklarda en iyi gelişmeyi gösterir. Çiçekler -2°C, bitki ise -10 °C'nin altına düştüğünde zararlanma başlar (Şekil 5). Kalite için gece-gündüz sıcaklık farkının 5-7°C olması arzu edilir. Soğuk bölgelerde kar, malç tesiri oluşturarak bitkiyi muhafaza eder.



Şekil 5. Dondan etkilenmiş çiçek ve meyve

Rakım yükseldikçe bitkiler daha az gelişeceğinden (bodur) ve meyveler geç olgunlaşacağından 800 m'nin altındaki rakımlarda gelişme daha iyi olur. Rakımı yüksek alanlarda hava nispi rutubetinin az olmasından dolayı meyveler daha sıkı dokulu ve küçük kalabilirler, fakat yaylalarda üretilen fidelerin kalitesi yüksek olur. Güneye meyvalı arazilerde bitkiler erken uyanacaklarından ilkbaharda oluşabilecek donlardan zarar görürler. Kuzeye meyvalı arazilerdeyse bitkiler büyümeye geç başlayacaklarından donlardan zararlanmaz veya daha az zarar görürler. Ama güneye göre meyveler daha geç olgunlaşırlar. Çilek yetiştiriciliğinde vadi tabanları, dere yatakları, alüvyal alanlar ise en uygun alanlardır.

Bitki; kumsal ve organik maddece (>%2) yüksek topraklarda daha verimli ve kaliteli olurken tuzlu, taban suyu çok yüksek ve durgun yerlerde tavsiye edilmemelidir. En elverişli toprak reaksiyonu ise pH 6.5-7.0 olan arazilerdir.

Topraksız Tarım Nedir?

Topraksız tarım, bitkisel üretimde toprak kullanımının tamamen ortadan kaldırıldığı, bunun yerine bitki gelişimi için gerekli su ve gıda maddelerinin kontrollü şartlarda, çeşitli inert (etkin olmayan) yetiştirme ortamları veya

doğrudan gıda eriyikleri vasıtasıyla sağlandığı modern bir tarım yöntemidir (Hazar & Baktır, 2014). Bu sistem, bitkinin ihtiyaç duyduğu gıda maddelerinin en uygun seviyede sunulmasını mümkün kılarak üretimde verimliliği artırmayı ve kaynak kullanımını etkinleştirmeyi amaçlar (Buruk, 2025). Yani sistem; bitki hayatı için lazım olan su ve gıda maddelerinin, gereken miktarlarda doğrudan kök civarına verilmesini sağlar (Gül, 2008; Ünal, 2019). Ayrıca sistem, toprak kaynaklı hastalık riskini azaltmanın yanı sıra bitkilerin su ve gıda ihtiyaçlarının daha faal ve verimli idare edilmesini de sağlar.

Hidroponik terimi, Latince “çalışan su” manasına gelir (hidro: su+ponik: emek) ve bitkilerin toprak kullanılmadan gıda çözeltileri ya da inert yetiştirme ortamları ile yetiştirilmesini ifade eder. Topraksız tarımın menşei, Babil’in Asma Bahçeleri’ne kadar uzanmakta ve tarihi olarak oldukça eski bir geçmişe sahip bulunmaktadır (Buruk, 2025; Kazak & Sesli, 2025). Topraksız tarım yalnızca Mezopotamya medeniyetleri ile mahdut kalmamış; Eski Mısır, Çin gibi kadim medeniyetlerde de farklı formlarda uygulanmıştır. Mesela; Aztekler, 10. ve 11. yüzyıllarda Tenochtitlan Gölü üzerinde, hidroponik esaslara dayanan asma bahçeler (chinampas) yöntemiyle bu tekniği uygulamışlardır (Kaei-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). Ülkemizde modern manada topraksız tarım uygulamalarına ilk defa 1995 yılında, Antalya’da sera işletmelerinde başlanmıştır. Bu yöntemde iklim kontrolünün zaruri olması, üretimin genelde jeotermal kaynaklara yakın bölgelerde yoğunlaşmasına yol açmış; bu bağlamda bilhassa Ege Bölgesi, topraksız tarım bakımından mühim bir merkez hâline gelmiştir (Ayaşlıgil & Coşkun, 2009; Buruk, 2025). Günümüzde topraksız tarım birçok teknikle uygulanabilmektedir. Bunlar arasında Yüzen Kök Sistemi (Deep Water Culture-DWC), Damla Sulama, Aeroponik, Gıda Filmi Tekniği (NFT), Gelgit ve Akış Sistemleri ile Akuaponik gibi yöntemler yer almakta olup, her biri farklı iklim ve ekonomik şartlara uyarlanabilecek esneklikler sunmaktadır (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Topraksız tarım sistemleri, morfolojik ve fizyolojik açıdan farklı vasıflara sahip çok çeşitli bitki türlerinin başarılı bir şekilde yetiştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda domates, tatlı biber, marul, gül, krizantem, lale, zambak, siklamen, kauçuk, nane, ıspanak, frenk soğanı, salatalık ve çilek gibi türlerin yaygın olarak yetiştirildiği görülmektedir (Van Os vd., 2008; Hazar ve Baktır, 2013; Taştan, 2024). Bu ürün çeşitliliği, topraksız tarımın hem gıda güvenliği hem de estetik amaçlı bitki üretimi bağlamında mühim bir potansiyele sahip olduğunu gösterirken, yeni tarım uygulamalarında sürdürülebilir ve verimli alternatifler sunma kapasitesini de ortaya koymaktadır. Topraksız tarımın gelişimi, teknolojik ilerlemeler ve artan zirai ihtiyaçlara paralel olarak hız kazanmıştır. Geleneksel toprak kullanımına alternatif olarak ortaya çıkan bu yöntem, bilhassa kentlerde ve su kaynaklarının kısıtlı olduğu yerlerde etkili çözümler sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı ise, literatür ışığında topraksız tarım yöntemi ile yapılan çilek yetiştiriciliğinin üstünlüğünü ve eksik yönlerinin teferuatlı olarak incelenmesidir.

Topraksız Ortamda Çilek Yetiştiriciliği

Çilek (*Fragaria* × *ananassa*), geniş ekolojik adaptasyon kabiliyeti sayesinde değişik iklim ve toprak şartlarında başarı ile yetiştirilebilen, hoş aroması, lezzeti ve güzel görünümüyle tüketicilerce beğeni ile karşılanan bir üzüm sü meyve türüdür. Bilhassa ilkbahar aylarında pazarda yüksek fiyatlarla alıcı bulan çilek, zengin C vitamini ve mineral içeriği sayesinde gıda değeri açısından da mühim bir meyvedir. Sadece taze olarak sofralık tüketimiyle değil, aynı zamanda gıda sanayisinde artan kullanım alanlarıyla da dikkat çeker. Bunun için dünyada örtüaltı şartlarında en fazla yetiştirilen meyve türlerinden biri konumundadır (Demirsoy, Kandemir & Doğan, 2019; Karadal & Durmaz, 2020). Son yıllarda artan üretim maliyetleri, toprak verimliliğinde yaşanan azalmalar ve sürdürülebilir tarım arayışları, geleneksel tarım yöntemlerine alternatif çözümler geliştirilmesini mecburi kılmıştır. Bu çerçevede topraksız tarım teknikleri, bilhassa çilek yetiştiriciliğinde dikkat çeken bir üretim yöntemi hâline gelmiştir (Şekil 6). Topraksız tarım; üretim sahasının daha verimli kullanılması, su ve gıda yönetiminin optimize edilmesi, toprak kaynaklı hastalıklarına mani olunması gibi birçok üstünlük sunmakta, bu bakımdan yeni tarım teknolojilerinin mühim bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Fakat hidroponik sistemler her ne kadar pek çok imkanı beraberinde getirirse de, kusursuz bir çözüm değildir (Demirsoy, Kandemir & Doğan, 2019). Diğer tüm tarım tekniklerinde olduğu gibi, bu yöntemin de çeşitli sınırlılıkları ve noksan tarafları bulunmaktadır. Bu bağlamda hidroponik sistemlerin sahip olduğu üstünlükler kadar, iyileştirilmesi icap eden yönlerinin de dikkatle ele alınması gerekir. Dolayısıyla, topraksız çilek yetiştiriciliğinin üstünlüklerinin yanısıra, karşılaşılan zorlukların da ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, bu yöntemin gelecekteki uygulamaları açısından mühim fırsat alanlarını belirlemede yol gösterici olacaktır.



Şekil 6. Topraksız ortamda çilek yetiştirme

Topraksız Tarımın Avantajları

Su kullanımında verimlilik

Günümüzde dünya genelindeki temiz su kaynaklarının yaklaşık %70'i zirai sulama için kullanılmakta olup, bu kullanımın büyük bir kısmı sürdürülebilir olmayan yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (FAO, 2024). Hidroponik sistemler, an'anevi tarımda kullanılan sulama suyu miktarını mühim ölçüde azaltarak su kaynaklarının korunmasına katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Yapılan araştırmalar, hidroponik sistemlerin bu hususta etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Geleneksel tarım teknikleri; aşırı su kullanımı, sürdürülebilir olmayan toprak yönetimi, yoğun kimyasal kullanımı ve tabii su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır. Ayrıca salınan sera gazlarından dolayı çevreye olan zararları da artmaktadır. Bu hal, gelecekteki gıda üretimini ciddi olarak tehdit etmektedir. Diğer taraftan, tarım faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilen ormansızlaşma ile göl ve nehirlerden yoğun su çekimi, biyolojik çeşitliliğe büyük zarar vermektedir (Buruk, 2025). Bu tarım sistemlerinde, bilhassa hidroponik üretim yöntemlerinde sulama suyu ve gıda çözültisi miktarları son derece hassas olarak kontrol edilebilmektedir. Bu, ananevi topraklı üretim sistemlerine göre daha düşük su tüketimi ile verimli üretim yapılmasını mümkün kılmakta; aynı zamanda iş gücü ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Ama sistemin sağlıklı işleyişi için sulama nozullarının muntazaman kontrol edilmesi, temizlenmesi ve bakımının yapılması gerekmektedir. Aksi hâlde, sulama ekipmanları kolayca tıkanabilmekte, bu da sistemde aksamalara yol açabilmektedir. Bu tür

olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için, gıda çözeltilerinin veya sulama suyunda ön arıtımının yapılması, gerekirse asitleştirme ile muhtemel birikimlere mani olunması gerekir. Bu tedbirler ise ek maliyet, iş gücü ve zaman ihtiyacı icap ettirmektedir (Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017; Kazak ve Sesli).

Üretimde verimlilik ve ürün kalitesi

Hidroponik sistemler, bitkilerin gıda maddelerine daha basit erişebildiği, kontrollü bir ortamda yetiştirilmesini sağlamaktadır. Kontrollü Çevre Ziraati (CEA) sistemleri ise sıcaklık, nem, ışık ve gıda maddeleri gibi çevre unsurları üzerinde hassas denetim imkânı sunar. Bu kontrollü ortam, bitkiler için ideal büyüme şartları oluşturmakta ve yüksek verime yol açmaktadır. Geleneksel tarımda hava şartları, toprak kalitesi ve zararlılar gibi tahmin edilemeyen unsurlar verimi olumsuz etkileyebilirken, CEA sistemleri bu riskleri asgariye indirerek istikrarlı ve yüksek verim sağlar. Ayrıca, kontrollü ortamlar sayesinde hava şartlarından bağımsız olarak sene boyu üretim yapılabilmektedir. Bu, pazara daima ürün tedarik edilmesini sağlamakta ve ananevi tarımdaki mevsimsel dalgalanmaları ortadan kaldırmaktadır. Mesela, ananevi tarımda bir dönüm açık alanda yılda yalnızca bir mahsul yetiştirilebilmekte iken, aynı alanda dikey tarım sistemleri birden fazla ürünü aynı anda barındırabilmektedir. Bu hal, daha hızlı büyüme ve yüksek verimlilikle neticelenmektedir (Buruk, 2025). Yani, kontrollü çevre sistemleri sene boyu istikrarlı üretimi mümkün kılarken, geleneksel tarıma nazaran daha sık hasat yapılmasını mümkün kılmaktadır (Kalantari et al., 2018).

Topraksız tarım sistemleri, üretim verimliliğini artırma potansiyeliyle geleneksel tarım yöntemlerine göre mühim üstünlükler sunmaktadır. Bu sistemlerde, bitkilerin ihtiyaç duyduğu temel büyüme unsurları olan gıda maddeleri, pH, çözülmüş oksijen, karbondioksit, ışık ve sıcaklık gibi çevre şartları hassas bir şekilde denetlenebilmektedir. Bu da bitki gelişimini ideale getirerek hem ürün miktarında artışa hem de ürün kalitesinde iyileşmeye imkan vermektedir. Topraksız kültürde yetiştirilen sebzeler genellikle daha temiz olup, toprakla temas etmedikleri için daha az yıkamaya ihtiyaç duymakta ve tüketiciye daha hijyenik şartlarda ulaşmaktadır. Ayrıca ürün münavebesine duyulan ihtiyaç azalmakta, aynı tür ürünlerin birden fazla yetiştirilmesine imkân tanınmaktadır. Bu, birim alan başına alınan ürün miktarını ve yıllık döngü sayısını artırarak toplam üretimi yükseltmektedir. Gıda maddelerinin doğrudan bitki kök bölgesine, bitkinin fizyolojik ihtiyaçlarına uygun şekilde verilmesi, ürün kalitesinin devamını sağlamaktadır. Diğer taraftan, yüksek otomasyon seviyesine sahip topraksız sistemlerde çevre unsurlarında oluşan ufak değişimlerin bitkiler üzerinde hızlı tepkilere sebep olabileceği de gözönünde bulundurulmalıdır (Kazzaz ve El-

Kazzaz, 2017). Netice olarak hidroponik sistemler, daha ufak alanlarda daha yoğun üretim yapılabilmesini imkan dahiline alarak, verimi artırmaktadır.

Bitki beslenmesinin izlenmesi

Topraksız tarım sistemlerinde, bitkilerin gıda ihtiyaçları, geleneksel tarımda olduğu gibi yüksek miktarlarda değil, bitkinin ihtiyaç duyduğu doğru ve dengeli miktarlarda, çözelti formunda sağlanmaktadır. Bu yöntem, bitkiye zararlı madde miktarlarının güvenli sınırlar içinde tutulmasına imkân verirken, gıda maddelerinin su ortamında tüm bitkiler için bir örnek dağılımı sağlanmalıdır. Bilhassa hidroponik sistemlerde, gıda çözeltisinin pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, ürünün ve çevrenin ihtiyaçlarına göre itinâ ile denetlenmektedir. Bu kontrol mekanizmaları, geleneksel toprak kültürlerine kıyasla daha karmaşık ve maliyetli süreçler içermektedir. Hidroponik sistemler, bitkilere suyla karışmış besleyici çözelti sağlayarak, üreticilere bitkilerin emdiği gıdalar üzerinde daha hassas bir kontrol imkanı sunar. Toprakta yetişen bitkiler, hayatta kalabilmek için gübreye ihtiyaç duyarken, hidroponikte bitkiler ihtiyaç duydukları tüm gıdaları kontrollü ve en uygun miktarlarda alabilmektedir.

Temizleme uygulamaları

Bu sistem, kontrollü yetiştirme ortamları sayesinde yabancı otların yayılımını engellemekte, hastalık ve zararlı böceklerin oluşumunu asgari seviyeye düşürmektedir. Bu üstünlük, geleneksel toprak tarımında yaygın olarak kullanılan pestisit uygulamalarına olan ihtiyacı azaltmakta ve böylece çevresel kirliliğin önlenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, pestisit kullanımının azalması işçilik ihtiyacını ve üretim maliyetlerini mühim ölçüde düşürmektedir. Bunun yanı sıra, toprakla doğrudan temasın olmamasından dolayı topraksız yetiştirilen çilekler daha temiz ve hijyenik olmaktadır. Bu hal, ürünlerin tüketici nezdindeki kabulünü artırmakta ve pazarlama açısından kalite değerini yükseltmektedir (Altıntaş, 2024).

Erkencilik ve ürün çeşitliliği üzerindeki etkisi

Fertigasyon yöntemi ile su ve gıda maddelerinin beraber kontrollü şekilde uygulanması, bitkilerin büyüme ve meyve olgunlaşma süreçlerinin yararlı olarak idare edilmesine imkan sağlar. Bu sayede, mevsim dışı üretim imkânı sağlanmakta ya da meyve olgunluğunun geciktirilmesi gibi uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, topraksız kültürde toprak işleme gibi işlemlerin olmamasından dolayı üretim döngüleri daha kısa olmakta ve bir senede birden fazla mahsül yetiştirilmesine imkan sağlanabilmektedir. Bu da verimliliği artırmakta ve ekonomik getiriyi müspet olarak etkilemektedir.

Arazi uygunluğu ve alan verimliliği

Topraksız tarım, bilhassa patojen ve tuzluluk gibi toprak kaynaklı olumsuzlukların bulunduğu alanlarda, bitki yetiştiriciliği için uygun arazi bulunmadığında ideal bir alternatif sunmaktadır. Bu sistem, toprak şartlarına bağlı kısıtlamaların aşılmasını mümkün kılarak, üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, topraksız çilek yetiştiriciliği geleneksel tarıma göre daha az alan gerektirmekte, böylece alan kullanım verimliliğini artırmaktadır. Kontrollü ortamların sağladığı esneklik sayesinde, hidroponik sistemler farklı coğrafı şartlarda ve mekânlarda uygulanabilirlik kazanmakta, bu da üretimin mekân kısıtlamalarını azaltmaktadır. Bu bağlamda, hidroponik teknolojiler sadece kara üzerinde değil, aynı zamanda derin uzay araştırmalarında da uzay gemisi mürettebatının temel gıda kaynağı olarak potansiyel taşımakta ve dikey tarım uygulamalarıyla alan verimliliği daha da yükseltilebilmektedir.

İşgücü ihtiyaçlarının azaltılması ve kaynak tasarrufu

Topraksız kültür sistemlerinde, geleneksel tarımda yaygın olarak uygulanan toprak sterilizasyonu, toprak işleme ve yabancı ot kontrolü gibi zahmetli kültürel işlemler ortadan kalkmaktadır. Bu, emek ihtiyaçını mühim ölçüde azaltmakta ve çalışma süresinden tasarruf sağlamaktadır (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Ayrıca, topraksız çilek yetiştiriciliğinde su, gübre ve ilaçlar doğrudan bitkilerin kök ortamına verildiği için kullanım verimliliği artmakta; bu da kaynak israfını en aza düşürmektedir. Toprak işleme gerektirmemesi, ek işçilik ihtiyaçını ortadan kaldırarak işgücü maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Ayrıca, yabancı ot kontrolü gibi bakım işlemlerinin azalması da toplam işgücü ihtiyaçını hafifletmektedir (Altıntaş, 2024).

Bitki hastalıklarının kontrolü

Topraksız tarım sistemleri, toprak kaynaklı hastalık ve zararlıların etkisini mühim ölçüde azaltma üstünlüğü sunmaktadır. Toprak kullanılmaması ve kontrollü yetiştirme ortamlarının tercih edilmesi, bitki hastalıklarının yayılma riskini en aza düşürmektedir. Ayrıca, topraksız ortamlarda bitkilerin daha iyi havalandırılması ve bakımının kolaylaşması, hastalık ve zararlı kontrolünü daha etkili hale getirmektedir. Bu hal, bitki sağlığının korunmasına katkı sağlamakta ve ilaçlı mücadeleye olan ihtiyaçı azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe olumlu yönde etkide bulunmaktadır (Buruk, 2025; Altıntaş, 2024).

Topraksız Tarımın Eksik Tarafları

Yüksek başlangıç ve işletme maliyetleri

Topraksız tarım sistemleri, bilhassa hidroponik yöntemler, yüksek başlangıç maliyetine sahiptir. Sistemin tesisi için lazım olan hammadde, ekipman ve teknolojik altyapıdan dolayı ilk yatırım tutarı yüksektir. Hidroponik sistemlerin tesisi ve bakımı; gıda tankları, pompalar, sulama sistemleri, suni aydınlatma ve iklim kontrol sistemleri gibi özel ekipmanlar gerektirdiğinden hem karmaşık hem de maliyetlidir. Bu da, bu sistemlerin yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır. Ama tesis maliyetleri başlangıçta yüksek olsa da, teknoloji geliştikçe uzun vadede azalması beklenmektedir. Bu açıdan hidroponik ve akvaponik sistemler hâlâ maddi açıdan zorluklar yaşayabilmektedir. Topraksız çilek yetiştiriciliğinde de yüksek yatırım maliyeti mühim bir eksikliklerdir. Modern sistemlerin tesisi, özel yetiştirme ortamlarının temini ve düzenli bakımı ek maliyet ve emek icap ettirmektedir (Demirsoy, Mısır & Adak, 2017; Altıntaş, 2024; Buruk, 2025).

Yüksek eğitilmiş işgücü ihtiyacı

Büyük ölçekli hidroponik sistemler, tarım, bitki fizyolojisi, kimya ve gelişmiş kontrol sistemleri gibi alanlarda derin bilgiye sahip personel gerektirmektedir. Ancak, topraksız tarımda nitelikli teknisyen ve uzman işgücü eksikliği mühim bir meseledir. Ayrıca, bu meselelerin çözümü için uzman danışmanlık hizmetine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu, sistemlerin verimli işletilmesini zorlaştıran bir diğer eksik taraftır (Velazquez-Gonzalez et al., 2022; Altıntaş, 2024).

Çevre kirliliği, yüksek enerji tüketimi ve patolojik riskler

Topraksız tarımda kullanılan gıda çözeltileri uygun şekilde bertaraf edilmezse, içerdikleri fosfor ve nitratlar su kaynaklarında alg ve zararlı mikroorganizmaların aşırı üremesine sebep olacağından çevre kirliliğine yol açabilir. Bu sistemler genellikle seralarda veya kapalı alanlarda uygulandığı için; ısıtma, soğutma, aydınlatma ve nem kontrolü gibi işlemler yüksek enerji tüketimine yol açar. Bilhassa dikey tarımda suni ışık kullanımı enerji ihtiyacını artırmakta, bu da soğutma maliyetlerini yükseltmektedir. Mesela; açık alanda 1 kg domates üretimi yaklaşık 0.8 MJ enerji gerektirirken, seralarda bu miktar 1.06 MJ'ye çıkmaktadır. Benzer şekilde, geleneksel yöntem ile üretilen marulun kilogram başı enerji maliyeti 0.04 dolar iken, dikey tarımla yerelde üretilen marulun maliyeti 0.89 dolardır. Bu örnekler, topraksız sistemlerin yüksek enerji tüketiminden dolayı çevresel yük oluşturabileceğini ortaya koymaktadır (Demirsoy, Mısır & Adak, 2017;

Velazquez-Gonzalez et al., 2022; Buruk, 2025). Ayrıca, açık sistemlerde patojen riski daha düşükken, kapalı sistemlerde hijyenin sağlanması büyük özen gerektirir. Bu tür sistemlerde hastalık riskini en aza indirmek için düzenli bakım ve güçlü sanitasyon tedbirleri zaruri olmaktadır (Demirsoy, Mısır & Adak, 2017).

SONUÇ

Topraksız tarım sistemleri, günümüzde artan nüfus, sınırlı tabii kaynaklar, toprak verimliliğinde yaşanan düşüşler ve sürdürülebilir tarım arayışları doğrultusunda mühim bir alternatif üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bilhassa çilek gibi yüksek katma değerli ürünlerin üretiminde topraksız tarım teknikleri, gerek verim artışı gerekse ürün kalitesinde sağladığı üstünlükler ile dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, topraksız tarımın çilek yetiştiriciliğindeki uygulamaları; üretim verimliliği, bitki sağlığı, çevresel sürdürülebilirlik, kaynak kullanımı ve ekonomik tarafları bakımından kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, topraksız tarım sistemleri, geleneksel yöntemlere nazaran birçok üstünlük arz etmektedir. Bitki beslenmesinin hassas kontrolü, üretim ortamının dış tesirlerden izole edilebilmesi, toprak kaynaklı hastalık ve zararlılardan korunma, daha az su ve gübre kullanımı gibi unsurlar sayesinde hem ürün verimi hem de ürün kalitesi mühim ölçüde artmaktadır. Ayrıca, dikey tarım gibi alan tasarrufu sağlayan uygulamalar sayesinde sınırlı alanlarda bile yüksek miktarda ve sürdürülebilir üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bununla beraber, topraksız tarım sistemlerinin bazı noksan tarafları da mevcuttur. Yüksek başlangıç maliyetleri, sistemin tesisi için lazım olan özel ekipman ve teknolojiler, nitelikli iş gücü ihtiyacı ve enerji tüketiminin fazla olması gibi unsurlar, bu yöntemin yaygınlaştırılmasında karşılaşılan temel zorluklardır. Ayrıca, gıda çözeltilerinin ve atıkların doğru yönetilmemesi halinde çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği de unutulmamalıdır. Netice olarak, topraksız tarım, bilhassa çilek gibi hassas ve ekonomik değeri yüksek ürünlerin yetiştiriciliğinde mühim bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin sürdürülebilir şekilde değerlendirilebilmesi için teknolojik yatırımların artırılması, üreticilerin teknik bilgi ile donatılması ve kamu politikalarıyla desteklenmesi lazımdır. Önümüzdeki süreçte yapılacak ilmi çalışmalar ve inovatif çözümler sayesinde, topraksız tarım sistemlerinin daha erişilebilir, ekonomik ve çevre dostu haline getirilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

Altıntaş, Ç., (2024). Topraksız çilek yetiştiriciliği nasıl yapılır? Esular. <https://esular.com/topraksiz-cilek-yetistirciligi-nasil-yapilir>.

- Buruk, A., (2025). Sürdürülebilir kalkınma bağlamında topraksız tarım (Yüksek lisans tezi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisat Anabilim Dalı, İktisat Teorisi Bilim Dalı). Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Demirsoy, L., Mısır, D. ve Adak, N., (2017). Topraksız Kültürde Çilek Üretimi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 71-80.
- Hazar, D. ve Baktır, İ., (2014). Topraksız Tarım Kesme Gül Yetiştiriciliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 21-27.
- Kaci-Kazzaz, A., & El-Kazzaz, A. A., (2017). Topraksız tarım: Tarımın geliştirilmesinde yeni ve gelişmiş bir yöntem. *Agri Res & Tech: Open Access Journal*, 3(2), 555610. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.03.555610>.
- Kalantari, F., Tahir, OM, Joni, RA ve Fatemi, E., (2018). Dikey tarımın sürdürülebilirliğindeki fırsatlar ve zorluklar: Bir inceleme. *Manzara Ekolojisi Dergisi*, 11 (1), 35-60.
- Kazak, A., & Sesli, M., (2025). Hidroponik sistemler ve topraksız tarımın avantajları. *Çiftlik Dergisi*. Erişim adresi: <https://www.ciftlikdergisi.com.tr/hidroponik-sistemler-topraksiz-tarim-avantajlari/> Erişim Tarihi: 18.10.2025.
- Nafiye, A., Yavuzlar, E. E., Karadal, S., & Durmaz, B., (2020). Topraksız çilek bilhassarinde mikoriza ve büyüme ortamı hacminin bitki gelişimi üzerindeki etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 292.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A., (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589). FAO. <https://doi.org/10.13140/2.1.3019.1365>.
- Syngenta. Topraksız (Hidroponik) tarım nedir? Syngenta Türkiye. <https://www.syngenta.com.tr/blog/bitki-koruma-makaleleri/tarim/topraksiz-hidroponik-tarim-nedir?>
- Taştan, N., (2024). Sürdürülebilir topraksız tarım uygulamalarına (hidroponik ve akuaponik) yönelik geliştirilen eğitim içeriğinin değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.
- Ünal, N., (2019). Topraksız çilek yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamları ve faydalı bakteri kullanımının verim ve kaliteye etkileri (Yüksek lisans tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, İzmir).
- Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-García, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sánchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C., (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture*, 12(5), 646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>. Erişim T.: 7.1.2026 <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87ilek> Erişim t.: 7.2.2026

Kuşburnu (*Rosa Canina* L.) Yetiştiriciliği

Mehmet Settar ÜNAL

Doç. Dr. Şırmak Üni. Zir. Fak. Bahçe Bit. Böl. munal62@hotmail.com, ORCID No: 0000-0001-5903-0157,
Tel.: 0 555 662 12 96

ÖZET

Kuşburnunun tarihi oldukça eskidir. Çok eskiden bazı ülkelerde safiyet ve nezafetin rumuzu olarak kabul edilmiş; Romalılar çiçeğini ilaç, meyvelerini ise şarap ve gıda ürünleri olarak kullanmıştır. Hipokrat döneminde iltihaplara, Orta Çağ'da ise değişik amaçlar ile kullanıldığı bilinmektedir.

Kuşburnu (*Rosa canina* L.), *Rosaceae* (Gülgiller) familyasının *Rosa* cinsine dahil, yapraklarını döken, çok yıllık ve dikenli bir çalı türü bitkidir. Gen merkezi Asya'nın batısı, Anadolu, Avrupa'nın kuzey ve orta kesimi olan kuşburnu'na halk arasında *Yaban gülü*, *Şilan*, *Deligül*, *Gü burnu*, *Gülelması* ve *Köpekgülü* gibi isimler verilmiştir. Türüne göre küçük veya büyük çalı formunda olan bitki, çok uzun ömürlüdür; ama ekonomik ömrü yaklaşık 30-40 yıl kadardır. Zengin tür sayısı sayesinde farklı ekolojik şartlara dayanıklı olup, Orta ve Batı Asya, Avrupa, Kuzey Afrika'da yayılış gösterir. Şu kadar varki Anadolu, Kafkasya ve Bağımsız Devletler Topluluğu genotip zenginliğiyle yoğun olarak yetiştiği alanlardır. Türkiye'de neredeyse tüm bölgelerde bir yayılış göstermektedir. Bilhassa Orta-Kuzey ve Doğu Anadolu bölgelerinde daha yoğun olduğu bilinmektedir. Kuşburnu meyvesi, bilhassa yüksek C vitamini (Askorbik Asit) muhtevası ile dikkat çeker. Bazı kaynaklara göre limondan 30-40, hatta 60 kat daha fazla C vitamini barındırabilmektedir (Ağaoğlu, 1986/2003/2006, Ünal, 2025).

Anahtar Kelimeler: Anadolu, Üzümsü meyve, Kuşburnu (Rosa canina L.), Gıda içeriği

GİRİŞ

Kuşburnu, çoğunlukla Avrupa'yla kuzey-batı Afrika'da tabii olarak bulunan, meyve içi tüylü bir çalı tipi bitkidir. Asya'nın iç ve batı kesimi, Avrupa, Kafkasya, Kuzey-batı Afrika, İran ve Irak'ın batı ve kuzey kesimleri, kuzey Afganistan, Pakistan, Asya'nın iç kesimi ve Rusya'yı kapsayan büyük bir sahada tabii olarak bulunmaktadır. Bu meyveye it burnu, göbek gülü, gül burnu, gül elması, yabangülü, deligül gibi yörelere göre değişik isimler verilmiştir. Kuşburnu meyvesi oldukça yaygın bir değerlendirme imkanına sahiptir. Şöyleki; daha ziyade meyveleri marmelat şeklinde tüketilmekle beraber reçel, pekmez, meyve suyu ve bitki çayı üretiminde değerlendirilmektedir. İhtiva ettiği yüksek miktardaki C vitamininden ötürü meyveye olan ilgi gittikçe artış göstermektedir. Yine β karoten ve likopence de çok zengindir. İnsanlar, bilhassa ülser ve üşütmeye karşı tedavi edici olarak istifade etmektedirler. Kuşburnu, kuraklık ve soğuklara oldukça dayanıklı olduğu için geniş bir sahaya yayılmıştır. Ülkemiz genelinde tabii olarak bulunur ve yöre insanı tarafından meyveleri yaygın bir biçimde değerlendirilmektedir. Düzenli ve belli bir seviyede üretilmemesi ve talebin yüksek olmasından dolayı bazen hammadde temin etmede zorluklarla karşılaşabilmektedir. Meyve; daha ziyade tabiatın derilerek mahsül

işlenmekte, yöre/ülke ekonomisine ciddi manada katkıda bulunmaktadır. (Ağaoğlu, 1986/2003).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye’de Kuşburnu Üretiminin Durumu

Kuşburnu, ülkemizde henüz yetiştiriciliği yapılan meyve türleri statüsünde olmadığı için üretim alanı ve miktarına ait herhangi bir istatistiksel veriye rastlanılmamaktadır. Son 10-15 yılda kuşburnuna bir yönelim olduğu için çelik veya aşı ile üretme usulü ile fidanlar sağlanmış; Kayseri, Tokat, Samsun, Gümüşhane gibi yörelerde bahçeler tesis edilmiştir. Gıda müesseselerinin değişik mamülatla işleme gayretleri, üretim çalışmalarına hız vermiştir. Kuşburnu tüketimi açısından başta olan Tokat bölgesinin merkez ve ilçelerinde gıda fabrikalarında kuşburnu mamül ürünleri yaygınlaşmaktadır. Mevcut pazar fırsatları ve yüksek satış fiyatından dolayı mali durumu zayıf olan çiftçiler için dikkate değer bir gelir kaynağı olma imkanına sahiptir. Türkiye; dünyada üç biyo-coğrafyanın kesiştiği ve iki gen merkezini birbirine bağlayan konumu yanısıra, tabii bitki örtüsünde bulunan 11.707 bitki taksonuyla büyük bir potansiyele de sahip olup, insanların bunları değişik gayeler için kullandıkları bilinmektedir.

Kuşburnu, Türkiye’de daha ziyade Marmara, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişmekle beraber nadiren de İç Anadolu ve Ege bölgesinde rastlanmaktadır. Gümüşhane, Türkiye’de kuşburnu yetiştiriciliğinde 1. sırada yer almakta ve bu yöredeki kuşburnu üretiminin çoğu ananevi usullerle elde mektedir.

Kuşburnunun Tür ve Taksonomik Durumu

Âlem: Plantae

Bölüm: Spermatophyta (Kapalı tohumlular)

Sınıf: Dicotyledonae (Çift çenekliler)

Takım: Rosales

Familya: Rosaceae (Gülgiller Familyası)

Cins: Rosa

Tür: *Rosa canina* L.

Rosa canina L., *Rosa* cinsi içinde yer alan ve Türkiye’de en yaygın bulunan türdür. Türkiye florasında *Rosa* cinsine ait tabii yayılış gösteren en az 25 takson mevcuttur. Ticari açıdan en önemli tür ise *Rosa canina* L.’dir.

Kuşburnunun Sistematik ve Botanik Özellikleri

Morfolojik özellikleri: Bitki, deniz seviyesinden 2.500 m yükseltiye dek büyük bir alana yayılmıştır. Akdeniz sahil kesimindeyse daha ziyade 600 m yükselti üstünde yetişmektedir. İlkbahar mevsiminde çiçeklenip güzün meyvelerini olgunlaştırır. Kökler güçlü gelişip (kazık), toprak yapısına

bağlı olarak 4 m kadar derine inebilir. Genelde 1.5-3.5 m arasında değişen, bazen tırmanıcı özellik de gösterebilen, çok gövdeli, çalı formunda, dikenli ve bazı genotipler dikensiz, kışın yaprağını döken ve uzun ömürlü bir üzüm sü meyve türüdür (Şekil 1).

Meyvenin dışı çoğu türde düz ve parlak olmasına karşılık bazı türler tüysü dikenli olup, olgunlukta dökülmektedir. Çanak yaprak meyve olgunluğa geldiğinde genelde dökülmesine rağmen bazı türlerde dökülmezler. Ekolojik şartlar meyve biçimini pek etkilememekle beraber olgunluk zamanına ve meyve büyüklüğüne tesir etmektedir. Gece-gündüz sıcaklık farkının çok olduğu iç bölgelerde ve yüksek yerlerde meyve büyüklüğü daha çok, renklenme daha güzel ve olgunluk daha önce gerçekleşmektedir (Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu, 2013).



Şekil 1. Kuşburnu ağacı

Gövde ve dikenler: Gövde sık veya seyrek dikenli; dallar genellikle kıvrık veya şeklidir. Dikenler, hasat zorluğundan dolayı dikensiz çeşitlerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Yapraklar: Yapraklar mat ile saf yeşil renkte olup, genellikle 5-7 adet, dar eliptik veya geniş yumurtamsı yaprakçıklardan teşekkül eder (Şekil 2). Yaprakçıkların kenarları testere dişlidir. Genç yaprakları yüksek miktarda vitamin ihtiva ettiğinden çay gibi içilebilir.



Şekil 2. Kuşburnu yaprağı ve meyvesi

Çiçekler: Beyazdan soluk pembeye kadar değişir ve sarı anterlere sahiptir. Genelde pembe ya da beyaz, bazı türlerdeyse sarı ya da mordur. Çiçek yapısı erdişi, 5 sepal (çanak yaprak) ve 5 petal (taç yaprak) bulunur. Yapraklar bileşik, yumurta ya da oval, 5-7 yaprakçıklı, kenarları testere dişli ve orta eksenden kavislidir (Şekil 3). Çiçekler, tek veya salkım halinde olabilir. Çiçeklenme, genellikle Mayıs-Temmuz ayları arası gerçekleşir (Ağaoğlu ve Gerçekçiöğlu, 2013).

Meyve (Hipantiyum): Meyve botanik olarak yalancıdır. Gerçek meyvesi hipantiumun içerisinde yer alan kemiksi yapıdaki tohumlarıdır. Meyve şekli kısa-uzun ovale kadar değişebilir, içi tüylü, çevre şartlarına ve türe göre meyve ağırlığı 1-8 g ve meyve boyu 1-3 cm olabilmektedir. Rengi türe bağlı olarak sarı, turuncu, kırmızı, mor veya bunların tonları şeklindedir (Şekil 3). Olgunlaşma devresi ise türe ve bölgenin iklim şartlarına bağlı olarak Temmuz-Ekim ayları arasındadır. Tatlı, mayhoş ve aromatik olan meyveleri oldukça besleyici ve gıda maddesi açısından da zengindir. Tüketilen kısım, çiçek yuvasının gelişmesiyle oluşan yalancı meyve kısmıdır. Meyveler olgunlaştıkça sarımsı-kırmızıdan saf kırmızıya döner. Meyve içerisinde çok sayıda sert kabuklu tüylü tohum vardır. Fakat bazı türlerde meyve içinde birkaç çekirdeğe, bazılarında ise çekirdeğe rastlanmamaktadır. Sepaller meyve olgunluğunda dökülmüş olmasına rağmen bazı türlerde dökülmezler.



Şekil 3. Kuşburnu meyvesi (sol) ve çiçeği (sağ)

Kuşburnu'nun Döllenme Biyolojisi

Kuşburnu türlerinin çoğu kendine döllenir; kendilemede meyve bağlama nispetleri çoğunlukla % 40'ın üstündedir. Serbest tozlanmada meyve tutumu çok yüksektir ve türler birbirleri ile kolaylıkla melezlenebilirler. Ama *Rosa pendulina* türü kendine kısırdır. Alt cinslerden Eurosa (*Rosa*) seksiyonlarının birçoğu ise poliploid'tir.

Ekolojik İstekleri

Kuşburnu, zorlu çevre şartlarına yüksek uyum kabiliyeti sayesinde "marjinal" alanlarda dahi üretilebilme potansiyeline sahiptir.

İklim unsuru: Soğuğa ve kuraklığa dayanıklıdır. Deniz seviyesinden 2.500 m rakıma kadar olan alanlarda yetişebilir ve güneşi çok sever.

Toprak unsuru: Toprak yapısı hususunda seçici değildir ve kireçli toprakları tercih etse de, her türlü toprak yapısında yetişebilir. İyi drenajlı ve verimli topraklar kök gelişimi için idealdir.

Bahçe Tesisi

Arazi, seçildikten sonra dikimden önce toprak derince sürülür. Toprak yapısının ıslahı için yanmış hayvan gübresinin toprağa karıştırılması uygun olur. Kışı çok sert geçen yörelerde dikimin uyanma öncesi yapılması tavsiye edilirken kışı mutedil geçen yörelerde dinlenme dönemi boyunca dikim yapılabilir. Fidan dikimi; sıra üzeri mesafesine göre dikim karıklarına veya fidan çukurlarına yapılır (Şekil 4). Ama dikim fidan çukurlarına yapılacaksa çukurları sonbaharda açmakta yarar olacaktır. Dikim mesafeleri ise çeşit ve arazi özelliği dikkate alınarak 1-1.5 m x 3 m olabilir. Aşılı fidanların dikiminde, aşılı noktasının toprak yüzünden yukarıda kalmasına özen gösterilmeli, dikim sonrası yeteri kadar can suyu verilmesi ihmal

edilmemelidir. Fidanlar, dikilirken hereğe ihtiyaç duymayabilir (Şekil 5). Verimin artırılması için bahçenin farklı türlerle tesis edilmesinde fayda vardır ve bahçenin zarar görmemesi için ise etrafının it ile çevrilmesi önem arzeder.



Şekil 4. Bahçe tesisi



Şekil 5. Yeni tesis edilmiş bir bahçe

oğaltımı

Kuşburnu ekseriya tohumla, çelikle, aŐıyla, daldırmayla, kök (dip) sürgünü ve doku kültürüyle oğaltılabilirler.

Tohum ile oğaltım: Yabancı tozlanan ya da yabancı tozlanmaya yatkın türlerde bu çoğaltım usulü tavsiye edilmez. Bunun sebebi meyve tür ve çeŐitlerinde yabancı döllenmenin (allogami) yaygın oluŐu ve bundan dolayı meyve türlerinin irsi (genetik) yapılarının heterozigoti bir yapı arz etmeleridir.

Tohumlar, hem tohum kabuğu sert olduğu için hem de içsel dinlenmeden dolayı kolayca çimlenmezler. Bunun için ya doğrudan araziye sonbaharda ekilirler ya da ekim bahara kaldıysa tohumlar nemli kumda +4 °C'de 3-4 ay bekletilerek katlamaya tabi tutulurlar. Yine tohumların yüksek nispette çimlenebilmesi için meyvelerin koyu turuncu veya hafif kırmızıya dönüştüğünde derilmesine dikkat edilmelidir (Ağaoğlu, 1986).

Çelik ile çoğaltım: Çelik ile çoğaltımda başarı nispetinin çelik tipi, çeliğin alınma zamanı, bitkinin beslenme ve sağlık durumu ile çeliğin yaşı gibi unsurların yanı sıra tür farklılığının da mühim olduğunu söylemek icap eder. Bazı türlerin çeliklerinde kolaylıkla köklenme olurken bazı türlerde köklenme daha güç olabilmektedir. Çelik ile çoğaltım için güz sonu ya da kış başında bir yaşlı 6-9 mm kalınlığındaki sürgünler alınır. 15-20 cm boyunda hazırlanan çelikler demet yapılarak rutubetli kum veya peat yosunu içerisinde rutubetini kaybetmeyecek şekilde buzdolabında muhafaza edilirler. Bu çelikler ilkbaharda köklenmeye tabi tutulurlar. Aynı sene oluşan sürgünlerin kısmen sertleştiği dönemde alınan çelikler de elverişli ortamlarda köklendirilebilirler.

Aşı ile çoğaltma: Bu yöntem, bitkilerin dikenli olması ve çokça dip sürgünü teşkil etmesinden dolayı pratik değildir. Bununla beraber “yongalı” veya "T" göz aşı teknikleri ile basitçe çoğaltılabilmektedir. Anaç olarak ekseriya *Rosa multiflora* türü kullanılmaktadır.

Daldırma ile çoğaltma: Bitkinin bir yaşlı dalları elastiki yapıda olduğu için kolaylıkla toprağa yatırılarak köklenmelerini sağlanabilir. Toprakaltında kalacak kısmın alt kısmı çizilerek köklenme hızlandırılabilir. Ortamda bulunan toprağın köklenme boyunca nemli kalmasına itina gösterilmelidir.

Kök (dip) sürgünüyle çoğaltım: Bitkinin kök boğazından veya kökteki gözlerden birçok sürgün oluşur. Bu sürgünler büyüme devresinde gelişimlerini sürdürürler. Yapraklar döküldükten sonra erken ilkbahara kadar bu sürgünler köklü olarak alınır ve fidan olarak kullanılırlar. Kök sürgünü oluşturma bakımından *Rosa* türleri arasında da değişiklikler bulunur.

Doku kültürüyle çoğaltım: Kuşburnu bitkisinde de değişik doku kültürü yöntemleri kullanılabilmektedir. Doku kültürüyle çoğaltımda explant başına 2-3 arasında bitki teşekkül etmektedir (Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu, 2013).

Bakım İşlemleri

Fidan dikimi ve bahçe tesisi: Çeşit, ekoloji, mekanizasyon imkanı gibi unsurlara bağlı olarak farklı dikim mesafeleri uygulanabilir. Buna göre tavsiye edilen dikim mesafeleri 1mx 1.5m, 2mx 2.5m, 3mx3m olabilmektedir.

Kuşburnu Bahçesinde Yıllık Bakım İşleri

Budama: Kuşburnu'da, öbür meyve ağaçları gibi şiddetli ve düzenli bir budama icap etmez. Ocaktaki bitkide dal seyreltmesi biçiminde hafif bir

budama yaparak verim ve kalite artırılmaya çalışılır. Bitki, dip sürgünü oluşturmaya eğimli olduğundan bunların denetlenmemesi halinde daha geniş bir alana yayılarak bakım işlemlerini zorlaştırabilirler. Bahçe tesisinde, verimi artırmaya dönük olarak, birden fazla çeşit kullanılması tavsiye edilir. Fidanların dikiminden sonra can suyu verilmelidir. Dikimde hereğe ise ihtiyaç duyulmayabilir.

Toprak işleme: Yabani otları yok etmek, gübrelerin toprağa karışımını temin etmek, toprağı havalandırmak, su yitiğini azaltmak ve toprakta kışlayan zararlıları öldürmek gayesiyle senede birkaç defa toprağı işlemek uygundur.

Sulama: Sulama imkanlarının olduğu alanlarda, bilhassa bahçe tesisinin ilk yıllarında toprağın vaziyetine bakılarak gelişme döneminde birkaç defa sulama yapmak yararlı olacaktır.

Gübreleme: Yeni sürgün teşekkülü, bitki boyu, meyve iriliğı, verim ve meyve eti oranını artırmak için lazımdır. Büyük bahçelerde verilecek gübre miktarı, zamanı ve yöntemini tespit için toprak veya yaprak tahlili yaptırmayı ihmal etmemelidir. Ayrıca sulama yapılacaksa sulama suyunun tahlil ettirilmesinde de yarar vardır.

Hasat: Derimde meyvenin tam olum rengini aldığı ve C vitamini muhtevasının yüksek olduğu zaman göz önünde bulundurulur. Derim zamanı, yükselti ve öbür bazı unsurlara bağılı olarak Ağustos-Eylül aylarında gerçekleştirilir. Meyveler normal rengini aldıklarında, yumuşamalarına müsaade edilmeden derim yapılır. Eğer meyveler yumuşamaya başlarsa C vitamini kapsamında kayıplar olabilir. Ülkemizde kuşburnunun derimi el ile gerçekleştirilir. Ancak dallardaki dikenler hasadı zora sokmaktadır (Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu, 2013).

Verim: Çeşit, ekoloji ve bakım şartlarına bağılı olarak verim 1-10 kg/bitki arasında değişmektedir.

Ekonomik ömür: Esasen Kuşburnu uzun ömürlü bir bitki olduğundan bahçenin ekonomik ömrü de en az 20 yıldır.

Hastalıklar ve Zararlılar

Hastalıklar

Pas hastalığı (Phragmidium mucronatum Pers.): Gelişme başlangıcında yaprakların altında çok sayıda, çok ufak tozumsu kabarcıklar oluşur. Bunlar, önceleri sarımsı, sonbahara doğru ise siyaha dönüşürler. Yaprak üstündeysen sarı ya da kırmızımsı lekeler teşekkül eder (Şekil 6). Aynı şeyler yine ilkbaharda dallarda da gözlenir. Hastalık, yaprakların sararıp solmasına ve erken döküme yol açar. Hastalıkla mücadelede Thiocarbamat ve toz kükürt preparatlarının karışımları kullanılır.



Şekil 6. Yapraklarda pas hastalığı

Külleme hastalığı (Sphaerotheca pannosa Wallr.): Bilhassa genç yapraklarda, beyaz ve unlu yapı teşekkül eder. Bulaşık yapraklar küçük olur, kıvrılır ve kısmen kırmızıya dönüşürler. Tomurcuklarda ve meyve boğazlarında bazen beyazımsı, sonraları gri kahverengi şekiller gözlenir (Şekil 7). Mücadelesinde kükürtlü ilaçlar kullanılır.



Şekil 7. Külleme hastalığı

Mildiyö hastalığı (Peronospora sparsa Berk.): Yaprakların üst sathında bozuk renklenme, şekilsiz, ekseriye köşeli, sarımsı kahverengiden erguvanî renge kadar değişen ve daha sonraları grimsi renkli kuru lekeler teşekkül eder. Yaprak alt sathındaysa erguvanî renkte ince ve gri- beyaz renk teşekkül eder. Sürgün ve çiçek saplarında benzeri lekeler görülür. Yapraklar yuvarlak hale gelir, körelir, solar ve kolaylıkla dökülür. Sürgünlerse çürüyerek ölürler. Tabii türlerde nadiren fakat fidanlıklarda sıkça rastlanmaktadır.

Yaprak siyah lekesi (Marssonina rosae Lib.): Yapraklar üzerinde bilhassa geç yaz ve kış aylarında önceleri ufak ve daha sonra çok sayıda artan, şekilsiz kahverengi veya siyah renkli lekeler oluşur. Bu arada sürgünlerin yeşil kabuğu üzerinde ve çiçek yapraklarında açık renkli lekeler teşekkül eder. Sonra bunlar küçük siyah ve kırmızımsı lekeler dönüşür (Şekil 8). Hastalıklı yapraklar sararır ve hafif bir dokunma ile ya da kendiliğinden düşer, hastalık salgına dönüştüğünde toprağa düşen yapraklardan köklere de intikal eder. Erken yaprak dökümü olması halinde sonbaharda tekrar yapraklanma görülür. Bitkiler zayıflar ve ertesi yıl çiçeklenme ya az ya da hiç olmaz. Mücadelesinde bakırlı ve kükürtlü ilaçlar kullanılır (Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu, 2013).



Şekil 8. Yaprak isyah lekesi

Zararlılar

Afitler: Tüm güllerin en genel ve ciddi zararlılarıdır. Genelde yeşildirler ama değişik renkte olanlar da mevcuttur. Bitkilerin sürgün ve gözlerinde koloniler halinde yaşamayı sürdürürler (Şekil 9). Bilhassa ergin ve nimfleri, yaprak, göz ve filizlerde emgi yaparak beslenirler. Mücadelesinde dimethoate kapsayan uzun süre etkili olan ilaçlar kullanılmalıdır. Bunun yanında öbür kontak tesirli insektisitler ile mücadele edilir.



Şekil 9. Yaprak bitleri

Gül kabuklu bitleri: Beyaz, gri ve kül rengini almaları muhtemeldir. Nimf ve erginleri bitkinin özsuyunu emerek zarar verirler. Mücadelesinde kabuklu bitlere karşı kullanılan herhangi bir ilaç kullanılabilir. Etkili bir mücadele için sistemik bir insektisit kullanmakta yarar vardır.

Gül filiz burguları (Ardis brunniventris Hartig): Gül filiz burgusu larvası sürgünleri delerek öz kısmına girerler ve bu kısmı yerler. Zarar gören sürgünün gelişmesinde duraklama görülür. Sürgün solar ve daha sonra kurur. Mücadelesinde larvalar henüz sürgün içerisinde iken kesilir ve yakılır. Mücadelesinde herhangi bir insektisit de kullanılabilir.

Kırmızı örümcek (Tetranychus urticae Koch.): Vücut oval, sarı, yeşilimsi sarı, kahverengimsi yeşil, kışlayan dişiler, portakal sarısı veya kiremit renginde olur. Vücudun sırt kısmında sağ ve solunda siyah benekler olduğu için "iki benekli kırmızı örümcek" de denilir. Yaprakları emerek zarar verirler. Genelde Haziran ayı sonlarından itibaren yaprak altlarında akarın değişik devreleri gözlenir. Mevsim ilerledikçe akarın ağları bariz hale gelir ve yapraklarda kıvrılma ve kurumalar başlar. Akar yoğunluğu arttıkça yapraklarda kurumalar da artar. Bu hal, bitkinin gelişmesine mani olacağından meyveler normal iriliklerine ulaşamazlar. Mücadelesinde, biyolojik yöntem daha ziyade tavsiye edilse de seçici bir akarisit tavsiye edilebilir. İlaçlama, yeni larva çıkışlarının önüne geçebilmek için 15 gün aralıklarla tekerrür eder (Ağaoğlu ve Gerçekcioğlu, 2013).

Gıda Değeri

Vitamin İçeriği (Askorbik Asit): Kuşburnu, bilinen en yüksek C vitamini muhtevasına sahip meyvelerin başında gelir. 100 gram taze meyvede 1000–1700 mg veya daha fazla askorbik asit bulunabilir. C vitamini miktarı, meyvenin olgunlaşmaya başladığı devrede en yüksektir (Zorlu vd., 2020). Kuşburnu meyveleri ayrıca P, A, B1, B2, E ve K vitaminlerini de ihtiva eder.

Karotenoidler: Kuşburnu meyvesi, mühim bir β -karoten ve likopen kaynağıdır. Ayrıca rubiksantin, lutein, β -kriptoksantin ve zeaksantin gibi karotenoidleri içerir (Zorlu vd., 2020).

Fenolik Bileşikler: Kateşin, kuersetin, kamferol, Hidroksisinamik asit gibi önemli fenolik maddeleri içerir (Zorlu vd., 2020).

Tohum Yağı: Tohumları, yüksek miktarda doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir yağ kaynağıdır (Zorlu vd., 2020).

Diğer Bileşenler: Mineraller, tokoferol, bioflavonoidler, meyve asitleri, tanen, pektin ve aminoasitler de dahil olmak üzere zengin bir bileşim sunar.

Farmakolojik Etkileri ve Tıbbi Kullanımı

Kuşburnu, ananevi ve modern tıpta birçok faydası ispat edilmiş bir bitkidir (Öz vd., 2018). Kuşburnu, Hipokrat zamanında iltihaplara karşı, Orta Çağ'da ise ishale ve diş eti kanamalarına karşı kullanılmıştır (Sefa ve Çetin, 2022). Ülser ve üşütmeye karşı kullanılır. İshal tedavisinde, mesane ve safra taşlarının düşürülmesinde, kan şekerinin düşürülmesinde ve hemoroid rahatsızlıklarında da kullanıldığı bilinmektedir (Sefa ve Çetin, 2022). Anti-inflamatuar hususiyetleri sayesinde, bilhassa osteoartrit ve romatoid artrit gibi iltihaplı eklem hastalıklarında ağrıları ve iltihabı azalttığı gösterilmiştir (Öz vd., 2018). Bu etki, hareket kabiliyetini artırabilir. Kuşburnu, kan basıncını tanzim etmeye ve kötü kolesterol (LDL) seviyesini düşürmeye katkıda bulunur, bu da kalp hastalıkları riskini azaltır. İnsülin duyarlılığını artırma ve kan şekerini dengeleme potansiyeli vardır. Yüksek C vitamini içeriğiyle bağışıklığı artırır ve vücudu soğuk algınlığı, grip gibi hastalıklara karşı muhafaza eder. C vitamini kolajen üretimini artırırken, antioksidan içeriği cilt yaşlanmasını geciktirir ve yara izlerini iyileştirmede etkilidir. Pektin ve lifler sayesinde bağırsak hareketlerini düzenler, kabızlığı önler ve mide-bağırsak sağlığını destekler

Kuşburnu İşleme Yöntemleri ve Ürünleri

Kuşburnu, kullanım alanı geniş, yüksek katma değerli bir bitkidir (Mutlu ve Sandıkçı, 2022). Gıda maddelerince zengin ve değişik yan ürünlere işlendikten sonra tüketilebilen sanayiye uygun bir meyve türü olup, taze veya sofralık tüketime pek uygun değildir. Ama yine de bazı türlerin meyveleri, taze tüketilebilecek albeni ve kıvama sahiptir. Kuşburnunda işleme sürecindeki uygulamalar neticesinde bazı organik maddeler zarar görmekte ve büyük miktarda azalmaktadır. Gıda sanayiinde değerlendirilmeye elverişli olmasına rağmen ülkemizde ancak son senelerde değişik şekillerde değerlendirmeye alınmıştır. Öncelikle Avrupa ülkeleri olmak üzere, öteki ülkelerde kuşburnunun gıda ve ilaç sanayiinde kullanımı çok fazladır. Bugün ülkemizin farklı yerlerinde 20 civarı tesiste kuşburnu meyvesi değişik ürünlere işlemektedir.

Marmelat, Reçel ve Pekmez: En yaygın ticari ürünlerdir (Mutlu ve Sandıkçı, 2022). Marmelat yapılırken, meyve ezilerek çekirdekleri ayrılır (Şekil 8).

Çay ve Meyve Suyu: Kurutulmuş veya taze meyveden çay ve meyve suyu gibi ürünler imal edilmektedir (Şekil 8).

Yeni Ürünler: Kuşburnu çorbası, salata sosu, kuşburnulu ekmek ve kuşburnu ketçabı gibi yenilikçi ürünler geliştirilmektedir (Mutlu ve Sandıkçı, 2022).

Kuşburnu Çekirdeği Yağı: Tohumlarından elde edilen yağ, doymamış yağ asitleri ve kozmetik faydalarından dolayı ıtriyat sektöründe yaygın olarak kullanılır (Öz vd., 2018; Zorlu vd., 2020).



Şekil 8. Kuşburnu suyu (sol) ve marmelatı (sağ)

Boyar Madde: Bitkinin kökleri ve çiçekleri, boya maddesi olarak gıda ve giyim sanayisinde değerlendirilmektedir (Zorlu vd., 2020; Mutlu ve Sandıkçı, 2022).

Yem ve Gübre: İşlemeden kalan çekirdekler, hayvan yemi karışımlarında veya gübre olarak değerlendirilir (Mutlu ve Sandıkçı, 2022).

Dericilik: Dalları üzerindeki süngerimsi teşekküller dericilikte kullanılmaktadır.

Ekonomik Potansiyeli

Kuşburnu, yatırımın masrafına göre 2-3 misline yakın bir fayda sağlandığı tespit edilen ve kârlı bir yatırım potansiyeline sahip bir bitkidir. Yüksek seviyede talepten dolayı kültüre alma çalışmaları ağırlık kazanmıştır.

SONUÇ

Bu çalışma, kuşburnunun (*Rosa canina L.*) botanik, kimyasal ve sosyo-ekonomik değerini teferruatlı olarak incelemiştir. Sağlanan bulgular, kuşburnunun sadece tabii floranın bir parçası olması ötesinde, modern sağlık, gıda ve kozmetik endüstrileri için yüksek katma değerli ve stratejik bir kaynak olduğunu doğrulamaktadır.

Kuşburnu, zorlu ekolojik şartlara kolayca adapte olma sayesinde marjinal arazilerde dahi başarıyla yetiştirilebilen, kuraklığa ve soğuğa dayanıklı bir bitkidir (Tarfin, 2022). Morfolojik olarak dikenli yapısıyla zorlu bir hasada sahip olsa da, geliştirilen dikensiz çeşitler ve kültüre alma çalışmaları ticari üretimi desteklemektedir. Kimyevi olarak, kuşburnunun en mühim vasfı, limon ve benzeri turunçgillere göre çok fazla C vitamini (Askorbik Asit) ihtiva etmesidir (Zorlu vd., 2020). Ayrıca likopen, beta-karoten, flavonoidler ve doymamış yağ asitleri gibi güçlü biyoaktif bileşenler ihtiva etmesi onu güçlü bir antioksidan, anti-inflamatuar ve kardiyoprotektif ajan yapar (Öz vd., 2018). Farmakolojik açıdan, ilmi çalışmalar kuşburnu meyve ve çekirdeğinin geleneksel kullanımlarını desteklemiş; bilhassa osteoartrit ve romatoid artrit gibi eklem rahatsızlıklarında ağrıyı ve iltihabı azaltıcı, bağışıklık sistemini güçlendirici ve kardiyovasküler sağlığı koruyucu etkileri olduğu ispatlanmıştır. Ekonomik açıdan bakıldığında, kuşburnu; marmelat, reçel ve çay gibi geleneksel gıda ürünlerinin yanı sıra, tohumlarından elde edilen anti-aging kuşburnu yağı ile kozmetik sektöründe ve kök/çiçekleri ile boya sanayisinde kendine yer bulmuştur (Mutlu ve Sandıkçı, 2022). Kapama bahçeciliğin kârlı bir yatırım olduğu bilgisi, kuşburnunun gelecekteki zirai stratejilerde daha fazla yer alması gerektiğini göstermektedir.

Netice olarak, kuşburnu (*Rosa canina L.*), yüksek gıda değeri, kapsamlı tıbbi faydaları ve çok yönlü endüstriyel kullanım potansiyeli ile Türkiye'nin biyo çeşitliliğinde ve ekonomisinde öncü roller üstlenmeye aday değerli bir tabii kaynaktır. Bu potansiyelin tamamen değerlendirilmesi için modern işleme teknolojilerine yatırım yapılması ve tescilli çeşitlerin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Ağaoğlu, Y.S., 1986. Üzümsü Meyveler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 984 Ankara.
- Ağaoğlu, Y.S., 2003. Türkiye'de Üzümsü Meyvelerin Dünü, Bugünü ve Yarını Ulusal Kivi ve Üzümsü Meyveler Sempozyumu, 23-25 Ekim 2003, Ordu, Bildiriler Kitabı:1-13. Ordu.
- Ağaoğlu, Y.S., 2006. Türkiye'de Üzümsü Meyvelerin Bugünkü Durumu ve Geleceği. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu 14-16 Eylül 2006, Tokat. Bildiriler Kitabı: 1-7. Tokat.
- Ağaoğlu, Y.S., Gerçekcioğlu, R., 2013 Kuşburnu Yetiştiriciliği (Üzümsü Meyveler), s.423-457, Tokat.
- Baloğlu, T. ve Bilir, N., 2020. Kuşburnu'nda (*Rosa canina L.*) Bazı Meyve ve Büyüme Özellikleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 11(2): 124-129.
- Davis, P.H., 1972. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, 4: 124.
- Mutlu, D., & Sandıkçı, E., 2022. Kuşburnunun Türkiye'deki Gastronomik Kültür İçerisindeki Yeri. *Çatalhöyük Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 273-294.

- Öz, M., Koç, N. N., & Çınar, İ., 2018. Gümüşhane Yöresi Kuşburnu ve Siyah Kuşburnu Meyvelerinin C Vitamini ve Şeker A. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 284-292.
- Sefa, B., & Çetin, G., 2022. Türk Kültüründe Kuşburnu. *Uluslararası Tarih ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 35-49.
- Ünal, MS., 2025. Üzüm Meyveler, Kullanım Alanları İle Beslenme Değerleri. 7th International Black Sea Modern Scientific Research Congress, Haziran 24-26, Artvin.
- Zorlu, N., Tartık, M., & Yaman, M., 2020. Kuşburnu Meyvesinin Değişik Ürünlere İşlenirken Besinsel Kalitesindeki Değişim. *Akademik Gıda*, 18(2), 205-212.
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ku%C5%9Fburnu> Erişim T.: 8.2.2026
- <https://yetistiricilik.com/kusburnu-yetistiriciligi/> Erişim T.: 9.2.2026
- <https://www.bitki.market/kusburnu/> Erişim T.: 9.2.2026

Beslenmede Yenilikçi Bir Kaynak: Mikroalgler

Ahmet BOZAVLI¹

Pınar OĞUZHAN YILDIZ²

- 1- Yüksek Lisans Öğr.; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, ahmetbozavli.35@gmail.com, ORCID: 0009-0003-1300-5433
- 2- Doç. Dr.; Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, pinaroguzhan@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9892-7925

ÖZET

Fonksiyonel gıdalar, yalnızca temel besin öğelerini sağlamakla kalmayıp, bireyin sağlığını korumaya, iyileştirmeye ve hastalık riskini azaltmaya yönelik bilimsel olarak kanıtlanmış etkileriyle modern beslenme stratejilerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu ürünler, içeriklerindeki biyoaktif bileşenler sayesinde sindirim sistemi, bağışıklık sistemi ve kardiyovasküler sistem gibi pek çok fizyolojik işlevi desteklemekte; böylece toplum sağlığının geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda mikroalgler, doğal kökenli olmaları, çevresel açıdan sürdürülebilir üretim olanakları sunmaları ve sentetik katkı maddelerine alternatif oluşturmaları nedeniyle giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Mikroalglerin kimyasal kompozisyonları tür, yetişme ortamı ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte; protein, lipid, karbonhidrat, pigment, vitamin ve mineral içerikleri bakımından oldukça zengin bir profil sergiler. Bu özellikleri, onları fonksiyonel gıda endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahip yenilikçi biyokütle kaynakları haline getirmektedir. Mikroalglerin antimikrobiyal, antiinflamatuvar, hipolipidemik ve antikanserojen etkileri, onları yalnızca geleneksel beslenmenin ötesinde terapötik amaçlı gıda formülasyonlarında da değerli kılmaktadır. Gıda endüstrisinde mikroalglerden elde edilen pigmentler, polisakaritler, lipid fraksiyonları ve peptitler; doğal renklendirici, emülgatör, tekstür iyileştirici veya fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanılabilir. Bu çok yönlü kullanım potansiyeli, mikroalgleri hem beslenme hem de endüstriyel uygulamalar açısından stratejik bir kaynak haline getirmektedir. Dolayısıyla mikroalgler, modern beslenme anlayışında yalnızca sağlıklı bir besin kaynağı değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda endüstrisinin geleceğini şekillendiren yenilikçi bileşenler olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler –Fonksiyonel gıda, Mikroalgler, Sağlık etkileri, Spirulina, Chlorella

GİRİŞ

Fonksiyonel gıdalar, yalnızca temel besin öğelerini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda bireyin sağlığını korumaya, iyileştirmeye ve hastalık riskini azaltmaya yönelik bilimsel olarak kanıtlanmış fizyolojik etkiler gösteren ürünlerdir. Bu gıdalar, doğal bileşimlerinde bulunan veya üretim sürecinde ilave edilen biyoaktif bileşenler aracılığıyla sindirim sistemi, bağışıklık sistemi ve kardiyovasküler sistem gibi çeşitli vücut fonksiyonlarını desteklemektedir (Essa et al. 2023; Vignesh et al. 2024).

Literatürde fonksiyonel gıdalar farklı şekillerde tanımlanmıştır. Örneğin, Kürkçü (2022) fonksiyonel gıdaları “normal diyetin bir parçası olarak tüketilebilen, besleyici etkilerinin ötesinde hedeflenen bir ya da daha fazla vücut fonksiyonu üzerinde bilimsel olarak kanıtlanmış olumlu etkileri bulunan gıdalar” olarak tanımlarken; Aguiar ve arkadaşları (2019) ise “bireyin sağlığı üzerinde olumlu etkiler sağlayan, fizyolojik işlevleri düzenleyebilen veya hastalık riskini azaltabilen gıdalar” şeklinde ifade etmiştir. Bu tanımlar, fonksiyonel gıdaların yalnızca beslenme değil, aynı zamanda sağlık stratejilerinin de önemli bir parçası olduğunu göstermektedir.

Fonksiyonel gıdalarda sıklıkla kullanılan biyoaktif bileşenler arasında probiyotikler, prebiyotikler, diyet lifleri, omega-3 yağ asitleri, antioksidanlar, polifenoller, vitaminler ve mineraller yer almaktadır. Bu bileşenlerin fonksiyonel ürünlerde kullanımı, gıda ürünlerinin hem besin değerini hem de sağlık açısından katkılarını artırmakta; böylece tüketici ihtiyaçlarına yönelik daha faydalı ve sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Dayısoylu ve Tekin-Sakallı 2020).

Fonksiyonel gıdalar içeriklerine ve sağladıkları fizyolojik faydalara göre çeşitli alt kategorilere ayrılmaktadır (Çirişoğlu ve Olum 2019; Özacar 2022):

Tıbbi Gıdalar: Codex Alimentarius kapsamında, hastalığa özgü olarak geliştirilmiş ve yalnızca tıbbi gözetim altında kullanılabilen özel formüllü ürünlerdir (Özacar 2022).

Zenginleştirilmiş Fonksiyonel Gıdalar: Besinsel veya fonksiyonel değeri artırılmış geleneksel gıdaların geliştirilmiş formlarıdır. Örneğin probiyotik yoğurtlar, omega-3 ile zenginleştirilmiş süt, D vitamini eklenmiş margarin veya kalsiyum takviyeli meyve suları bu kategoriye örnek olarak verilebilir (Granato et al. 2010).

Özel Amaçlı Fonksiyonel Gıdalar: Belirli sağlık sorunlarına yönelik geliştirilmiş, genellikle belirli yaş grupları, hasta bireyler ya da sporcular gibi özel gruplara hitap eden ürünlerdir. Bu ürünler kontrollü dozajlarda biyoaktif bileşenler içerir ve bazen klinik kullanım için de uygundur (Martirosyan ve Singh 2015).

Bitkisel ve Mikroalg Bazlı Fonksiyonel Gıdalar: Fitokimyasallar (flavonoidler, polifenoller, karotenoidler) veya mikroalglerden (örneğin Spirulina, Chlorella) elde edilen biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmiş ürünlerdir. Özellikle mikroalgler, sürdürülebilirlik ve yüksek besin değeri nedeniyle bu alanda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Batista et al. 2020).

Bu sınıflandırma, fonksiyonel gıdaların yalnızca beslenme alışkanlıklarını değil, aynı zamanda toplum sağlığını geliştirmeye yönelik stratejik bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle mikroalgler, sahip oldukları zengin biyokimyasal içerik ve sürdürülebilir üretim avantajlarıyla fonksiyonel gıda endüstrisinde yenilikçi bir kaynak olarak öne çıkmaktadır.

FONKSİYONEL GIDALARIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Fonksiyonel gıdalar, yalnızca temel beslenme ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, içeriklerindeki biyoaktif bileşenler aracılığıyla sağlık üzerinde çok yönlü biyolojik etkiler gösteren ürünlerdir. Bu gıdalar, kronik hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde destekleyici bir rol üstlenmekte; özellikle kardiyovasküler hastalıklar, metabolik sendrom, diyabet, kanser ve sindirim sistemi bozuklukları gibi yaygın sağlık sorunlarına yönelik çalışmalarda öne çıkmaktadır (Essa et al. 2021).

Kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde fonksiyonel gıdaların rolü dikkat çekicidir. Omega-3 yağ asitleri açısından zengin deniz ürünleri ve mikroalg kaynaklı bileşenler, kalp sağlığını koruyucu ve damar sertliğini önleyici etkileriyle bilinmektedir. Bu yağ asitleri, trigliserit seviyelerinin düşürülmesi, antiinflamatuvar mekanizmaların desteklenmesi ve kan basıncının düzenlenmesi gibi yollarla kardiyovasküler riskleri azaltmaktadır (Kris-Etherton et al. 2002).

Sindirim sistemi sağlığı açısından probiyotik ve prebiyotik içeren fonksiyonel gıdalar önemli katkılar sağlar. Probiyotikler, bağırsak mikrobiyotasını dengeleyerek patojen mikroorganizmaların çoğalmasını engeller ve bağırsak fonksiyonlarını düzenler. Bu durum, irritabl bağırsak sendromu ve inflamatuvar bağırsak hastalıklarının yönetiminde destekleyici bir etki yaratır. Prebiyotikler ise yararlı bakterilerin büyümesini teşvik ederek benzer faydalar sağlar (Sanders et al. 2013).

Kanser riskinin azaltılması da fonksiyonel gıdaların önemli etkilerindedir. Antioksidan bileşikler, serbest radikallerin neden olduğu oksidatif stresi azaltarak DNA hasarını önler. Polifenoller, flavonoidler ve karotenoidler gibi bileşenler, çeşitli kanser türlerinin gelişimini baskılayıcı potansiyel taşıır. Örneğin domateslerde bulunan likopenin prostat kanseri riskini azaltmada etkili olduğu bilimsel çalışmalarla desteklenmiştir (Manach et al. 2004; Meral vd. 2012).

Fonksiyonel gıdalar, inflamasyonu azaltıcı etkileri sayesinde metabolik sendrom, obezite ve tip 2 diyabet gibi kronik hastalıkların kontrolünde de fayda sağlamaktadır. Anti-inflamatuvar bileşenler, hücresel düzeyde inflamatuvar süreçleri düzenleyerek insülin duyarlılığını artırmakta ve glukoz metabolizmasını iyileştirmektedir (Canlı 2017). Bunun yanı sıra yaşlanma süreciyle birlikte ortaya çıkan vitamin ve mineral eksikliklerinin giderilmesinde, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde ve kas kütesinin korunmasında da fonksiyonel gıdalar destekleyici ürünler olarak kullanılmaktadır (Tercan 2019).

Dolayısıyla fonksiyonel gıdalar, modern beslenme stratejilerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş; sağlık üzerinde çok yönlü faydalarıyla toplum sağlığının geliştirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmıştır. Bu bağlamda mikroalgler, sahip oldukları yüksek besin değeri ve biyoaktif bileşenleriyle fonksiyonel gıda endüstrisinde yenilikçi ve sürdürülebilir bir

kaynak olarak değerlendirilmektedir. Proteinler, esansiyel amino asitler, omega-3 yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve antioksidanlar bakımından zengin içerikleri sayesinde mikroalgler, fonksiyonel gıdaların besin değerini artırmada etkili olmaktadır (Uzuner ve Haznedar 2020; Demircioğlu vd. 2025). Ayrıca doğal kökenli olmaları, çevresel açıdan sürdürülebilir üretim olanakları sunmaları ve sentetik katkı maddelerine alternatif oluşturmaları nedeniyle tüketici tercihlerinde giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır (Batista et al. 2020).

Tüm bu özellikler, mikroalgleri fonksiyonel gıda endüstrisinde yalnızca besin değeri açısından değil, aynı zamanda sağlık ve sürdürülebilirlik perspektifinden de değerli bir bileşen haline getirmektedir.

MİKROALGLERİN ÖZELLİKLERİ

Algler, klorofil içeren, ototrof ve fotosentetik organizmalar olup dereler, okyanuslar, tatlı su gölleri, kutup bölgeleri, nehirler ve su birikintileri gibi sucul ve yarı sucul ortamlarda geniş bir yayılım göstermektedir. Yapısal olarak mikroalgler ve makroalgler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Mikroalgler genellikle mavi-yeşil algler (*Cyanophyta*) olarak bilinirken; makroalgler yeşil algler (*Chlorophyceae*), kahverengi algler (*Phaeophyceae*), kırmızı algler (*Rhodophyceae*), diyatomerler (*Chrysophyceae*) ve kamçılı algler (*Flagellatae*) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Karakas 2019; Sasa vd. 2020).

Mikroalgler, tek hücreli veya basit çok hücreli yapıya sahip fotosentetik mikroorganizmalardır ve geniş çevresel adaptasyon yetenekleri ile dikkat çekerler. Tatlı su, deniz suyu ve nemli toprak gibi farklı habitatlarda yaşayabilen bu organizmalar; gıda, enerji, nutrasötikler, gübre, ilaç, kozmetik, kirlilik kontrolü ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi pek çok alanda kullanılabilir (Mostafa 2012; Oktor 2018; Uzuner ve Haznedar 2020; Liu ve Ruan 2022).

Fotosentez yoluyla güneş ışığını enerjiye dönüştüren mikroalgler, atmosferdeki karbondioksiti tüketip oksijen açığa çıkararak ekosistemlerin karbon döngüsünde kritik bir rol üstlenirler. Uygun koşullarda hızlı üreme yetenekleri sayesinde biyokütle üretiminde yüksek verim sağlarlar (Akgül vd. 2022). Kimyasal bileşimleri protein, lipid, karbonhidrat, vitamin, mineral ve pigmentler (örneğin karotenoidler ve fikosiyenin) açısından oldukça zengindir. Bu özellikleri, hem beslenme hem de sağlık açısından önemli bir potansiyel sunar. Ayrıca sıcaklık, ışık yoğunluğu, pH ve tuzluluk gibi çevresel faktörlere karşı yüksek uyum yetenekleri, mikroalglerin farklı ortamlarda yaşamasını ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını kolaylaştırır (Mata et al. 2010; Akyıl vd. 2016; Eleren ve Öner 2019; Sathasivam et al. 2019).

Günümüzde mikroalglerin çok sayıda ticari uygulaması bulunmaktadır. Gıda ve hayvan yemlerinin besin değerini artırmak, su

ürünleri yetiştiriciliğinde verimliliği yükseltmek, kozmetik ürünlere doğal içerik sağlamak ve bebek mamalarına çoklu doymamış yağ asitleri eklemek bu uygulamalardan bazılarıdır. Ayrıca pigmentler doğal renklendirici olarak kullanılmakta ve biyoteknolojik açıdan değerli moleküllerin kaynağı olarak önem taşımaktadır (Spolaore et al. 2006).

Fonksiyonel gıdalarda mikroalgler, proteinler, esansiyel amino asitler, omega-3 yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve antioksidanlar bakımından zengin içerikleri sayesinde besin değerini artırmada etkili olmaktadır (Uzuner ve Haznedar 2020; Demircioğlu vd. 2025). Doğal kökenli olmaları, çevresel açıdan sürdürülebilir üretim olanakları sunmaları ve sentetik katkı maddelerine alternatif oluşturmaları nedeniyle tüketici tercihlerinde giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır (Batista et al. 2020).

Mikroalglerden elde edilen pigmentler, polisakkaritler, lipid fraksiyonları ve peptitler; gıda endüstrisinde doğal renklendirici, emülgatör, tekstür iyileştirici veya fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanılabilir. *Spirulina* ve *Chlorella* gibi türler bağışıklık sistemini güçlendirme, inflamasyonu azaltma ve oksidatif stresi düşürme gibi etkileriyle öne çıkarken; *Dunaliella* yüksek beta-karoten içeriğiyle, *Haematococcus* ise astaksantin üretimiyle güçlü antioksidan özellik göstermektedir (Matos et al. 2017; Özlü ve Byram 2022; Nurko vd. 2023; Gaur 2024).

Mikroalglerin hızlı büyüme hızları, çevresel koşullara adaptasyon yetenekleri ve geleneksel tarımsal üretime göre daha çevreci ve ekonomik olmaları, onları sürdürülebilir bir gıda kaynağı olarak ön plana çıkarmaktadır (Naik et al. 2024). Tarihsel olarak *Nostoc* spp. gibi türlerin iki bin yıldan uzun süredir insanlar tarafından tüketildiği bilinmekte ve besin takviyesi olarak oynadıkları rol vurgulanmaktadır (Martinez-Ruiz et al. 2025).

Tablo 1: Fonksiyonel Gıdalardaki En Yaygın Mikroalg Türleri ve Uygulama Alanları

Mikroalg Türü	Biyoaktif Bileşenler	Fonksiyonel Gıda Uygulama Alanları	Sağlık Faydaları
<i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira</i>)	Protein, Fikosiyenin, Vitamin B12	Besin takviyeleri (tablet, toz), enerji içecekleri, protein zenginleştirilmiş gıdalar	Bağışıklık güçlendirici, antioksidan, enerji artırıcı
<i>Chlorella vulgaris</i>	Protein, Klorofil, Vitaminler, Mineraller	Besin takviyeleri, detoks ürünleri, fonksiyonel içecekler, atıştırmalıklar	Detoksifikasyon, bağışıklık desteği, sindirim sağlığı
<i>Dunaliella salina</i>	Beta-karoten	Antioksidan fonksiyonel gıdalar, doğal renklendirici, cilt destek ürünleri	Antioksidan, cilt sağlığı
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaksantin	Antioksidan takviyeleri, sporcu besinleri, cilt sağlığı ürünleri	Güçlü antioksidan, inflamasyon azaltıcı

MİKROALG ÜRETİMİ

Mikroalglerin kültüre alınması, bu organizmaların kontrollü çevresel koşullar altında çoğaltılarak biyokütle üretiminin sağlanması sürecidir. Mikroalgler genellikle ototrofik olarak, yani güneş ışığını ve inorganik karbon kaynaklarını (özellikle CO₂) kullanarak fotosentez yoluyla besin üretirler (Richmond 2004). Bu nedenle kültür ortamının başarılı bir şekilde kurulabilmesi için uygun ışık yoğunluğu, sıcaklık, pH, besin tuzları ve mikroelementlerin sağlanması kritik öneme sahiptir. Mikroalgler ışık spektrumunun 400–700 nm aralığını kullanarak fotosentez yaparlar; dolayısıyla ışık kaynağı ve süresi doğrudan büyüme hızını etkilemektedir (Elcik ve Çakmakçı 2017).

Mikroalglerin kültüre alınmasında iki temel sistem kullanılmaktadır: açık sistemler (havuzlar) ve kapalı sistemler (fotobiyoreaktörler).

Açık sistemler: En eski ve yaygın üretim tekniği olup düşük maliyet avantajına sahiptir. Ancak kontaminasyon riski ve çevresel faktörlerden etkilenme olasılığı yüksektir. Dairesel, yarış pisti ve karıştırmasız havuz tipleri bu sistemde kullanılmaktadır. Özellikle yarış pisti tipi havuzlarda

Spirulina platensis, *Haematococcus* sp., *Chlorella* sp. ve *Dunaliella salina* ticari olarak en yaygın üretilen türlerdir (Oktor 2018).

Kapalı sistemler (fotobiyoreaktörler): Daha kontrollü üretim imkânı sunar. Işık, sıcaklık, pH, gaz alışverişi ve sterilite gibi değişkenler hassas biçimde ayarlanabilmekte, bu da ürün kalitesini ve güvenliğini artırmaktadır. Açık sistemlerin dezavantajlarını gidermek amacıyla geliştirilen bu sistemlerde, reaktörler geometrilerine göre yatay/sarmal tübüler ve düz plaka fotobiyoreaktörler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yapılar, mikroalg kültürlerinde korumalı bir ortam sağlayarak kontaminasyon riskini azaltır ve üretim verimliliğini artırır (Oktor 2018; Kargin 2020).

Sonuç olarak, mikroalg üretiminde kullanılan sistemlerin seçimi, hedeflenen tür, üretim amacı ve ekonomik koşullara bağlı olarak değişmektedir. Açık sistemler düşük maliyetli ve geniş ölçekli üretim için uygunken; kapalı sistemler yüksek kalite, güvenlik ve kontrollü üretim gerektiren durumlarda tercih edilmektedir. Bu çeşitlilik, mikroalglerin hem gıda endüstrisi hem de biyoteknolojik uygulamalar için sürdürülebilir bir kaynak olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

MİKROALGLERİN KİMYASAL KOMPOZİSYONLARI

Mikroalgler, fotosentetik organizmalar olarak güneş ışığı, karbondioksit, su ve inorganik besin maddelerini kullanarak yüksek miktarda biyokütle üretebilen mikroorganizmalar grubunu oluşturur. Bu grup hem prokaryotik türleri (*Cyanobacteria*) hem de ökaryotik türleri (örneğin *Chlorella*, *Spirulina*, *Haematococcus*, *Dunaliella*) kapsamaktadır. Mikroalglerin kimyasal kompozisyonları; tür özellikleri, sucul ortamın fizikokimyasal yapısı, kültür koşulları (ışık şiddeti, sıcaklık, pH, azot-fosfor konsantrasyonu) ve hasat zamanı gibi çevresel faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Daşdemir 2012; Elçik ve Çakmakçı 2017; Türkmen ve Akyurt 2021; Mosibo et al. 2024).

Genel kimyasal yapıları $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P$ formülü ile temsil edilen mikroalgler; protein (%10–63), lipid (%4–55), karbonhidrat (%6–57), pigment (%1–5) ve vitamin-mineral (%4–10) içerikleriyle fonksiyonel gıdalarda kullanılmaya son derece uygundur (Akyıl 2016; Elçik ve Çakmakçı 2017). Özellikle *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* ve *Haematococcus pluvialis* türleri, yüksek besin değerleri ve sağlık destekleyici biyoaktif bileşenleriyle öne çıkmaktadır. *Spirulina* ve *Chlorella* yüksek protein içerikleriyle dikkat çekerken, *Haematococcus pluvialis* doğal astaksantin üretimiyle öne çıkmaktadır (Eleren ve Öner 2019).

Mikroalglerin zengin biyokimyasal içerikleri yalnızca beslenme açısından değil, aynı zamanda biyoteknolojik, farmasötik ve nutrasötik uygulamalar için de büyük potansiyel taşımaktadır. Başlıca bileşenler şu şekilde özetlenebilir:

Proteinler ve Amino Asitler: Mikroalgler %50'ye varan oranlarda protein içerebilir. Esansiyel amino asit profilleri açısından yüksek biyoyararlanıma sahiptirler. Spirulina ve Chlorella tam protein kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Uzuner ve Haznedar 2020; Nurko et al. 2023).

Lipitler ve Yağ Asitleri: Bazı türlerde lipit oranı %50'ye kadar çıkabilmektedir. Mikroalg yağları özellikle omega-3 (EPA, DHA) ve omega-6 gibi çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengindir. Bu yağ asitleri kardiyovasküler sağlık açısından kritik öneme sahiptir (Eleren ve Öner 2019; Dolganyuk et al. 2020).

Karbonhidratlar ve Polisakkaritler: Glikoz, nişasta, sakkaroz ve çeşitli polisakkaritler içerirler. Hücre duvarında ve sitoplazmada bulunan polisakkaritler enerji kaynağı olmanın yanı sıra prebiyotik özellik taşıyor ve immünomodülatör etkiler gösterir (Sarıgül 2018; Eleren ve Öner 2019).

Pigmentler: Klorofil a ve b, β -karoten, astaksantin, fikosiyanin ve likopen gibi pigmentler içerirler. Bu pigmentler doğal renklendirici olarak gıda ve kozmetik sektöründe kullanılmakta; antioksidan, antiinflamatuvar ve antikanserijen etkileriyle öne çıkmaktadır (Türkmen ve Akyurt 2021).

Vitaminler ve Mineraller: A, B1, B2, B12, C, D ve E vitaminleri açısından zengindirler. Özellikle B12 vitamini içeriği vegan diyetler için önemli bir kaynak oluşturur. Ayrıca Fe, Zn, Mg ve Ca gibi eser elementler bakımından da değerlidirler (Yıldız 2021).

Mikroalglerin bu çok yönlü fonksiyonel özellikleri, onları yalnızca besin kaynağı değil; aynı zamanda fonksiyonel gıda, ilaç, kozmetik, hayvan yemi ve biyoteknoloji alanlarında stratejik bir biyokütle kaynağı haline getirmiştir. Tablo 2'de bazı önemli mikroalg türlerinin kimyasal kompozisyonlarına ilişkin veriler sunulmaktadır (Akyıl 2016; Elçik ve Çakmakçı 2017; Oktör 2018; Eleren ve Öner 2019; Türkmen ve Akyurt 2021).

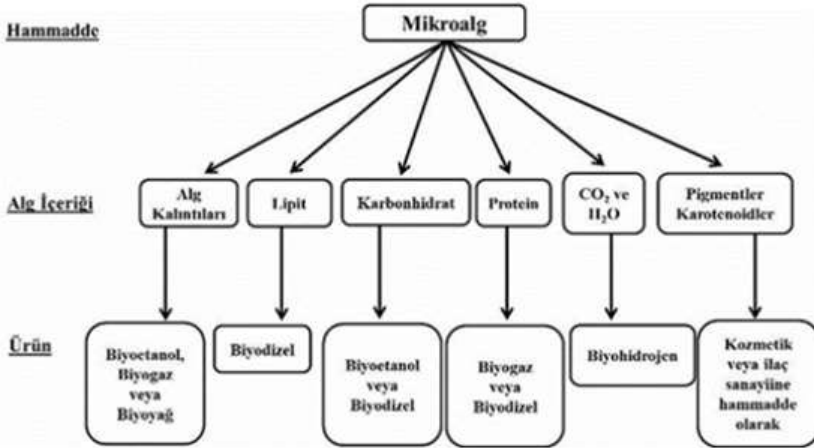
Tablo 2'deki veriler, mikroalg türleri arasında protein, lipid ve karbonhidrat oranlarının büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin Spirulina yüksek protein içeriğiyle öne çıkarken, Botryococcus braunii lipid açısından zengin bir türdür. Bu çeşitlilik, mikroalglerin farklı endüstriyel ve beslenme amaçlarına göre seçilmesini mümkün kılmaktadır.

Ticari açıdan önem arz eden mikroalgler arasında *Spirulina*, *Haematococcus*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Schizochytrium*, *Dunaliella*, *Nannochloris*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis*, *Skeletonema*, *Cryptocodinium*, *Phaeodactylum*, *Porphyridium*, *Nitzschia* ve *Isochrysis* yer almaktadır. Bunlar arasında insan tüketiminde en fazla değerlendirilenler; protein ve esansiyel bileşenler bakımından zengin olan *Aphanizomenon*, *Chlorella* ve *Arthrospira*, ayrıca karotenoidler ve antioksidanlar açısından zengin olan *Haematococcus* ve *Dunaliella* türleridir (Sasa vd. 2020).

Tablo 2: Bazı mikroalg türlerinin kimyasal kompozisyon içerikleri

Alg	Protein (%)	Lipit (%)	Karbonhidrat (%)
<i>Chlorella protothecoides</i>	46.3	50.5	15.43
<i>Botryococcus braunii</i>	-	27.37	20-76
<i>Spirulina platensis</i>	75.76	29.5	41.52
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	-	36-42	-
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	-	47	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	44.3	51.41	58
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	54.6	76.6
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	23-62	17

Mikroalgler, yüksek besin ve biyoaktif madde içerikleri, sağlık destekleyici etkileri ve sürdürülebilir üretim avantajları nedeniyle fonksiyonel gıda endüstrisinde büyük bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle mikroalglerin fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanımı, yeni ürün geliştirme ve sağlıklı beslenme stratejilerinde önemli bir araştırma ve uygulama alanı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1: Mikroalglerin içeriğine bağlı olarak elde edilen ürünler (Eleren ve Öner 2019)

Mikroalglerin içerdiği biyoaktif bileşikler sayesinde birçok farmakolojik ve fizyolojik fayda sağladığı gösterilmiştir. Bunların başlıcaları şunlardır (Oktor 2018):

Antioksidan aktivite: *Spirulina* ve *Haematococcus* türleri tarafından üretilen fikosiyenin, klorofil ve astaksantin gibi pigmentler serbest radikalleri etkisiz hale getirerek hücresel oksidatif stresi azaltır (Gauthier et al. 2020; Coulombier et al. 2021).

Antiinflamatuvar ve immünomodülatör etki: Polisakkaritler bağışıklık hücrelerinin aktivasyonunu destekleyerek vücut savunmasını güçlendirir. *Spirulina*'nın belirgin antiinflamatuvar etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Deng ve Chow 2011; Riccio ve Lauritano 2019).

Kardiyovasküler sağlık: Mikroalg yağlarının içerdiği omega-3 yağ asitleri trigliserid seviyelerini düşürerek kalp sağlığını destekler (de Jesus Raposo ve De Moraes 2015; Li et al. 2019).

Hipolipidemik ve hipoglisemik etki: Klinik çalışmalar, bazı mikroalg takviyelerinin total kolesterol ve LDL düzeylerini düşürdüğünü; glukoz metabolizmasını düzenlediğini göstermektedir (Güler vd. 2021).

Antikanserojen potansiyel: Astaksantin ve β -karoten gibi pigmentler hücre çoğalmasını baskılayarak kanser gelişimini önleyici etki göstermektedir (Aditi et al. 2025).

SONUÇ

Son yıllarda sağlıklı beslenme ve kronik hastalıkların önlenmesine yönelik artan ilgi, fonksiyonel gıdalara olan talebi önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda mikroalgler, yüksek besin değerleri, zengin biyolojik bileşen içerikleri ve çok yönlü fonksiyonel özellikleri sayesinde dikkat çeken doğal kaynaklar arasında yer almaktadır. Özellikle *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* ve *Haematococcus* gibi türler; protein, omega-3 yağ asitleri, vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve pigmentler açısından oldukça zengin bir profil sunmaktadır.

Mikroalglerin içerdiği biyoaktif bileşenler, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinden kolesterol düzeylerinin düzenlenmesine, antiinflamatuvar etkilerden oksidatif stresin azaltılmasına kadar geniş bir yelpazede sağlık yararı sağlamaktadır. Bu özellikleri, mikroalgleri yalnızca beslenme amaçlı değil, aynı zamanda terapötik gıda formülasyonlarında da değerli bir bileşen haline getirmektedir. Ayrıca hem hayvansal hem de bitkisel kaynaklara alternatif oluşturmaları bakımından sürdürülebilir beslenme ve çevresel açıdan da stratejik bir potansiyel taşımaktadır.

Mikroalgler, sağlıklı bir besin kaynağı olmanın ötesinde fonksiyonel gıda endüstrisi için büyük bir değer sunmaktadır. Bununla birlikte, bu potansiyelin etkin şekilde kullanılabilmesi için bazı kritik adımların atılması gerekmektedir:

- Tüketici farkındalığının artırılması, mikroalglerin beslenmedeki rolünün toplum tarafından daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

- Üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, endüstriyel ölçekli üretimde verimliliği ve kaliteyi artırarak mikroalglerin daha geniş kullanımını mümkün kılacaktır.

- Mevzuat düzenlemelerinin desteklenmesi, mikroalg bazlı ürünlerin güvenliğini ve piyasada kabulünü kolaylaştıracaktır.

Sonuç olarak mikroalgler, hem sağlıklı beslenme hem de sürdürülebilir gıda üretimi açısından geleceğin yenilikçi ve umut vadeden kaynakları arasında yer almaktadır. Fonksiyonel gıda endüstrisinde mikroalglerin daha etkin kullanımı, toplum sağlığının geliştirilmesine ve çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlayacaktır.

REFERANSLAR

- Abdel-Latif, H. M., El-Ashram, S., Yilmaz, S., Naiel, M. A., Kari, Z. A., Hamid, N. K. A., ... & Kucharczyk, D. (2022). The effectiveness of *Arthrospira platensis* and microalgae in relieving stressful conditions affecting finfish and shellfish species: An overview. *Aquaculture Reports*, 24, 101135.
- Aditi, Bhardwaj, R., Yadav, A., Swapnil, P., & Meena, M. (2025). Characterization of microalgal β -carotene and astaxanthin: exploring their health-promoting properties under the effect of salinity and light intensity. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18(1), 18.
- Aguiar, L. M., Geraldi, M. V., Cazarin, C. B. B., & Junior, M. R. M. (2019). Functional food consumption and its physiological effects. In *Bioactive compounds* (pp. 205-225). Woodhead Publishing.
- Akgül, G., Varol, M., & Erdem, A. (2022). CO₂ Derişiminin Ve Azot Stresinin *Chlorella vulgaris* Mikroalg Kültürünün CO₂ Tutma Verimine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 698-721.
- Akyıl, S., İter, I., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/biyolojik uygulama alanları. *Akademik Gıda*, 14(4), 418-423.
- Batista, A. P., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L., ... & Raymundo, A. (2020). Microalgae as functional ingredients in novel foods: challenges and perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 15–26.
- Canlı, G. M. (2017). Tip 2 diyabetli bireylerin fonksiyonel besinleri bilme, kullanma durumları ve ilişkili etmenlerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi, İstanbul.

- Çirişoğlu, E., & Olum, E. (2019). Türk mutfağındaki fonksiyonel gıdaların gastronomi turizmi açısından nemi. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(4): 1659-1680.
- Coulombier, N., Jauffrais, T., & Lebouvier, N. (2021). Antioxidant compounds from microalgae: A review. *Marine drugs*, 19(10), 549.
- Dayısoylu, K. S., & Sakallı, F. B. T. (2020). Commonly Consumed Functional Foods and Food Ingredients. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 4(2), 155-160.
- Daşdemir, O. (2012). Denizel ortamdan bazı mikroalg ve siyanobakterilerin izolasyonu ve uygun kültür ortamının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir*.
- de Jesus Raposo, M. F., & De Morais, A. M. M. B. (2015). Microalgae for the prevention of cardiovascular disease and stroke. *Life sciences*, 125, 32-41.
- Demircioğlu, F., Dündar, A. N., şahin, O. I., & Sarıcaoğlu, F. T. (2025). *Chlorella vulgaris* ilavesinin ekmek kalite kriterleri üzerine etkisi. *Gıda*, 50(3), 342-360.
- Deng, R., & Chow, T. J. (2010). Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae *Spirulina*. *Cardiovascular Therapeutics*, 28(4), e33-e45.
- Dolganyuk, V., Belova, D., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Katserov, D., ... & Sukhikh, S. (2020). Microalgae: A promising source of valuable bioproducts. *Biomolecules*, 10(8), 1153.
- Elcik, H., & akmakı, M. (2017). Mikroalg retimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University/Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 795-820.
- Eleren, S. ., & ner, B. (2019). Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: Mikroalgler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 304-319.
- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., ... & Qoronfleh, M. W. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 1-15.
- Gaur, K., Wal, A., Sharma, P., Parveen, A., Singh, P., Mishra, P., ... & Mishra, N. P. (2024). Exploring the Nutritional and Medicinal potential of *Spirulina*. *Natural Resources for Human Health* 4(3), 277-286.
- Gauthier, M. R., Senhorinho, G. N. A., & Scott, J. A. (2020). Microalgae under environmental stress as a source of antioxidants. *Algal Research*, 52, 102104.
- Güler, ., Türkoğlu, Z., Salık, M. A., Türkmen, ., & Arslaner, A. (2021). Fonksiyonel Bir Gıda Katkısı Olarak *Spirulina platensis*. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(3), 351-360.
- Haznedaroğlu, B. Z. (2023). *Chlorella vulgaris* Türü Mikroalglerde B Vitamini İçeriklerinin Uzun Süreli Pişirme Koşulunda Değişimi. *Akademik Gıda*, 21(2), 167-173.
- Karakaş, . (2019). Çeşitli deniz alglerinin antioksidan bileşenlerinin ve toplam antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul*.
- Kargın, H. (2020). *Akuakültürde Mikroalg retim Sistemleri ve Fotobiyoreaktörler Dünyada ve lkemizde Kullanımı*. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 3(3), 112-130.

- Kürkçü, B. (2022). Tüketicilerin fonksiyonel gıda tüketme eğilimlerinde sağlık kaygılarının ve sosyal değer algılamalarının anlaşılması: sağlık bilgi düzeylerinin düzenleyici rolü. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
- Li, Y., Lammi, C., Boschin, G., Arnoldi, A., & Aiello, G. (2019). Recent advances in microalgae peptides: Cardiovascular health benefits and analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(43), 11825-11838.
- Liu, W., & Ruan, R. (2022). Microalgae-based biomaterials for environmental remediation and functional use. In *Biomass, Biofuels, and Biochemicals* (pp. 277-290). Elsevier.
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217-232.
- Martínez-Ruiz, F. E., Andrade-Bustamante, G., Holguín-Peña, R. J., Renganathan, P., Gaysina, L. A., Sukhanova, N. V., & Puente, E. O. R. (2025). Microalgae as Functional Food Ingredients: Nutritional Benefits, Challenges, and Regulatory Considerations for Safe Consumption. *Biomass*, 5(2), 25.
- Matos, Â. P., Feller, R., Moecke, E. H. S., de Oliveira, D., Santana-Filho, A. P., Derner, R. B., & Vieira Costa, J. A. (2017). Chemical characterization of six microalgae with potential utility for food application. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(6), 849-860.
- Meral, R., Doğan, İ. S., & Kanberoğlu, G. S. (2012). Fonksiyonel gıda bileşeni olarak antioksidanlar. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(2), 45-50.
- Morales, M., Aflalo, C., & Bernard, O. (2021). Microalgal lipids: A review of lipids potential and quantification for 95 phytoplankton species. *Biomass and Bioenergy*, 150, 106108.
- Mosibo, O. K., Ferrentino, G., & Udenigwe, C. C. (2024). Microalgae proteins as sustainable ingredients in novel foods: recent developments and challenges. *Foods*, 13(5), 733.
- Mostafa, S. S. (2012). Microalgal biotechnology: prospects and applications. *Plant science*, 12, 276-314.
- Naik, B., Mishra, R., Kumar, V., Mishra, S., Gupta, U., Rustagi, S., ... & Rizwanuddin, S. (2024). Micro-algae: Revolutionizing food production for a healthy and sustainable future. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100939.
- Nuhu, A. A. (2013). Spirulina (Arthrospira): An important source of nutritional and medicinal compounds. *Journal of Marine Sciences*, 1, 325636.
- Nurko, E., Nakilcioğlu, E., & Ötleş, S. (2023). Geleceğin Gıdaları İçin Mikroalgler: Spirulina sp. ve Chlorella sp. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(3), 1655-1665.
- Oktor, K. (2018). Mikroalglerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri. *Çevre Bilim Ve Teknoloji*, 337-338.
- Oslan, S. N. H., Tan, J. S., Oslan, S. N., Matanjun, P., Mokhtar, R. A. M., Shapawi, R., & Huda, N. (2021). Haematococcus pluvialis as a potential source of astaxanthin with diverse applications in industrial sectors: current research and future directions. *Molecules*, 26(21), 6470.

- Özacar, Z. Z. (2022). Fonksiyonel gıdalar için uygun mikropartikül gıda bileşenlerinin sentezi ve antioksidan özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Özlu, T., & Bayram, B. (2022). Spirulina mikroalgının besinsel özellikleri ve sağlık üzerine potansiyel etkileri. *Akademik Gıda*, 20(3), 296-304.
- Pourkarimi, S., Hallajisani, A., Alizadehdakhel, A., Nouralishahi, A., & Golzary, A. (2020). Factors affecting production of beta-carotene from *Dunaliella salina* microalgae. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 101771.
- Riccio, G., & Lauritano, C. (2019). Microalgae with immunomodulatory activities. *Marine drugs*, 18(1), 2.
- Richmond, A. (Ed.). (2004). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology* (Vol. 577). Oxford: Blackwell Science.
- Ryckebosch, E., Bruneel, C., Termote-Verhalle, R., Goiris, K., Muylaert, K., & Foubert, I. (2012). Nutritional evaluation of microalgae oils rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids as an alternative for fish oil. *Food Chemistry*, 160, 393-400.
- Sargül, T. (2018). Çevreci Fabrikalar: Mikroalgler. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/cevreci-fabrikalar-mikroalgler> (Erişim Tarihi 19.06.2025).
- Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y., & Erem, F. (2020). Alglerin gıda veya gıda bileşeni olarak kullanımı ve sağlık üzerine etkileri. *Uluslararası Mühendislik Tasarım ve Teknoloji Dergisi*, 2(2): 97-110.
- Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 709-722.
- Shah, M. M. R., Liang, Y., Cheng, J. J., & Daroch, M. (2016). Astaxanthin-producing green microalga *Haematococcus pluvialis*: from single cell to high value commercial products. *Frontiers in plant science*, 7, 531.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87-96.
- Tercan, D. Ö. (2019). Özel bir şirkette çalışan bireylerin fonksiyonel gıdalar, probiyotikler ve prebiyotikler ile ilgili bilgi ve tüketim alışkanlıklarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Türkmen, A., & Akyurt, İ. (2021). Mikroalglerin Antiviral Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(2), 412-419.
- Uzuner, S., & Haznedar, A. (2020). Fonksiyonel gıda için sağlıklı takviye: Mikroalgler. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 212-226.
- Vignesh, A., Amal, T. C., Sarvalingam, A., & Vasanth, K. (2024). A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health. *Food Chemistry Advances*, 100749.
- Yıldız, E. N. (2021). Mikroalgler'e Genel Bir Bakış. <https://www.drbioengineer.com/post/mikroalgler-e-genel-bir-bak%C4%B1%C5%9F> (Erişim Tarihi: 19.06.2025).

Mevsimsel Sıcaklık Koşullarının Bal Arılarının Fizyolojik ve Davranışsal Özellikleri Üzerine Etkileri

Recep SIRALI¹

1- Dr. Öğr. Üyesi; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü. rsirali@nku.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9702-6175

ÖZET

Sıcaklık, bal arıları üzerinde etkili olan en önemli ekolojik faktörlerden biri olup koloni sağlığı, sürekliliği ve üretim performansı açısından belirleyici bir role sahiptir. Çevre sıcaklığında meydana gelen ani ve aşırı değişimler, bal arılarının kovan içi sıcaklık dengesini korumaya yönelik termoregülasyon faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyerek koloni stresini artırmakta ve ciddi koloni kayıplarına yol açabilmektedir. Kovan içi sıcaklık dengesinin sağlanamaması yalnızca kolonilerin zayıflaması veya sönmesiyle sonuçlanmamakta, aynı zamanda bal, polen, propolis ve arı sütü gibi arı ürünlerinin miktar ve kalite özelliklerinde belirgin düşüşlere neden olmaktadır. Bu bağlamda, kovan içi sıcaklığının düzenlenmesi ve kontrol altında tutulması; koloni kayıplarının önlenmesi, koloninin sürekliliğinin sağlanması, bal arılarının bağışıklık sisteminin desteklenmesi ve genel sağlık düzeyinin korunması ile üretim kayıplarının azaltılmasında temel bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde kovan içi ve kovan dışı sıcaklık değerleri; sensörler, veri kaydediciler ve uzaktan izleme sistemleri gibi modern teknolojik araçlar kullanılarak anlık olarak ölçülebilmekte ve düzenli biçimde izlenebilmektedir. Bunun yanı sıra gölgeleme uygulamaları, etkili kovan havalandırma sistemleri, kovan yalıtımı, uygun arılık yeri seçimi, su kaynaklarına erişimin sağlanması, koloni gücünün korunması ve etkin koloni yönetimi gibi nispeten basit ancak işlevsel uygulamalar sayesinde bal arısı kolonilerinin sıcaklık stresine karşı korunması mümkün olabilmektedir. Arıcılık faaliyetlerinde kovan içi ve kovan dışı sıcaklık değerlerinin zamansal ve mekânsal bağlamda düzenli olarak izlenmesi; olumsuz sıcaklık koşullarına bağlı çevresel risklerin önceden belirlenmesi, arı ürünlerinde üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması, koloni kayıplarının azaltılması ve uygun müdahale stratejilerinin zamanında planlanması açısından kritik bir gereklilik olarak büyük önem taşımaktadır. Bu makalede, bal arısı kolonileri açısından sıcaklığın önemi ele alınmış; sıcaklık faktörünün bal arılarının gelişim, beslenme, metabolizma, termoregülasyon ve davranış süreçleri üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Ayrıca sıcaklık stresinin uzun vadede koloni fizyolojisi, arıların yaşam süresi, ana arı performansı, tarlacı arı faaliyetleri, nektar ve polen toplama davranışı, yavru yetiştirme etkinliği ile hastalık ve parazitlere karşı direnç üzerindeki dolaylı etkileri vurgulanmıştır. Son olarak, yaşanan iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık dalgalanmalarının arıcılık sistemleri üzerinde oluşturduğu birtakım risklere dikkat çekilerek, sıcaklık faktörünün bal arıları üzerindeki çok boyutlu etkileri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiş ve uyumlu koloni yönetim stratejileri ile sürdürülebilir arıcılık uygulamalarının geliştirilmesine yönelik bilimsel farkındalığın artırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Bal arıları, sıcaklık, fizyoloji, davranış, performans

GİRİŞ

İklim koşullarını oluşturan değişkenler arasında hava sıcaklığı, ekosistemler ve canlı organizmalar üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Özellikle arıcılık faaliyetlerinde sıcaklık hem fizyolojik sistemler hem de davranışlar üzerinde doğrudan etkili olmakta ve elde edilen verimi önemli ölçüde şekillendirmektedir (Todorović ve Todorović, 1990). Soliter arılar ve diğer böcekler çevre sıcaklığındaki değişimlere bağımlı olarak yaşamlarını sürdürürken, bal arıları koloni halinde yaşamlarının bir sonucu olarak gelişmiş bir ısı düzenleme (termoregülasyon) yeteneğine sahiptir (Yılmaz, 1998).

Bal arıları üzerinde etkili en önemli ekolojik faktörlerden biri olan sıcaklık; bal arılarının yeryüzündeki dağılışı, lokalizasyonu ve yaşamsal faaliyetleri üzerinde belirleyici bir role sahip olmasının yanı sıra, arıcılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından da kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Candan, 2009; Durgun ve ark., 2012). Bal arılarının uygun çevresel koşullar altında yetiştiriciliğinin sağlanması arıcılık açısından temel bir gereklilik olmasına rağmen, sıcaklık değişimleri bu üretim dalını zorlayan başlıca iklim faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle aşırı sıcaklıklar; koloni gelişimi, verimlilik ve hayatta kalma oranları üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Nedyalkov ve ark., 1990; Doğaroğlu, 1992a).

Sıcaklık; bal arılarının üreme, yumurtlama ve gelişme gibi fizyolojik faaliyetlerinin yanı sıra koloni sağlığı ve verimliliği üzerinde de etkili olup, bir bölgede arıcılık yapılıp yapılamayacağını belirleyen temel iklim parametrelerinden biridir (Ćerimagić, 1990). Özellikle sıcaklıktaki değişimler, arı metabolizmasını etkileyerek üreme kapasitesini, beslenme alışkanlıklarını ve davranışsal işlevlerini değiştirmekte; buna bağlı olarak bal arısı ırklarının morfolojik yapısı ve yayılış alanı da şekillenmektedir (Akbulut, 2000).

Bal arılarının vücut örtüsünün yapısı ve rengi, ısı absorpsiyonunu ve dolayısıyla vücut sıcaklığını doğrudan etkilemektedir (Emsen, 1997). Bal arıları, yaşadıkları ortamın sıcaklık koşullarından en iyi şekilde yararlanmak ve vücut sıcaklıklarını korumak amacıyla çeşitli morfolojik ve fizyolojik uyumlar geliştirmiştir (Candan, 2009). Koyu renkli ve yoğun kıl örtüsü güneş enerjisini absorbe ederken, açık renkli kıl örtüsü güneş ışınlarını yansıtıcı özellik göstermektedir (Emsen, 1997). Bu durum, soğuk bölgelerde yaşayan bal arılarının daha koyu ve uzun kıllara, sıcak bölgelerde yaşayanların ise daha açık renkli ve kısa kıllara sahip olması ile açıklanmaktadır (Kaftanoğlu ve ark., 1993).

Güneş enerjisi kaynaklı sıcaklık değerleri; zaman, mevsimler, enlem dereceleri, arazinin yönü ve eğimi, rakım ile havanın bulutlu veya açık olma durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Emsen, 1997). Kovan içi sıcaklık ise çevre sıcaklığının yanı sıra kovanın güneş ışınlarını alma

durumu, nem oranı ve hava hareketlerine bağılı olarak şekillenmektedir (Yılmaz, 1998).

Bu bağlamda özellikle aşırı yüksek ve düşük sıcaklık değerleri birincil öneme sahiptir. Bazı bölgelerde en düşük ve en yüksek sıcaklıklar arasındaki farkın fazla olması, bal arıları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Emsen, 1997). Bal arıları için ideal çevre sıcaklığı 25-26 °C'dir. Alt ve üst kritik sıcaklık sınırları ise -40 °C ile +40 °C arasında olup, bu sınırların dışında koloni faaliyetleri tamamen durmakta ve bal arısı ölümleri görülmeye başlamaktadır (Güler, 2006). Bu nedenle çevre sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olan arıcılık faaliyetinde başarı sağlanabilmesi için, arıların gereksinim duyduğu optimum çevre koşullarının oluşturulması büyük önem taşımaktadır (Çetin, 2004)

Bal arıları yüksek sıcaklıklara karşı oldukça hassas olmakla birlikte, düşük sıcaklıklara nispeten daha dayanıklıdır. Bal arısı kolonileri, çevresel sıcaklık değişimlerine ve popülasyon yoğunluğuna bağılı olarak kovanın ısıtılması ya da serinletilmesi yönünde faaliyetler yürütmektedir (Altan ve Tolon, 1995). Ancak mevsimsel koşullar ve günlük ani sıcaklık dalgalanmaları, koloni düzenini bozarak arı kayıplarına yol açmakta, ortak faaliyetleri ve verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir (Çetin, 2004). Yapılan araştırmalar, sıcaklık ile bal verimi arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu ve özellikle yüksek sıcaklıkların bal verimini azalttığını ortaya koymuştur (Nyunza, 2018).

Bal arıları için uygun çevre sıcaklığı geniş sınırlar içinde değişebilmekle birlikte, iklimsel sapmalara karşı duyarlılıkları nedeniyle optimum sıcaklık aralığının 15-37 °C arasında olması gerekmektedir. Aşırı sıcak veya soğuk iklim koşulları ile gece ve gündüz arasındaki büyük sıcaklık farkları; arıların üreme, gelişme kovan içi ve kovan dışı faaliyetleri ile verim düzeylerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır (Kayral ve Kayral, 1991). Ortam sıcaklığındaki değişimler, arıların günlük faaliyetlerini doğrudan etkilediğinden, bal arısı yetiştiriciliğinde kovanın iç ve dış sıcaklığı büyük önem taşımaktadır (Saylam, 1987; Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Nitekim çevre sıcaklığına ilişkin yapılan araştırmalar, bal arılarında yalnızca fizyolojik ve davranışsal süreçlerin değil, aynı zamanda koloni popülasyonunun dinamikleri ve koloni verimliliğinin de çevresel sıcaklık koşullarından önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır (Stewart, 1977).

Bu makalede, sıcaklık faktörünün bal arıları üzerindeki belirleyici rolü ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Farklı mevsimlerdeki kovan içi ve dışı sıcaklık koşullarının arıların fizyolojik ve davranışsal özellikleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş; ayrıca olumsuz sıcaklık koşullarının koloni sağlığı ve verimliliğine etkileri incelenmiştir. Bu olumsuzlukların azaltılmasına yönelik koruyucu ve önleyici uygulamalar da tartışılmış ve sunulan bilgilerin arıcılık literatürüne katkı sağlaması amaçlanmıştır.

SICAKLIĞIN BAL ARILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Çevre sıcaklığına bağlı olarak bal arılarının metabolik faaliyetleri artmakta ya da azalmaktadır. Metabolik faaliyetlerde meydana gelen bu değişime paralel olarak kandaki şeker düzeyi de yükselmekte veya düşmektedir. Metabolik hızın azalması, şeker seviyesinin düşmesine yol açmakta ve buna bağlı olarak kovan içi ile kovan dışındaki faaliyetlerin yavaşlamasına ya da tamamen durmasına neden olmaktadır (Çetin, 2004). Bu durum, özellikle düşük sıcaklık koşullarında koloni faaliyetlerinin ciddi biçimde kısıtlanmasına yol açmakta ve koloni dinamiğini olumsuz yönde etkilemektedir (Sıralı, 1999).

Bununla birlikte, çevre sıcaklığında meydana gelen ani değişimler, bal arılarının kovan içi sıcaklık dengesini korumaya yönelik düzenleyici faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyerek stres düzeyini artırmakta ve koloni kayıplarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Durgun ve ark., 2012). Dolayısıyla yalnızca sıcaklığın mutlak değeri değil, aynı zamanda sıcaklık değişimlerinin sürekliliği ve ani dalgalanmaları da koloni sağlığı açısından kritik bir rol oynamaktadır (Sıralı, 1999).

Bu çerçevede, bal arılarının üreme, büyüme, gelişme, sağlık, uçuş performansı, nektar ve polen toplama davranışları ile verimlilik süreçlerini etkileyen çeşitli faktörlerin yanı sıra, arıların gereksinim duyduğu kovan içi ve kovan dışı optimal sıcaklık koşullarının sağlanması da büyük önem taşımaktadır (Vesković, 2000).

Bu bölümde, bal arılarının sıcaklıkla ilişkili fizyolojik ve davranışsal tepkilerine yönelik genel değerlendirmeler ile elde edilen bulgular mevsimsel uygulamalar çerçevesinde ele alınmış; konuya ilişkin temel hususlar alt başlıklar altında sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla sunulmuştur.

Kışlatma Döneminde Sıcaklık Gereksinimi

Bal arıları, diğer birçok böcek türünden farklı olarak kış uykusuna yatmamaktadır. Kış döneminde, kovan içinde yaşamlarını sürdürebilmek için gerekli olan en düşük sıcaklığı sağlayacak düzeyde metabolik aktivite göstermektedir (Genç, 1993). Bu durum koloninin yaşama gücü ve ilkbaharda güçlü popülasyon elde edebilme bakımından önem taşımaktadır (Doğaroğlu, 1995).

Bal arısı kolonilerinde aktif sezonu izleyen geç sonbahar aylarında, çevre sıcaklığında meydana gelen ani değişimler, hava sıcaklığının düşmesi ve don olayları sonucunda, kovan içindeki bireyler kış salkımı oluşturarak sosyal bir organizasyon sergilemektedir (Genç, 1993; Tutkun, 1992). Yapılan araştırmalar, bal arılarının kış salkımını $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibi aşırı soğuk koşullarda dahi ısı üretebildiğini ve bu durumu sürdürebildiğini ortaya koymuştur (Güler, 2006).

Genel olarak salkımın merkezinde ana arı yer almakta, onun hemen çevresinde ise genç işçi arılar bulunmaktadır (Genç, 1993; Çetin, 2004). Salkımın merkezindeki arı yoğunluğu kenar kısımlara göre çok daha azdır (Genç, 1993). Yaşlı arılar ise salkımın dış kısmında konumlanmaktadır. Bu organizasyon sayesinde arılar, bal tüketimini en aza indirerek vücut sıcaklıklarını korumayı amaçlamaktadır (Doğaroğlu, 1992a; Genç ve Dodoloğlu, 2003). Kış döneminde arıların besin tüketimi oldukça düşük olmakla birlikte, yaşlı işçi arılar hem besin temin edilmesinde hem de genç arılar arasında bir köprü görevi görmede önemli rol üstlenmektedir (Settar, 1987).

Arılar, çevre sıcaklığı 14 °C'nin altına düşene kadar kovan içinde dağınık bir şekilde bulunurlar. Kış döneminde arılar, dağınık yapı ile salkım hâli arasında açılıp kapanarak yaşamlarını sürdürmekte ve vücut ısılarını kendi metabolik faaliyetleriyle üretebildikleri için kış boyunca bu şekilde aktif kalabilmektedir (Çetin, 2004).

Kovan içi sıcaklığının 14 °C'nin altına düşmesiyle birlikte arılar, kovan içinde kümelenerek küçük gruplar hâlinde bir araya gelip birleşmekte ve tek bir kış salkımı oluşturmaktadır (Doğaroğlu, 1992a; Korkmaz, 2013).

Kış salkımının oluşumu, koloni bireyleri tarafından toplu olarak gerçekleştirilmekte olup, salkım yapısının genellikle gevşek olduğu bildirilmektedir (Settar, 1987). Ancak gece saatlerinde sıcaklığın azalmasıyla birlikte koloni bireyleri birbirlerine daha sıkı şekilde sarılarak salkımı daraltmaktadır (Tutkun, 1992).

Arılar, yavrusuz dönemde kovan sıcaklığı 14 °C'de sabit kaldığı sürece, petekler üzerinde nispeten hareketsiz olarak bulunmakta ve enerji harcamamaktadır. Dinlenme döneminde kovan ısı bu değerın altına veya üstüne çıktığında ise arıların faaliyeti artmaktadır (Çetin, 2004).

Nitekim kış aylarında, hava sıcaklığının bazı günlerde 15 °C'nin üzerine çıkması ya da salkım içi sıcaklığının 14 °C'yi aşması durumunda, bal arıları kış salkımını bozarak uçuşa yönelmektedir. Bu süreçte çevrede nektar veya polen kaynağı bitkilerin bulunmaması hâlinde arılar paraliz olmakta ve bireylerin bir kısmı kovana geri dönememektedir. Hava sıcaklığının yeniden düşmesiyle birlikte koloniler ikinci kez salkım oluşturmakta; kışlama özelliğini yeterince sürdüremedikleri için çoğu zaman yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır (Doğaroğlu, 1992b).

Kış döneminde yeterli besin maddesi stoğuna sahip olan bal arısı kolonilerinin soğuk koşullarda tutulması, koloninin fizyolojik olarak inaktif durumda bulunması nedeniyle güvenli bir kışlama olanağı sağlamaktadır. Kış salkımının inaktif olması, bal tüketiminin azalmasına ve buna bağlı olarak daha az dışkılama gereksinimine neden olmakta; bu durum, arıların kış aylarında uygun olmayan iklim koşullarına aldanarak kovan dışına çıkma olasılığını da azaltmaktadır (Doğaroğlu, 1995).

Soğuk kış aylarının başlamasıyla birlikte bal arıları, kovan içinde salkım oluşturarak gerekli sıcaklık düzenlemesini sağlamakta ve böylece

koloninin yaşamını dengeli ve güvenli bir şekilde sürdürmesine olanak tanımaktadır. Arılar, kış salkımını oluşturarak en soğuk kış günlerinde dahi koloni içerisinde yaz sıcaklığına yakın bir ortam sağlayabilmektedir. Kış salkımının oluşumu, dış ortamın sıcaklığındaki azalmaya bağlı olarak şekillenmektedir (Çetin, 2004).

Kovan içi sıcaklığının 10 °C'ye düşmesiyle birlikte arılar, petekler üzerinde ve arasında küresel bir salkım oluşturarak birbirlerine sıkıca tutunmaktadır (Nedyalkov ve ark., 1990; Genç, 1993). Salkımın dış kısmında yer alan arılar, başları salkım merkezine, karınlarının arka uçları ise dışa dönük olacak biçimde konumlanmakta ve bu düzenleme sonucunda 2–8 cm kalınlığında yalıtıcı bir tabaka oluşmaktadır (Genç, 1993; Çetin, 2004). Salkımın dış merkezinde ölçülen sıcaklık 13–30 °C arasında değişmekle birlikte, çoğunlukla 14–16 °C veya biraz daha yüksek düzeylerde seyretmektedir. (Genç, 1993). Besinin ekonomik kullanımı açısından salkımın dış yüzeyindeki sıcaklığın yaklaşık 7 °C civarında sabit tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde, salkımın dış yüzeyinde yer alan arılar uyuşarak salkımdan kopmakta ve ölebilmektedir. Bu nedenle arılar, vücutlarındaki adipoz doku rezervleri ile metabolik aktiviteleri sonucu ürettikleri ısı sayesinde salkımın dış yüzeyindeki sıcaklığın 7 °C'nin altına düşmesini engellemektedir (Genç, 1993).

Diğer yandan kovan içi sıcaklığın 10 °C'nin altına düşmesi durumunda arılar kovadaki faaliyetlerini tamamen durdurmakta (Saylam, 1987), uçma yeteneklerini kaybetmekte ve kovan içerisinde yumurtlama faaliyeti tamamen sona ermektedir (Settar, 1987; Öder, 1989). Bununla birlikte, kış döneminde herhangi bir sarsıntı sonucu kış salkımından düşen arılar, kovan içi sıcaklığının 10 °C'nin altında olması hâlinde yeniden salkıma katılamamakta ve yaşamlarını yitirmektedir (Tutkun, 1992).

Kural olarak, kış salkımında azami ve asgari sıcaklık değerlerinin, uygun sıcaklığın 9 °C altında veya üzerinde olmaması gerekmektedir. Bu sınır aşıldığında, arıların aktif yaşam faaliyetleri durmakta, salkım çözülmekte ve arılar soğuktan etkilenerek kovan zeminine düşmektedir (Settar, 1987). Ana salkımdan uzak kalan bireyler veya küçük gruplar hareketsiz kalarak hayatlarını kaybetmektedir (Çetin, 2004).

Bal arılarında hareketsizlik 7–9 °C sıcaklıklarda görülürken, kovan içi sıcaklığın 7 °C'ye düşmesiyle arılar tamamen hareketsiz hâle gelmektedir. Soğuğa bağlı ölümler ise 6–4 °C ve daha düşük sıcaklıklarda meydana gelmektedir (Genç, 1993; Yılmaz, 1998).

Kış döneminde kovan içi sıcaklığın korunması sırasında arılar, sonbaharda vücutlarında biriktirdikleri önemli miktardaki yağ dokusunu kullanmakta ve depolardan sağlanan besin maddeleri ile kışı aktif olarak geçirmektedir. Bu nedenle, kış boyunca kovanda depolanan besin maddelerinin tüketimi oldukça yüksektir (Ćerimagić, 1990). Kovan içinde depolanan besin maddelerinin yeterli miktarda bulunması durumunda

arılar, kış dönemini üşümeden ve güçlük çekmeden geçirebilmektedir (Settar, 1987).

Ancak arılarını depolanmış besin maddesi bırakmadan kışlatan arıcular, kolonilerini büyük olasılıkla açlığa maruz bırakmaktadır. Bu koloniler, yavru dönemi sırasında depolanmış besin bulamadıklarından, yavruların öz suyunu emerek besin ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmakta ve bu durum önemli ölçüde yavru kaybına yol açmaktadır (Settar, 1987).

Soğuk havalarda kovandaki uygun sıcaklığın korunması ve arıların yoğun bal ile beslenmesi sayesinde, metabolizma sonucu açığa çıkan ısı kovandaki termal dengeyi sürdürmektedir. Bu ısı; kanat titreşimi, abdomen sallama, göğüs kasları ve bacak hareketleri ile tüm vücudun hafif hareketleri aracılığıyla üretilmektedir (Nedyalkov ve ark., 1990).

Kış salkımının yapısı, merkez bölgedeki sıcaklığın artmasıyla genişlemekte, sıcaklığın azalmasıyla ise daralmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003; Çetin, 2004). Kış salkımında yer alan dıştaki arıların vücut sıcaklığı, salkım merkezinde bulunan arılara göre daha düşük olmaktadır (Yılmaz, 1998).

Salkım içi ve dışındaki sıcaklık yeterli düzeye ulaştığında, koloni içindeki hareketlilik durmaktadır. Kovan dışı sıcaklığın artmasıyla birlikte arılarda gevşeme gözlenmekte ve salkımı oluşturan kütlede, toplu değişim hareketlerine bağlı kalmaksızın bireysel hareketler başlamaktadır (Settar, 1987).

Arılar, koloni düzeni içinde ısılarını olabildiğince sabit ve uygun düzeyde tutma çabası içerisinde. Kovanda ısı üretimi ve ısı dağılımı, hava hareketleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreçler sırasında, arılar arasında çok sıkı ve değişmez bağlar bulunmaktadır (Yılmaz, 1998).

Kovan dışındaki sıcaklığın düşmesi, periyodik ısınma hareketleri arasındaki zamanın kısalmasına neden olmaktadır. İki ısınma devresi arasındaki süre, altı saat veya daha kısa olabilmektedir. Dış ortam sıcaklığının azalması, salkımı oluşturan arıların ısı üretimini artırmak amacıyla birbirlerine daha sıkı kenetlenmelerine yol açmaktadır (Settar, 1987). Bu durumda çerçeve kenarındaki bireyler, çerçevenin orta kısmındaki bireylere kıyasla daha yoğun biçimde soğuğa maruz kalmaktadır. Soğuktan kaynaklanan ilk ölümler genellikle bu bireylerde ortaya çıkmaktadır (Tutkun, 1992).

Kovan dışı sıcaklığın -4 °C olduğu koşullarda, kış salkımının merkezinde sıcaklığın yaklaşık 30 °C, salkım çevresinde ise $10-12$ °C arasında olduğu ölçülmüştür. Salkımın dış kısmında ise sıcaklığın $1-2$ °C'ye kadar düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, dış ortam sıcaklığının -8 °C olduğu koşullarda rahatsız edilen bir bal arısı kolonisinde, -1 °C olarak ölçülen salkım sıcaklığının 16 dakika içinde 22 °C'ye yükseldiği ve bu durumun kolonide salkım düzeninin bozulmasına neden olduğu bildirilmiştir (Genç, 1993).

Kışlatma döneminde salkım içindeki sıcaklık, 35 °C'den yaklaşık 26–30 °C'ye kadar düşebilmektedir. Bu durumda salkımın dış kısmındaki sıcaklık ise 2–3 °C'ye kadar inmektedir. Bu nedenle ana arının bulunduğu bölgedeki sıcaklığın, kış boyunca mümkün olduğunca sabit tutulmasına özen gösterilmektedir (Settar, 1987).

Salkım merkezindeki sıcaklık, kovan dışındaki sıcaklığa bağlı olarak düzenlenmektedir. Kovan dışı sıcaklığın düşmesiyle birlikte salkımın dışında bulunan arılar, soğuk etkisiyle salkımın içine doğru hareket ederek iç kısımdaki arıları sıkıştırılmaktadır. Bu durumdan etkilenen salkım içindeki arılar, belirli aralıklarla metabolik faaliyetlerini artırarak ısınma hareketlerine başlamakta ve böylece salkım sıcaklığı yeniden optimum düzeye ulaşmaktadır. Salkım dışında bulunan arılar ise konumlarını koruyarak yaşamlarını sürdürmektedir (Settar, 1987). Salkımın sıcaklık düştükçe küçülmesi ve sıcaklık artıca genişlemesi sıcaklığı korumak için kullanılan başlıca mekanizmadır (Genç, 1993).

Salkımın dış kısmında yer alan ve yavru bakımını üstlenen yaşlı işçi arılar, besin temin ederek bu besinleri salkımın iç bölümündeki genç arılara ulaştırmaktadır. Bu süreçte koloni, besin stoklarına doğru yavaş ancak sürekli bir hareket hâlinde ilerlemektedir (Tutkun, 1992). Bu sayede salkımı oluşturan arılar, aşırı soğuk koşullara rağmen kışı atlatmayı ve bahar dönemine ulaşmayı başarmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Yavrusuz bir arı salkımının iç sıcaklığı 13–30 °C arasında değişmektedir. Kış salkımının sıcaklığı, yalnızca şiddetli ve uzun süreli dondurucu soğuklara maruz kalındığında düşmekte; bunun dışındaki koşullarda ise genellikle sabit kalmaktadır. Arılar, kış salkımının iç sıcaklığını yaklaşık 20 °C civarında tutarak hem ergin arıların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklığı korumakta hem de aşırı bal tüketimini önlemektedir (Çetin, 2004).

Kış koşullarının oldukça sert ve uzun sürdüğü bölgelerde, kapalı ortamda kışlatılacak kolonilerin bulunduğu alanın sıcaklığının kışlatma süresince 4–6 °C aralığında ve sabit tutulması; ortamın nemli olmaması ve yeterli havalandırmanın sağlanması gerekmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003; Korkmaz, 2013). Kışlama döneminde kristalleşmiş balların çözülmesi için arıların su kullanımı ile kovan içi sıcaklığını da uygun şekilde ayarlamaları gerekmektedir (Yılmaz, 1998).

Diğer yandan yetiştiriciler arasında yaygın olan genel kanı, kovanların soğuk iklim koşullarından mümkün olduğunca korunması gerektiği yönündedir. Ancak bal arıları, kış salkımı oluşturarak 0 °C'nin çok altındaki dış çevre koşullarından büyük ölçüde etkilenmemekte ve salkımın soğuk hava koşullarına karşı dayanıklılığı yüksek olmaktadır. Dolayısıyla kovandaki arı popülasyonunun sıkışmasıyla birlikte ısı yalıtımı artmaktadır (Doğaroğlu, 1995).

Ayrıca, kışlatma döneminde kovana her türlü müdahale ve gürültüden uzak durulması, arıların rahatsız edilmemesi gerekmektedir. En hafif sesler

veya üfleme bile salkımın hareketini değiştirebilmekte ve önemli miktarda besin ile arı kaybına yol açabilmektedir (Settar, 1987).

Bu nedenle, arılıkta kış döneminde herhangi bir işlem yapılmaması gerekmektedir. Kovanda yapılması gereken tüm bakım işleri, kolonilerin dinlenme dönemi başlamadan önce tamamlanmalı ve kış döneminde kovanlar hiçbir nedenle açılmamalıdır. Arıların dinlenme süresince yapılacak tek uygulama, kovan içi ve çevresindeki sakinliğin korunmasıdır. Arıcı, bu dönemde zorunlu bir işlem yapmak durumunda ise, bunu arılıktan uzakta gerçekleştirmeye özen göstermelidir (Settar, 1987).

Kuluçka Döneminde Sıcaklık Gereksinimi

Bal arılarının sıcaklık değişimlerini yüksek hassasiyetle algılayabildikleri; kovan içi termal düzenlemeyi sağlamak amacıyla ısıtma veya soğutma gibi uygun davranışları sergileyebildikleri ve kuluçka sıcaklığını etkin bir şekilde kontrol edebildikleri bilinmektedir (Erk ve ark., 2021).

Kışlama döneminin ardından yavru üretiminin yeniden başladığı kuluçka döneminde, arı mevcudu yüksek olan koloniler daha avantajlıdır. Kolonideki birey sayısının artmasıyla birlikte ısının düzenlenmesi daha kolay hâle gelmektedir. Kuluçka döneminde yavrulu alanın sıcaklığı ise sabit tutulmaktadır (Yılmaz, 1998).

Koloninin yavru yetiştirmeye başlamasıyla birlikte salkım merkezindeki sıcaklık artış göstermektedir. Yavrulu iki çerçeve arasındaki sıcaklık genel olarak 33–36 °C aralığında seyretmektedir. Bal arıları, salkım içi sıcaklığını göğüs kaslarındaki metabolik faaliyetleri artırarak etkin bir şekilde düzenleyebilmektedir (Çetin, 2004).

Arılar, kuluçka döneminde kuluçka çevresindeki sıcaklığı 34–35 °C aralığında sabit tutmaktadır. Kuluçkalı peteklerin dışındaki bölgelerde sıcaklık yaklaşık 30 °C civarında, daha dıştaki peteklerde ise 25 °C'ye kadar düşebilmektedir (Nedyalkov ve ark., 1990).

Yumurta döneminden itibaren yavruların gelişmesiyle birlikte peteklerin sıcaklığı da artmaktadır. Eksik veya seyrek yavrulu peteklerde ısının kontrolü güçleşmektedir ve bu olumsuz durumdan zayıf gelişmiş yavrular daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle, yavrulu bölümün kovan içindeki hacminin, içsel iklim düzenine uyum sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir (Yılmaz, 1998).

Yavru bireyler sıcaklık değişimlerine karşı yüksek duyarlılık göstermektedir. Bu nedenle, kovan içinde uygun sıcaklığın korunması, yavruların hastalıklara karşı direncini artırmak ve gelişimlerini hızlandırmak açısından büyük önem taşımaktadır (Altan ve Tolon, 1995).

Erken ilkbahar döneminde başlayan yavru yetiştirme sürecinde, yavrulu alandaki sıcaklık 33–36 °C aralığında sabit kalmaktadır. Gün boyunca sıcaklıkta 1 °C'den daha az sapma gözlemlenmektedir (Altan ve Tolon, 1995).

Yavru bireyler yalnızca 33–36 °C aralığındaki sıcaklıklarda normal gelişimlerini tamamlayabilmektedir. 28 °C'nin altında veya 37 °C'nin üzerinde çok az sayıda larva ergin hâline gelebilmektedir (Altan ve Tolon, 1995). Bununla birlikte, 32 °C'de birey gelişimi sağlanabilmekle birlikte, çıkış süresi gecikmektedir (Settar, 1987).

Yavrulu alandaki sıcaklığın 28–30 °C'ye düşmesiyle yavrularda anormallikler ortaya çıkmaktadır. Yavrulu alanda kaybolan sıcaklığın telafisi her zaman mümkün olmamakta; sonuçta üşüyen yavru bireylerde çeşitli organ anormallikleri ortaya çıkmaktadır. Bunların en basit örnekleri kanat damarlarındaki kopukluk, daha ileri düzeyde ise kanat bükülmeleridir (Settar, 1987). Ergin hâle ulaşabilen arılarda da genellikle malforme olmuş ağız ve buruşuk kanat gibi kusurlar gözlenmektedir (Altan ve Tolon, 1995). Sıcaklık 26 °C'ye düştüğünde larvalarda çürüme meydana gelmektedir (Settar, 1987).

Yavru yetiştirme döneminin başlangıcında, kovan içi hacminin koloni mevcuduyla uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Koloni ısısının sağlanabilmesi için kovanın iç kısmı bölme tahtası ile daraltılarak uygun koşullar oluşturulmalıdır (Yılmaz, 1998).

Kovan kontrolleri sırasında koloninin üşütülmemesi gerekmektedir. Koloni üşütüldüğünde, 35 °C olan yavru yetiştirme sıcaklığının yeniden aynı düzeye çıkarılabilmesi için arıların önemli miktarda bal tüketmesi gerekmekte ve üşüme hastalıklar için uygun bir ortam oluşturabilmektedir. Altı çerçeveli kovanlarda, kovan tipine bağlı olarak, sıcaklığı 10 °C artırmak için günlük yaklaşık 40–80 gram bal tüketilmektedir (Yılmaz, 2009).

Kovan içi sıcaklık, dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dışarıdaki sıcaklık 12 °C'nin altına düştüğünde, koloni faaliyetleri tamamen durmaktadır. Salkımdaki arılar, açık yavru gözlerindeki larvaların beslenmesine ve kapalı yavru gözlerindeki larva ile pupaların ısıtılmasına ara vermektedir. Bu sırada, salkımın dışındaki arılar ısınmak için iç kısma doğru yavaşça hareket ederken, salkım içindeki arılar dış kısma doğru yönelmektedir (Tutkun, 1992). Kovan dışı sıcaklık 10–15 °C olduğunda arı salkımı daha gevşek bir yapı sergilemektedir; bu dönemde tek başına hareket eden arılar salkımın dışında bulunmakta ve karakteristik olarak kanatlarını titretmektedir (Yılmaz, 1998).

Soğuk geçen kuluçka döneminde arıcıların kovan kontrolleri her bakımdan olumsuz etkilere yol açmaktadır. Kovanın açılmasıyla birlikte kovan içi sıcaklık düşmekte ve arılar, larva ve pupaları koruyabilmek amacıyla yavruların etrafında bir duvar oluşturmaya çalışmaktadır. Ancak yavru alanının genişliği, bu koruyucu davranışın yeterli olmasını engellemektedir. Bu durum sonucunda arılar, kovan içi sıcaklığı yeniden uygun düzeye getirebilmek için uzun süre yoğun çaba sarf etmektedir (Settar, 1987).

Kuluçka döneminde kovan içi sıcaklığın kontrol altında tutulması; koloninin sürekliliğinin sağlanması, sağlıklı gelişimin desteklenmesi ve olası kayıpların önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda, kovan içi sıcaklık değerlerinin düzenli olarak takip edilmesi büyük önem taşımakta olup, söz konusu izleme işlemi özel ölçüm cihazları aracılığıyla güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Durgun ve ark., 2012)

İlkbahar Döneminde Sıcaklık Gereksinimi

Bal arıları için kış döneminin sona ermesini izleyen erken ilkbahar, koloni faaliyetlerinin yeniden başlaması ve gelişimin hızlanması açısından kritik bir dönemdir; bu süreçte çevresel sıcaklık ise önemli bir belirleyici faktördür (Güler, 2006).

Kışlama sırasında yeterli miktarda depolanmış bal stoklarına sahip olan koloniler, soğuk dönem boyunca açlık ve enerji kaybını en aza indirerek bahar başlangıcına daha iyi hazırlanabilmektedir. Bu durum, kıştan güçlü çıkan kolonilerin ilkbahar dönemine daha sağlam bir şekilde giriş yapmasına, yavru alanının hızla genişlemesine ve koloni büyümesinin belirgin şekilde artmasına olanak tanımaktadır. Özellikle ilkbaharda yavru üretiminin yeniden başlamasıyla birlikte enerji ve besin ihtiyacı artmakta ve koloni büyümesi depolanmış kaynaklara bağlı olarak şekillenmektedir; bu nedenle kıştan güçlü gelen kolonilerin ilkbahar performansı daha yüksek olmaktadır (Ulgezen ve ark., 2025).

Kapalı mekânlarda kışlatılan bal arısı kolonilerinin bulunduğu yörelerde, kışlatma odası sıcaklığı 7 °C'ye ulaştığında ve dış ortam sıcaklığı 10–12 °C'nin üzerine çıktığında, rüzgârsız ve güneşsiz bir günde koloniler sarsılmadan ve sakin bir şekilde, önceden arılığa yerleştirilmiş sehpa üzerine taşınmalıdır (Genç, 1993).

Erken ilkbaharda görülen geç kış koşulları, koloni yaşamı açısından yılın en riskli dönemlerinden birini oluşturmaktadır. Bu süreçte çeşitli nedenlerle uçuşa çıkan arılar, 14 °C'nin altındaki hava koşullarıyla karşılaştıklarında geri dönünceye kadar vücut sıcaklıklarını koruyamamakta; kasların soğumasına bağlı olarak paralize olmakta ve arazide ya da kovan önünde pasif hâlde kalmaktadır (Doğaroğlu, 1992b; Doğaroğlu, 1995).

Kışı sönmeden geçirebilen kolonilerde dahi bu dönemin başlangıcında önemli düzeyde popülasyon kaybı meydana gelmekte, hayatta kalan bazı koloniler ilkbahara zayıf olarak girmektedir. Bu kolonilerin bir kısmı ilkbaharın kritik dönemlerinde sönmekte, diğerlerinde ise verim önemli ölçüde düşmektedir (Genç, 1996).

Erken ilkbahar döneminde yavruların gelişimi sırasında ani soğukların başlaması ve sıcaklığın 0 °C'ye yaklaşan günler boyunca devam etmesi, arı salkımının daralmasına neden olmakta; özellikle salkımın dış kısımlarında bulunan yavru bireylerin üşüyerek ölmesiyle sonuçlanmaktadır. Ayrıca, arıcıların yanlış bölme uygulamaları sonucu yavrulu çerçeveleri yeterince kapatacak sayıda işçi arının kovanda bırakılmaması, mevcut yavru bireylerde

soğuktan kaynaklanan üşümelere yol açabilmektedir. Zayıf kolonilerdeki yavru bireylerin üşüme riskinin, kuvvetli kolonilere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Tutkun, 1992). Bunun yanı sıra, çerçevelerin dış kısımlarında bulunan erkek arı larvaları, uygun yavru sıcaklığı sağlanamadığında kireç hastalığına karşı daha duyarlı hâle gelmektedir (Öder, 1983).

Kovanda ısı kaybı; kovan içinden dış ortama doğru gerçekleşen ısı iletimi, dış ortam sıcaklığının düşük olması, besin stoklarının durumu, kovanın yapımında kullanılan malzemeler, yetersiz izolasyon, petek yapısından kaynaklanan ısı kayıpları, arı kovanının uygun olmayan zamanlarda açılması ve koloni gücü gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Kovanda ısı üretimi ise güneş enerjisinden sağlanan ısı kazancı ve arıların metabolik faaliyetleri yoluyla gerçekleşmektedir. Arılar, ısı düzenlemesini sağlamak amacıyla salkım içindeki yoğunluklarını değiştirmekte; soğuk havalarda daha sıkışık, sıcak günlerde ise daha gevşek bir yapı sergilemektedir (Yılmaz, 1998).

Kış döneminde ısı sağlamak amacıyla salkım oluşturan arılar, ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde ise ısı kontrolünü sağlamak için petekler üzerinde birbirlerine yakın ve sıkışık bir şekilde bulunurlar. Bu durum, özellikle ballı peteklerin bitişiğindeki boş peteklerde daha belirgin olarak gözlenmektedir. Arıların petekler üzerindeki yayılımı sağa ya da sola doğru gerçekleşebilmekte; genellikle güneş ışığının geldiği yönde bu genişleme daha fazla olmakta ve yavru gelişimiyle birlikte koloni farklı davranışlar ortaya koymaktadır (Yılmaz, 1998).

Hava sıcaklığının 12 °C'nin altına düşmesi durumunda bal arıları nektar toplama uçuşuna çıkmamaktadır (Akbay, 1995). Dış ortam sıcaklığının 12 °C'nin altında olduğu koşullarda salkımdan ayrılarak yere düşen bireyler yeniden salkıma katılamamakta ve bir süre sonra kovanın dip tahtası üzerinde ölmektedir (Tutkun, 1992).

İlkbahar döneminde ilk bakım uygulamalarının yapılacağı zaman, hava sıcaklığının 14 °C'nin üzerine çıktığı dönemdir (Korkmaz, 2013). Gerek kapalı alanlarda kışlatıldıktan sonra dışarı çıkarılan kolonilerin gerekse açık alanda kışlatılan kolonilerin ilk kontrolleri; havaların yeterince ısındığı, bitkilerin çiçeklenmeye başladığı dönemde, güneşli, açık ve sakin bir günde, gölgede ölçülen sıcaklığın 15–17 °C olduğu koşullarda ve saat 11.00–14.00 arasında gerçekleştirilmelidir (Yılmaz, 2009).

Hava sıcaklığının 16–17 °C seviyesine yükselmesiyle birlikte bal arıları kış salkımını bozmakta ve ilk uçuşlarını gerçekleştirerek kış süresince rektumlarında biriktirdikleri sindirim artıklarını dışarı atmaktadır (Güler, 2006).

İlkbaharın serin veya soğuk geçtiği dönemlerde kovanlar gereksiz yere açılmamalı ve yavrulu çerçeveler dışarı çıkarılmamalıdır. Hava sıcaklığının 20 °C'nin altında olduğu koşullarda, yavrulu çerçevelerin açık havada 1–2 dakikadan daha uzun süre tutulmaması ve kovan bakım işlemlerinin

mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gerekmektedir (Tutkun, 1992). Bu dönemde uçuş deliğinin daraltılması, boş peteklerin çıkarılarak arılı çerçevelerin birleştirilmesi ve kovanda oluşan boşluğun bölme tahtası ile daraltılması, kovan içi sıcaklık kaybını önlemeye yönelik başlıca tedbirler arasında yer almaktadır (Tutkun, 1992).

İlkbaharda hava sıcaklığı belirli bir düzeye ulaşmadıkça, bitkilerin balözü salgılayamaması arıların balözü toplama davranışlarını etkilemektedir. Benzer şekilde, çiçekli bitki örtüsündeki mevsimsel gelişim de arıların polen toplama davranışlarını etkileyen önemli bir faktördür (Howes, 1979). Bu dönemde hava sıcaklığı, arıların uçuş yapabilmesi açısından oldukça sınırlayıcı bir etkidir. Uygun olmayan çevre sıcaklıklarında daha önce de belirtildiği gibi herhangi bir besin toplama faaliyeti gözlenmemektedir. İlkbaharda ise 8–11 °C aralığında oldukça düşük düzeyde besin toplama faaliyetlerine rastlanabilmektedir (Çetin, 2004).

Bazı bölgelerde, mart–nisan döneminde havaların ani ve şiddetli bir şekilde soğuması sonucu koloni ölümleri gözlenmektedir. Bu durum, ilkbaharda havaların ısınmasıyla gençleşen ve popülasyonu en düşük düzeye inen kolonilerin, şiddetli bir soğukla karşılaştıklarında modern kovanlarda kış salkımı oluşturamamasından ve kovan içi ısıyı yeterince sağlayamamasından kaynaklanmaktadır (Doğaroğlu, 1992b).

İlkbahar döneminde, hava sıcaklığının 18–20 °C'ye ulaştığı güneşli günler kovan bakım işlemleri için uygun koşulları oluşturmaktadır. Bu dönemde gerçekleştirilen koloni bakımlarında ana arının performansı ve varlığı, yavru alanının genişliği, olası hastalık ve zararlıların durumu ile koloninin besin stokları ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir (Güler, 2006).

Arılar, hava sıcaklığı 20 °C'nin üzerine çıktığında rahatlıkla uçuşa çıkabilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003). Kovan aktarım işlemleri de hava sıcaklığının yaklaşık 20 °C olduğu günlerde gerçekleştirilmelidir (Korkmaz, 2013). Bununla birlikte, arıların verimli ve etkili uçuşlar yapabilmesi için ideal sıcaklık aralığı 22–25 °C'dir (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Ana arılar ve erkek arılar genellikle 18–30 °C arasındaki sıcaklıklarda uçuşa çıkmaktadır (Yılmaz, 1998). Genç ana arıların çiftleşme uçuşları ise mutlaka optimum çevre koşullarında gerçekleşmektedir (Öder, 1989). Çiftleşme uçuşuna çıkan ana arılar, civarda bulunan erkek arıların toplanma alanlarına öğleden sonra, hava sıcaklığının yaklaşık 18-20 °C olduğu ve saat 13:00–17:00 aralığında gitmektedir (Korkmaz, 2013).

Yaz Döneminde Sıcaklık Gereksinimi

Yaz döneminde de sıcaklık, arıların fizyolojik faaliyetleri ve koloni performansı üzerinde belirleyici bir çevresel faktördür. Arılar için termal konfor sıcaklığının yaklaşık 26 °C olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, kovan içi optimum sıcaklık aralığının 24–31 °C arasında değiştiği ve bu

aralığın koloni gelişimi açısından en uygun koşulları sağladığı ifade edilmektedir (Jie ve ark., 2005; Gürel ve Gösterit, 2008).

Nektar ve polen kaynaklarının sınırlı olmadığı koşullarda, arıların polen toplama faaliyetlerinin 30 °C sıcaklıkta dahi azalmadığı bildirilmektedir. Bununla birlikte, polen toplama faaliyetleri için üst sıcaklık sınırının 45 °C olduğu kabul edilmektedir (Yılmaz, 1998). Ancak kovan dışı faaliyette bulunan arılarda ortam sıcaklığının 35 °C'nin üzerine çıkması durumunda çiçek tozu toplama faaliyetlerinde belirgin bir azalma meydana geldiği belirtilmektedir (Öder, 1985).

Bal arılarının yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için en uygun sıcaklık aralığının 21–35 °C arasında olduğu bildirilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003). Bu sıcaklık aralığının altına düşülmesi ya da üzerine çıkılması durumunda ise arıların fizyolojik ve davranışsal faaliyetlerinde belirgin bir yavaşlama gözlenmektedir (Tutkun ve İnci, 2003).

Yaz mevsiminde koloninin yavrulu bölümündeki sıcaklık genellikle 34–35 °C düzeyinde tutulmaktadır. Dış ortam sıcaklığının 40 °C'ye ulaşması durumunda dahi bal arılarının, yavru yetiştirmeleri için gerekli olan bu sıcaklık aralığını koruyabildikleri bildirilmektedir. Arılar bu termal dengeyi; uçuş deliği önünde kanat çırparak hava akımı oluşturmaları, petekler üzerine su damlacıkları bırakarak bu damlacıkların buharlaşmasını sağlamaları ve ağızlarında taşıdıkları su damlacıklarını buharlaştırarak kovan içinde nemli bir mikroklima oluşturmaları yoluyla sağlamaktadır. Bu bağlamda, arıların kovan içinde kendi klima sistemlerini oluşturdukları ifade edilmektedir. Nitekim, kısmen gölgelendirilmiş kolonilerde dış ortam sıcaklığı 53 °C olmasına rağmen, kovan dip tahtası üzerindeki sıcaklığın 33 °C olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir (Öder, 1985).

Hava sıcaklığının 35 °C'ye ulaşması durumunda arıların çalışma faaliyetlerinde belirgin bir yavaşlama gözlemlendiği bildirilmektedir (Kayral ve Kayral, 1991). Yavru bireyler için üst kritik sıcaklık sınırının 36 °C olduğu belirtilmekte olup, bu sıcaklığın uzun süreyle 2–3 °C düzeyinde aşılması halinde yavrularda başkalaşım bozukluklarının meydana geldiği ifade edilmektedir (Altan ve Tolon, 1995).

Ortam sıcaklığının 37 °C'nin üzerine çıkması, bal arılarının faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemekte ve bu koşullarda arıların çalışmaları tamamen durmaktadır (Kayral ve Kayral, 1991). Yüksek sıcaklıklarda vücut sıcaklığının etkin biçimde dengelenememesi nedeniyle, arıların kovan dışı faaliyetlerini sürdüremedikleri bildirilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Daha yüksek sıcaklık derecelerinde besin maddesi toplama faaliyetleri belirgin biçimde azalmakla birlikte, artan su gereksinimi nedeniyle arıların su toplama faaliyetlerini sürdürdükleri bildirilmektedir. Özellikle sıcak yaz aylarında kovan içi sıcaklığın düzenlenebilmesi için kolonilerin yüksek miktarda suya ihtiyaç duyduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Öder, 1985).

Bal arıları, sıcak hava koşullarında kovan içi ısı dengesini sağlamak amacıyla sudan yararlanmaktadır. Ancak küresel ısınmaya bağlı olarak doğal su kaynaklarının azalması, arıların söz konusu termoregülasyon faaliyetlerini etkin bir biçimde gerçekleştirmelerini güçleştirmektedir (Yörük ve Şahinler, 2013).

Bal süzme işlemi sırasında ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C olması, süzme işleminin daha kolay ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Korkmaz, 2013). Bunun yanı sıra, balmumu salgılanması ve petek örme faaliyetleri için 30–33 °C, kuluçka faaliyeti ve yavru yetiştirme için ise kovan içi sıcaklığının 33–34 °C aralığında olması gerektiği bildirilmektedir (Saylam, 1987; Nedyalkov ve ark., 1990). Söz konusu faaliyetler için üst sıcaklık sınırının 35–36 °C olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte, kovanın tüm bölümlerinde aynı sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmadığı; yürütülen faaliyetin niteliğine bağlı olarak, yalnızca ilgili kovan bölümünde uygun sıcaklık koşullarının sağlanmasının yeterli olduğu ifade edilmektedir (Öder, 1989).

Arıların bulunduğu ortam sıcaklığı yükseldiğinde, arıların vücut sıcaklığı da artış göstermektedir. Ancak arılar, vücut sıcaklıklarını sürekli olarak ortam sıcaklığı ile aynı düzeyde tutamamaktadır. Ortam sıcaklığı 50 °C'ye kadar yükseldiğinde, koloni üzerinde hızlı kayıpların meydana geldiği bildirilmektedir. Öte yandan, ortam sıcaklığı yaklaşık 28 °C'nin altına düştüğünde, bal arıları göğüs kaslarını harekete geçirerek ısı üretmeye çalışmaktadır. Bu süreç, kanat kaslarının kanatlardan bağlantısının kesilmesi ve kasların hızlı bir şekilde kasılıp gevşemesi yoluyla gerçekleşmektedir (Goodman, 2003; Kaya, 2007).

Sıcaklık artışının ileri aşamalarında, koloni bireylerinin gerçekleştirdiği termoregülasyon davranışları çevresel koşullar karşısında yetersiz kalması, işçi arıların enerji rezervlerinin tükenmesine ve koloni organizasyonunun bozulmasına yol açabilmektedir. Aşırı sıcaklık koşullarının uzun süre devam etmesi halinde ise, koloninin hayatta kalma olasılığı önemli ölçüde azalmakta ve son çare olarak koloninin kovanını terk etmesi de söz konusu olabilmektedir (Southwick ve Moritz, 1987).

Diğer yandan, yüksek sıcaklıklara maruz kalan erkek arılarda sperm canlılığı ve spermin depolanma kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır. Özellikle spermatogenez sürecinin ve olgun spermin yüksek sıcaklık stresine karşı son derece hassas olduğu, kısa süreli sıcaklık artışlarının dahi sperm motilitesi ve canlılığında geri dönüşü zor kayıplara yol açabildiği bildirilmektedir (Czekońska ve ark., 2013). Buna ek olarak, aşırı sıcaklık koşulları erkek arıların uçuş aktivitesini ve çiftleşme uçuşu performansını olumsuz yönde etkilemekte hem uçuş sıklığını hem de çiftleşme başarısını düşürmektedir. Erkek arılardaki sıcaklık kaynaklı üreme bozuklukları koloni düzeyinde etkiler oluşturarak yavru üretiminin azalmasına, işçi arı popülasyonunun zayıflamasına ve koloninin çoğalmasının ciddi biçimde tehlikeye girmesine neden olabilmektedir (Rhodes ve ark., 2011).

Yüksek sıcaklıkların ana arılar üzerinde de dolaylı etkileri bulunmakta; düşük kaliteli veya sayıca yetersiz sperme sahip erkek arılarla çiftleşen ana arıların spermatekalarında depolanan sperm miktarı azalmakta ve bu durum ana arının uzun vadeli yumurtlama kapasitesini sınırlamaktadır (Pettis ve ark., 2016).

Sıcak hava koşullarında, aşırı ısınmaya bağlı yavru ölümleri, koloninin kendini serinletme yeteneğini kaybettiği durumlarda meydana gelmektedir. Arı kadrosundaki çeşitli nedenlerle oluşan azalmalar, bu sürecin hızlanmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sıcak günlerde uzun süre kovanda kapalı kalan ve havalandırması yeterince sağlanamayan kolonilerde de toplu arı ölümleri gözlenebilmektedir. Ergin arılar için minimum öldürücü sıcaklığın 46–50 °C, yavrular için ise 37 °C olduğu bildirilmektedir (Tutkun ve İnci, 2003).

Buna karşılık, ortam sıcaklığının 10 °C'nin altına düşmesi veya 36 °C'nin üzerine çıkması durumunda arıların nektar toplama faaliyetlerini önemli ölçüde azalttığı ya da tamamen durduğu belirtilmektedir (Çetin, 2004; Alattal ve Alghamdi, 2015).

Yaz döneminde meydana gelen ani sıcaklık değişimleri, aşırı sıcaklıklar ve yüksek oranda kuru hava, ballı bitkilerin nektar salgılama kapasitesini olumsuz etkileyerek bal arılarının nektar ve polen toplama etkinliğinde azalmaya neden olmakta ve dolayısıyla arı kolonilerinde kayıplara yol açabilmektedir (Sönmez ve Altan, 1992; Le Conte ve Navajas, 2008). Ayrıca, nisan, mayıs ve haziran aylarındaki ani soğuk dönemlerde, yavru ölümlerine yol açan kireç hastalığının da ortaya çıkabileceği bildirilmiştir (Öder, 1983).

Özellikle yaz aylarının aşırı sıcak günlerinde, kovan içi sıcaklık gereğinden fazla artmaktadır (Nedyalkov ve ark., 1990). Bu durumda arılar, uçuş deliği boyunca dizilerek kanatlarını bir vantilatör gibi kullanmakta; kovan içindeki ısınan havayı dışarı atarken, aynı zamanda dışarıdan içeriye hava pompalayarak kovan içi sıcaklığını düzenlemekte ve yapay olarak hızlı hava değişimi için gerekli koşullar oluşturulmaktadır (Nedyalkov ve ark., 1990; Genç ve Dodoloğlu, 2003). Bal arılarında gözlenen bu davranış biçimi, hava sıcaklığı 40 °C'nin üzerine çıktığında peteklerin eriyip akmasını önlemek amacıyla da gerçekleştirilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Kovan içindeki yüksek sıcaklığı düşürmek amacıyla arılar, kademeli olarak çeşitli termoregülasyon yöntemleri uygulamaktadır. Öncelikle ergin arılar, kovan içinde belirli bölgelere dağılarak ve kanatlarını kullanarak yelpaze etkisi oluşturmakta; ardından suyu buharlaştırarak kovanın soğutulmasına katkı sağlamaktadır (Seeley, 1985).

Arıların yoğun çabasına rağmen sıcaklığın düşürülmesi ve kovanın havalandırılması başarılamazsa, arılar kovanın dış yüzeyini sararak kolonilerini güneşin ve sıcaklığın etkisinden korumaya çalışmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Yaz aylarında bal arılarının, yüksek sıcaklığın olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla enerjilerinin büyük bir bölümünü sıcaklık düzenleyici faaliyetlere harcadıkları gözlemlenmiştir. Bu durum, bal üretiminde belirgin bir azalmaya neden olurken, aynı zamanda kovanın kısmen boşalmasına ve koloni dengesinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açmaktadır (Seeley, 1985).

Bunaltıcı sıcakların yaşandığı dönemlerde, sürekli güneş alan kovanlarda iç sıcaklık gereğinden fazla yükselmektedir. Arılar, kovan içi sıcaklığı düşürmede yetersiz kaldıklarında, koloni popülasyonunu azaltmak amacıyla oğul verme davranışına yönelmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Ana arı üretimi amacıyla larva transferi işleminin gerçekleştirildiği aşılama odasında, larvaların üşmesini önlemek için ortam sıcaklığının 25–35 °C arasında tutulması gerekmektedir (Korkmaz, 2013).

Arı ürünü propolis üzerine yapılan bir araştırmada, iklim faktörlerinden sıcaklığın propolisin verim ve kalitesi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir. Özellikle orta dereceli sıcaklıkların, propolisin kalitesini olumlu yönde desteklediği ifade edilmektedir (Ribeiro Pereira ve ark., 2009).

Sonbahar Döneminde Sıcaklık Gereksinimi

Bal arıları, yaklaşık 10 °C civarında uçuşa yeteneklerini kaybetmeye başlamaktadır ve sıcaklık 7 °C'ye düştüğünde tamamen hareketsiz hâle gelmektedir (Çetin, 2004; Alattal ve Alghamdi, 2015). Bu durum, özellikle anormal hava koşullarında önem kazanmaktadır; zira 7 °C'nin altındaki sıcaklıklarda arılar, temizlik, yiyecek ve su temini gibi temel faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla uçuşa çıksalar dahi, kovanlarına geri dönmeleri mümkün olmamaktadır (Tutkun ve İnci, 2003). Bu nedenle sonbahar dönemindeki düşük sıcaklıklar, kolonilerin hayatta kalmasını doğrudan etkileyen kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Sıralı, 1999).

Sonbahar döneminde ani soğukların başlaması ve sıcaklıkların 0 °C'ye yaklaşmasıyla birlikte, bazı günlerin uzun süre soğuk geçmesi sonucunda yavruların üşüerek ölmesi gözlemlenebilmektedir. Özellikle yavrulu çerçevelerin sayısı ve yavrulu alanın genişliği, kovan içindeki işçi arıların ısı sağlayabileceği alanı aştığında, soğukların etkisiyle açıkta kalan ve yeterince ısınamayan yavrularda üşüme meydana gelmektedir (Tutkun, 1992).

Buna ek olarak, arıların kovan içindeki yanlış bölme uygulamaları nedeniyle yavrulu çerçeveleri yeterli sayıda işçi arı ile desteklememesi durumunda, mevcut yavru bireylerde soğuk havaya bağlı üşüme görülebilmektedir. Petekler üzerindeki açık ve kapalı yavru gözlerinde, bu dönemde soğuk havaya bağlı üşüme sonucunda ölen larvalar, işçi arılar tarafından petek gözlerinden çıkarılarak kovan dışına atılmaktadır (Tutkun, 1992).

Kış ve bahar ayları arasındaki ani hava değişimlerinde yeterli önlem alınmaması sonucunda meydana gelen bu tür koloni kayıplarının önlenmesi için, kolonilerin iç hacminin bölme tahtası ile daraltılarak arıların kovan

içinde işgal ettiği alan kadar küçültülmesi gerekmektedir (Doğaroğlu, 1992b).

Kovan iç hacminin daraltma işleminin sonbahar döneminde gerçekleştirilmesi hâlinde, arılar ilkbaharda koloni ısını koruyabilmektedir. Bu amaçla, kovandan fazla bir peteğin alınması dahi ısı yönetimi açısından yeterli olabilmektedir (Yılmaz, 1998). Ayrıca, kışa hazırlanırken uçuş deliklerinin uygun ölçüde daraltılması, arıların kendilerini daha etkili bir şekilde ısıtmalarına imkân sağlamaktadır (Savaş ve Sıralı, 2002).

Sonbahar döneminde kuluçkadan çıkan arı bireylerinin, yaz mevsiminde kuluçkadan çıkan bireylere kıyasla düşük sıcaklıklara karşı daha yüksek dayanıklılık gösterdiği bildirilmektedir (Yılmaz, 1998).

Peteklerin kovadaki dizilişi de ısı yönetimini etkilemektedir. Yapılan çalışmalar, çerçevelerin uçuş deliğine paralel yerleştirildiği “sıcak sistem” uygulamasında, çerçevelerin uçuş deliğine dik konumlandırıldığı “soğuk sisteme” göre yaklaşık %21 daha az ısı kaybı meydana geldiğini göstermektedir (Yılmaz, 1998).

Sonbahar sonu itibarıyla aktif arıcılık mevsimi sona yaklaşırken, yavru yetiştirme faaliyetleri giderek azalmaktadır ve kışa doğru tamamen durmaktadır (Çetin, 2004).

Bu dönemin ardından kış mevsimi başlamakta ve koloniler, düşük sıcaklık koşullarında hayatta kalabilmek için enerji tasarrufu ve ısı yönetimine odaklanmaktadır. Özellikle kovadaki petek düzeni, iç hacmin daraltılması ve uçuş deliklerinin uygun şekilde sınırlandırılması gibi önlemler, arıların koloni ısını korumasına ve kış dönemini güvenli bir şekilde geçirmesine olanak sağlamaktadır (Doğaroğlu, 1992b; Yılmaz, 1998; Savaş ve Sıralı, 2002).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bal arıları ve arı ürünleri üzerinde sıcaklığın etkilerine ilişkin yapılan araştırmalar; sıcaklık koşulları ile ani hava değişimlerinin koloni sağlığı, verimlilik ve ürün kalitesi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, arı sağlığı ve üretimin sürdürülebilirliği açısından başta sıcaklık olmak üzere çevresel faktörlerin dikkate alınmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.

Özellikle sonbahar ve kış dönemlerinde görülen düşük sıcaklıkların yavru gelişimi, koloni içi ısının korunması ve işçi arı davranışları üzerinde doğrudan etkili olduğu; dolayısıyla kolonilerin hayatta kalma başarısı ve verimliliğini önemli ölçüde belirlediği saptanmıştır. Bu durum, arıcılık uygulamalarında petek düzenlemesi, kovan iç hacminin daraltılması ve uçuş deliği kontrolü gibi koloni yönetimine yönelik önlemlerin, mevcut iklim koşulları dikkate alınarak planlanmasının önemini ortaya koymaktadır. İklimsel değişimlerin düzenli olarak izlenmesi ve uygun yönetim uygulamalarının zamanında hayata geçirilmesi, koloni sağlığının korunması

ile arı ürünlerinin verim ve kalitesinin sürdürülebilir biçimde devam ettirilmesi açısından kritik bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Sıcaklık değişimlerinin tüm yönleriyle incelenmesi ve kritik eşik değerlerin kesin olarak belirlenmesi güç olmakla birlikte, mevsimsel ve ani hava değişimlerinin sistematik biçimde izlenmesi, arıcıların olası risklere karşı zamanında ve etkili önlemler almasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kolonilerin fizyolojik bütünlüğünün korunması ile birlikte arı ürünlerinde verimlilik ve kalite parametrelerinin iyileştirilmesine katkı sunmaktadır.

Bal arısı yetiştiriciliğinde başarıya ulaşmak yalnızca teknik uygulamaların gerçekleştirilmesiyle sınırlı olmayıp, arıların gereksinim duyduğu optimum iklim koşullarının bilinmesi ve bu koşulların üretim üzerindeki etkilerinin doğru şekilde değerlendirilmesiyle mümkündür. Üretimi olumsuz yönde etkileyebilecek iklimsel faktörlere karşı gerekli önlemlerin zamanında ve uygun biçimde alınması, koloni sağlığının korunmasında temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Aksi takdirde, kolonilerin zayıflaması, arı ürünlerinin verimi ve kalitesinde azalma ve hatta kolonilerin sönmeye geçmesi gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Sonuç olarak, bal arılarının fizyolojik özellikleri, davranışları ve üretim performansı; biyolojik ve teknik faktörlerin yanı sıra iklim koşullarından da önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, özellikle sıcaklık başta olmak üzere iklimsel değişkenlerin bal arıları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması ve bu etkileri azaltmaya yönelik uygulamaların geliştirilmesi, koloni sağlığının korunması ve arıcılık faaliyetlerinin uzun vadede sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından temel bir gereklilik oluşturmaktadır.

REFERANSLAR

- Akbay, R. (1995). *Arı ve ipkeböceği yetiştirme*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayını: 1428, Ders Kitabı: 415, 382 sayfa. Ankara.
- Akbulut, S. (2000). Küresel ısınmanın böcek populasyonları üzerine muhtemel etkileri. *Ekoloji*. 9(36), 25-27.
- Alattal Y., Alghamdi, A. (2015). Impact of temperature extremes on survival of indigenous and exotic honey bee subspecies, *Apis mellifera*, under desert and semiarid climates, *Bulletin of Insectology*, vol. 68, pp. 219–222.
- Altan, Ö., Tolon, B. (1995). Bal arılarında sıcaklık kontrolü (termoregülasyon). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 32(2), 233-240. Bornova/İzmir.
- Candan, M. (2009). Biyotik ve abiyotik faktörler. *Ekoloji* (Editör: Cengiz Türe). Anadolu Üniv. Yay. No: 1964. Sayfa 23-39. Eskişehir.
- Czekońska, K., Chuda-Mickiewicz, B., Samborski, J. (2013). Quality of honeybee drones reared in colonies exposed to high temperature conditions. *Journal of Apicultural Science*, 57(2), 5–15. <https://doi.org/10.2478/jas-2013-0022>
- Ćerimagić, H. (1990). *Pčelarstvo (deveto, dopunjeno izdanje)*. NIP Zadugar. Stranice 85–90. Sarajevo.

- Çetin, U. (2004). Isı değişimlerinin arı kayıplarına etkisi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*. 4(4), 171-174. Bursa.
- Doğaroğlu, M. (1992a). *Arıcılık ders notları (3. Basım)*. Trakya Üniv. Tekirdağ Zir. Fak. Ders Notu: 36, Yayın No: 42. Sayfa 25-198. Tekirdağ.
- Doğaroğlu, M. (1992b). Trakya bölgesi arıcılığı, sorunları ve çözüm yolları. *Trakya Bölgesi 1. Hayvancılık Sempozyumu* (8-9 Ocak 1992) Bildirileri. Hasad Yayıncılık. Sayfa 165-176. İstanbul.
- Doğaroğlu, M. (1995). *Modern arıcılık teknikleri*. (Basılmamış Doktora Ders Notları). Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim Dalı.
- Durgun, M., Tekin, Ş., Konak, F., Dutgun, Y. (2012). Kovan içi parametrelerin (sıcaklık ve bağıl nem) gerçek zamanlı takibi, kaydedilmesini sağlayan sistem. *3. Uluslararası Muğla Arıcılık ve Çam Balı Kongresi* (01-04 Kasım 2012) Bildirileri Kitabı. Sayfa 307- 312. Muğla.
- Emsen, H. (1997). *Hayvan yetiştirme ilkeleri (üçüncü baskı)*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:310, Ders Kitapları No: 62, sayfa 102-113. Erzurum.
- Erk., H., Koçyiğit, S., Kuşlu, Y. (2021). Meteorolojik faktörlerin ve temiz su kaynaklarının arı ve arı ürünleri üzerine etkisi. *Tarım Uygulamalarında Yenilikçi Yaklaşımlar* (Editörler K. Kökten ve H. İnci). Sayfa 295-311. Ankara.
- Genç, F. (1993). *Arıcılığın temel esasları (Ders Notu)*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:149. 286 sayfa. Erzurum.
- Genç, F. (1996). Türkiye arıcılığının sorunları, koloni yönetim yanlışlıkları ve verimlilik üzerine etkileri. *Teknik Arıcılık*. Sayı 53, sayfa 18-26. Ankara.
- Genç, F., Dodoloğlu, A. (2003). *Arıcılığın temel esasları*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:341, Ders Kitapları No: 88. 338 sayfa. Erzurum.
- Goodman, L. (2003). *Form and function in the honey bee*. IBRA – International Bee Research Association, pp. 154–155. Cardiff.
- Güler, A. (2006). *Bal arısı (Apis mellifera)*. Ondokuz Mayıs Üniv. Ziraat Fak. Ders Kitabı No: 55. 574 sayfa. Samsun.
- Gürel, F., Gösterit, A. (2008). Effects of temperature treatments on the bumblebee (*Bombus terrestris* L.) colony development. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 21(1), 75-78.
- Howes, F. N. (1979). *Plants and beekeeping*. Publisher Faber and Faber. 256 pages. London.
- Jie, W., Wenjun, P., Jiandong, A., Zhanbao, G., Yueming, T., Jilian, L. (2005). Techniques for year-round rearing of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera, Apoidea) in China. *J. Apic. Sci.*, 49(1), 65-69.
- Kaftanoğlu, O., Kumova, U., Yeminar, H., Kale, N. (1993). Gap bölgesinde arıcılığın genel durumu ve geliştirme olanakları. *Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1. Hayvancılık Kongresi* (12-15 Mayıs 1993) Bildirileri. Sayfa 340-351. Şanlıurfa.
- Kaya, N. (2007). *Arıcılıkta üstte boş ballıkla kışlatmanın kovan içi bağıl nem, sıcaklık ve koloninin yaşama gücü üzerine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Kayral, N., Kayral, G. (1991). *Son sistem arıcılık*. Arı-İş Yayınları. 128 sayfa. İstanbul.
- Korkmaz, A. (2013). *Anlaşılabilir arıcılık*. Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü Yayını. 330 sayfa. Samsun.

- Le Conte, Y., Navajas, M. (2008). Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 27(2), 499-510.
- Nedyalkov, S., Bizhev, B., Mitev, B., Simidchiev, T., Venov, B. (1990). *Prakticheskoye pchelarstvo*. İzdatelstvo Zemizdat. 367 stranitsi. Sofya.
- Nyunza, G. (2018). Anthropogenic and climatic factors affecting honey production: The case of selected villages in Manyoni district, Tanzania. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 10(3), 45–57. <https://doi.org/10.5897/JABSD2017.0292>
- Öder, E. (1983). *Bal arısı hastalıkları*. Atatürk Üniversitesi Basımevi. 163 sayfa. Erzurum.
- Öder, E. (1985). Bal arısının su ihtiyaçları. *Teknik Tavukçuluk Dergisi*. 49, 27-31. Ankara.
- Öder, E., (1989). *Bal arılarının beslenmesi*. Hasat Yayıncılık, 256 sayfa. İstanbul.
- Pettis, J. S., Rice, N., Joselow, K., vanEngelsdorp, D., Chaimanee, V. (2016). Colony failure linked to low sperm viability in honey bee (*Apis mellifera*) queens and an exploration of potential causative factors. *Plos One*, 11(3), e0147220. DOI:10.1371/journal.pone.0147220
- Rhodes, J. W., Harden, S., Spooner-Hart, R., Anderson, D. L., Wheen, G. (2011). Effects of age, season and genetics on semen and sperm production in *Apis mellifera* drones. *Apidologie*, 42(1), 29-38. DOI:10.1051/apido/2010026
- Ribeiro Pereira, G. C. O., Barchuk, A. R., do Valle Teixeira, I. R. (2009). Environmental factors influencing propolis production by the honey bee *Apis mellifera* in Minas Gerais State, Brazil. *Journal of Apicultural Research*, 48(3), 176–180.
- Savaş, T., Sıralı, R. (2002). Muratlı ve köylerinde arıcılığın yapısının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Teknik Arıcılık*. Sayı 76, sayfa 15-21. Kazan/Ankara.
- Saylam, B. (1987). *Arıcılık*. Tar. Orm. Bakanlığı Çiftçi Üretici Yay. No: 2. 44 sayfa. Ankara.
- Seeley, T. D. (1985). *Honeybee ecology, A study of adaptation in social life*. Princeton University Press, pp. 107–118. New Jersey.
- Settar, A. (1987). Arılarda uyku dönemi fizyolojisi ve getirdiği sorunlar. *Teknik Arıcılık*. Sayı 9, sayfa 9–10. Kazan/Ankara.
- Sıralı, R. (1999). Arıcılık uğraşısında etkili çevresel koşulların analizi. *Teknik Arıcılık*. Sayı 63, sayfa 18–26. Kazan/Ankara.
- Southwick, E. E., Moritz, R. F. A. (1987). Social control of air ventilation in colonies of honey bees, *Apis mellifera*. *J Insect Physiol* 33, 623-626.
- Sönmez, R., Altan, Ö. (1992). *Teknik Arıcılık*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay. No:499, E.Ü. Basımevi. 246 sayfa. Bornova /İzmir.
- Stewart, R. E. (1977). Hayvan çevre koşullarına ilişkin araştırma gereksinimlerinin analizi (Çeviren: Tahir Ekmekyapar). *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*. Cilt 8, sayı 4. Sayfa 149-153. Erzurum.
- Todorović, V., Todorović, D. (1990). *Praktično pčelarstvo*. Izdavač Nolit. Stranice 51–61. Beograd.
- Tutkun, E., (1992). Bal arısı yavrularında üşümeye neden olan faktörler. *Teknik Arıcılık*. Sayı 38, sayfa 26-28. Ankara.
- Tutkun, E., İnci, A. (2003). *Balarısı zararlıları, hastalıkları ve tedavi yöntemleri*. Demircioğlu Matbaacılık. 156 sayfa. Ankara.

- Ulgezen, Z. N., van Dooremalen, C. van Langevelde, F. (2025). Why does resource availability matter for honeybee colonies in spring?. *Insect. Soc.* 72, 405–411. <https://doi.org/10.1007/s00040-025-01041-1>
- Vesković, B. (2000). *Praktično pčelarstvo sa radovima po mesecima*. Privredni Pregled. 420 stranice. Beograd.
- Yılmaz, B. (1998). Kolonide ısı kontrolü ve kışlatma. *Teknik Arıcılık*. Sayı 62, sayfa 8-13. Ankara.
- Yılmaz, B., (2009). Bal arılarında bakım ve besleme. *Oray-Bir'in Sesi*. Yıl 4, sayı 5. sayfa 3-5. Ordu.
- Yörük, A., Şahinler, N. (2013). Küresel ısınmanın bal arıları üzerine olası etkileri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*. 1(2), 79-87. Bursa.

