

TARIM BİLİMLERİ ALANINDA AKADEMİK ARAŞTIRMALAR VE ÇALIŞMALAR

Editör: AHMET TURHAN



BİDGE Yayınları

**Tarım Bilimleri Alanında Akademik Araştırmalar ve
Çalışmalar**

Editör: AHMET TURHAN

ISBN: 978-625-8995-63-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-03-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

TROPİK VE SUBTROPİK İKLİM KOŞULLARINDA ILIMAN İKLİM MEYVE TÜRLERİNİN YETİŞTİRİCİLİĞİ: FİZYOLOJİK TEMELLER, TEKNİK UYGULAMALAR VE ADAPTASYON STRATEJİLERİ	1
---	---

ALİ İKİNCİ

ANTEPFISTIĞINDA (PİSTACİA VERA L.) PERİYODİSİTE VE KARAGÖZ DÖKÜMÜ: KARBONHİDRAT KISITLILIĞINDAN GENETİK OLARAK DÜZENLENEN PROGRAMLI HÜCRE ÖLÜMÜNE	51
--	----

ALİ İKİNCİ

ELMA İŞLETMELERİNDE ÜRETİM YAPISI, TEKNİK ETKİNLİK VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ	82
---	----

ÖMER FARUK BALTA, SAİD EFE DOST

BÖLÜM 1

TROPİK VE SUBTROPİK İKLİM KOŞULLARINDA ILIMAN İKLİM MEYVE TÜRLERİNİN YETİŞTİRİCİLİĞİ: FİZYOLOJİK TEMELLER, TEKNİK UYGULAMALAR VE ADAPTASYON STRATEJİLERİ

ALİ İKİNCİ¹

1. Giriş

Ilıman iklim meyve türlerinin tropik ve subtropik bölgelerde yetiştirilmesi, bitki fizyolojisi ve uygulamalı meyvecilik açısından uzun yıllar boyunca "marjinal" ya da "istisnai" bir üretim alanı olarak değerlendirilmiştir. Elma (*Malus domestica* Borkh.), armut (*Pyrus* spp.), şeftali (*Prunus persica* L. Batsch), erik (*Prunus salicina* Lindl.), kiraz (*Prunus avium* L.), ceviz (*Juglans regia* L.) ve asma (*Vitis vinifera* L.) gibi türler, doğal yayılım alanlarında belirgin mevsimsel döngülere uyum sağlamış, kış aylarında düşük sıcaklıklarla dormansiye giren ve ilkbaharda sıcaklıkların yükselmesiyle uyanan bir fenoloji geliştirmiştir (Westwood, 1993; Erez, 2000; 2024). Bu döngünün merkezinde, dormansinin kırılması için gerekli olan soğuklama gereksinimi (chilling requirement) yer

¹Prof. Dr., Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
Orcid: 0000-0001-8149-7095

alır. Weinberger'in (1950) 7,2°C'nin altındaki saatleri soğuklama saati olarak tanımlamasından bu yana, soğuklama gereksinimi ılıman meyve türlerinin ekolojik adaptasyonunun temel belirleyicisi olarak kabul edilmiştir.

Tropik ve subtropik iklim kuşakları, yıl boyunca görece sabit sıcaklık değerleriyle karakterize edilen bir termal homojenlik sergiler. Fischer (2000)'ın vurguladığı gibi, bu bölgelerde mevsimsel veya aylık sıcaklık dalgalanmaları belirgin değildir, buna karşılık günlük sıcaklık farkları oldukça yüksektir. Ekvatora yakın bölgelerde gün uzunluğu yıl boyunca yaklaşık 12 saat seyrederek ve ılıman kuşaktaki kısa günlerin dormansi indüksiyonundaki rolü burada işlevsiz kalır. Deniz seviyesindeki tropik bölgelerde sıcaklıklar çoğu ılıman meyve türünün soğuklama gereksinimini karşılamak için fazla yüksekken, yüksek rakımlı tropik yaylalarda (tropical highlands) sıcaklıklar nispeten düşmekte ancak yine de yeterli soğuklama birikimi (Tablo 1) çoğu zaman sağlanamamaktadır (Lin, 1983; Ramírez ve Kallarackal, 2014).

Yetersiz soğuklama koşullarında tomurcuk uyanışı gecikmekte, heterojenleşmekte ya da bazı durumlarda tamamen baskılanabilmektedir. Lu ve ark. (2012), Tayvan'ın subtropikal alçak rakımlı bölgelerinde yürüttükleri uzun dönemli çalışmada, geleneksel Utah ve Florida modellerinin bu iklim koşullarında tomurcuk uyanışını doğru tahmin edemediğini ortaya koymuş; özellikle 26.7°C üzerindeki sıcaklıkların birikmiş soğuklamayı etkisiz hale getirdiğini (negasyon) rapor ederek, tropik sistemlerde sıcaklığın yalnızca eksik bir soğuklama sorunu yaratmakla kalmayıp, aynı zamanda aktif olarak bozucu bir faktör olduğunu göstermişlerdir. Sıcaklığın dormansi üzerindeki etkisi doğrusal değildir. Erez ve ark. (1971), kontrollü koşullarda yürüttükleri çalışmalarda, dormansi kırılmasında en etkili sıcaklığın 6°C olduğunu, 3°C ve 8°C'nin %90 etkinlik gösterdiğini, 10°C'nin ise %50 etkinlikte kaldığını saptamışlardır. Daha da önemlisi, günlük

sıcaklık döngüsünde yüksek sıcaklıkların ($>19^{\circ}\text{C}$) düşük sıcaklıkların etkisini nötralize ettiği gösterilmiştir. Couvillon ve Erez (1985), yüksek sıcaklıkların nötralizasyon etkisinin maruziyet süresi ve sıcaklık düzeyiyle ilişkili olduğunu, 24 saatlik döngülerde en güçlü negatif etkinin ortaya çıktığını belirlemiştir. Bu bulgu, özellikle gündüz sıcaklıklarının yüksek, gecelerin serin olduğu subtropik bölgelerde soğuklama birikiminin neden yetersiz kaldığını açıklamaktadır. Tayland'ın kuzey yaylalarında Subhadrabandhu (1987) tarafından kaydedilen Ocak ayı ortalama maksimum (20.0°C) ve minimum (6.1°C) sıcaklık farkının 13.9°C 'ye ulaşması, gece biriken soğuklamanın gündüz saatlerinde büyük ölçüde nötralize olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Farklı ülkelerde ılıman iklim meyve türleri için optimum rakım aralıkları

Ülke	Meyve Türü	Optimum Rakım Aralığı (m)	Kaynak
Kolombiya	Elma	2000-2800	Fischer, 2000
Kolombiya	Armut	2400-2800	Fischer, 2000
Kolombiya	Şeftali	2000-2600	Fischer, 2000
Kolombiya	Japon eriği	2600-2800	Fischer, 2000
Ekvador	Elma	2500-3100	Niegel, 1992
Etiyopya	Elma	2150-2650	Ashebir ve ark., 2010
Kenya	Elma	~2400	Griesbach, 1992
Tayvan	Yüksek soğuklamalı armut	>1700	Lin ve ark., 1982
Tayvan	Düşük soğuklamalı armut	<800	Lin ve ark., 1982
Guatemala	Elma, Şeftali, Armut	1650-2500 (optimum 1800-2200)	Cruz-Castillo ve ark., 2006
Hindistan	Düşük soğuklamalı elma	1300-1500	Thakur ve ark., 2024
Endonezya	Elma	600-1200	Notodimedjo ve ark., 1981
Porto Riko	Düşük soğuklamalı şeftali	277-670	Rouse ve ark., 2006

Bu fizyolojik bariyeri aşmak için geliştirilen yaklaşımlar, akademik literatürde iki temel kutupta toplanmıştır. Birinci yaklaşım, soğuklama eksikliğinin kimyasal dormansi kırıcılarla telafi edilmesini savunmaktadır. Hidrojen siyanamid (H_2CN_2), mineral yağlar, DNOC ve potasyum nitrat gibi kimyasallar, soğukun oluşturduğu fizyolojik etkileri taklit ederek tomurcuk uyanmasını senkronize etmektedir (Shulman ve ark., 1983; Erez, 1987; Petri, 1987). Beauvieux ve ark. (2018), hidrojen siyanamid ve benzeri kimyasal uyarıcıların, hücrede geçici bir hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimine yol açtığını ve bu durumun katalaz enzim aktivitesini inhibe ettiğini saptamışlardır. Bu "oksidatif şok" mekanizmasının, uyku halindeki genleri aktif hale getiren bir sinyal yolunu (redoks sinyalizasyonu) tetiklediğini belirlemişlerdir. İkinci yaklaşım ise "dormansiden kaçınma" (rest avoidance) stratejilerine dayanmaktadır. Endonezya, Kolombiya ve Sri Lanka gibi ülkelerde geliştirilen bu modelde, defoliasyon (yaprak dökümü), dal eğme (branch bending) ve kontrollü su stresi gibi kültürel müdahalelerle ağacın derin endodormansiye girmesi engellenmekte ve yeni bir büyüme döngüsü başlatılabilmektedir (Notodimedjo ve ark., 1981; Edwards, 1987; Fischer ve Lüdders, 1995). Farklı coğrafyalardaki uygulamalar, bu iki stratejinin bölgenin iklim ve rakım özelliklerine göre şekillendiğini göstermektedir. Subtropik bölgelerde (Güney Brezilya, Kuzey Arjantin, Güney Afrika, Akdeniz havzası, Tayvan'ın orta rakımları) kısmi soğuklama birikimini tamamlayıcı kimyasal müdahaleler öne çıkarken; tam tropik bölgelerde (ekvatora 10°'den yakın, Endonezya, Kolombiya, Kenya) fiziksel manipülasyonlar dormansiye baypas etmenin temel aracıdır (Notodimedjo ve ark., 1981; Fischer ve Lüdders, 1995).

Farklı ülkelerde uygulanan bu stratejiler, tür ve çeşit bazında önemli farklılıklar göstermektedir. Endonezya'nın Doğu Java bölgesinde (Batu, 600-1200 m) 'Rome Beauty' elma çeşidinde hasattan yaklaşık 30 gün sonra uygulanan elle defoliasyon ve dal

eğme işlemleri, 3-4 hafta içinde tomurcuk sürmesini ve çiçeklenmeyi tetiklemekte, bu sayede aynı ağaçtan yılda iki ürün (Nisan ve Ekim aylarında) alınabilmektedir (Notodimedjo ve ark., 1981; Verheij, 1992). Kolombiya'nın Boyacá eyaletinde (2000-2800 m) 'Anna' elma çeşidinde hasat sonrası bir ay süreyle sulamanın kesilmesi, ardından defoliasyon ve hidrojen siyanamid uygulaması, tomurcuk sürmesini %94'e çıkarmıştır (Fischer ve Lüdders, 1995; Casierra-Posada ve ark., 2008). Sri Lanka'nın yayla bölgelerinde (Bandarawela) 'Ragala Red' elma çeşidinde hasattan bir ay sonra yapılan elle defoliasyon, meyve sayısını ve meyve ağırlığını kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede artırmıştır (Wickramasinghe ve ark., 2014). Yumuşak çekirdekli meyvelerden armut yetiştiriciliğinde Tayvan'da geliştirilen "üstten aşılama" (top-grafting) tekniği, yüksek soğuklamalı Japon armut çeşitlerinin alçak bölgelerde üretimine olanak tanımaktadır. Lin ve ark. (1982, 1983), yüksek rakımlı bölgelerden (1700 m üzeri) Kasım-Aralık aylarında kesilen çiçek tomurcuğu taşıyan aşı kalemlerinin, 4°C'de 400 saat süreyle soğuk depoda muhafaza edildikten sonra, Ocak-Şubat aylarında (anaç 'Hengshan'ın çiçeklenmesinden 25 gün önce) obur dallarına aşılama ile, normalde 1400 saat soğuklama gerektiren 'Shinseiki' armudunun alçak bölgelerde başarıyla yetiştirilebildiğini göstermişlerdir. Güncel çalışmalarda, bu maliyetli aşılama yöntemine alternatif olarak, anti-GA ajanlarının (Paclobutrazol) kullanımı ve yatay terbiye sistemleri (horizontal trellis) ile vejetatif büyümenin baskılanarak çiçek tomurcuğu inisiyasyonunun teşvik edilebildiği rapor edilmiştir (Lin ve ark., 1990).

Sert çekirdekli meyve türlerinde farklı stratejiler öne çıkmaktadır. Tayvan'da yürütülen ıslah çalışmalarında, 'Premier' (150 CU), 'Tropicsweet' (175 CU) ve 'Tropicsnow' (200 CU) gibi anahtar şeftali çeşitlerinin çiçeklenme sırasının her yıl değiştiği, bu nedenle soğuklama gereksinimi değerlendirmesinde en az 6 yıllık gözlem verisine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır (Lu ve ark.,

2012). Brezilya'nın subtropik bölgesinde (Lavras, 841 m) 'Januaria' ve 'Grancour' erik çeşitleri, 293.5 meyve/ağaç ve 14.3 kg/ağaç verimle en yüksek performansı gösterirken, 'Grancour' 15.03 °Brix ile en yüksek suda çözünür kuru madde içeriğine ulaşmıştır (Farias ve ark., 2018). Tayland'ın kuzey yaylalarında (1000-1400 m) 'Flordabelle', 'Earligrande' ve 'Flordaprince' şeftali çeşitleri en iyi performansı göstermiş, ancak aynı çeşitlerin Avustralya ve ABD'deki verimlerine göre daha düşük kaldığı belirlenmiştir (Subhadrabandhu ve ark., 1989). Asma yetiştiriciliğinde tropik bölgelerde uygulanan "hasat sonrası budama ve defoliasyon" protokolü, bitkinin doğal dinlenme fazını baypas ederek yeni bir vejetatif döngü başlatmaktadır. Lu ve ark. (2023), Li ve ark. (2025) ile Ahmed ve ark. (2019), Çin ve Brezilya'daki tropikal bağlarda hasattan sonraki 15-20 gün içinde yapılan 2-4 göz üzerinden budamanın ve ardından tomurcuklara uygulanan %2.5-5.0 hidrojen siyanamidin, tomurcuk uyanışını senkronize ettiğini ve sürgün gelişimini hızlandırdığını bildirmişlerdir. 'Summer Black' üzüm çeşidinde hasattan 15 gün sonra uygulanan %40 ethephon ve %80 kükürt kombinasyonu, yaprak dökümünü hızlandırarak besinlerin geri akışını sağlamakta ve uyanışı senkronize etmektedir (Qiu ve ark., 2019). Sert kabuklu meyve türlerinde ise adaptasyon stratejileri daha farklı bir boyut kazanmaktadır. Walde ve ark. (2024), ceviz ve badem ağaçlarında kontrollü su stresi (deficit irrigation) uygulamalarının bitkiyi geçici bir dormansi benzeri duruma soktuğunu ve sulamanın yeniden başlamasıyla birlikte senkronize bir uyanış sağlandığını bildirmişlerdir. Benmoussa ve ark. (2017), badem yetiştiriciliğinde başarının, kışın yaşanan sıcaklık dalgalanmalarına dirençli geç çiçeklenen (late-flowering) çeşitlerin seçilmesiyle doğrudan ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. İncir (*Ficus carica*) yetiştiriciliğinde Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde yürütülen çalışmalarda, "çalı formu" (shrub system) terbiye sistemi ve radikal geri budama (heading back) uygulamalarının, hasat periyodunu meyve fiyatlarının en yüksek olduğu dönemlere

kaydırdığı, aynı zamanda güneş yanıklığını azaltarak meyve kalitesini koruduğu saptanmıştır (Silva ve ark., 2017; Miranda ve ark., 2023).

Tüm bu uygulamaların başarısında, düşük soğuklama ihtiyacı olan genotiplerin geliştirilmesi de kritik rol oynamaktadır. Florida Üniversitesi ıslah programından çıkan 'Flordaprince' (150 CU), 'Tropic Beauty' (150 CU), 'UFGold' (200 CU) gibi şeftali-nektarin çeşitleri (Sherman ve ark., 1988; Rouse ve ark., 2006), Brezilya'da geliştirilen 'Eva' (100-500 CU) ve 'IPR Julieta' gibi elma çeşitleri (Hauagge, 2010; Castro ve ark., 2015), İsrail kökenli 'Anna' (300 CU) ve 'Dorsett Golden' (300 CU) elma çeşitleri (Miller ve Sherman, 1980; Abdel-Sattar ve Kotb, 2021) tropik ve subtropik bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ancak bu yoğun agroteknik müdahalelerin bir fizyolojik maliyeti bulunmaktadır. Notodimedjo ve ark. (1981) ve Verheij (1990), Endonezya modelinde karbonhidrat rezervlerinin hızla tükenmesinin, ağaçlarda erken yaşlanma ve periyodisite (yıl aşırı verim) sorunlarına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Cruz-Castillo ve ark. (2010), kivide %75 defoliasyon uygulamasının mevcut sezonda meyve ağırlığında %7 azalmaya, ertesi yıl çiçeklenme potansiyelinde ise %53 oranında düşüşe neden olduğunu saptamıştır. Bu bulgular, vejetatif-generatif denge ve kaynak-havuz (source-sink) ilişkilerinin tropik koşullarda ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Küresel iklim değişikliği, ılıman meyve yetiştiriciliğini çift yönlü etkilemektedir. Bir yandan geleneksel üretim bölgelerinde kış sıcaklıklarının artması soğuklama birikimini azaltmakta, diğer yandan tropik bölgelerde daha önce elverişsiz olan alanlar yeni üretim merkezleri haline gelebilmektedir. Legave ve ark. (2008), Fransa'da 1976-2002 döneminde küresel ısınmanın elma çeşitlerinin soğuklama gereksinimini karşılama süresini 3-5 gün uzattığını belirlemiştir. Chen (2025), Tayvan'da artan sıcaklıkların yüksek soğuklamalı şeftali çeşitlerinde çiçeklenme

düzensizliklerine, meyve kalitesinde düşüşe ve ortalama meyve iriliğinde azalmaya yol açtığını, düşük soğuklamalı çeşitlerin pazar payının giderek arttığını belirtmektedir.

Bu derleme çalışmasının amacı; ılıman iklim meyve türlerinin tropik ve subtropik ekosistemlerdeki adaptasyonunu, karşılaşılan başlıca fizyolojik engeller (soğuklama yetersizliği, hormonal dengesizlikler, karbonhidrat yönetimi) ve bu engelleri aşmak için geliştirilen agroteknik stratejiler (kimyasal dormansi kırıcılar, fiziksel manipölasyonlar, terbiye sistemleri, genetik ıslah, anaç kullanımı, rakım avantajı) çerçevesinde bütüncül bir bakış açısıyla irdelemektir. Çalışmada, başta Endonezya, Kolombiya, Sri Lanka, Tayvan, Hindistan, Etiyopya, Brezilya, İsrail, Mısır, Güney Afrika, Tayland, Avustralya, Peru, Guatemala, Porto Riko, Kenya ve Zimbabwe olmak üzere çok sayıda ülkede, farklı tür ve çeşitlerde uygulanan yöntemler, uygulama zamanları, dozları ve elde edilen sonuçlar detaylandırılarak, tropik ve subtropik bölgelerde ılıman iklim meyveciliğinin mevcut durumu ve gelecek perspektifi ortaya konulacaktır.

2. DORMANSİ YÖNETİMİNDE KÜLTÜREL VE TEKNİK MÜDAHALELERİN FİZYOLOJİK TEMELLERİ

Tropik ve subtropik koşullarda ılıman iklim meyve türlerinin yetiştiriciliğinde uygulanan kültürel ve teknik müdahaleler, bitkinin doğal fenolojik döngüsünü yeniden programlamayı hedefler. Bu müdahalelerin her biri, dormansi sürecinin farklı aşamalarını hedef alan spesifik fizyolojik mekanizmaları tetiklemek üzere tasarlanmıştır. Aşağıda, başlıca uygulamaların fizyolojik amaçları ve etki mekanizmaları açıklanmaktadır.

2.1. Defoliasyon (Yaprak Dökümü)

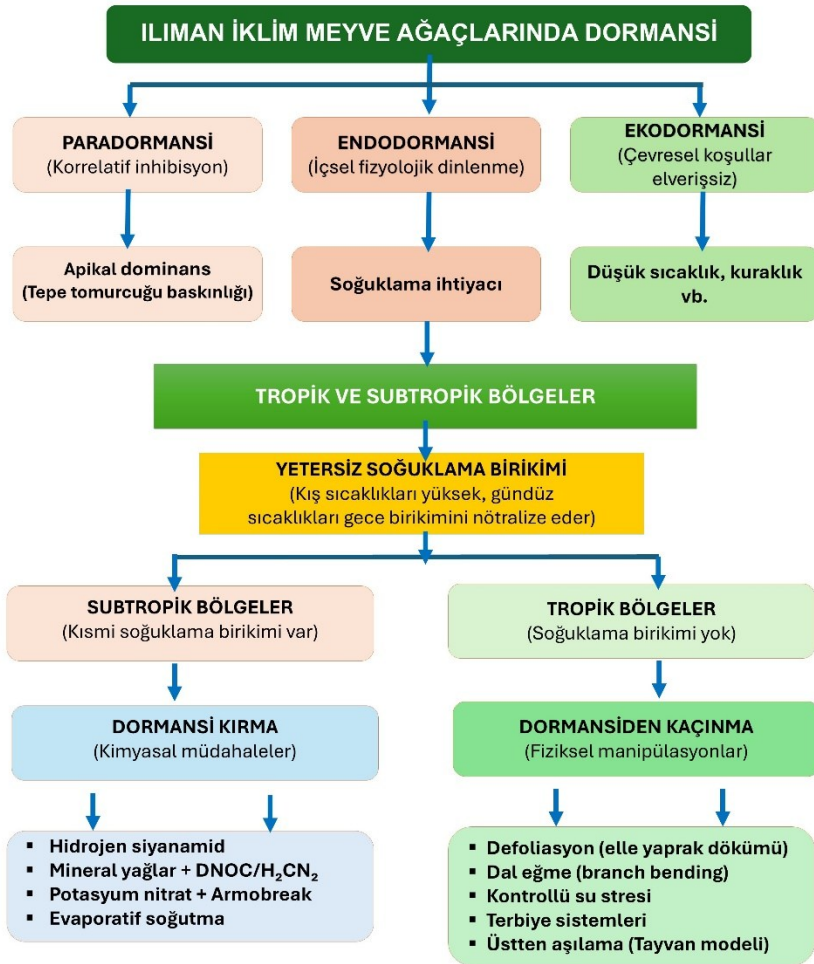
Defoliasyon, tropik bölgelerde ılıman iklim meyve ağaçlarının dinlenme döngüsünü (Şekil 1) manipüle etmek için kullanılan en temel fiziksel müdahaledir. Ilıman kuşakta sonbaharda gün uzunluğunun kısalması ve sıcaklıkların düşmesiyle doğal olarak gerçekleşen yaprak dökümü, tropiklerde gerçekleşmez, çünkü gün uzunluğu yıl boyunca yaklaşık 12 saat seyrederek ve sıcaklıklar yeterince düşmez (Fischer, 2000). Yaprakların ağaçta kalması, tomurcuklarda büyümeyi engelleyici hormonların, özellikle Abscisik Asit (ABA) ve diğer inhibitörlerin birikmesine neden olur (Notodimedjo ve ark., 1981; Ramírez ve Kallarackal, 2014).

Defoliasyonun temel fizyolojik amacı, yapraklardaki ABA kaynağını ortadan kaldırarak tomurcuklar üzerindeki inhibitör baskıyı hafifletmektir. Yaprakların uzaklaştırılmasıyla birlikte, tomurcuklardaki serbest ABA seviyesi hızla düşer ve buna paralel olarak büyümeyi teşvik eden gibberellin (GA) ve sitokinin seviyeleri yükselir (Taylor ve ark., 1984; Edwards, 1985;). Bu hormonal yeniden dengeleme (rebalancing), tomurcuklardaki hücre bölünmesini ve metabolik aktiviteyi tetikleyerek 3-4 hafta içinde yeni bir sürgün döngüsünün başlamasını sağlar (Notodimedjo ve ark., 1981). Defoliasyon aynı zamanda, dormansi sırasında kesintiye uğrayan vasküler bağlantıların yeniden kurulmasına ve tomurcuklara su ve besin maddesi akışının başlamasına da olanak tanır (Walde ve ark., 2024).

Defoliasyonun zamanlaması kritik öneme sahiptir. Çok erken yapıldığında, çiçek tomurcuğu farklılaşması tamamlanmamış olabilir ve süren sürgünler vejetatif kalır. Çok geç yapıldığında ise tomurcuklar endodormansiye girmiş olabilir ve defoliasyon tek başına uyanmayı sağlayamaz (Thakur ve ark., 2024). Bu nedenle, defoliasyon genellikle terminal tomurcuk oluşumundan ve çiçek tomurcuğu farklılaşmasının tamamlanmasından sonra, ancak derin endodormansi gelişmeden önce uygulanır. Bu sayede, bitki kış

soğuklamasına ihtiyaç duymadan yeni bir üretim döngüsüne başlayabilir (Edwards, 1987).

Şekil 1. Ilıman iklim meyve ağaçlarında dormansi türleri ve tropiklerde karşılaşılan sorunlar (Akış diyagramı)



Bu diyagram; Notodimedjo ve ark., 1981; Lin ve ark., 1982; Lang ve ark., 1987; Erez, 2000 kaynaklarındaki bilgilerden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kimyasal defoliasyon, elle yaprak uzaklaştırmaya alternatif olarak geliştirilmiştir. Erez (1985), magnezyum klorat ve siyanamid gibi kimyasalların yaprak dökümünü teşvik ettiğini, ancak elle defoliasyon kadar etkili olmadığını belirtmiştir. Üre, bakır sülfat ve potasyum nitrat da kimyasal defoliasyon amacıyla kullanılan diğer maddelerdir. Etiyopya'da yapılan çalışmada, kimyasal defoliasyonun ardından hidrojen siyanamid uygulamasının en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir (Ashebir ve ark., 2010).

2.2. Dal Eğme (Branch Bending)

Dal eğme, özellikle tropik koşullarda ılıman iklim meyve ağaçlarında görülen aşırı apikal dominansiyi (uç tomurcuk baskınlığı) kırmak amacıyla uygulanan bir terbiye tekniğidir. Dik büyüyen dallarda, uç tomurcukta üretilen oksin hormonu aşağı doğru taşınarak yan tomurcukların uyanmasını baskılar (apikal dominansi). Tropiklerin sürekli büyümeyi teşvik eden koşullarında, bu durum daha da belirginleşir ve ağaçlar müdahale edilmediğinde terminal tomurcukların aşırı baskın olduğu, yan tomurcukların ise uykuda kaldığı bir "çalımsı" (shrub-like) büyüme formu sergiler (Verheij, 1992).

Dal eğmenin fizyolojik amacı, dalların yatay konuma getirilmesiyle oksin taşınımını yavaşlatmak ve böylece yan tomurcuklardaki sitokinin aktivitesini artırmaktır. Yatay konuma getirilen dallarda, apikal dominans azalır, yan tomurcukların uyanması teşvik edilir ve spur (kısa meyve dalı) oluşumu artar (Notodimedjo ve ark., 1981; Erez, 2000). Bu uygulama aynı zamanda vejetatif büyümeyi sınırlayarak karbonhidratların generatif gelişmeye (çiçek tomurcuğu oluşumuna) yönlendirilmesini sağlar. Dal eğme ile birlikte terminal tomurcuk oluşumu hızlanır ve bunu çiçek tomurcuğu farklılaşması izler (Notodimedjo ve ark., 1981).

Mekanik bir sinyal olarak da işlev gören dal eğme, bitkinin hormonal dengesini değiştirerek vejetatif-generatif dengeyi yeniden kurar.

Tayvan'da armut yetiştiriciliğinde, ana dalların yatay konuma eğilmesi, obur dal oluşumunu teşvik etmekte ve bu sürgünler daha sonra aşı kalemi olarak kullanılmaktadır (Lin ve ark., 1982). Sri Lanka'da yapılan bir çalışmada, açık merkez terbiye sistemiyle birlikte uygulanan dal eğmenin, merkezi lider sisteme göre daha fazla meyve rengi gelişimi sağladığı (%44,9'a karşı %23,3) belirlenmiştir (Wickramasinghe ve ark., 2014).

2.3. Terbiye Sistemleri ve Budama Stratejileri

Terbiye sistemleri, ağacın taç yapısını düzenleyerek ışık dağılımını, havalanmayı ve fotosentetik verimliliği optimize etmeyi amaçlar. Tropik ve subtropik koşullarda, yoğun güneş ışığı ve yüksek nem gibi faktörler nedeniyle terbiye sistemleri daha da önem kazanır. Açık merkez (open centre) veya V-tipi terbiye sistemleri, güneş ışığının taç içine nüfuzunu artırarak alt ve iç kısımlardaki tomurcukların daha kaliteli bir şekilde gelişmesine olanak tanır (Souza ve ark., 2017; Wickramasinghe ve ark., 2014). Bu, özellikle meyve rengi ve şeker birikimi gibi kalite parametreleri üzerinde doğrudan etkilidir.

Budama stratejileri ise zamanlama ve şiddet açısından dormansi yönetiminde kritik rol oynar. Subtropik koşullarda, kış ortasında yapılan tepe kesme budaması, yara etkisiyle en üstteki bir veya iki tomurcuğun sürmesini uyarır, ancak apikal dominansın yeniden tesisine yol açarak alttaki lateral tomurcukların sürmesini engelleyebilir (Erez, 2000). Bu nedenle, budamanın mümkün olduğunca geç yapılması veya yaz budamasının tercih edilmesi önerilir. Yaz budaması, vejetatif büyümeyi kontrol altında tutarken, ertesi yıl için çiçek tomurcuğu oluşumunu teşvik eder (Subhadrabandhu, 1995). Budama aynı zamanda, ağacın enerjisinin

ve karbonhidrat rezervlerinin istenmeyen vejetatif büyüme yerine meyve üretimine yönlendirilmesini sağlayan bir "kaynak-havuz" (source-sink) yönetim aracıdır.

2.4. Su Yönetimi ve Kontrollü Su Stresi

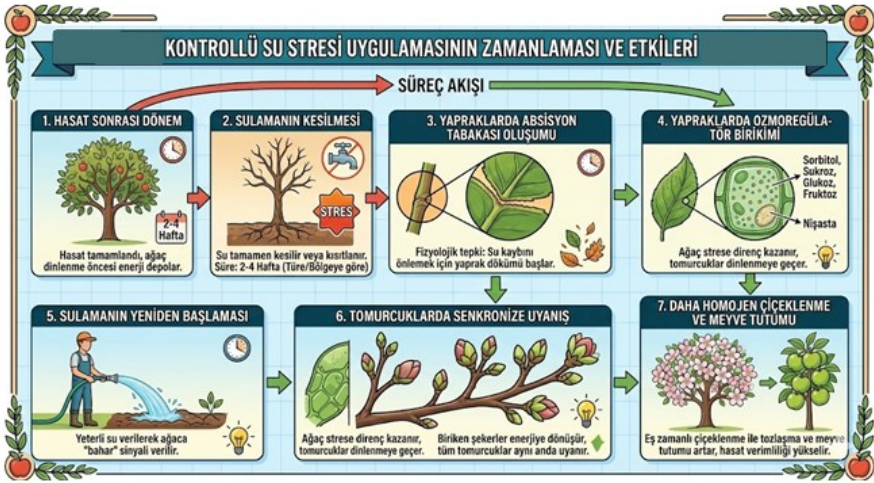
Kontrollü su stresi (deficit irrigation), özellikle tropik bölgelerde kış soğuklamasının yokluğunda, bitkide yapay bir dinlenme dönemi oluşturmak amacıyla uygulanan bir tekniktir (Şekil 2). Su kısıtlamasının fizyolojik amacı, bitkide doğal yaprak dökümünü teşvik ederek ve tomurcukları dinlenme fazına sokarak, daha sonra sulamaya başlandığında senkronize bir uyanış sağlamaktır (Chaikaityos ve ark., 1994).

Su stresi altındaki bitkilerde, yapraklarda sorbitol, sükroz, glikoz ve fruktoz gibi ozmoregülatör maddeler birikirken, nişasta konsantrasyonu azalır (Li ve Li, 2005). Bu metabolik değişim, tomurcukların uyanışı için gerekli enerjiyi depolama işlevi görür. Su stresi aynı zamanda yaprak sapında absisyon tabakasının (ayrılma tabakası) oluşumunu hızlandırarak doğal yaprak dökümünü kolaylaştırır. Stresin ardından sulamaya yeniden başlanması, adeta bir "sulama sinyali" olarak algılanır ve tomurcuklarda eş zamanlı bir uyanışı tetikler (Fischer ve Lüdders, 1995). Bu yöntem, kimyasal girdi gerektirmemesi ve organik üretim sistemlerine uygun olması nedeniyle de avantajlıdır. Ancak, stresin süresi ve şiddeti iyi ayarlanmadığında, kök sisteminde kalıcı hasarlara ve ertesi yıl vejetatif gelişimin zayıflamasına yol açabilir (Ramírez ve Kallarackal, 2014).

Mısır'da yapılan bir çalışmada, sonbaharda sulamanın kontrollü olarak azaltılmasının 'Anna' elmasında tomurcuk oluşumunu ve ertesi yıl verimini olumlu etkilediği belirlenmiştir (Abdel-Sattar ve Kotb, 2021). Finetto ve Ward (1990) tarafından Yemen'in yarı kurak yaylalarında yürütülen çalışmada, 'Ein Shemer'

ve 'Dorsett Golden' elma çeşitlerinde farklı sulama programlarının etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada, Mayıs-Haziran döneminde haftalık, Temmuz-Ekim ve Ocak-Mayıs dönemlerinde ise 10 günde bir sulama uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, özellikle 'Dorsett Golden' çeşidinde verimin tatmin edici düzeyde olduğu bildirilmiş, ancak meyve boyutlarının küçük kaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 2. Kontrollü su stresi uygulamasının zamanlaması ve etkileri (Akış diyagramı*)



*Bu diyagram, Chaikaitiyos ve ark. (1994), Fischer ve Lüdders (1995), Li ve Li (2005) ve Abdel-Sattar ve Kotb (2021)'dan yararlanılarak hazırlanmıştır.

2.5. Kimyasal Dormansi Kırıcılar (Hidrojen Siyanamid, Mineral Yağlar, KNO_3) Uygulamaları

Tropik ve subtropik bölgelerde dormansi yönetimi, temelde iki farklı stratejiye dayanır: soğuklama gereksinimini kısmen veya tamamen karşılamaya yönelik uygulamalar (dormansi kırma) ve dormansiye girişi engellemeye yönelik uygulamalar (dormansiden kaçınma). Bu iki strateji, farklı ekolojik koşullarda ve farklı türler için uygulanmaktadır. Subtropik bölgelerde (Güney Brezilya, Kuzey

Arjantin, Güney Afrika, Akdeniz havzası, Tayvan'ın orta rakımları) kış aylarında belirli bir düzeyde soğuklama birikimi gerçekleşmekle birlikte, bu miktar çoğu zaman yüksek soğuklamalı çeşitler için yetersiz kalmaktadır. Bu durumda, kimyasal maddelerle dormansi kırma uygulamaları devreye girer. Buna karşılık, tam tropik bölgelerde (ekvatora 10°'den yakın, Endonezya, Kolombiya, Kenya, Sri Lanka) kış aylarında soğuklama birikimi ya hiç olmaz ya da çok sınırlıdır. Bu koşullarda uygulanan strateji, dormansiye girişi engellemek, yani endodormansi gelişmeden yeni bir büyüme döngüsü başlatmaktır.

Dormansi Kırma Teknikleri

Hidrojen siyanamid (Dormex®), son otuz yılda dormansi kırma amacıyla en yaygın kullanılan kimyasal madde haline gelmiştir. Shulman ve ark. (1983) tarafından asmalarda etkinliği gösterilen bu bileşik, daha sonra elma, erik, kayısı, kiraz, şeftali, kivi ve incirde de başarıyla uygulanmıştır. Hidrojen siyanamidin etki mekanizması tam olarak aydınlatılmamış olmakla birlikte, solunum enzimlerini aktive ettiği, protein sentezini teşvik ettiği ve hücre bölünmesini uyardığı düşünülmektedir. Uygulama zamanlaması kritik önem taşır; çok erken uygulama yetersiz etki, çok geç uygulama ise özellikle çiçek tomurcuklarında fitotoksisite riski taşır. Erez (1987), hidrojen siyanamidin vejetatif tomurcuklarda daha etkili olduğunu, generatif tomurcukların ise daha hassas olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, özellikle sert çekirdekli meyve türlerinde uygulama dozunun dikkatle ayarlanması gerekmektedir.

Etiyopya'nın tropik yaylalarında yürütülen kapsamlı bir çalışmada, Ashebir ve ark. (2010), defoliasyon sonrası %1 ve %2 hidrojen siyanamid uygulamalarının kontrol ve yalnızca defoliasyon yapılan ağaçlara göre çiçeklenmeyi yaklaşık iki hafta öne çektiğini ve verimi anlamlı düzeyde artırdığını saptamıştır. Çalışmada, 'Jonagold' çeşidinde defoliasyon tek başına kısmen etkili olurken,

'Golden Delicious', 'Granny Smith' ve 'Gala' çeşitlerinde kimyasal uygulamanın zorunlu olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada, %1 ve %2 dozları arasında verim açısından anlamlı fark bulunmamış, bu da düşük dozların yeterli olabileceğini göstermiştir. İsrail'de yapılan çalışmalarda, hidrojen siyanamidin kirazda çiçeklenmeyi 12 gün öne çektiği ve hasadı erkene aldığı rapor edilmiştir (Snir ve Erez, 1988).

Mineral yağlar, dormansi kırma amacıyla en uzun süredir kullanılan kimyasallardır. DNOC (dinitro-ortho-cresol) ile kombinasyon halinde kullanılan mineral yağlar, 1930'lardan itibaren uygulanmaktadır (Samish, 1945). Bu kombinasyonun etki mekanizması, tomurcuklarda geçici anaerobik koşullar oluşturarak etanol üretimini tetiklemesine dayanır (Erez ve ark., 1980). Etanol, dormansi kırıcı etkisi bilinen bir bileşiktir. Mineral yağın oluşturduğu film tabakası, tomurcukların oksijen alışverişini engelleyerek anaerobik solunuma yol açar ve bu süreçte üretilen etanol, hücre metabolizmasını uyarır. Petri (1987), Brezilya'da elmalarda %4 mineral yağ + %0,12 DNBP (4,6-dinitro-2-sec-bütilfenol) uygulamasının lateral tomurcuk sürgün verme oranını %40'ın üzerine çıkardığını, kontrol ağaçlarda bu oranın %6'nın altında kaldığını rapor etmiştir. DNOC'un insan sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle son yıllarda alternatif arayışları hız kazanmış, Güney Afrika'da daha düşük toksisiteli Carathane (Waicap) gibi bileşikler denenmiştir (Honeyborne ve Rabe, 1993).

Potasyum nitrat (KNO_3), nispeten ılımlı etkiye sahip bir dormansi kırıcıdır. Erez ve ark. (1971), %10'a varan konsantrasyonlarda uygulanan KNO_3 'ün özellikle çiçek tomurcuklarının sürgün vermesini artırdığını belirlemiştir. Ancak tek başına etkisi sınırlıdır ve genellikle diğer kimyasallarla kombinasyon halinde kullanılır. Son yıllarda, KNO_3 'ün etkinliği Armobreak (yağlı aminler) gibi penetrasyon artırıcı maddelerle birlikte kullanılarak yükseltilmiştir. North (1992), Güney Afrika'da KNO_3 + Armobreak kombinasyonunun elmalarda tek başına KNO_3 'e

göre çok daha etkili olduğunu, hatta geleneksel yağ-DNOC kombinasyonuna eşdeğer sonuçlar verdiğini göstermiştir. Armobreak'in etki mekanizması, kütikula penetrasyonunu artırarak aktif maddelerin tomurcuk içine daha kolay girmesini sağlamasıdır. İsrail'de yapılan çalışmalarda, Armobreak ile kombine edilen gibberellik asit ve hidrojen siyanamidin, tek başlarına uygulamalara göre çok daha etkili olduğu, hatta 'Canino' kayısıda yaprak sürmesini ve verimi belirgin şekilde artırdığı rapor edilmiştir (Erez, 1995).

Büyüme düzenleyiciler arasında, sitokininler (özellikle thidiazuron) ve gibberellik asit (GA₃) dormansi kırma potansiyeli taşımaktadır. Wang ve ark. (1986), thidiazuronun elma tomurcuklarında dormansi kırmada etkili olduğunu, ancak ekonomik olarak uygulanabilir konsantrasyonların (100-400 mg/L) yüksek maliyetli olduğunu belirtmiştir. Notodimedjo ve ark. (1981), tropik koşullarda GA₃ uygulamasının yaprak oluşumunu teşvik ederek terminal tomurcuk oluşumunu geciktirdiğini, buna karşılık daminozidin terminal tomurcuk oluşumunu hızlandırdığını saptamıştır. Daminozid, vejetatif büyümeyi baskılayarak karbonhidratların generatif gelişmeye yönlendirilmesinde etkili olmuş, çiçek tomurcuğu oluşumunu artırmıştır. Ancak ticari kullanımı, sağlık endişeleri nedeniyle birçok ülkede kısıtlanmıştır.

Thiourea (tiyoüre), özellikle vejetatif tomurcukların sürmesinde çok etkili bir kimyasal olarak bilinmekle birlikte, insan sağlığına toksik etkileri nedeniyle birçok ülkede yasaklanmıştır. Erez (1987), thiourea'nın elma ve sert çekirdekli meyvelerde KNO₃ ve yağ-DNOC ile kombinasyon halinde çok başarılı sonuçlar verdiğini, ancak günümüzde kullanımının mümkün olmadığını belirtmektedir.

Kimyasal uygulamaların başarısı, büyük ölçüde uygulama öncesinde biriken soğuklama miktarına bağlıdır. Erez (2000), kimyasal maddelerin soğuklama gereksiniminin ancak yaklaşık %30'unu karşılayabildiğini, dolayısıyla belirli bir düzeyde doğal soğuklama birikiminin zorunlu olduğunu vurgulamaktadır. Bu

nedenle, kimyasal uygulama zamanlamasının belirlenmesinde soğuklama birikim modellerinden yararlanılması önerilmektedir. Ayrıca, uygulama sonrası hava sıcaklıklarının da etkinlik üzerinde belirleyici olduğu, sıcak ve güneşli günlerde etkinliğin arttığı bilinmektedir.

Tablo 2'de, farklı dormansi kırma kimyasallarının uygulama özellikleri, konsantrasyonları, etki mekanizmaları ve duyarlı türler karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 2. Ilıman iklim meyve türlerinde dormansi kırmada kullanılan başlıca kimyasallar

Kimyasal	Konsant-rasyon	Uygulama Zamanı	Etki Mekanizması	Duyarlı Türler	Kaynaklar
Hidrojen siyanamid	%1-5 (türe bağlı)	Doğal çiçeklenmeden 30-50 gün önce	Solunum enzimlerini aktive eder, protein sentezini teşvik eder	Asma, kivi, kiraz (düşük fitotoksisite); şeftali, kayısı (yüksek hassasiyet)	Shulman ve ark., 1983; Erez, 1987; Ashebir ve ark., 2010
Mineral yağ + DNOC	%3-5 yağ + %0.1-0.2 DNOC	Tomurcuk kabarması öncesi	Geçici anaerobik koşullar oluşturarak etanol üretimini tetikler	Elma, armut (güvenli); sert çekirdekli (dikkatli)	Samish, 1945; Erez, 1979; Petri, 1987
Potasyum nitrat (KNO ₃)	%2-10	Dinlenme dönemi sonu	Hücre metabolizmasını uyarır, ozmotik etki	Sert çekirdekli (çiçek tomurcuklarında etkili)	Erez ve ark., 1971
Armo-break (yağlı amin)	%1-2 (adjuvan)	Diğer kimyasallarla kombine	Kütikula penetrasyonunu artırır, taşıyıcı görevi görür	Tüm türler (tek başına etkisiz)	North, 1992; Erez, 1995
Thidiazuron (TDZ)	100-400 mg/l	Dinlenme dönemi sonu	Sitokinin aktivitesi, hücre bölünmesini uyarır	Elma (yüksek maliyet)	Wang ve ark., 1986

Damino- zid	5000 ppm	Tam çiçeklen- me dönemi	Vejetatif büyümeyi baskılar, terminal tomurcuk oluşumunu hızlandırır	Elma (kullanımı kısıtlı)	Notodi- medjo ve ark., 1981
Ethephon	500-1000 ppm	Dinlenme dönemi	Etilen üretimini teşvik eder, lateral tomurcuk sürgününü artırır	Elma (sulu koşullarda)	Notodi- medjo ve ark., 1981

2.6. Anti-Gibberellin (Paclobutrazol) Uygulamaları

Anti-GA ajanları (örneğin Paclobutrazol), gibberellin biyosentezini inhibe ederek vejetatif büyümeyi baskılar. Gibberellinler, sürgün uzamasını ve hücre bölünmesini teşvik eden hormonlardır. Bu hormonların sentezinin engellenmesi, ağacın enerjisini ve karbonhidrat rezervlerini vejetatif büyüme yerine generatif gelişmeye (çiçek tomurcuğu oluşumuna) yönlendirmesini sağlar (George ve Nissen, 1987). Bu dolaylı etki, özellikle aşırı vejetatif büyümenin sorun olduğu subtropik bölgelerde, çiçeklenmeyi ve verimi artırmak için kullanılır. Paclobutrazol aynı zamanda, apikal dominansı azaltarak yan tomurcukların uyanmasını da teşvik edebilir (Lin ve ark., 1990).

2.7. Diğer Biyostimülanlar ve Gelişen Teknolojiler

Son yıllarda, daha düşük dozlarda etkili olan Thidiazuron (TDZ) ve bitki büyüme düzenleyicileri (PGR) üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Erez (2000), TDZ'nin sitokin benzeri etkisiyle çok düşük konsantrasyonlarda (10-50 ppm) bile elma tomurcuklarını uyandırabildiğini bildirmiştir. Ayrıca, Thakur ve ark. (2024)

tarafından belirtildiği üzere, bitki özlerinden elde edilen doğal biyostimülantların, kimyasal dormansi kırıcıların dozunu azaltmada yardımcı bir strateji olarak kullanılması gündemdedir. Bu yeni yaklaşımlar, tropik meyveciliğin ekolojik ayak izini azaltma hedefiyle uyumludur.

2.8. Doğal Uyarıcılar (Sarımsak Ekstraktı, Ethephon)

Doğal uyarıcılar, sentetik kimyasallara alternatif veya tamamlayıcı olarak kullanılır. Sarımsak ekstraktı, içerdiği kükürtlü bileşikler aracılığıyla endojen GA seviyesini yükselterek tomurcukların metabolik aktivitesini yeniden başlatır (Singh ve Banyal, 2020). Etki mekanizması tam olarak aydınlatılmamış olmakla birlikte, oksidatif stres yoluyla veya doğrudan hormon metabolizmasını etkileyerek dormansiye kırıdğı düşünülmektedir.

Ethephon, uygulandıktan sonra etilen gazına dönüşen bir bileşiktir. Etilen, yaprak sapında absisyon tabakasının oluşumunu hızlandırarak yaprak dökümünü (defoliasyon) teşvik eder (Subhadrabandhu, 1995). Aynı zamanda, tomurcuklarda metabolik aktiviteyi uyararak dormansinin kırılmasına katkıda bulunabilir. Ethephon'un bu çift yönlü etkisi, özellikle hem defoliasyonun hem de uyanışın senkronize edilmesinin istendiği durumlarda avantaj sağlar.

2.9. Evaporatif Soğutma

Evaporatif soğutma, yüksek gündüz sıcaklıklarının nötralizasyon etkisini azaltmak amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Erez ve Couvillon (1983), İsrail'de 'Sunred' nektarin çeşidinde 6 Aralık 1981-5 Ocak 1982 döneminde uygulanan üstten yağmurlama sulama ile tomurcuk sıcaklığını 3-5°C düşürmeyi başarmış ve bu yolla gece biriken soğuklamanın korunarak daha erken ve uniform

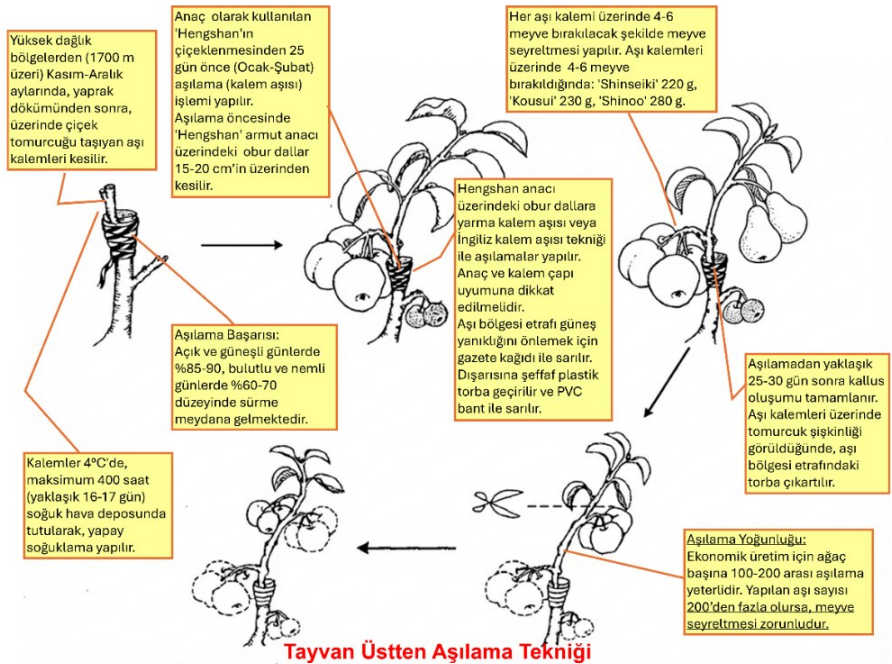
çiçeklenme elde edildiğini göstermiştir. Uygulamada, ağaç başına saatte 55 L su püskürten mikro-sprinklerler kullanılmış, 19-20°C'de devreye giren termostat kontrollü sistemle tomurcuk sıcaklığı 24°C'den 16°C'ye düşürülebilmektedir. 5 Şubat'ta yapılan ölçümlerde, terminal tomurcuk patlama oranı sprink uygulanan ağaçlarda %75, kontrolde %17; 17 Şubat'ta ise uygulanan ağaçlarda %100, kontrolde %25 olarak gerçekleşmiştir. Güney Afrika'da nektarinlerde evaporatif soğutma uygulamasının, hidrojen siyanamid uygulamasıyla birlikte kullanıldığında en yüksek başarıyı (%95 üzeri tomurcuk patlaması) sağladığı belirlenmiştir (Linsley Noakes ve ark., 1994). Bu yöntemin başarısı, düşük bağıl nem ve kaliteli su kaynağı gerektirir; yüksek tuz içeriği dallarda zarara yol açabilmekte, özellikle genç sürgünlerde tuz yanıkları görülebilmektedir. Güney Afrika ve İsrail'de ticari olarak uygulanan yöntem, özellikle yüksek sıcaklıkların soğuklama birikimini sınırladığı bölgelerde önemli verim artışları sağlamıştır

3.0. Üstten Aşılama (Top-Grafting)

Lin ve ark. (1982, 1983), Tayvan'da yüksek soğuklamalı Japon armutlarının ('Shinseiki', 'Kousui', 'Shinco') alçak bölgelerde (800 m altı) yetiştirilmesi için geliştirilen üstten aşılama tekniğini detaylandırmıştır (Şekil 3). Yüksek rakımlı bölgelerde (1700 m üzeri) yetiştirilen anaç ağaçlardan, yaprak dökümünden sonra (Kasım-Aralık) çiçek tomurcuğu taşıyan dallar (aşı kalemleri) kesilerek alınmakta, 4°C'de maksimum 400 saat süreyle soğuk depoda muhafaza edilmektedir. Aşılama, 'Hengshan' armut anacının çiçeklenmesinden 25 gün önce (Ocak-Şubat) yapılmaktadır. Anaç olarak kullanılacak obur dallar 15-20 cm uzunluğunda kesilmekte, aşı kalemi ile anaç çapının uyumlu olmasına dikkat edilmektedir. Aşılama sonrası aşı bölgesi PVC bantla sarılmakta ve şeffaf polietilen torba ile kapatılmaktadır. Torbanın içine gazete kâğıdı

konularak güneş yanıkları önlenmektedir. Kallus oluşumu 25-30 günde tamamlanmakta, tomurcuk şişkinliği görüldüğünde torba çıkarılmaktadır. Her ağaçta ekonomik üretim için 100'den fazla aşı yapılması gerektiği, 200'den fazla aşı yapıldığında meyve seyreltmesi yapılması gerektiği belirtilmiştir. Meyve seyreltmesinde, her aşı kaleminde 4-6 meyve bırakılmasının optimum meyve iriliği (Shinseiki için 220 g, Kousui için 230 g, Shinoo için 280 g) sağladığı belirlenmiştir.

Şekil 3. Tayvan üstten aşılama (Top-Grafting) tekniği



Amaç: Yüksek soğuklamalı Japon armut çeşitlerini ('Shinseiki', 'Kousui', 'Shinoo') alçak rakımlı bölgelerde (<800 m) yetiştirmek.

Kaynak: Lin ve ark., 1982; Lin ve ark., 1987; Lin ve ark., 1990 kaynaklarından yararlanılarak hazırlanmıştır.)

3. TÜR BAZLI AGROTEKNİK UYGULAMALAR VE BÖLGESEL MODELLER

Tropik ve subtropik kuşakta ılıman iklim meyve türlerinin yetiştiriciliği, tekil bir teknik müdahale ile açıklanabilecek bir süreç değildir. Bu üretim sistemleri, büyük ölçüde dormansi mekanizmalarının doğal yollarla tamamlanamadığı koşullarda, bitkinin fizyolojik saatine dışsal müdahaleler yoluyla yön verilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle tür bazlı agroteknik uygulamalar değerlendirilirken, uygulamanın sağladığı kısa vadeli üretim avantajları ile uzun vadeli fizyolojik bedellerin birlikte ele alınması gerekmektedir (Lang ve ark., 1987; Erez, 2000).

Asma (*Vitis vinifera* L.), tropik koşullarda ılıman iklim meyve türleri arasında en esnek adaptasyon kapasitesine sahip türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Tropikal bağcılık sistemlerinde, hasat sonrası yapılan sert budamaların ve bunu izleyen kimyasal uygulamaların, klasik endodormansi sürecini fiilen baypas ettiği gösterilmiştir (Zheng ve ark., 2015; Lu ve ark., 2023). Li ve ark. (2025) ile Ahmed ve ark. (2019), tropikal bağlarda hasattan sonraki 15 gün içinde yapılan 2-4 göz üzerinden budamanın ve bunu takiben tomurcuklara uygulanan hidrojen siyanamidin, tomurcuk uyanışını senkronize ettiğini ve sürgün gelişimini hızlandırdığını bildirmişlerdir. Ancak aynı çalışmalarda, bu sistemin karbonhidrat rezervleri üzerinde ciddi bir baskı oluşturduğu ve omca ömrünü kısaltabileceği de özellikle vurgulanmıştır (Lu ve ark., 2023).

Elma ve armut gibi yumuşak çekirdekli meyve türlerinde tropik adaptasyon, çok daha kırılğan ve yüksek müdahale gerektiren bir yapı sergilemektedir. Armut yetiştiriciliğinde, üstten aşılama (top-grafting) ve büyüme düzenleyici uygulamalarının birlikte kullanıldığı sistemlerde, çiçeklenmenin belirli ölçüde senkronize edilebildiği rapor edilmiştir (Lin ve ark., 1983). Daha güncel çalışmalarda ise, sürgün büyümesinin baskılanması ve çiçek

tomurcuğu oluşumunun teşvik edilmesi amacıyla anti-GA ajanlarının, özellikle Paclobutrazol'ün yaygın olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Lin ve ark., 1990). Aynı araştırmacılar, yatay terbiye sistemlerinin oksin dağılımını değiştirerek, yanal meyve dalı oluşumunu artırdığını ve bu sayede generatif gelişimin desteklendiğini ortaya koymuşlardır (Lin ve ark., 1990).

Sert çekirdekli meyve türlerinde (şeftali, nektarin, erik ve kayısı), tropik ve subtropik koşullardaki başarı büyük ölçüde dormansi kırıcıların dozajı ve uygulama zamanlamasına bağlıdır. Brezilya koşullarında yürütülen çalışmalarda, %0.5 hidrojen siyanamid + %1 mineral yağ kombinasyonunun tomurcuk patlamasını %75–80 oranında eş zamanlı hale getirdiği bildirilmiştir. (Souza ve ark., 2017; Pio ve ark., 2018). Tayland'da yapılan araştırmalar ise, hasat sonrası uygulanan ethephonun erken yaprak dökümünü teşvik ederek ağacı zorunlu bir dinlenme fazına soktuğunu ve bir sonraki sezonun çiçek kalitesini artırdığını göstermiştir (Subhadrabandhu, 1995). Daha yüksek soğuklama gereksinimine sahip kayısı ve kiraz gibi türlerde ise, bu müdahalelerin etkisinin sınırlı kaldığı ve daha agresif kimyasal uygulamaların gerektiği bildirilmiştir (Salama ve ark., 2021).

Sert kabuklu meyveler ve incir gibi türlerde tropik adaptasyon, çoğu zaman su yönetimi ve terbiye sistemlerinin birlikte kurgulanmasına dayanmaktadır. Walde ve ark. (2024), ceviz ve badem ağaçlarında kontrollü su stresi uygulamalarının bitkiyi geçici bir dormansi benzeri duruma soktuğunu ve sulamanın yeniden başlamasıyla birlikte senkronize bir uyanış sağlandığını bildirmişlerdir. İncir üzerine yapılan çalışmalarda ise, çalı sistemi (shrub system) ile yönetilen ağaçlarda her yıl uygulanan radikal geri budamanın meyve verimini belirgin biçimde artırdığı ve hasadın istenen dönemlere kaydırılabildiği gösterilmiştir (Silva ve ark., 2017; Miranda ve ark., 2023).

Bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, tropik ve subtropik kuşakta ılıman iklim meyve türlerinin yetiştiriciliğinin tek tip bir modelle açıklanamayacağı açıkça görülmektedir. Türler arası fizyolojik farklılıklar, kullanılan agroteknik müdahalelerin hem etkinliğini hem de sürdürülebilirliğini belirleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla bu üretim sistemlerinin başarısı, yalnızca kısa vadeli verim artışlarıyla değil, bitkinin fizyolojik bütünlüğünü ne ölçüde koruyabildiğiyle de değerlendirilmelidir.

Bu bölümde, farklı coğrafyalarda geliştirilen başlıca üretim modelleri, uygulama detayları ve elde edilen sonuçlar bağlamında analiz edilecektir.

3.1. Elma (*Malus domestica*) Yetiştiriciliğinde Dinlenmeden Kaçınma Stratejileri

Elma yetiştiriciliğinde Endonezya'nın Java adasında uygulanan ve "**Batu Sistemi**" olarak adlandırılan model, dünyadaki en özgün çift ürün (double cropping) örneklerinden biridir (Şekil 4). Bu sistem, 7° güney enleminde, 600-1200 m rakımlarda, minimum sıcaklığın 12°C civarında olduğu koşullarda geliştirilmiş olup, yaklaşık 1.5 milyon elma ağacını kapsamaktadır (Notodimedjo ve ark., 1981; Verheij, 1992). Notodimedjo ve ark. (1981) tarafından detaylandırılan sistemde, hasattan yaklaşık 30 gün sonra ağaçların tüm yaprakları elle kopartılmakta (defoliasyon) ve dallar yatay konuma getirilerek eğilmektedir (bending). Bu işlem, apikal dominansiye kırarak yanal tomurcukların uyanmasını teşvik etmekte ve 3-4 hafta içinde yeni bir çiçeklenme döngüsü başlamaktadır. Sistem sayesinde aynı ağaçtan Nisan ve Ekim aylarında olmak üzere yılda iki ürün alınabilmektedir.

Şekil 4. Endonezya "Batu sistemi" (çift ürün) akış şeması



Kaynak: Bu diyagram, Notodimedjo ve ark., 1981; Verheij, 1992'den yararlanarak hazırlanmıştır.

Defoliasyonun başarısı, yaprakların dormansiye tetikleyen inhibitörlerin (özellikle Absisik Asit - ABA) ana kaynağı olmasına dayanmaktadır. Notodimedjo ve ark. (1981), defoliasyon sırasında tomurcuk uçlarında yüksek düzeyde gibberellin ve sitokinin, yapraklarda ise yüksek düzeyde ABA ve diğer inhibitörler bulunduğunu göstermiştir. Taylor ve ark. (1984) tarafından yapılan hormon analizleri, defoliasyonun yalnızca ABA'yı düşürmekle kalmadığını, aynı zamanda köklerden gelen sitokinin ve gibberellin akışını da modifiye ettiğini, sürecin çok katmanlı bir hormonal yeniden dengeleme (rebalancing) içerdiğini ortaya koymuştur.

Defoliasyon zamanlaması kritik önem taşımaktadır. Aynı çalışmada, terminal tomurcuk oluşumundan sonra geçen sürenin çiçeklenme oranını etkilediği belirlenmiştir. Yağışlı sezonda terminal tomurcuk oluşumundan 47 gün sonra yapılan defoliasyonda çiçeklenme oranı %55 iken, 89 gün sonra yapılanda bu oran %69'a

yükselmiştir. Kurak sezonda ise 42 gün sonra yapılan defoliasyonda çiçeklenme oranı %46, 88 gün sonra yapılanda %68 olmuştur. Bu bulgu, çiçek tomurcuğu farklılaşması için terminal tomurcuk oluşumundan sonra belirli bir sürenin geçmesi gerektiğini göstermektedir. Dal eğme uygulamasının etkinliği de sulama koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Yağışlı sezonda yatay konuma eğilen dallarda sürgün sayısı 40.5'e ulaşırken, kurak sezonda 22.3'te kalmıştır (Notodimedjo ve ark., 1981), bu durum su durumunun kaynak rekabetinde önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Sistemde ağırlıklı olarak 'Rome Beauty' çeşidi kullanılmakta olup, 'Princess Noble' gibi çeşitler de yer almaktadır (Notodimedjo ve ark., 1981). Anaç olarak, yerel olarak "Çin elma anacı" (Chinese crab apple) olarak bilinen, tanımlanmamış bir anaç kullanılmaktadır (Notodimedjo ve ark., 1981). Verheij (1992), bu anacın dormansiye girme eğiliminin düşük olduğunu, yıl boyunca sürgün verme potansiyeli taşıdığını ve bu özelliğiyle yılda iki ürün alınmasına katkıda bulunduğunu belirtmektedir. Aynı araştırmacı, bu anacın doku kültürüyle çoğaltılmasında %65 başarı elde edildiğini bildirmektedir. Bununla birlikte, Verheij (1990) ve Notodimedjo ve ark. (1981), bu yoğun üretim modelinin karbonhidrat rezervleri üzerinde ciddi bir baskı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Hızla tükenen rezervler, ağaçlarda erken yaşlanma ve periyodisite (yıl aşırı verim) sorunlarına yol açmaktadır. Verheij (1990), tropik elma bahçelerinde birkaç yıl boyunca başarılı ürün alındığını, ancak ağaçların yaşlandıkça sürgün kuvvetinde azalma, düzensiz çiçeklenme ve artan meyve dökümü gibi belirtiler göstermeye başladığını bildirmiştir.

Hindistan'ın Himalaya eteklerinde, 1300-1500 m rakımlarda, yıllık ortalama sıcaklığın 19-22°C (min) ve 26-30°C (maks) olduğu koşullarda geleneksel olmayan (nontraditional) elma yetiştiriciliği geliştirilmiştir (Thakur ve ark., 2024). Düşük soğuklamalı 'Anna' ve

'Dorsett Golden' çeşitleri bu bölgelerde başarılı olurken, daha yüksek rakımlarda (2500 m üzeri) 'Royal Delicious' gibi geleneksel çeşitler yetiştirilebilmektedir. Thakur ve ark. (2024), 'Anna' ve 'Dorsett Golden' çeşitlerinde Ocak-Şubat aylarında uygulanan %1.5-3.0 dozundaki hidrojen siyanamidin tomurcuk patlama oranını %85'in üzerinde senkronize ettiğini ve çiçeklenme süresini 12-14 gün kısalttığını bildirmiştir. Doz arttıkça fitotoksiste riskinin arttığı, bu nedenle 'Anna' gibi hassas çeşitlerde %1.5 dozunun yeterli olduğu vurgulanmıştır.

Thakur ve ark. (2024), geleneksel olmayan bölgelerde düşük soğuklamalı çeşitlerin yaygınlaştırılmasının, karbon ayak izinin azaltılmasında ve yerel gıda güvenliğinin sağlanmasında stratejik bir avantaj sunduğunu belirlemişlerdir. Yazarlar, iklim değişikliğinin geleneksel üretim alanlarında soğuklama birikimini azaltması nedeniyle, bu tekniklerin öneminin giderek artacağını vurgulamaktadır.

Kolombiya'nın Boyacá eyaletinde, 2000-2800 m rakımlarda geliştirilen model, 'Anna' elma çeşidinde uygulanan kapsamlı bir dormansiden kaçınma protokolüdür (Fischer ve Lüdders, 1995; Fischer, 2000). Fischer ve Lüdders (1995) tarafından önerilen protokol şu aşamalardan oluşmaktadır: hasat sonrası bir ay süreyle sulamanın kesilerek vejetatif büyümenin durdurulması, ardından elle defoliasyon ve budama yapılması, sulamaya yeniden başlanması ve nihayetinde hidrojen siyanamid uygulaması. Bu protokol, tek mevsimlik yağış rejimine sahip bölgelerde yılda bir, çift mevsimlik yağış rejimine sahip bölgelerde ise yılda iki ürün alınmasını mümkün kılmaktadır.

Casierra-Posada ve ark. (2008), 'Anna' elma çeşidinde hasattan hemen sonra (Ocak-Şubat) uygulanan elle defoliasyonun tomurcuk sürmesini %94'e çıkardığını, defoliasyon yapılmayan ağaçlarda ise bu oranın %32'de kaldığını belirlemiştir. Çalışmada, defoliasyonun çiçeklenme ve hasat zamanını yaklaşık iki hafta öne

çektığı kaydedilmiştir. Fischer (2000), yüksek rakımlı tropik bölgelerde (2000-2800 m) yetiştirilen elmaların, düşük rakımlılara göre daha yoğun kırmızı renk, daha sulu yapı ve daha uzun meyve şekline sahip olduğunu, bunun gece-gündüz sıcaklık farklarıyla ilişkili olduğunu belirtmektedir. Aynı araştırmacı, bu rakımlarda ticari meyve yetiştiriciliği için en düşük yıllık ortalama sıcaklığın 12-13°C olduğunu rapor etmiştir.

Etiyopya'nın kuzey yaylalarında (Tigray bölgesi, 2150-2650 m rakım) yürütülen kapsamlı çalışmalar, farklı elma çeşitlerinin tropik koşullardaki performansını ve dormansi kırma gereksinimlerini ortaya koymuştur (Ashebir ve ark., 2010). Bölgede kış aylarında ortalama 148 saat (2650 m'de) ve 55 saat (2150 m'de) 7°C altı sıcaklık kaydedilmektedir. Daha yüksek rakımda (Hagere Selam, 2650 m) yetiştirilen ağaçlarda, daha düşük rakıma (Mekelle, 2150 m) göre çiçeklenme daha erken ve homojen gerçekleşmiştir.

Ashebir ve ark. (2010), M9 anacı üzerine aşılı 'Golden Delicious', 'Gala', 'Fuji', 'Granny Smith' ve 'Jonagold' elma çeşitlerinde, Ocak-Şubat aylarında defoliasyon sonrası uygulanan %1 ve %2 hidrojen siyanamidin etkilerini incelemiştir. Her iki doz da kontrol ağaçlarına kıyasla çiçeklenmeyi yaklaşık 14 gün öne çekmiş ve verimi önemli ölçüde artırmıştır. Çalışmanın dikkat çekici sonuçlarından biri, 'Jonagold' çeşidinde defoliasyonun tek başına kısmen etkili olmasına karşın, 'Golden Delicious', 'Granny Smith' ve 'Gala' çeşitlerinde kimyasal uygulamanın gerekli olmasıdır. Bu durum, çeşitler arasında dormansi derinliği açısından genetik farklılıklar olduğunu göstermektedir. %1 ve %2 dozları arasında verim açısından anlamlı fark bulunmamış olması, düşük dozların yeterli olabileceğine işaret etmektedir.

Sri Lanka'nın Bandarawela yayla bölgesinde 'Ragala Red' elma çeşidi ile yürütülen çalışmalar, defoliasyon ve terbiye sistemlerinin verim üzerindeki etkilerini sayısal olarak ortaya koymuştur. Wickramasinghe ve ark. (2014), hasattan bir ay sonra

(Mayıs-Haziran) yapılan elle defoliasyonun etkilerini incelemiş ve defoliasyon uygulanan ağaçlarda meyve sayısının 21.3 meyve/ağaç, meyve ağırlığının 2.53 kg/ağaç olduğunu, kontrol grubunda ise bu değerlerin sırasıyla 12.6 meyve/ağaç ve 1.49 kg/ağaç olarak gerçekleştiğini belirlemiştir. Araştırmacılar, defoliasyonun özellikle genç ağaçlarda (5 yaşına kadar) verimi katlayarak artırdığını vurgulamıştır.

Aynı çalışmada (Wickramasinghe ve ark., 2014), goble ve doruk dallı terbiye sistemleri karşılaştırılmıştır. İlk yıllarda goble sisteminde gövde çapı (7.58 cm'ye karşı 6.28 cm) ve dallanma yüksekliği (0.90 m'ye karşı 0.60 m) daha fazla bulunmuş, ancak 3-4 yıl sonra farklılıklar ortadan kalkmıştır. Meyve rengi gelişimi açısından goble terbiye sistemi daha başarılı olmuş, bu sistemde yetiştirilen ağaçlarda meyvelerin %44.9'u kırmızı renk sınıfına girerken, doruk dallı sisteminde bu oran %23.3'te kalmıştır. Bu fark, güneş ışığının meyvelere daha iyi ulaşmasıyla ilişkilendirilmiştir.

3.2. Armut (*Pyrus spp.*) ve "Top-Grafting" Teknolojisi

Armut yetiştiriciliğinde Tayvanlı araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller, yüksek soğuklamalı çeşitlerin sıcak bölgelerde yetiştirilmesine olanak tanıyan özgün yaklaşımlar sunmaktadır. Lin ve ark. (1982, 1983) tarafından geliştirilen "top-grafting" (üstten aşılama) tekniği, yüksek soğuklamalı Japon armutlarının düşük rakımlı sıcak bölgelerde üretimini mümkün kılmıştır. Bu teknikte, yüksek dağlık bölgelerden (1700 m üzeri) Kasım-Aralık aylarında kesilen çiçek tomurcuğu taşıyan aşı kalemleri, 4°C'de maksimum 400 saat süreyle soğuk depoda muhafaza edilmekte, ardından Ocak-Şubat aylarında alçak bölgelerde (800 m altı) yetiştirilen düşük soğuklamalı 'Hengshan' armut anacının obur dallarına aşılanmaktadır. Aşılama, anaç 'Hengshan'ın çiçeklenmesinden 25 gün önce yapılmakta olup, aşı başarısı açık ve güneşli günlerde %85-

90, bulutlu ve nemli günlerde ise %60-70 olarak gerçekleşmiştir (Lin ve ark., 1983).

Aşı sonrası 10-25 ppm GA₃ uygulamasının meyve tutumunu ve meyve iriliğini artırdığı belirlenmiştir (Lin ve ark., 1983). Her aşı kaleminde 4-6 meyve bırakıldığında, 'Shinseiki'de meyve ağırlığı 220 g, 'Kousui'de 230 g, 'Shinco'da 280 g'a ulaşmaktadır (Lin ve ark., 1985). Her ağaçta kârlı bir üretim için 100'den fazla aşı yapılması gerektiği, 200'den fazla aşı yapıldığında ise meyve seyreltmesinin zorunlu olduğu vurgulanmıştır.

Lin ve ark. (1990) tarafından yapılan güncel çalışmada ise, maliyetli olan aşılama yerine, vejetatif büyümeyi baskılayan anti-GA ajanlarının (Paclobutrazol vb.) yatay terbiye sistemleri (horizontal trellis) ile kombine edilmesinin, düşük rakımlarda da çiçek tomurcuğu inisiyasyonunu mümkün kıldığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, sürgün büyümesinin hızlandığı dönemde topraktan veya yapraktan uygulanan 500-1000 ppm dozundaki Paclobutrazol'ün, sürgün büyümesini sınırlayarak çiçek tomurcuğu inisiyasyonunu güçlendirdiği, 90°'ye yakın dal açılarıyla oksin dağılımının değiştirilerek yanal meyve dallarının teşvik edildiği rapor edilmiştir.

3.3. Sert Çekirdekli Meyveler: Şeftali, Erik ve Kayısı Stratejileri

Brezilya'nın subtropik bölgesinde (Lavras, Minas Gerais, 841 m rakım) yürütülen kapsamlı çalışmalar, şeftali ve erik çeşitlerinin adaptasyonunda terbiye sistemleri ve kimyasal uygulamaların önemini ortaya koymuştur. Souza ve ark. (2017), şeftali ve erik ağaçlarında V tipi terbiye sistemi uygulanmasının, taç içerisine ışık girişini artırması sonucunda tomurcuk kalitesinin yükseldiğini saptamışlardır. Düşük soğuklama isteyen çeşitlerin ('Aurora-1' şeftali, 'Gulfblaze' erik) bu terbiye sistemleri altında daha

homojen bir çiçeklenme gösterdiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada, dormansi ortasında (Ocak ayı) uygulanan %0.5 hidrojen siyanamid + %1 mineral yağ kombinasyonunun, tomurcuk patlamasının %75–80 oranında eş zamanlı gerçekleşmesini sağladığı bildirilmiştir. Bu kombinasyon, tek ajan uygulamalarına göre daha tutarlı sonuçlar vermiştir.

Farias ve ark. (2018), Lavras'ta yedi erik çeşidinde yürüttükleri iki yıllık çalışmada (2015-2016) önemli bulgular elde etmiştir. 'Januaria' çeşidi 293.5 adet meyve/ağaç ve 14.3 kg/ağaç verimle en yüksek performansı gösterirken, 'Grancour' 15.03 °Brix ile en yüksek suda çözünür kuru madde içeriğine ulaşmıştır. 'Santa Rosa' 5.0 kg/ağaç verim ve 9.30 °Brix değerleriyle orta düzeyde performans gösterirken, 'Harry Pickstone' ve 'Satsuma' en düşük verimli çeşitler olmuştur. Çalışmada, çiçeklenme dönemlerinin çakışması açısından 'Grancour' ve 'Harry Pickstone'in tozlayıcı, 'Januaria'nın ise ana çeşit olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. En uzun çiçeklenme süresi her iki yılda da 'Harry Pickstone' (47 gün) ve 'Grancour' (53 gün) çeşitlerinde kaydedilmiştir. Çiçeklenme zamanı ilk yılda 17-25 Haziran, ikinci yılda 25 Temmuz-25 Ağustos arasında değişmiş olup, bu farklılık yıllar arası sıcaklık dalgalanmalarına bağlanmıştır.

Farias ve ark. (2018), Brezilya'nın subtropik bölgesinde (Lavras, 841 m) yedi erik çeşidi üzerinde yürüttükleri iki yıllık (2015-2016) bir çalışmada, çeşitlerin verim ve kalite performanslarını değerlendirmiştir. Araştırma sonuçları, 'Januaria' çeşidinin 293.5 meyve/ağaç ve 14.3 kg/ağaç verim ile en yüksek performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. 'Grancour' çeşidi ise 15.03 °Brix ile en yüksek suda çözünür kuru madde içeriğine ulaşırken, 'Santa Rosa' 5.0 kg/ağaç verim ve 9.30 °Brix değerleriyle orta düzeyde bir performans sergilemiştir. 'Harry Pickstone' ve 'Satsuma' çeşitleri ise en düşük verimli çeşitler olarak kaydedilmiştir. Çalışmada ayrıca, çiçeklenme fenolojisi de incelenmiş; en uzun

çiçeklenme süresi her iki yılda da 'Harry Pickstone' (47 gün) ve 'Grancour' (53 gün) çeşitlerinde gözlenmiştir. Çiçeklenme başlangıcı, yıllar arasındaki sıcaklık dalgalanmalarına bağlı olarak ilk yıl 17-25 Haziran, ikinci yıl ise 25 Temmuz-25 Ağustos arasında değişiklik göstermiştir. Araştırmacılar, çiçeklenme dönemlerinin çakışması göz önünde bulundurularak, 'Grancour' ve 'Harry Pickstone' çeşitlerinin tozlayıcı, 'Januaria' çeşidinin ise ana çeşit olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Tayland'ın kuzey yaylalarında (Royal Ang Khang İstasyonu, 1000-1400 m rakım) yürütülen çalışmalar, düşük soğuklamalı şeftali ve nektarin çeşitlerinin performansını ortaya koymuştur. Subhadrabandhu (1987), Ocak ayında ortalama maksimum sıcaklığın 20.0°C, ortalama minimum sıcaklığın 6.1°C, ortalama farkın 13.9°C olduğunu kaydetmiştir. Bu yüksek günlük sıcaklık dalgalanması, gece biriken soğuklamanın gündüz saatlerinde nötralize olmasına yol açmaktadır.

Subhadrabandhu ve ark. (1989), 'Flordabelle', 'Earligrande' ve 'Flordaprince' şeftali çeşitlerinin en iyi performansı gösterdiğini, ancak aynı çeşitlerin Avustralya ve ABD'deki verimlerine göre daha düşük kaldığını belirlemiştir. Nektarin çeşitlerinden 'Fla 3-4' (300 CU, 69 g meyve ağırlığı), 'Fla 5-13' (300 CU, 86 g), 'Fla 5-14' (325 CU, 91 g) ve 'Sundowner' (425 CU, 60 g) test edilmiş, en yüksek verim 'Fla 5-14' ve 'Sundowner'da kaydedilmiştir.

Subhadrabandhu (1995), şeftali ve nektarinlerde hasat sonrası (Mayıs-Haziran) yapılan şiddetli yaz budamasının, bir sonraki döngü için gerekli olan "rest avoidance" (dinlenmeden kaçınma) sürecini başlattığını tespit etmiştir. Aynı çalışmada, 1000 ppm ethephon uygulamasının erken yaprak dökümünü teşvik ederek bitkiyi zorunlu bir dinlenme fazına soktuğu ve bir sonraki sezonun çiçek kalitesini artırdığı belirlenmiştir.

Singh ve ark. (2020) ise, şeftali tomurcuklarının uyanmasında kimyasal ajanlara alternatif olarak, %5-10 oranındaki sarımsak ekstraktının Ocak ayındaki uygulamasının, kimyasal ajanlara sürdürülebilir bir alternatif olarak tomurcuk patlama yüzdesini %70'lerin üzerine çıkardığını tespit etmişlerdir. Bu doğal ajanın, kimyasal kırıcılarla benzer etkinlikte tomurcuk patlamasını senkronize ettiğı ve çiçek kalitesini koruduğı belirlenmiştir.

Kayısı ve kiraz gibi daha yüksek soğuklama isteyen türlerde ise Salama ve ark. (2021) Mısır koşullarında Ocak ayı başında yapılan %2.0 H₂CN₂ uygulamalarının çiçeklenmeyi 15-20 gün öne çekerek yaz sıcaklarından önce meyve tutumunun tamamlanmasını sağladığını saptamışlardır. İsrail'de Snir ve Erez (1988), 'Rainier' kiraz çeşidinde çiçeklenmeden 50 gün önce uygulanan %2.5 hidrojen siyanamidin çiçeklenmeyi 12 gün öne çektiğini ve hasadı erkene aldığını rapor etmiştir. Dozun %3'ün üzerine çıkarılması durumunda çiçek tomurcuklarında %15-20 oranında yanma meydana gelmiştir.

Mısır'ın subtropik koşullarında (Nil Deltası, 0-100 m rakım) kayısı yetiştiriciliğı üzerine yürütölen çalışmalar, hidrojen siyanamid uygulamalarının zamanlamasının kritik önemini ortaya koymuştur. Salama ve ark. (2021), kayısıda Ocak ayı başında uygulanan %2.0 hidrojen siyanamidin çiçeklenmeyi 15-20 gün öne çekerek yaz sıcaklarından önce meyve tutumunun tamamlanmasını sağladığını belirlemiştir. Araştırıcılar, uygulama sonrası hava sıcaklığının 25°C'nin üzerine çıkması durumunda fitotoksisite riskinin arttığına dikkat çekmişlerdir. Bu bulgu, subtropik bölgelerde kimyasal uygulama zamanlamasının sıcaklık projeksiyonlarına göre ayarlanması gerektiğini göstermektedir.

3.4. Tropikal Bağcılık ve Asma Terbiye Sistemleri

Tropiklerde yetiştiriciliği yapılan ılıman iklim meyve türleri içerisinde, değişen çevre koşullarına en hızlı ve en etkili şekilde uyum sağlayabilen tür asma (*Vitis vinifera*) olmuştur. Çin ve Brezilya'da geliştirilen modeller, yılda birden fazla hasat alınmasını mümkün kılmaktadır. Çin ve Brezilya'da tropikal bağcılık alanında geliştirilen ve Ahmed ve ark. (2019) tarafından "Magic Technology" olarak adlandırılan sistem, hasat sonrası uygulanan radikal terbiye budaması ve defoliasyon protokolüne dayanmaktadır. Bu protokol kapsamında, hasadı takip eden 15-20 gün içinde asmalar 2-4 göz üzerinden sert budanmakta (heading back), ardından tüm yapraklar uzaklaştırılmakta ve tomurcuklara %2.5-5.0 konsantrasyonunda hidrojen siyanamid fırça ile uygulanmaktadır. Araştırmacılar, bu protokolün dormansiye tamamen baypas ederek 10-15 gün içinde yeni sürgünlerin oluşmasını sağladığını ve yılda iki (bazı bölgelerde iki yılda beş) hasat (Tablo 3) alınmasını mümkün kıldığını bildirmişlerdir (Pommer, 2006; Lu ve ark., 2023; Li ve ark., 2025). 'Summer Black' üzüm çeşidinde yürütülen çalışmalarda, yüksek doz uygulamalarında (%5) gözlerde %10-15 oranında yanma gözlenirken, %2.5 dozunda bu oranın %5'in altında kaldığı belirlenmiştir.

Sürecin moleküler temellerini inceleyen Li ve ark. (2025), budama ile tetiklenen stres yanıt genlerinin biyolojik saati yeniden programladığını ortaya koymuşlardır. Zheng ve ark. (2015) ise hidrojen siyanamidin ABA katabolizmasını hızlandırarak tomurcuk uyanışını senkronize ettiğini moleküler düzeyde göstermişlerdir. Terbiye sistemleri açısından değerlendirildiğinde, asmaların "Y-trellis" veya "çardak" sistemlerinde yetiştirilmesinin havalanmayı optimize ederek tropikal nemin neden olduğu fungal hastalık baskısını azalttığı ve yıl boyu üretimi sürdürülebilir kıldığı belirlenmiştir (Lu ve ark., 2023).

*Tablo 3. Kuzeydoğu Brezilya’da (Petrolina ve Juazeiro) ‘Italia’
üzüm çeşidi üretimi için günlük işlemler*

Gün	Birinci Dönem		Gün	İkinci Dönem	
	İşlem	Açıklama		İşlem	Açıklama
(-20)	Taban gübrelemesi ¹	–	(-20)	Taban gübrelemesi ¹	–
1	Budama, gövde bükme ve eğme ² , Dormex ^{®3}	Dormex %5–7	1	Budama, gövde bükme ve eğme ² , Dormex ^{®3}	Dormex %5–7
3	Gövde bağlama	–	3	Gövde bağlama	–
15	Giberellin uygulaması	1 ppm	18	Giberellin uygulaması	2 ppm
16/18	Sürgün alma	–	19/22	Sürgün alma	–
19/23	Yeşil kısımların bağlanması	–	23/25	Yeşil kısımların bağlanması	–
23	“Taraklama” (salkım seyreltme)	–	25	“Taraklama” (salkım seyreltme)	–
23	Sülüklerin, yaprakların, verimsiz ve koltuk sürgünlerinin temizlenmesi	Maks. 4-5 yaprak kopartılır; sürgün başına 10-18 yaprak bırakılmalı	25	Sülüklerin, yaprakların, verimsiz ve koltuk sürgünlerinin uzaklaştırılması	Maks. 4-5 yaprak kopartılır; sürgün başına 10-18 yaprak bırakılmalı
30	2. bağlama (yeşil kısımlar)	–	32	2. bağlama (yeşil kısımlar)	–
33	Giberellin	20 ppm	38	Giberellin	25 ppm
36	İstenmeyen salkımların ve sülüklerin temizlenmesi	–	41	İstenmeyen salkımların ve sülüklerin temizlenmesi	–
43/46	Salkım seyreltme	Makasla	42/44	Salkım seyreltme	Makasla
44/47	Giberellin	15 ppm	43/45	Giberellin	15 ppm
76	Sürgün uç alma	–	86	Sürgün uç alma	–
86	Kontrol	–	96	Kontrol	–

96	Hasat öncesi salkım temizliği	—	101	Hasat öncesi salkım temizliği	—
97	Etefon	5.000-8.000 ppm	106	Etefon	5.000-8.000 ppm
100/110	Sulamada %50 azaltma (su hacmine göre)	—	105/115	Sulamada %50 azaltma (su hacmine göre)	—
116/121	Hasat	—	121/131	Hasat	—
122	Sulamada %75 azaltma (su hacmine göre)	—	132	Sulamada %75 azaltma (su hacmine göre)	—
	DİNLENME			DİNLENME	
150	YENİ ÜRÜN	TAM SULAMA	160	YENİ ÜRÜN	TAM SULAMA

Kaynak: Pommer (2006) 'dan yararlanarak hazırlanmıştır.

Dipnotlar

1. Minimum ve maksimum miktarlar toprak analizine bağlıdır: 120-200 g N, 30-120 g P₂O₅, 60-200 g K₂O
2. Tomurcuk patlamasını artıran elle yapılan işlem.
3. Dormex® (hidrojen siyanamid) belirtilen konsantrasyonda uygulanır.

Karbonhidrat yönetimi açısından, ikincil ürünün başarısı rezervlerin yeterli düzeyde yenilenmesine (repleksiyon) bağlıdır; rezerv tükenmesi meyve kalitesinde düşüşe ve omca ömründe kısaltmaya yol açmaktadır (Lu ve ark., 2023; Li ve ark., 2025). Bu bağlamda, budama sonrası 20 ppm 6-BA (sitokinin) uygulaması sürgün homojenliğini artırırken, 10-20 ppm GA₃ salkım yapısını gevşeterek tane kalitesini iyileştirmektedir (Li ve ark., 2025).

3.5. Sert Kabuklu Meyveler (Ceviz, Badem) ve İncir Modelleri

Ceviz ve badem gibi sert kabuklu türlerde tropikal adaptasyon, genellikle yüksek rakımlı yaylalarda yoğunlaşmakta olup, su yönetimi ve biyobelirteç kullanımı öne çıkmaktadır. Walde ve ark. (2024), ceviz ağaçlarında kontrollü su stresi (deficit

irrigation) uygulamalarının bitkiyi geçici bir dormansi benzeri duruma soktuğunu ve sulamanın yeniden başlamasıyla birlikte senkronize bir uyanış sağlandığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, kararlı su izotoplarını ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) kullanarak tomurcuklardaki su hareketliliğini analiz etmiş, endodormansi fazında su alışverişinin minimuma indiğini (vasküler izolasyon), uyanma sinyaliyle birlikte su hareketliliğinin dramatik şekilde arttığını saptamışlardır. Aynı çalışmada, kış boyunca dokulardaki şeker içeriği ve antioksidan kapasite dinamiklerinin, bahar uyanışındaki başarının temel belirleyicileri olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, uyanış sürecinin büyük ölçüde bitkinin karbonhidrat rezervleri ve antioksidan kapasitesi gibi içsel kaynakların yeterliliğine bağlı olduğunu göstermektedir.

Benmoussa ve ark. (2017), badem yetiştiriciliğinde başarının, kışın yaşanan sıcaklık dalgalanmalarına dirençli geç çiçeklenen (late-flowering) çeşitlerin seçilmesiyle doğrudan ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Ocak ayında yapılan %2.0 oranındaki mineral yağ uygulamaları, tomurcukları kış sıcaklık dalgalanmalarına ve don riskine karşı korumaktadır.

İncir (*Ficus carica*) yetiştiriciliğinde Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde geliştirilen model, hasat periyodunun kaydırılması ve meyve kalitesinin artırılması üzerine odaklanmaktadır. Silva ve ark. (2017) ve Miranda ve ark. (2023), "çalı formu" (shrub/bush system) terbiye sistemi içinde radikal geri budama (heading back) uygulamasının, yarı kurak Brezilya koşullarında verimi %40 oranında artırdığını saptamışlardır. Budama zamanlamasının değiştirilmesi (örneğin Haziran yerine Ağustos ayında budama yaparak), hasadın pazar değerinin en yüksek olduğu dönemlere kaydırılmasını mümkün kılmıştır. Çalı formu ayrıca güneş yanıklığını (sunburn) azaltarak meyve kalitesini korumada etkili bulunmuştur. Araştırmacılar, budama zamanlamasının meyvenin antosiyanin içeriği ve hasat sonrası kalitesi üzerinde doğrudan etkili

olduğunu, geç dönem hasatlarında antosiyanin sentezi ile şeker birikimi arasında doğrudan bir korelasyon bulunduğunu rapor etmişlerdir.

3.6. Diğer Türler: Kayısı, Kiraz ve Vişne Deneyimleri

Daha yüksek soğuklama ihtiyacı olan kayısı, kiraz ve vişne gibi türlerde tropikal üretim hala en riskli alanı oluşturmaktadır. Salama ve ark. (2021), Mısır ve benzeri subtropikal bölgelerde kayısı tomurcuklarının uyanması için hidrojen siyanamid ve yağ (oil) karışımlarının kullanımının zorunlu olduğunu saptamışlardır. Kiraz ve vişne üzerine yapılan kısıtlı çalışmalarda, araştırmacılar bu türlerin ancak çok yüksek rakımlarda (>1500 m) ve spesifik "soğuk hava depolarında dinlendirme" gibi hibrit yöntemlerle ekonomik olabildiğini belirlemişlerdir (Erez, 2000; Thakur ve ark., 2024).

4. FİZYOLOJİK MALİYET VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Araştırmacılar arasındaki temel tartışma konularından biri, bitkiyi sürekli bir üretim döngüsüne zorlamanın (örneğin elma ve asmada yılda iki hasat) ağaç ömrü üzerindeki etkisidir. Endonezya modelinde karbonhidrat rezervlerinin hızla tükenmesi, ağaçlarda erken yaşlanma ve periyodisite (yıl aşırı verim) sorunlarına yol açtığı gözlemlenmiştir (Notodimedjo ve ark., 1981; Verheij, 1990). Verheij (1990), tropik elma bahçelerinde birkaç yıl boyunca başarılı ürün alındığını, ancak ağaçların yaşlandıkça sürgün kuvvetinde azalma, düzensiz çiçeklenme ve artan meyve dökümü gibi belirtiler göstermeye başladığını bildirmiştir.

Cruz-Castillo ve ark. (2010), kivide *Actinidia deliciosa* 'Hayward' %75 defoliasyon uygulamasının mevcut sezonda meyve ağırlığında %7 azalmaya, ertesi yıl çiçeklenme potansiyelinde ise %53 oranında düşüşe neden olduğunu saptamıştır. Karbonhidrat

analizleri, %75 defoliasyonun sürgünlerde toplam çözünür karbonhidrat konsantrasyonunu Mart ayında %20, sürgünlerde nişasta konsantrasyonunu %16, gövde kabuğunda nişasta konsantrasyonunu ise Ocak ayında %69 ve Mart ayında %23 oranında azalttığını ortaya koymuştur.

Pio ve ark. (2018), dinlenmeden kaçınma temelli üretim modellerinde asmanın sürekli aktif tutulmasının, kök-sürgün dengesini ve depo karbonhidrat dinamiklerini olumsuz etkileyebileceğini belirtmiştir. Hardiyanto ve ark. (2025) tarafından bildirilen anatomik ve metabolik adaptasyonlar, tropik koşullarda yetiştirilen elma ağaçlarının çevresel baskılara tamamen pasif kalmadığını, belirli ölçüde yapısal uyum (yaprak kalınlığı, stoma yoğunluğu, metabolit profili) geliştirdiğini göstermektedir. Ancak bu adaptasyonların sınırları olduğu ve her çevresel stresin tolere edilemediği de aynı çalışmada açıkça ortaya konmuştur.

5. SONUÇ

Tropik ve subtropik bölgelerde ılıman iklim meyve türlerinin yetiştiriciliği, kış soğuklamasının yetersiz olduğu ekosistemlerde dahi ekonomik üretimin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Bu başarı; uygun genotip seçimi, yerel iklim verilerinin doğru değerlendirilmesi ve hedeflenmiş agroteknik müdahalelerin entegre yönetimine dayanmaktadır. Elma (*Malus domestica* Borkh.), armut (*Pyrus* spp.), şeftali (*Prunus persica* L. Batsch), erik (*Prunus salicina* Lindl.), kiraz (*Prunus avium* L.), ceviz (*Juglans regia* L.), İncir (*Ficus carica*) ve asma (*Vitis vinifera* L.) gibi türlerde üretim sürekliliği, fenolojik döngünün kontrollü biçimde yeniden yapılandırılması ile sağlanmaktadır.

Dormansi yönetiminde iki temel yaklaşım öne çıkmaktadır: subtropik koşullarda kısmi soğuklamayı tamamlayan kimyasal uygulamalar (hidrojen siyanamid, mineral yağlar, potasyum nitrat)

ve tam tropik koşullarda dormansiye girişi engelleyen fiziksel ve kimyasal manipölasyonlar (defoliasyon, dal eğme, kontrollü su stresi, anti-GA uygulamaları). Bu müdahalelerin ortak fizyolojik temeli, hormonal dengenin (özellikle ABA–GA–sitokinin etkileşimi) yeniden düzenlenmesi ve metabolik aktivitenin kontrollü biçimde tetiklenmesidir. Türler arası fizyolojik farklılıklar ise terbiye sistemi, ışık yönetimi ve uygulama zamanlaması açısından özgün stratejiler gerektirmektedir.

Düşük soğuklamalı çeşitlerin ıslahı ve rakım avantajının kullanımı adaptasyon kapasitesini artıran temel unsurlardır. Bununla birlikte yoğun agroteknik müdahalelerin karbonhidrat rezervleri ve kaynak–havuz dengesi üzerinde oluşturduğu baskı, sürdürülebilirliğin kritik sınırını belirlemektedir. Uzun vadeli başarı, kısa dönemli verim artışları ile bitkinin fizyolojik dayanıklılığı arasındaki dengenin korunmasına bağılıdır.

Küresel iklim değişikliğiyle birlikte geleneksel ılıman iklim meyveleri üretim bölgelerinde soğuklama birikiminin azalması, tropik ve subtropik bölgelerde geliştirilen bu üretim modellerini daha geniş agroekolojik alanlar için stratejik hâle getirmektedir. Bu sistemler, değişen iklim koşullarında esnek, entegre ve bilim temelli meyvecilik yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından güçlü bir referans çerçevesi sunmaktadır.

Kaynaklar

Abdel-Sattar, M., ve Kotb, O. M. (2021). Improving productivity and fruit quality of ‘Anna’ apple trees by using some chemical substances under El-Beheira conditions. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 20(1), 1–17.

Ahmed, S., Roberto, S. R., Shahab, M., Colombo, R. C., Silvestre, J. P., Koyama, R., ve de Souza, R. T. (2019). Proposal of double-

- cropping system for 'BRS Isis' seedless grape grown in subtropical area. *Scientia Horticulturae*, 251, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.022>
- Ashebir, D., Deckers, T., Nyssen, J., Bihon, W., Tsegay, A., Tekie, H., Poesen, J., Haile, M., Wondumagegnehu, F., Raes, D., Behailu, M., ve Deckers, J. (2010). Growing apple (*Malus domestica*) under tropical mountain climate conditions in Northern Ethiopia. *Experimental Agriculture*, 46(1), 53–65. <https://doi.org/10.1017/S0014479709990470>
- Beauvieux, R., Wenden, B., Dirlwanger, E. (2018). Bud dormancy in perennial fruit tree species: A pivotal role for oxidative cues. *Front Plant Sci.*, 9, 657. doi: 10.3389/fpls.2018.00657.
- Benmoussa, H., Ben Mimoun, M., Ghrab, M., ve Luedeling, E. (2017). Chilling and heating requirements for blooming in various genetic resources of pistachio, almond and peach specimens under Saharan conditions. *Agriculture, Ecosystems ve Environment*, 237, 179–187.
- Casierra-Posada, F., Sepúlveda, C. A., ve Aguilar-Avendaño, Ó. E. (2008). Brotación del manzano (*Malus domestica* Borkh. CV. 'Anna') en respuesta a la época de defoliación. *Revista U.D.C.A Actualidad ve Divulgación Científica*, 11(1), 113-122.
- Castro, D. C., Álvarez, N., Gabriel, P., Micheloud, N., Buyatti, M., ve Gariglio, N. (2015). Crop loading studies on 'Caricia' and 'Eva' apples grown in a mild winter area. *Scientia Agrícola*, 72(3), 237-244.
- Chaikaitiyos, S., Menzel, C. M., ve Rasmussen, T. S. (1994). Floral induction in low-chill peaches: Effects of gibberellic acid, cytokinins and paclobutrazol. *Journal of Horticultural Science*, 69(1), 11–15.

- Chen, H. (2025). *Stone fruit annual: Taipei, Taiwan* (Report No. TW2025-0020). USDA Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network (GAIN).
- Couvillon, G.A. ve Erez, A. (1985). Effect of level and duration of high temperatures on rest in the peach. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 110, 579–581.
- Cruz-Castillo, J. G., Camontes, F. R., Vásquez-Santizo, J., ve Torres-Lima, P. (2006). Temperate fruit production in Guatemala. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(4), 341–348.
<https://doi.org/10.1080/01140671.2006.9514424>
- Cruz-Castillo, J. G., Woolley, D. J., ve Famiani, F. (2010). Effects of defoliation on kiwifruit vine growth and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(4), 579-583.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.004>
- Edwards, G. R. (1985). Changes in endogenous hormones in apple during bud-burst induced by defoliation. *Acta Horticulturae*, 158, 203-210.
- Edwards, G.R. (1987). Producing temperate-zone fruits at low latitudes: Avoiding rest and the chilling requirement. *HortScience*, 22(6), 1236-1240. Doi: 10.21273/HORTSCI.22.6.1236
- Erez, A. (1979). The Effect of temperature on the activity of oil + dinitro-o-cresol sprays to break the rest of apple buds 1. *HortScience*, 14, 141–142.
- Erez, A. (1985). Defoliation of deciduous fruit trees with magnesium chlorate and cyanamide. *HortScience*, 20(3), 452-453.
- Erez, A. (1987). Chemical control of bud break. *HortScience*, 22(6), 1240-1243.

- Erez, A. (1995). Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Horticulturae*, 395, 81-95. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.395.7>
- Erez, A. (2000). Bud dormancy, phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*; Erez, A. (eds). Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, pp. 17–48. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2
- Erez, A. (2024). Overcoming dormancy in *Prunus* species under conditions of insufficient winter chilling in Israel. *Plants*, 13(6), 764. <https://doi.org/10.3390/plants13060764>
- Erez, A., Couvillon, G. A., ve Kays, S. J. (1980). The effect of oxygen concentration on the release of peach leaf buds from rest. *HortScience*, 15(1), 39-41.
- Erez, A., Lavee, S., ve Samish, R.M. (1971). Improved methods to control rest in the peach and other deciduous fruit species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 96(4), 519-522.
- Erez, A., ve Couvillon, G. A. (1983). Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. *HortScience*, 18(4), 480–481.
- Erez, A., ve Lavee, S. (1971). The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds: I. Temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 96(6), 711-714.
- Farias, D. da H., Pio, R., ve de Souza, F. B. M. (2018). Selection of plum cultivars for subtropical regions. *Ciência Rural*, 48(11), e20180254.

- Finetto, G.A. ve Ward, H. (1990). Apples and peaches in the highlands of the Yemen Arab Republic. *Acta Horticulturae*, 279, 109-124.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.279.14>
- Fischer, G. (2000). Ecophysiological aspects of fruit growing in tropical highlands. *Acta Horticulturae*, 531, 91–98.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.531.13>
- Fischer, G., ve Lüdders, P. (1995). Apple growing in the Colombian highlands. *Erwerbsobstbau*, 37(2), 58-62.
- George, A. P., ve Nissen, R. J. (1987). Growth, yield and fruit quality of low-chill peaches and nectarines in south-east Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 27, 305-315.
- Griesbach J (1992). A guide to propagation and cultivation of fruit-trees in Kenya, Technical Cooperation Federal Republic of Germany (GTZ), Eschborn, pp. 91-97.
- Hardiyanto, Devy, N. F., Yulianti, F., Sugiyatno, A., Triwiratno, A., Dwiaustuti, M. E., Istianto, M., Sutanto, A., ve Sukartini. (2025). Trait-phenomics and omics integration reveal cultivar-specific anatomical, metabolic, and transcriptomic adaptation of tropical apple to contrasting highland environments. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, e2025224.
<https://doi.org/10.35495/ajab.2025.224>
- Hauagge, R. (2010). 'IPR Julieta', a new early low chill requirement apple cultivar. *Acta Horticulturae*, 872, 193-196.
- Honeyborne, G. E., ve Rabe, E. (1993). Evaluation of two mineral oil based artificial rest breaking compounds on Golden Delicious apples. *Deciduous Fruit Grower*, 43(6), 206-210.
- Legave, J. M., Farrera, I., Almeras, T., ve Calleja, M. (2008). Selecting models of apple flowering time and understanding

- how global warming has had an impact on this trait. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(1), 76-84.
- Li, C., Wang, C., Qiu, Z., et al. (2025). Grapevine double cropping: Theoretical and applied aspects for year-round production of grapes. *Scientia Horticulturae*, 354, 114529. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.114529>
- Li, T. H. ve Li, S. H. (2005). Leaf responses of micropropagated apple plants to water stress: nonstructural carbohydrate composition and regulatory role of metabolic enzymes. *Tree Physiology*, 25(4), 495–504. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.4.495>
- Lin, H. S. (1983). *Studies on flower bud differentiation and termination of bud dormancy in Pyrus serotina Rehd* [Yüksek Lisans Tezi]. Chung-Hsing University, Taichung, Tayvan.
- Lin, H. S., Lin, J. S., ve Liaw, W. J. (1982). Response of top-grafting of some Japanese pear on Heng-Shan pear in Taiwan. *Bulletin of Taichung District Agricultural Improvement Station, New Series*, 6, 82-87.
- Lin, H., Lin, C. and Liaw, W. (1990). Production of oriental pear at low latitudes. *Acta Horticulturae*, 279, 75-82. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.279.10>
- Lin, H.-S, Lee, C.-L, Lin, C.-Ho. (1987). Production of high chilling asian pear in Taiwan's lowland. *Acta Horticulturae*, 199, 101-108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1987.199.25>
- Lu, G., Zhang, K., Que, Y., Li, Y. (2023). Grapevine double cropping: a magic technology. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1173985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1173985>

- Lu, G., Zhang, K., Que, Y., Li, Y. (2023). Grapevine double cropping: a magic technology. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1173985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1173985>
- Lu, M.-T., Song, C.-W., Ou, S.-K., ve Chen, C.-L. (2012). A model for estimating chilling requirement of very low-chill peaches in Taiwan. *Acta Horticulturae*, 962, 245–251. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.962.35>
- Miller, E. P., ve Sherman, W. B. (1980). Origin and description of 'Dorsett Golden' apple. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 93, 108-109.
- Miranda, A. C., Evangelista, T. Y. L., et al. (2023). Production pruning in seasonality affects the postharvest quality of figs. *Comunicata Scientiae*, 14, e3758.
- Niegel, W. (1992). The growing of deciduous fruits in Ecuador. *Acta Horticulturae*, 310, 23-34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.310.2>
- North, M. S. (1992). Alternative rest-breaking agents to DNOC/oil for apples. *South African Journal of Plant and Soil*, 9(1), 39-40.
- Notodimedjo, S., Sastrosumarto, S., Danoesastro, H., ve Edwards, G. R. (1981). Shoot growth, flower initiation and dormancy of apple in the tropics. *Acta Horticulturae*, 120, 179–186. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1981.120.24>
- Petri, J. L. (1987). Breaking dormancy of apple trees with chemicals. *Acta Horticulturae*, 199, 109-117.
- Pio, R., Farias, D. da H., Bianchini, F. G., Peche, P. M. ve Bisi, R. B. (2018). Selection of plum cultivars for subtropical regions. *Ciência Rural*, 48(11), e20180090. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180090>

- Pio, R., Souza, F. B. M. de, Kalcsits, L., Bisi, R. B., ve Farias, D. da H. (2019). Advances in the production of temperate fruits in the tropics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41(1), e39549. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39549>
- Pommer, C. V. (2006). Double cropping of table grapes in Brazil. *Chronica Hortic.* 46, 22–25.
- Qiu, Z., Chen, G., Qiu, D., 2019. Pruning and dormancy breaking make two sustainable grape-cropping productions in a protected environment possible without overlap in a single year. *PeerJ*. 7, e7412. <https://doi.org/10.7717/peerj.7412>.
- Ramírez, F., ve Kallarackal, J. (2014). Ecophysiology of temperate fruit trees in the tropics. *Advances in Environmental Research*, 31, 1-13.
- Rouse, R. E., Libran, M. E., Hernandez, E., ve Cardona, L. (2006). Low-chill peaches adapted to subtropical Florida and tropical Puerto Rico. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 119, 25-28.
- Samish, R. M. (1945). The use of dinitro cresol mineral oil sprays for the control of prolonged rest in apple orchards. *Journal of Pomology and Horticultural Science*, 21(4), 164-179.
- Sherman, W. B., Lyrene, P. M., ve Miller, E. P. (1988). 'Dorsett Golden' apple. *Circular S-345. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, USA*.
- Shulman, Y., Nir, G., Fanberstein, L., ve Lavee, S. (1983). The effect of cyanamide on the release from dormancy of grapevines in Israel. *Scientia Horticulturae*, 19, 97-104.
- Silva, I. P., Pio, R., Bisi, R. B., de Souza, F. B. M., ve Coelho, V. A. T. (2017). Phenological and productive behavior of apple

- cultivars in the tropics of Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39, e-673.
- Snir, I., ve Erez, A. (1988). Bloom advancement in sweet cherry by hydrogen cyanamide. *Fruit Varieties Journal*, 42(4), 120-121.
- Souza, F. B. M. D., Pio, R., Barbosa, J. P. R. A. D., Reighard, G. L., Tadeu, M. H., ve Curi, P. N. (2017). Adaptability and stability of reproductive and vegetative phases of peach trees in subtropical climate. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(4), 427-435. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i4.32914>
- Stino, G. R. (1987). Is growing temperate-zone fruits profitable in the tropics and subtropics? *HortScience*, 22(6), 1243–1246. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.22.6.1243>
- Subhadrabandhu, S. (1987). Some characteristics of peach varieties grown in the highlands of Northern Thailand. *Acta Horticulturae*, (199), 83-89.
- Subhadrabandhu, S. (1995). Problems in growing deciduous fruits in warm tropics. *Acta Horticulturae*, 395, 69–80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.395.6>
- Subhadrabandhu, S., Paksasorn, A., Pomphuak, P., ve Pipattanawongs, N. (1989). Performances of introduced peach and nectarine varieties in Thailand. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 23(4), 410-416.
- Taylor, J.S., Pharis, R.P., Loveys, B., Notodimedjo, S., Edwards, G.R. (1984). Changes in endogenous hormones in apple during bud burst induced by defoliation. *Plant Growth Regulation*, 2, 117-134. <https://doi.org/10.1007/BF00024860>
- Thakur, P., Paul, A., Raj, Y., ve Kumar, R. (2024). Apple cultivation in nontraditional areas: Novel perspectives and advances.

Journal of Horticultural Research, 32(2), 1–14.
<https://doi.org/10.2478/johr-2024-0017>

Verheij, E. W. M. (1990). *Adaptations of apple to tropical growing conditions*. *Acta Horticulturae*, 279, 83–90.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.279.11>

Verheij, E. W. M. (1992). *Malus domestica* Borkh. In E. W. M. Verheij ve R. E. Coronel (Eds.), *Plant Resources of South-East Asia (PROSEA) No. 2: Edible fruits and nuts* (pp. 200–206). Pudoc.

Walde, M. G., Wenden, B., Chuine, I., Gessler, A., Saurer, M., ve Vitasse, Y. (2024). Stable water isotopes reveal the onset of bud dormancy in temperate trees, whereas water content is a better proxy for dormancy release. *Tree Physiology*, 44(4), tpae028. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpae028>

Wang, S. Y., Steffens, G. L., ve Faust, M. (1986). Breaking bud dormancy in apple with a plant bioregulator, thidiazuron. *Phytochemistry*, 25(2), 311-317.

Westwood, M. N. (1993). *Temperate-zone pomology: Physiology and culture* (3rd ed.). Timber Press. USA, 523 p

Wickramasinghe, W. R. K. D. W. K., Mallawaarachchi, M. A. L. N., ve Dasanayake, D. M. R. (2014). Tree training and defoliation on yield and fruit quality of apple (*Malus domestica*) var. Ragala Red. In *Proceedings of the International Symposium on Agriculture and Environment* (pp. 185–188). University of Ruhuna.

BÖLÜM 2

ANTEPFISTIĞINDA (*Pistacia vera* L.) PERİYODİSITE VE KARAGÖZ DÖKÜMÜ: KARBONHİDRAT KISITLILIĞINDAN GENETİK OLARAK DÜZENLENEN PROGRAMLI HÜCRE ÖLÜMÜNE

ALİ İKİNCİ¹

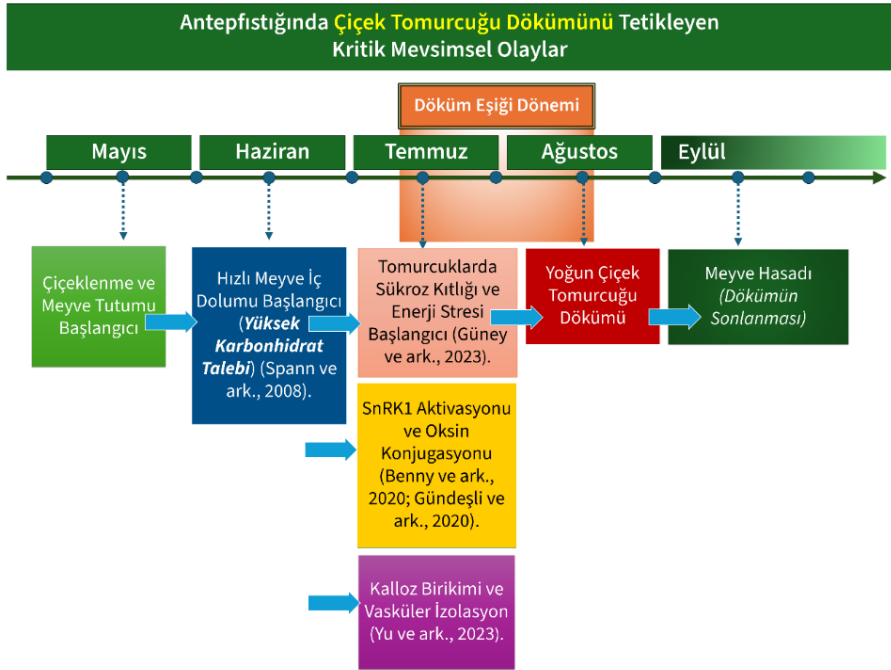
Giriş

Çok yıllık meyve türlerinde verim dalgalanması olarak tanımlanan periyodisite (alternate bearing), bitki fizyolojisinin en karmaşık ve ekonomik açıdan en yıkıcı olgularından biri olarak kabul edilmektedir. Zeytin (*Olea europaea*), elma (*Malus domestica*) ve narenciye türlerinde periyodisite genellikle çiçek indüksiyonunun hormonal ya da metabolik düzeyde baskılanmasıyla ortaya çıkarken, antepfistığı (*Pistacia vera* L.) bu süreci yöneten mekanizma bakımından diğer türlerden belirgin biçimde ayrılmaktadır. Antepfistığında yüksek verim yılı (“var yılı”, on-year) boyunca, bir sonraki yılın potansiyel ürününü oluşturacak olan çiçek tomurcukları (karagöz; inflorescence buds) morfolojik olarak normal şekilde gelişmektedir. Ancak meyve içi dolum evresinin başladığı Temmuz–

¹ Prof. Dr., Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
Orcid: 0000-0001-8149-7095

Ağustos aylarında, bu tomurcuklar henüz tam olarak aydınlatılamamış içsel bir sinyal mekanizmasının etkisiyle kitlesel olarak dökülmektedir (Khezri ve ark., 2020). Söz konusu döküm sürecini tetikleyen temel fizyolojik aşamaların mevsimsel zamanlaması Şekil 1’de özetlenmiştir. Bu olgu, basit bir organ kaybının ötesinde, ağacın potansiyel üreme kapasitesinin %80–90 oranında ortadan kalktığı derin bir fizyolojik kırılma olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 1. Antepfıstığında çiçek tomurcuğu döküm sürecini etkileyen kritik mevsimsel olaylar ve eş zamanlı gerçekleşen fizyolojik mekanizmaların kronolojik akışı



Kaynak: Spann ve ark. (2008), Benny ve ark. (2020), Gündeşli ve ark. (2020), Yu ve ark. (2023) verilerinden derlenmiştir.

Uzun yıllar boyunca bu kritik döküm süreci, “Karbonhidrat Kısıtlılığı Hipotezi” (Carbohydrate Depletion Hypothesis) çerçevesinde açıklanmıştır. Bu yaklaşıma göre, iç dolum evresindeki meyveler baskın bir sink oluşturarak ağacın fotosentetik ürünlerini kendilerine yönlendirmekte; vejetatif büyüme ve tomurcuk gelişimi için gerekli asimilatların yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Spann ve ark. (2008), “var yılı” ağaçlarında nişasta ve yapısal olmayan karbonhidrat (NSC) rezervlerinin, karagöz döküm periyodunda mevsimsel olarak en düşük düzeylere indiğini göstermiştir. Bu çalışmada NSC rezervleri, nişasta ile sükroz, glikoz ve fruktoz gibi çözünür şekerler olarak tanımlanmıştır. Özellikle kök dokularında depolanan nişastanın hidrolize edilerek sükroz formunda gelişmekte olan meyvelere mobilize edilmesi, vejetatif organlarda belirgin bir karbonhidrat yetersizliğine yol açmakta ve tomurcuk dökümünü tetiklemektedir (Spann ve ark., 2008; Güney ve ark., 2024).

Bununla birlikte, son yıllarda yapılan fizyolojik gözlemler, karbonhidrat düzeyleri ile döküm oranı arasındaki ilişkinin her zaman doğrusal olmadığını ortaya koymuştur. Dökümün tüm ağaçta değil, özellikle meyve yüklü dallarda lokalize olması ve besin tükenmesinden önce, belirli bir zaman penceresinde senkronize şekilde başlaması, bu sürecin pasif bir kaynak yetersizliği yanıtından ziyade aktif bir sinyalizasyon ağıyla düzenlendiğini düşündürmektedir.

Modern transkriptomik ve metabolomik yaklaşımların entegrasyonu, antepfistiğinde çiçek tomurcuğu dökümünün anlaşılmasında önemli bir paradigma değişimine yol açmıştır. Güncel literatürde süreç artık yalnızca bir kaynak rekabeti olarak değil; şeker sinyalizasyonu, hormonal çapraz konuşma (crosstalk) ve oksidatif stres modülasyonu ile şekillenen bir programlı hücre ölümü (PCD) süreci olarak ele alınmaktadır. Benny ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen RNA-Seq analizleri, döküm sürecindeki tomurcularda fotosentez ve birincil metabolizma ile ilişkili genlerin

(örneğin Rubisco ve fotosistem proteinleri) baskılandığını; buna karşılık hücre duvarı yıkımında görev alan poligalaktüronaz, selüloz ve pektin liyaz genlerinin aktive edildiğini ortaya koymuştur. Bu transkriptomik yeniden programlama, tomurcukların pasif dejenerasyonla değil, genetik olarak düzenlenen bir hücresel eliminasyon süreciyle ortadan kaldırıldığını göstermektedir.

Bu genetik programın başlatılmasında, bitkilerin hücresel enerji sensörleri olarak bilinen SnRK1 (Sucrose non-fermenting-1-related protein kinase 1) ve TOR (Target of Rapamycin) kompleksleri arasındaki denge merkezi bir rol oynamaktadır. Meyve yüküne bağlı olarak süktroz ve trehaloz-6-fosfat (T6P) düzeylerinin düşmesi, hücre tarafından bir enerji yetersizliği sinyali olarak algılanmakta; SnRK1 yolunun aktivasyonu ile anabolik süreçler baskılanırken katabolik süreçler devreye girmektedir (Benny ve ark., 2020). Bu çerçevede karbonhidrat azalması, dökümün doğrudan nedeni olmaktan ziyade, ilgili moleküler mekanizmaları tetikleyen bir sinyal niteliği taşımaktadır.

Sinyalin doku düzeyindeki uygulanışı, hormonal dengenin belirgin biçimde yeniden yapılandırılmasıyla gerçekleşmektedir. Oksin (IAA), absisyon zonunun aktivasyonunu baskılayan temel düzenleyicilerden biridir. Ancak Gündeşli ve ark. (2020), döküm sürecindeki tomurcuklarda serbest IAA düzeylerinin azalmasının yanı sıra, oksinin IAA-Asp ve IAA-Glu gibi konjuge formlara dönüştürülerek biyolojik olarak inaktive edildiğini göstermiştir. Bu durum, oksin sinyalinin genetik düzeyde etkin biçimde sürdürüldüğünü ve dokunun ABA ve etilen gibi stres hormonlarına daha duyarlı hâle geldiğini ortaya koymaktadır. Hormonal homeostazinin bu şekilde bozulması, absisyon bölgesindeki hücrelerin duyarlılığını artırarak hücre duvarını parçalayan enzimlerin aktivasyonuna ve tomurcuğun daldan ayrılmasına zemin hazırlamaktadır.

Sürecin geri döndürülemez aşaması olan vasküler izolasyon, Yu ve ark. (2023) tarafından moleküler düzeyde ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır. Döküm indüksiyonu sırasında tomurcuk-sap bağlantı bölgesindeki floem dokusunda kalloz sentezinden sorumlu genlerin (Callose Synthase, CalS) yukarı regüle edildiği ve plazmodesmata üzerinde kalloz birikimiyle vasküler sürekliliğin kesintiye uğradığı gösterilmiştir. Bu vasküler tıkanma, tomurcuğa yönelik su ve asimilant akışını sınırlandırarak dokuyu metabolik izolasyona sürüklemektedir. Bu aşamaya eşlik eden PvNCED3 gen aktivasyonu ile tomurcuk dokusunda endojen ABA sentezi hızla artmakta ve döküm süreci fizyolojik olarak geri döndürülemez bir evreye girmektedir.

Son olarak, Güney ve ark. (2024) tarafından ortaya konan fenolik bileşik profili, çiçek tomurcuğu dökümünün basit bir “kaynak kaybı”ndan ziyade, organlar arasında farklılaşan bir kaynak yeniden dağıtımı ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Döküm sürecinde tomurcularda antioksidan kapasite ile ilişkili ferulik asit ve türevlerinin azalmasına karşılık, bu bileşiklerin meyve perikarpında birikmesi ve lignifikasyon süreçlerine yönlendirilmesi dikkat çekicidir. Bu dağılım örüntüsü, savunma metabolitlerinin tomurcuktan meyve dokularına yeniden tahsis edildiğine ve tomurcuk dokularında artan oksidatif stres koşullarının döküm sürecini destekleyen bir bileşen oluşturduğuna işaret etmektedir.

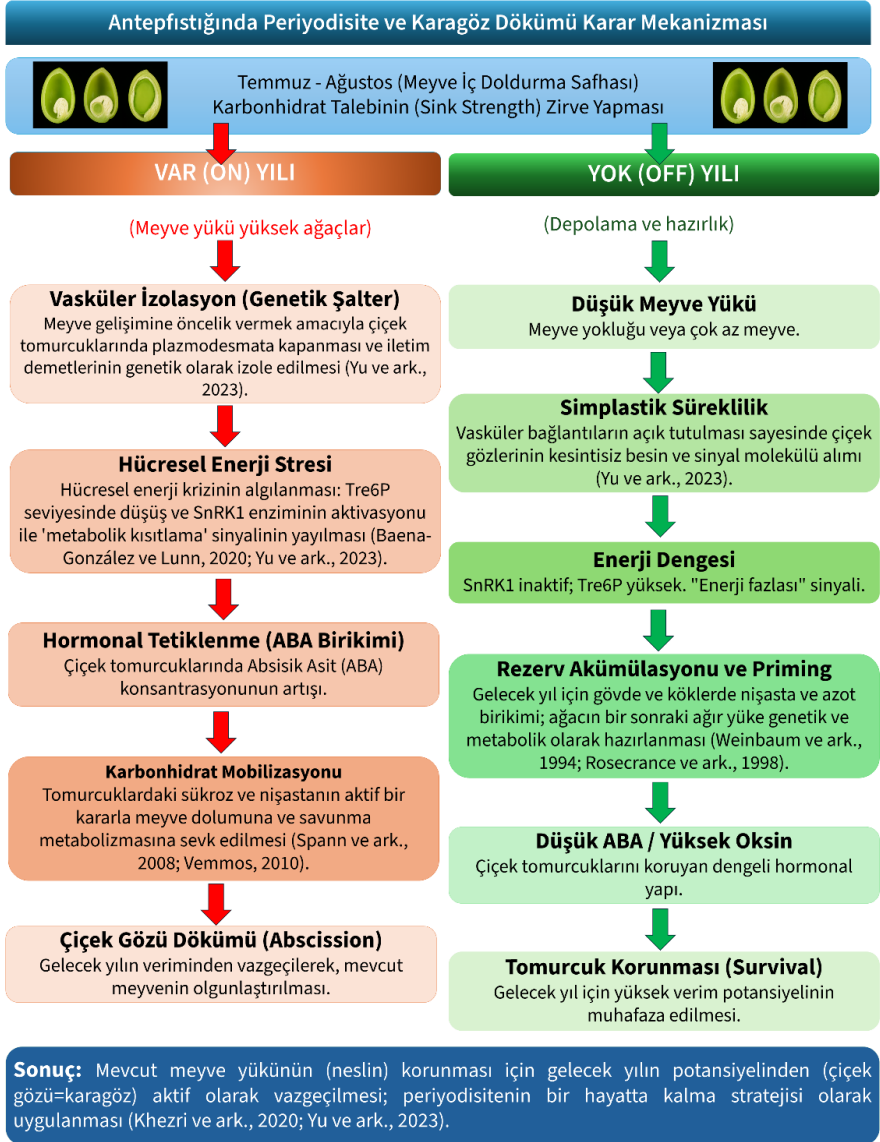
Bu bölüm, antepfıstığında çiçek tomurcuğu dökümünü; pasif bir “kaynak kısıtlılığı” yanıtı yerine, SnRK1/TOR aracılı enerji algılama, oksin sinyalinin aktif olarak baskılanması, kalloz temelli vasküler izolasyon ve oksidatif stresle ilişkili programlı hücre ölümü basamaklarını içeren, genetik olarak düzenlenen çok katmanlı bir fizyolojik süreç olarak ele almaktadır. Bu entegre mekanizmanın bileşenleri, izleyen bölümlerde güncel çalışmalar ışığında ayrıntılı biçimde tartışılacaktır.

Metabolik Algılama ve Moleküler Şalterler

Antepfıstığında periyodisite olgusu, meyve ile çiçek tomurcuğu arasında gerçekleşen basit bir kaynak rekabetinin ötesinde; hücresel enerji durumunun sürekli olarak algılandığı ve bu algıya bağlı gelişimsel kararların alındığı çok katmanlı bir sinyalizasyon ağına dayanmaktadır. Bu süreçte görev alan metabolik algılayıcılar, hormonal düzenleyiciler ve fiziksel bariyerler, rastlantısal tepkilerden ziyade, belirli bir hiyerarşi içinde işleyen genetik bir programın bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu programın, sükröz algılanmasından başlayarak tomurcuğun dal ile bağlantısının kopmasına kadar ilerleyen moleküler ve fizyolojik basamakları, izleyen teknik analizlere temel oluşturacak şekilde Şekil 2’de özetlenmiştir. Bu şema, ilerleyen bölümlerde ayrıntılandırılacak olan SnRK1 aktivasyonu, oksin sinyalinin baskılanması ve vasküler izolasyon arasındaki neden-sonuç ilişkilerini bütüncül bir çerçevede sunmaktadır.

Antepfıstığında tomurcuk dökümü, meyve içi dolumunun en yoğun olduğu dönemde, asimilatların güçlü biçimde meyveye yönlendirildiği bir fizyolojik bağlamda gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, mevcut transkriptomik ve metabolomik veriler birlikte değerlendirildiğinde, döküm sürecinin yalnızca besin yetersizliğine bağlı pasif bir olay olmadığı; hücresel enerji durumunu izleyen moleküler sensörlerin tetiklediği aktif bir hücresel yeniden yapılanma süreci olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda karbonhidratlar, yalnızca metabolik yakıt olarak değil, aynı zamanda genetik programları yönlendiren sinyal molekülleri olarak öne çıkmaktadır. Bu sürecin merkezinde, bitkilerde “enerji sensörü” olarak tanımlanan SnRK1 (Sucrose non-fermenting-1-related protein kinase 1) ile onun fonksiyonel antagonisti olan TOR (Target of Rapamycin) kinaz kompleksi yer almaktadır (Benny ve ark., 2020).

Şekil 2. Antepfıstığında (Pistacia vera L.) periyodisiteyi yöneten moleküler şalter mekanizmalarının ve hücrel karar süreçlerinin entegre akış diyagramı



Kaynak: Benny ve ark. (2020), Gündeşli ve ark. (2020), Yu ve ark. (2023) verilerinden modifiye edilmiştir.

Karbonhidrat rezervlerinin mevsimsel dinamiği

Periyodisitenin fizyolojik temeli uzun yıllar boyunca karbonhidrat kısıtlılığı çerçevesinde açıklanmıştır. Spann ve ark. (2008), Kaliforniya’da ‘Kerman’ çeşidi üzerinde yürüttükleri ve alanın referans çalışmaları arasında yer alan araştırmalarında, “var” yıllarında ağaçların nişasta ve süktroz rezervlerinin Temmuz ayındaki iç dolumu sırasında mevsimsel olarak en düşük düzeylere indiğini ortaya koymuştur. Özellikle gövde ve kök dokularındaki nişasta rezervlerinin, meyvenin yüksek karbonhidrat talebi nedeniyle %50’nin üzerinde azaldığı bildirilmiştir. Spann ve ark. (2008), Weinbaum ve ark. (1994)’ün bulgularına da atıfla, karbonhidrat kısıtlılığının yalnızca tomurcuk dökümünü tetiklemediğini; aynı zamanda ağacın azot ve bor gibi temel besin elementlerini alabilme kapasitesini sınırlayarak vasküler fonksiyonları da olumsuz etkilediğini vurgulamıştır.

Vemmos (1999) ise döküm sürecinin yalnızca rezerv azalmasına değil, floem içindeki süktroz taşınım hızının meyveler lehine bozulmasına ve meyvenin baskın sink gücüyle şekerleri öncelikli olarak kendine yönlendirmesine bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Bu görüşü destekler nitelikte, Güney ve ark. (2024), ‘Uzun’ çeşidi üzerinde yaptıkları çalışmada, tomurcuk içindeki süktroz seviyesinin dökümden hemen önce kritik bir eşik değerin altına düştüğünü; buna karşılık aynı daldaki meyvelerde şeker konsantrasyonunun maksimum düzeye ulaştığını göstermiştir. Bu bulgular, Spann ve ark. (2008) tarafından ortaya atılan “kritik eşik” hipotezini desteklemekte ve süktroz azalmasının tomurcukta bir sinyal molekülü olarak işlev gördüğüne işaret etmektedir.

SnRK1 aktivasyonu ve katabolik programın başlatılması

Karbonhidrat düzeylerindeki bu belirgin düşüşün tomurcuk tarafından nasıl algılandığı sorusu, Benny ve ark. (2020) tarafından

‘Bianca’ çeşidi üzerinde yürütülen transkriptomik analizlerle açıklığa kavuşmuştur. Düşük şeker koşulları altında, tomurcuk dokularında SnRK1 geninin—özellikle SnRK1.1 izoformunun—transkripsiyon düzeyinin dört kattan fazla arttığı belirlenmiştir. SnRK1’in aktivasyonu, anabolik süreçlerin (büyüme ve biyosentez) baskılanmasına ve hücrenin metabolik önceliklerini katabolik süreçlere kaydırmasına yol açmaktadır.

Bu aşamada SnRK1’in etkisi yalnızca metabolik hızın düşürülmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda fotosentetik aygıtın temel bileşenlerini kodlayan genlerin (örneğin PsbA, RbcS, RbcL) transkripsiyonel düzeyde baskılanmasına neden olmaktadır. Benny ve ark. (2020)’nin bulguları, döküm öncesi tomurcuklarda fotosentetik karbon fiksasyonu ve elektron taşıma zinciri ile ilişkili genlerin ekspresyonunda gözlenen belirgin düşüşün, tomurcuğun fotosentetik kapasitesinin genetik düzeyde işlevsizleştirildiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak tomurcuğun kendi enerjisini üretme yeteneği ortadan kalkmakta; tomurcuk dışsal karbon kaynaklarına bütünüyle bağımlı hâle gelmekte, ancak bu destek de vasküler sürekliliğin bozulmasıyla kesintiye uğramaktadır (Yu ve ark., 2023).

TOR sinyalizasyonunun baskılanması ve gelişimsel duraklama

SnRK1’in aksine, TOR kinaz kompleksi hücresel kaynakların büyüme, hücre bölünmesi ve protein sentezine yönlendirilmesinde merkezi bir düzenleyici olarak görev yapmaktadır. Xiong ve ark. (2013) tarafından model bitkilerde tanımlanan “Glikoz–TOR sinyalizasyonu” mekanizmasını antepfistiğine uyarlayan Benny ve ark. (2020), “var” yıllarında TOR yolunun belirgin biçimde baskılandığını göstermiştir. Özellikle glikoz-6-fosfat ve trehaloz-6-fosfat (T6P) gibi metabolitlerin yüksek düzeyleri TOR aktivitesini desteklerken, sükröz konsantrasyonunun

kritik bir eşik değerin altına düşmesi bu yolun işlevsel olarak devre dışı kalmasına neden olmaktadır.

TOR'un inaktivasyonu, yalnızca ribozomal protein sentezinin durmasıyla sınırlı kalmamakta; hücre döngüsünü G1 fazında bloke ederek meristematik aktiviteyi ve tomurcuk gelişimini fizyolojik olarak olanaksız hâle getirmektedir. Bu durum, SnRK1/TOR dengesinin SnRK1 lehine kaydığı kritik bir moleküler eşik oluşturmaktadır (Smeekens ve ark., 2010; Baena-González ve Lunn, 2020). Dolayısıyla, Spann ve ark. (2008) tarafından rapor edilen şeker azalması, tomurcuğun basitçe besin yetersizliği nedeniyle ölmesinden ziyade; ağacın enerji yetersizliği sinyalini algılayarak gelişim programını sonlandırmasına ve tomurcuğu büyümeden uzaklaştırılmış, yıkıma yönelmiş bir fizyolojik duruma sokmasına neden olmaktadır.

Şeker sinyalizasyonu ve T6P dengesi

Antepfıstığında enerji dengesinin bir diğer kritik bileşeni trehaloz-6-fosfat (T6P) seviyeleridir. T6P, bitki hücresinde sükröz durumunu yansıtan bir “yakıt göstergesi” olarak işlev görmektedir. Güney ve ark. (2024), döküm sürecinde T6P düzeylerinin belirgin biçimde düştüğünü ve bu azalmanın SnRK1 aktivasyonunu doğrudan tetiklediğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, Benny ve ark. (2020) tarafından önerilen genetik modeli biyokimyasal düzeyde desteklemektedir. Baena-González ve Lunn (2020)'nın çalışmalarıyla birlikte değerlendirildiğinde, antepfıstığında tomurcuk dökümünün evrensel bir “açlık yanıtı” (starvation response) mekanizması çerçevesinde düzenlendiği anlaşılmaktadır.

Moleküler apraz konuşma (crosstalk)

Sürecin bütüncül değeriendirilmesi, süroz düzeylerindeki azalmanın ardışık bir sinyal kaskadını tetiklediğini ortaya koymaktadır. Sürozun düşmesiyle aktive olan SnRK1 (Spann ve ark., 2008; Benny ve ark., 2020), yalnızca metabolik süreçleri baskılamakla kalmamakta; aynı zamanda ABA biyosentezinde görev alan genleri (özellikle PvNCED3) doğrudan düzenlemektedir. Yu ve ark. (2023) tarafından döküm döneminde bildirilen sekiz katlık ABA artışı ile Gündeşli ve ark. (2020)'nin ortaya koyduğu serbest oksin (IAA) düzeylerindeki belirgin azalma (Şekil 3), bu enerji krizinin hormonal düzeydeki yansımaları olarak değeriendirilebilir.

Benny ve ark. (2020), meyve dokularında fotosentez ve şeker taşınımında görev alan SWEET (Sugars Will Eventually be Exported Transporters) ve SUT (Sucrose Transporters) gen ailelerinin yüksek düzeyde aktif olduğunu; buna karşılık aynı daldaki çiçek tomurcuklarında bu genlerin büyük ölçüde susturulduğunu göstermiştir. Bu durum, sistemin genetik olarak “büyüme” modundan “tasarruf ve döküm” moduna geçtiğini ve tomurcuğun kalloz birikimiyle karakterize edilen vasküler bir izolasyon süreciyle ana bitkiden ayrıldığını ortaya koymaktadır. Tüm bu moleküler bulgular birlikte değeriendirildiğinde, antepfıstığında tomurcuk dökümünün SnRK1/TOR dengesi üzerinden şekillenen, enerji temelli bir gelişimsel karar sürecinin sonucu olduğu anlaşılmaktadır.

Hormonal Regölasyon ve Vasküler İzolasyon

Antepfıstığında çiçek tomurcuğu absisyonu, hormonal dengenin (hormonal crosstalk) dinamik bir şekilde yeniden yapılandırıldığı ve metabolik krizin genetik bir infaz komutuna dönüştüğü süreçtir. Geleneksel olarak absisyon, sadece bir "hormon eksikliği" veya pasif bir şeker yetersizliği olarak görölse de güncel

bulgular bu sürecin ağaç tarafından yönetilen aktif bir "hormonal sabotaj" ve vasküler mühürleme operasyonu olduğunu kanıtlamaktadır.

Oksin homeostazisi: Aktif bir "susturma" ve konjugasyon stratejisi

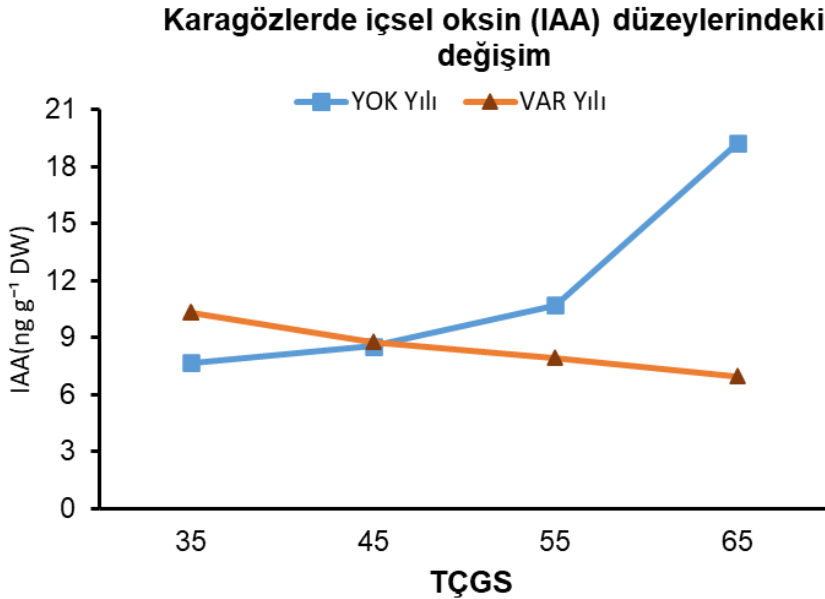
Bitki fizyolojisinde absisyon (dökülme) bölgesi, absisyon zonunda hidrolitik enzimlerin aktivitesini baskılayan sürekli bir oksin (IAA) akışı sayesinde bütünlüğünü korur. Ancak antepfıstığında döküm, bu koruyucu "yaşam kalkanının" aktif olarak susturulmasıyla başlar. Gündeşli ve ark. (2020) tarafından 'Uzun' çeşidi üzerinde yürütülen araştırmada, dökülme periyodundaki tomurcuklarda serbest IAA seviyelerinin "Yok" (Off) yılına oranla dramatik düzeyde düştüğü saptanmıştır.

Çalışmanın en özgün bulgusu, gözlenen oksin düşüşünün yalnızca bir biyosentez yetersizliğinden kaynaklanmamasıdır; mevcut serbest oksin, GH3 (Gretchen Hagen 3) gen ailesi tarafından katalizlenen hormonal konjugasyon süreciyle hızla IAA-Asp (indol-3-asetik asit-aspartat) ve IAA-Glu (indol-3-asetik asit-glutamat) gibi biyolojik olarak inaktif amino asit konjugatlarına dönüştürülerek işlevsel olarak devre dışı bırakılmaktadır. Bu aktif konjugasyon mekanizması, tomurcuğu dökülmeye karşı koruyan oksin sinyalinin ağaç tarafından sistematik biçimde etkisizleştirildiğini göstermektedir. Benny ve ark. (2020) bu bulguyu transkriptomik düzeyde destekleyerek, oksinin hücreler arası yönlü taşınımını sağlayan PIN1 (PIN-FORMED 1) dışa akım (efflux) taşıyıcıları ile hücre içine alımını düzenleyen AUX/LAX (AUXIN1/LIKE-AUX1) giriş (influx) taşıyıcı genlerinin döküm sürecinde belirgin biçimde baskılandığını ortaya koymuştur. Dolayısıyla, Gündeşli ve ark. (2020) tarafından tanımlanan biyokimyasal kilitlenme, Benny ve ark. (2020) tarafından gösterilen

taşıma kısıtlaması ile birleşerek tomurcuğun hormonal sürekliliğini geri döndürülemez biçimde kesintiye uğratmaktadır.

Gündeşli ve ark. (2020) tarafından 'Uzun' çeşidi üzerinde yapılan analizlerde, döküm periyodu boyunca karagözlerdeki serbest oksin (IAA) miktarında gözlenen değişim Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3'te net bir şekilde görüldüğü üzere, dökülme sürecine giren tomurcularda oksin seviyeleri hızla düşerken, bu düşüşün 'Yok' yılındaki kararlı seyirle olan zıtlığı, absisyonun hormonal bir 'susturma' mekanizmasıyla tetiklendiğini doğrulamaktadır.

Şekil 3. Antepfıstığında (Pistacia vera L. cv. 'Uzun') karagöz döküm periyodu boyunca içsel oksin (IAA) düzeylerinde meydana gelen değişimler



TÇGS: Tam Çiçeklenmeden İtibaren Geçen Gün Sayısı

Kaynak: Gündeşli ve ark. (2020) verilerinden derlenmiştir.

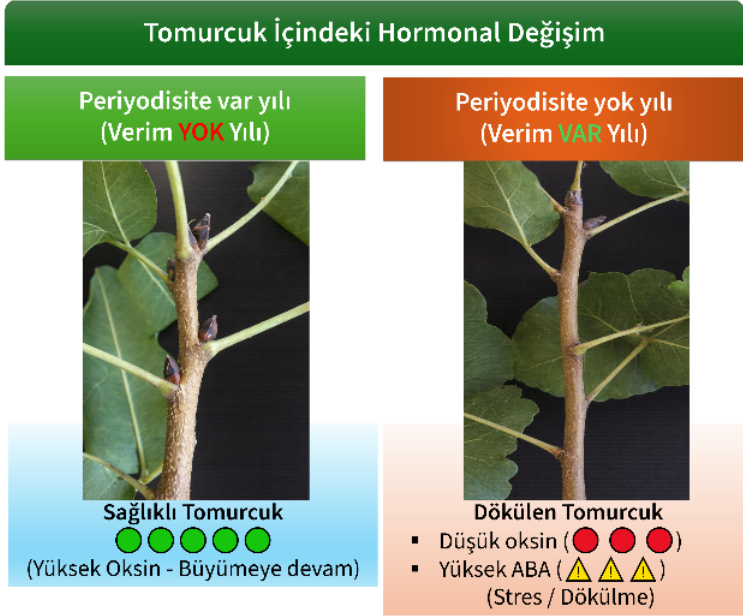
ABA patlaması ve PvNCED3 genetik tetiği

Oksin kalkanının ortadan kalkmasını takiben, dökümün nihai düzenleyici aşaması absisik asit (ABA) aracılığıyla yürütölmektedir. Yu ve ark. (2023), Kaliforniya’da ‘Kerman’ çeşidi üzerinde gerçekleştirdikleri zamansal analizlerde, döküm evresindeki tomurcuklarda ABA konsantrasyonunun “Yok” yılına kıyasla 5–8 kat arttığını saptamıştır. Araştırmacılar, bu belirgin artışın altında yatan genetik mekanizmanın, ABA biyosentezinde hız sınırlayıcı basamağı katalizleyen PvNCED3 geninin ifadesinin güçlü biçimde artırılması olduğunu ortaya koymuşlardır.

Takeda ve Crane (1980) gibi erken dönem araştırmacıları dökümü doğrudan absisik asit (ABA) artışına bağlamış olsalar da Gündeşli ve ark. (2020) ile Yu ve ark. (2023) tarafından sunulan güncel veriler, literatürdeki nedensel hiyerarşinin yeniden tanımlanmasını gerekli kılmıştır. Buna göre, oksin sinyalinin aktif olarak susturulması, ABA’nın etkisini gösterebilmesi için zorunlu bir ön koşul oluşturmaktadır. ABA’daki artış, tomurcukta yalnızca gelişimsel duraksamaya yol açmakla kalmamakta; aynı zamanda hücre duvarını parçalayan poligalaktüronaz (PG) ve selölaz gibi hidrolitik enzimlerin aktivasyonunu tetikleyerek, döküm sürecinin fizyolojik yürütücüsü olarak işlev görmektedir.

Oksin seviyelerindeki bu dramatik düşüşe paralel olarak, absisik asit (ABA) düzeylerinin yükselmesi tomurcuğu fizyolojik bir kilitlenme durumuna sürükler. Bu zıt hormonal salınım, absisyon bölgesinde hücre duvarı yeniden düzenlenmesi ve doku ayrılmasını tetikleyen süreçleri başlatarak, tomurcuğun iletim demetleriyle olan işlevsel bağlantısının kopmasına yol açar. Sağlıklı ve dökölme sürecine girmiş tomurcuklar arasındaki bu temel hormonal ve hücrel farklılıklar Şekil 4’te şematik olarak sunulmuştur.

Şekil 4. Sağlıklı ve dökülme sürecindeki antepfıstığı çiçek tomurcuklarının hormonal durumlarının karşılaştırmalı modeli



ABA (Absisik Asit) hormonu arttığında, tomurcuğun dibinde bir "kopma tabakası" oluşur. Ağaç bu bölgeyi kimyasal olarak mühürler. Tomurcuk dökülmeden hemen önce, tomurcuğa giden damarlar "Kalloz" denen bir tür zamkla tıkanır. Yani tomurcuk kurumaz; karbonhidrat ve hormon akışı kalloz ile kesilerek, aktif olarak ağaç tarafından aç bırakılarak atılır.

Kaynak: Gündeşli ve ark. (2020) ile Yu ve ark. (2023) verilerinden modifiye edilmiştir.

Vasküler izolasyon: Kalloz tıkaçı

Periyodisite mekanizmasının en çarpıcı ve geri döndürülemez aşaması, tomurcuğun ana bitkiyle olan fiziksel ve metabolik bağlantısının koparılmasıdır. Yu ve ark. (2023), dökülme sürecindeki tomurcuk tabanlarında (pedicel axis), hücreler arası madde iletimini sağlayan plazmodesmata kanallarının kalloz (callose) adı verilen bir polisakkarit ile mühürlendiğini, floresan mikroskopisi analizleriyle ortaya koymuştur.

Araştırmacılar, kalloz sentezini yöneten Callose Synthase genlerinin aktive olduğunu; buna karşılık kallozun parçalanmasından sorumlu β -1,3-glukanaz genlerinin baskılandığını ortaya koymuştur. Bu durum, “vasküler izolasyon” (vascular decoupling) olarak tanımlanmış ve tomurcuğun ana bitkiyle olan metabolik bağlantısının bilinçli biçimde kesildiği bir süreç olarak yorumlanmıştır. Bu izolasyon, Spann (2008) tarafından tanımlanan karbonhidrat yetersizliğinin etkisini maksimize etmektedir; zira iletim demetleri bir kez mühürlendiğinde, ağaçta yeterli şeker bulunsa dahi, bu yapısal engelin şekerlerin tomurcuğa girişini fiziksel olarak kısıtladığı gösterilmiştir. Yu ve ark. (2023), bu bağlamda Zavaliev ve ark. (2011)’in plazmodesmata tıkanıklığına ilişkin bulgularına atıfla, antepfıstığındaki döküm sürecinin hücresel düzeyde organize edilmiş bir izolasyon stratejisi olduğunu ileri sürmektedir.

Fiziksel ve Biyokimyasal Bariyer: Vasküler İzolasyon ve Metabolik Remobilizasyon

Antepfıstığında tomurcuğun feda edilmesine ilişkin geri dönüşsüz eşik, dokunun sistemik dolaşımdan fiziksel olarak izole edilmesi ve tomurcuk içindeki savunma ve metabolik kaynakların meyve lehine yeniden yönlendirilmesi ile tanımlanır. Bu aşama, pasif bir “besin yetersizliği” durumundan ziyade, ağacın dokuyu sistemden aktif olarak uzaklaştırdığı ve kaynak akışını seçici biçimde yeniden düzenlediği bir fizyolojik karar sürecini temsil etmektedir.

Vasküler izolasyon: Kalloz tıkaç ve floem sürekliliğinin kesilmesi

Metabolik krizin (SnRK1/TOR dengesinin bozulması) ve hormonal sinyallerin yeniden yapılandırılmasının (oksin baskılanması ve ABA artışı) ardından, döküm süreci fiziksel bir kopma evresine girer. Bu evrede, tomurcuk ile sürgün arasındaki madde ve sinyal alışverişi yapısal düzeyde sınırlandırılır. Yu ve ark. (2023), dökülme periyodundaki tomurcuk tabanlarında (abscission zone), hücreler arası iletimi sağlayan plazmodesmata kanallarının ve floem iletim demetlerinin, kalloz (callose) birikimiyle işlevsel olarak tıklandığını, floresan mikroskopisi analizleriyle göstermiştir.

Anilin mavisi (aniline blue) ile boyanan kesitlerde gözlenen yoğun floresan sinyal, Callose Synthase (CalS) genlerinin yukarı regülasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Bu süreç, literatürde “vasküler izolasyon” (vascular decoupling) olarak tanımlanmakta olup, tomurcuğun ana bitkiyle olan metabolik ve iletimsel bağlantılarının işlevsel olarak kesilmesiyle sonuçlanmaktadır. Söz konusu izolasyon, Spann (2008) tarafından tanımlanan karbonhidrat yetersizliğinin etkisini maksimize etmektedir; zira iletim demetleri mühürlendiğinde, ağaçta sükröz bulunsu dahi bu yapısal engelin şekerlerin tomurcuğa girişini fiziksel olarak kısıtladığı (Yu ve ark., 2023) ve dokuda lokal bir karbon açlığı oluşturduğu gösterilmiştir.

"Metabolik hırsızlık" hipotezi: Fenoliklerin remobilizasyonu

Geleneksel fizyoloji çalışmaları döküm sürecini büyük ölçüde yapısal olmayan karbonhidratların (NSC) dağılımı üzerinden açıklarken, Güney ve ark. (2024), ‘Uzun’ çeşidi üzerinde yürüttükleri çalışma ile sürece ikincil metabolitler perspektifini dâhil etmiştir. Araştırmacılar, dökülme dönemindeki tomurcuklarda ferulik asit, p-kumarik asit ve kafeik asit gibi antioksidan kapasitesi

yüksek fenolik bileşiklerin konsantrasyonlarında belirgin bir azalma saptamışlardır.

Buna karşılık, aynı zaman diliminde meyve perikarpında bu fenolik bileşiklerin ve lignin biyosentezine öncül metabolitlerin hızla biriktiği gösterilmiştir. Güney ve ark. (2024), bu karşıt dağılımı, ağacın savunma ve yapısal kaynaklarını tomurcuktan uzaklaştırarak gelişen meyvenin lignifikasyon ve fiziksel dayanıklılığını destekleyecek şekilde yeniden tahsis etmesi olarak yorumlamış ve bu süreci “metabolik yeniden mobilizasyon” (metabolic remobilization) kavramı altında tanımlamıştır. Bu bulgu, döküm sürecinde ağacın yalnızca karbon akışını sınırlamakla kalmayıp, tomurcuğun mevcut savunma kapasitesini de gelişen meyve dokularına yönlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Oksidatif patlama (ROS) ve programlı hücre ölümü (PCD)

Savunma kalkanı olan fenoliklerin geri çekilmesi ve vasküler izolasyon, tomurcuk içinde bir oksidatif kriz yaratır. Benny ve ark. (2020)’nin transkriptomik verileri, döküm indüksiyonu sırasında tomurcularda Reaktif Oksijen Türlerini (ROS) temizleyen; SOD (Süperoksit Dismutaz), CAT (Katalaz) ve APX (Askorbat Peroksidaz) gibi temel antioksidan enzimlerin genetik ifadelerinin şiddetli bir şekilde baskılandığını ortaya koymuştur.

Antioksidanların fiziksel kaybı (Güney ve ark., 2024) ve temizleyici enzimlerin genetik susturulması (Benny ve ark., 2020), tomurcuk içinde serbest radikallerin kontrolsüzce artmasına ve lipid peroksidasyonuna (hücre zarı hasarı) neden olur. Bu oksidatif stres, süreci moleküler düzeyde geri dönüşsüz bir terminal aşamaya taşır: Programlı Hücre Ölümü (PCD). Nitekim Benny ve ark. (2020), transkriptom analizlerinde dökülme evresindeki tomurcularda; protein yıkımında görev alan sistein proteazlar (kaspaz-benzeri aktivite gösteren) ile DNA parçalanmasını yöneten nükleazlar başta

olmak üzere, PCD yolaklarıyla ilişkili genlerin belirgin biçimde aktive olduğunu ortaya koymuştur.

Hücre duvarı degradasyonu

Döküm sürecinin terminal aşaması, absisyon zonunda (AZ) hücreler arası yapışkanlığı sağlayan orta lamelin enzimatik olarak parçalanmasıdır. Benny ve ark. (2020), dökümün son evresinde hücre duvarı bileşenlerini parçalayan poligalaktüronaz (PG), selüloz ve pektin liyaz enzimlerini kodlayan genlerin ekspresyonunda 10 kata varan artışlar kaydetmiştir. Bu enzimatik aktivitenin, Yu ve ark. (2023) tarafından rapor edilen yüksek absisik asit (ABA) seviyeleriyle indüklendiği ve absisyon tabakasındaki hücrelerin birbirlerinden ayrılmasını kolaylaştırarak tomurcuğun fiziksel olarak daldan ayrılmasıyla sonuçlandığı gösterilmiştir. Bu aşamada tomurcuk dokusu, fizyolojik bütünlüğünü yitirerek ana bitkiyle olan yapısal bağını tamamen kaybetmektedir.

Metabolik Remobilizasyon ve Oksidatif Kriz

Antepfıstığında tomurcuk döküm süreci, sadece bir dokunun kaybı değil; aynı zamanda ağacın stratejik bir "kaynak geri kazanımı" operasyonudur. Literatürde son dönemde tartışılmaya başlanan bu olgu, tomurcuğun ölüme terk edilmeden önce sahip olduğu kıymetli ikincil metabolitlerin meyveye aktarıldığını ortaya koymaktadır.

Fenolik remobilizasyonu: Tomurcuğun "soyulması"

Geleneksel görüş, meyvenin sadece ana gövdeden gelen sükrozu çektiğini savunurken; Güney ve ark. (2024), 'Uzun' çeşidinde döküm periyodu boyunca tomurcuk ve meyve arasındaki

metabolit trafiğini incelemiş ve literatüre "Metabolik Hırsızlık" (Metabolic Theft) kavramını kazandırmıştır.

Tomurcuklarda dökülmeden hemen önce; hücre duvarı dayanıklılığını sağlayan ferulik asit, lignin sentezinin ana öncülü olan p-kumarik asit ve antioksidan kapasitede rol oynayan kafeik asit seviyelerinde saptanan %40-60 oranındaki radikal düşüş, eş zamanlı olarak meyve perikarpında (dış kabuk) bu bileşiklerin zirve yapmasıyla çakışmaktadır. Güney ve ark. (2024), bu durumu ağacın savunma enerjisini "feda edilecek" olan dokudan (tomurcuk), "gelecek vaat eden" dokuya (meyve) aktarması olarak yorumlar.

Bu süreçte lignin öncüllerinin meyveye taşınması, meyve kabuğunun sertleşmesini (lignifikasyon) hızlandırırken, tomurcuğu biyokimyasal olarak tamamen savunmasız bırakmaktadır. Spann ve ark. (2008)'in karbonhidrat odaklı teorisine kıyasla bu bulgu, dökümün pasif bir "açlık ölümü" değil, meyve tarafından yürütülen sistemli bir "kaynak yağmalanması" olduğunu kanıtlamaktadır.

ROS birikimi ve antioksidan savunma sisteminin çöküşü

Savunma bileşenlerinin (fenolikler) tomurcuktan çekilmesi (Metabolik Hırsızlık), doku içinde Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) hızla birikmesine yol açar. Benny ve ark. (2020), transkriptomik analizlerinde dökülmek üzere olan tomurcuklarda; süperoksit radikallerini zararsız hale getiren süperoksit dismutaz (SOD) ve hidrojen peroksiti su/oksijene parçalayan katalaz (CAT) gibi koruyucu enzimlerin genetik ifadelerinin "yok" yılına oranla dramatik şekilde baskılandığını (down-regulated) tespit etmiştir.

Bu noktada Güney ve ark. (2024) ile Benny ve ark. (2020) tarafından sunulan bulgular arasındaki moleküler düzeydeki tamamlayıcılık netleşmektedir: Antioksidan madde kaybı ile enzimatik savunma çöküşü birleşince, tomurcuk içinde kontrolsüz

bir "oksidatif patlama" yaşanmaktadır. Hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimi, hücre zarlarında lipid peroksidasyonuna neden olarak doku bütünlüğünü geri dönülemez şekilde bozmaktadır. Yu ve ark. (2023)'ün bahsettiği vasküler izolasyon (kallos tıkaçı) ise bu noktada bir "karantina" görevi görerek, tomurcuk içindeki bu yıkıcı oksidatif krizin ve hücre ölüm sinyallerinin ağacın geri kalan sağlıklı dokularına yayılmasını önlemektedir.

Programlı hücre ölümü (PCD) ve hidrolitik yıkım

Oksidatif stresin derinleşmesi, süreci nihai aşaması olan Programlı Hücre Ölümü (PCD) yönünde tetiklemektedir. Benny ve ark. (2020), döküm indüksiyonu sırasında tomurcuk dokularında, sistein proteazlar ve nükleazlar gibi PCD ile ilişkili enzimleri kodlayan genlerin ekspresyonunun anlamlı biçimde arttığını ortaya koymuştur. Bu enzimatik aktivite, hücre içi proteinlerin ve DNA'nın kontrollü bir şekilde parçalanmasıyla sonuçlanmaktadır.

Hücre içi yıkım sürecine eş zamanlı olarak, Yu ve ark. (2023) tarafından rapor edilen yüksek absisik asit (ABA) seviyeleri, hücre duvarı bileşenlerini parçalayan pektin liyaz ve selüloz gibi hidrolitik enzimlerin aktivasyonunu indüklemekte ve bu durum absisyon zonunda yapısal bütünlüğün çözülmesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, savunma ve metabolik kaynakları yeniden tahsis edilen (Güney ve ark., 2024), vasküler olarak izole edilen (Yu ve ark., 2023) ve genetik olarak PCD programına yönlendirilen tomurcuk (Benny ve ark., 2020), periyodisite döngüsünün bir parçası olarak ana bitkiden fiziksel olarak ayrılmaktadır.

Periyodisite Yönetiminde Kültürel Müdahaleler ve Modern Stratejiler

Antepfıstığında çiçek tomurcuğu dökümünün moleküler mekanizmalarının (SnRK1 aktivasyonu, PvNCED3 tetiklemesi ve vasküler izolasyon) aydınlatılması, bu süreci kontrol altına almaya yönelik kültürel ve biyoteknolojik müdahalelerin temelini oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemler genellikle "kaynak dengesini" iyileştirmeyi hedeflerken, modern stratejiler doğrudan "sinyal yollarına" müdahale etmeyi amaçlamaktadır.

Meyve seyreltme

Periyodisitenin temel tetiği, Spann ve ark. (2008)'in belirttiği üzere meyve yükü ile tomurcuklar arasındaki karbonhidrat rekabetidir. Khezri ve ark. (2020), bu rekabeti kırmanın en radikal yolunun erken dönem meyve ve salkım seyreltmesi (fruit and cluster thinning) olduğunu vurgular. Crane ve Nelson (1971)'in klasik bulgularına atıfta bulunan araştırmacılar, 'Var' yılında meyvelerin erkenden seyretilmesinin ağacın enerji sensörü olan SnRK1'i 'kriz modundan' çıkarabildiğini ve tomurcuk dökümünü %60 oranında engelleyebildiğini belirtmişlerdir.

El ile seyreltmenin ekonomik maliyeti nedeniyle, Kamiab ve ark. (2020) tarafından önerilen kimyasal seyrelticiler (ethephon veya NAA) önem kazanmıştır. Bu müdahaleler, meyve-yaprak oranını optimize ederek Güney ve ark. (2024)'ün bahsettiği 'kritik sükröz eşliğinin' altına düşülmesini engellemekte ve vasküler karbonhidrat akışını stabilize etmektedir.

Nitekim Kamiab ve ark. (2020), 'Akbari' çeşidinde yürüttükleri arazi denemelerinde bu fizyolojik yaklaşımı destekleyen somut sonuçlar elde etmiştir. Tam çiçeklenmeden iki hafta sonra uygulanan 120 mg L⁻¹ NAA ve 200 mg L⁻¹ ethephon

dozlarının, meyve seyreltme etkinliğini maksimize ederek bir sonraki yılın çiçek tomurcuğu muhafazasını (floral bud retention) anlamlı biçimde artırdığı gösterilmiştir. Çalışmada ayrıca, seyreltme uygulamalarının yalnızca tomurcuk dökümünü azaltmakla kalmadığı; aynı zamanda kalan meyvelerde boş meyve (blankness) oranını düşürdüğü, buna bağlı olarak çıtlama oranını ve meyve iriliğini artırarak ticari kaliteyi stabilize ettiği rapor edilmiştir.

Hormonal ve biyostimülant uygulamaları

Gündeşli ve ark. (2020)'nin saptadığı "oksin konjugasyonu" (hormonal sabotaj), dışsal hormon uygulamaları için yeni bir kapı açmıştır. Khezri ve ark. (2020), Temmuz ayındaki kritik döküm döneminde yapılan sentetik oksin (2,4-D veya NAA) uygulamalarının, tomurcuk içindeki oksin sinyalini yapay olarak yüksek tutarak absisyonu geciktirebileceğini ifade etmektedirler.

Buna ek olarak, Yu ve ark. (2023) tarafından saptanan ABA patlamasına karşı sitokinin bazlı biyostimülantların kullanımı önerilmektedir. Kamiab ve ark. (2020), özellikle çinko ve amino asit içerikli yaprak gübrelerinin, tomurcuklardaki antioksidan kapasiteyi artırarak Güney ve ark. (2024)'ün bahsettiği oksidatif hasarı minimize edebildiğini ve tomurcuğun vasküler izolasyona girmesini engellediğini tespit etmiştir.

Hormonal müdahalelerin etkinliği konusunda Kamiab ve ark. (2020), eksojen Gibberellik Asit (GA₃) uygulamalarının rolüne de dikkat çekmiştir. Özellikle 150 mg/L GA₃ uygulamasının, vejetatif gelişimi teşvik ederek ağacın fizyolojik direncini artırdığı ve meyve kalitesi parametrelerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu durum, hormonal takviyelerin tomurcukları sadece dökülmeye karşı korumakla kalmayıp, aynı zamanda onları 'metabolik hırsızlığa' karşı biyokimyasal olarak daha dirençli hale getirdiğini göstermektedir.

Beslenme ve sulama yönetimi

Spann ve ark. (2008) ve Khezri ve ark. (2020), karbonhidrat kısıtlılığının su ve mineral beslenme statüsü ile doğrudan ilişkili olduğunu savunmaktadır. "Var" yılında çekirdek dolumu (kernel filling) sırasında kritik düzeyde artan potasyum (K) ve bor (B) ihtiyacı, bu elementlerin floral tomurcuklardan meyveye doğru remobilizasyonuna (yeniden taşınmasına) neden olur. Güney ve ark. (2024)'ün "fenolik hırsızlığı" olarak tanımladığı sürece benzer şekilde, mineral elementlerin de meyve tarafından "sekestre edilmesi" (alikonulması), tomurcuk direncini biyokimyasal düzeyde çökertmektedir. Kamiab ve ark. (2020), Temmuz ayındaki potasyum nitrat (KNO_3) uygulamalarının, sükrozun floem (soymuk boruları) içindeki taşınımını (translocation) hızlandırarak vasküler tıkanıklığın (kalloz) yarattığı olumsuz etkileri hafiflettiğini ve tomurcuk muhafaza oranını artırdığını belirlemiştir.

Genetik ve biyoteknolojik yaklaşımlar

Benny ve ark. (2020), Yu ve ark. (2023) ve Gündeşli ve ark. (2020)'nin moleküler verileri, gelecekteki ıslah çalışmalarının "genetik şalterleri" kontrol etmeye odaklanması gerektiğini göstermektedir. Yu ve ark. (2023), özellikle PvNCED3 geninin veya kalloz sentezini yöneten genlerin CRISPR/Cas9 teknolojisi ile modüle edilmesinin periyodisiteyi kökten çözebilecek bir anahtar olduğunu ifade etmişlerdir.

Ayrıca Benny ve ark. (2020)'nin vurguladığı SnRK1/TOR dengesinin biyoteknolojik yollarla (transgenik müdahaleler veya spesifik inhibitörler) manipüle edilmesi, ağacın meyve yüküne rağmen tomurcuklarını "açlık moduna" sokmamasını sağlayabilir. Bu vizyon, antepfıstığı üretiminde "Var-Yok" döngüsünü tamamen ortadan kaldırarak sürdürülebilir bir üretim modeli vaat etmektedir.

Anaç Etkisi ve çeşit Farklılıkları

Antepfıstığında dökümün şiddeti ve zamanlaması, kullanılan anaç ile çeşidin genetik kapasitesine ve ekolojik adaptasyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Karbonhidrat depolama kapasitesi

Spann ve ark. (2008) tarafından Kaliforniya'da yürütölen çalışmalar, periyodisite şiddetinin anacın "tüketim" (sink) kapasitesine bağlı olduğunu ortaya koymuştur. *P. integririma* anacının, *P. atlantica*'ya göre köklerinde daha fazla nişasta depolayabildiği ve bu sayede tomurcuklara giden sükroz akışını daha stabil tutarak dökümü sönümlediği saptanmıştır.

Buna karşılık Türkiye'de 'Uzun' eşidi üzerinde alışan Gündeşli ve ark. (2020) ile Güney ve ark. (2024), yerli çeşitlerin karbonhidrat krizine karşı çok daha hassas bir "genetik şalter" mekanizmasına sahip olduğunu belirtmişlerdir. 'Uzun' gibi çeşitlerde, Spann ve ark. (2008)'in bahsettiği "kritik eşik" ok daha erken geçilmekte; enerji sensörleri (SnRK1) ok daha düşük şeker değişimlerine dahi hızlı döküm yanıtı vermektedir.

Bu durum, periyodisitenin sadece çevresel faktörlere bir tepki değil, çeşidin genetik mirasıyla kodlanmış bir strateji olduğunu göstermektedir. Farklı çeşitlerin bu moleküler şalteri ne kadar agresif kullandıkları, periyodisite indeksi (ABI) değerlerine ve bu süreçteki hormonal tepki kapasitelerine yansımaktadır. Literatürde öne çıkan bazı ticari çeşitlerin periyodisite şiddetleri ve bu süreçte sergiledikleri biyokimyasal değişimler izelge 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 1 incelendiğinde, 'Uzun' ve 'Ohadi' gibi çeşitlerin periyodisiteye karşı gösterdiği yüksek duyarlılık, bu çeşitlerin meyve yükü baskısı altında 'vasküler izolasyon' ve 'aktif fedakârlık' programlarını çok daha erken ve radikal bir şekilde devreye

soktuklarını doğrulamaktadır. Buna karşın 'Mumtaz' gibi düşük ABI değerine sahip çeşitler, enerji sinyalizasyonunu daha esnek yöneterek çiçek tomurcuklarını muhafaza edebilmektedir.

Çizelge 1. Bazı ticari antepfıstığı çeşitlerinin periyodisite şiddeti ve biyokimyasal parametreleri

Çeşit	Menşei	Periyodisite İndeksi (ABI)*	Periyodisite Şiddeti
Uzun	Türkiye	0.85 - 0.90	Çok Şiddetli
Siirt	Türkiye	0.60 - 0.75	Orta / Şiddetli
Ohadi	İran	0.88 - 0.92	Çok Şiddetli
Kerman	ABD	0.75 - 0.82	Şiddetli
Akbari	İran	0.70 - 0.80	Şiddetli
Mumtaz	İran	0.35 - 0.45	Düşük (Zayıf)

*ABI (Alternate Bearing Index): 0 ile 1 arasında değer alır. 1'e yaklaştıkça periyodisite şiddeti (var/yok yılı farkı) artar.

Kaynak: Esmailpour (2005) ve Gündeşli ve ark. (2020) çalışmalarından derlenerek modifiye edilmiştir.

Çeşide özgü hormonal yanıtlar

Literatürdeki en çarpıcı tartışma, ABA (Absisik Asit) patlamasının zamanlaması üzerinedir. Yu ve ark. (2023), 'Kerman' çeşidinde ABA artışının dökümden hemen önce gerçekleşen bir "final tetikleyici" olduğunu saptarken; Gündeşli ve ark. (2020), 'Uzun' çeşidinde oksin düşüşünün dökümden haftalar önce başladığını belirlemiştir. Bu durum, Kaliforniya çeşitlerinin enerji krizine karşı daha homoestatik (dengeleyici) bir direnç sergilediğini; yerli çeşitlerin (Uzun) ise mevcut meyve yükünü (tohum gelişimini) garanti altına almak adına, tomurcukları çok daha agresif bir şekilde "feda ettiğini" (early-response) göstermektedir. Khezri ve ark. (2020) bu durumu; yerli çeşitlerin zorlu doğa koşullarına uyum sağlama (adaptasyon) yeteneğiyle açıklar: Ağaç, elindeki az miktardaki enerjiyi bir sonraki yılın tomurcuklarına paylaştırmak

yerine, mevcut meyveleri (tohumları) sağlama almak için tomurcukları feda etmektedir.

Ekolojik baskı: Sıcaklık ve su stresi sinerjisi

Kamiab ve ark. (2020), yüksek yaz sıcaklıklarının fotosentez hızını düşürerek Spann ve ark. (2008)'in bahsettiği karbonhidrat krizini derinleştirdiğini belirtmiştir. Sıcaklık baskısı altında foto-respirasyon (ışık solunumu) ve hücresel solunum hızı artan ağaçta, Benny ve ark. (2020)'nin tanımladığı SnRK1 yolağı çok daha düşük enerji eşiklerinde, yani çok daha agresif bir şekilde aktive olmaktadır. Sıcaklık ve kuraklık stresinin yoğun olduğu İran (Rafsanjan) gibi bölgelerde yapılan araştırmalar, kültürel müdahalelerin bu ekolojik baskıyı sönmüleyebileceğini göstermektedir.

Kamiab ve ark. (2020)'ye göre, doğru zamanda yapılan seyreltme işlemleri, ağacın kısıtlı olan fotosentez ürünlerini ve su kaynaklarını "kaynak-tüketici" (source-sink) dengesi içinde daha verimli dağıtmasına olanak tanımaktadır. Bu strateji, yüksek sıcaklıklar nedeniyle tetiklenen SnRK1 yolağının tomurcuk üzerindeki yıkıcı etkisini hafifletmek için hayati bir fizyolojik tampon görevi görmektedir. Bu sentez, antepfıstığında dökümün sadece içsel bir genetik program değil, dışsal stres faktörleriyle "katalize edilen" (hızlandırılan) dinamik bir süreç olduğunu kanıtlamaktadır.

Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Antepfıstığında çiçek tomurcuğu dökümü üzerine yürütülen bu kapsamlı sentez, periyodisite olgusunun pasif bir kaynak kısıtlılığından ziyade, ağaç tarafından yönetilen son derece sofistike ve genetik olarak programlanmış bir fizyolojik karar mekanizması

olduğunu göstermektedir. Makale boyunca analiz edilen veriler ışığında, döküm sürecinin metabolik bir sinyal (sükroz düşüşü) ile başladığı, hormonal bir sabotaj (oksin/ABA dengesizliği) ile mühürlendiği ve programlı bir hücresel yıkım (PCD) ile sonuçlandığı netleşmiştir.

Elde edilen sonuçlar, dökümün hiyerarşik bir mekanizmayla işlediğini kanıtlamaktadır. Sükroz ve nişasta rezervlerindeki düşüşle tetiklenen SnRK1 enerji sensörleri, hücresel düzeyde bir "infaz kararı" vererek hayatta kalma kalkanı olan oksin sinyalini (PIN1, AUX/LAX) susturmakta ve yıkıcı bir ABA patlamasını (PvNCED3) devreye sokmaktadır. Bu sürecin en çarpıcı aşaması olan vasküler izolasyon (kallos mühürlemesi), tomurcuğu sistemik dolaşımdan tamamen kopararak geri dönüşü olmayan noktayı belirlemektedir. Üstelik ağacın, dökülmeye mahkûm edilen tomurcuklardaki savunma bileşenlerini (fenolikler) ve mineralleri (K, B) meyveye geri çekmesi (metabolik remobilizasyon), süreci bir "kaynak hırsızlığına" dönüştürmekte ve tomurcuğu kontrolsüz bir oksidatif yıkıma mahkûm etmektedir.

Gelecekte periyodisite ile mücadele stratejileri, sadece dışarıdan besin takviyesi yapma yaklaşımından kurtularak ağacın içsel sinyal mekanizmalarını yönetmeye odaklanmalıdır. Gelecek dönemde yapılacak çalışmaların; ağacın enerji sensörlerini (SnRK1) yanıltacak moleküler müdahaleler, vasküler izolasyonu engelleyecek biyostimülant formülasyonları ve özellikle CRISPR/Cas9 gibi modern biyoteknolojik yöntemlerle "infaz genlerinin" modülasyonu üzerine yoğunlaşması kritik önem taşımaktadır. Bu tür bütüncül ve genetik odaklı yaklaşımlar, antepfıstığı yetiştiriciliğinde "Var-Yok" döngüsünü kırarak her yıl düzenli ve sürdürülebilir bir verim alınabilen yeni bir dönemi başlatma potansiyeline sahiptir.

Kaynaklar

Baena-González, J., & Lunn, J. E. (2020). SnRK1 and trehalose 6-phosphate – two ancient pathways converge to regulate plant metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 55, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.01.010>

Benny, J., Marra, F. P., Giovino, A., Balan, B., Caruso, T., Martinelli, F., & Marchese, A. (2020). Transcriptome analysis of *Pistacia vera* inflorescence buds in bearing and non-bearing shoots reveals the molecular mechanism causing premature flower bud abscission. *Genes*, 11(8), 851. <https://doi.org/10.3390/genes11080851>

Crane, J. C., & Nelson, M. M. (1971). The unusual mechanism of alternate bearing in the pistachio. *HortScience*, 6, 489–490.

Esmailpour, A. (2005). Evaluation of alternate bearing intensity in Iranian pistachio cultivars. In M. M. Oliveira & V. Cordeiro (Eds.), *XIII GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios* (pp. 29–32). CIHEAM. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, 63.

Gündeşli, M. A., Kafkas, S., Güney, M., & Kafkas, N. E. (2020). Changes in endogenous auxin level during flower bud abscission process in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(1), 71–82. <https://doi.org/10.3906/tar-1903-77>

Güney, M., Gündeşli, M. A., Güney, M., Kafkas, N. E., Kafkas, S., & Ergün, Z. (2024). Quantitative variation of phenolic compounds in different tissues of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Uzun) associated with alternate bearing. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48(4), 539–556. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3200>

Kamiab, F., Rasouli, P., & Zamani Bahramabadi, E. (2020). Application of some bloom thinning techniques to overcome

alternate bearing in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 31–39.
<https://doi.org/10.1007/s13580-019-00187-9>

Khezri, M., Heerema, R., Brar, G., & Ferguson, L. (2020). Alternate bearing in pistachio (*Pistacia vera* L.): A review. *Trees*, 34, 855–868.
<https://doi.org/10.1007/s00468-020-01967-y>

Smeekens, S., Ma, J., Hanson, J., & Rolland, F. (2010). Sugar signals and molecular networks controlling plant growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 273–278.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.12.002>

Spann, T. M., Beede, R. H., & DeJong, T. M. (2008). Seasonal carbohydrate storage and mobilization in bearing and non-bearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Tree Physiology*, 28(2), 207–213.
<https://doi.org/10.1093/treephys/28.2.207>

Takeda, F., & Crane, J. C. (1980). Absciscic acid in pistachio as related to inflorescence bud abscission. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(4), 573–576.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.105.4.573>

Vemmos, S. N. (1999). Carbohydrate content of inflorescent buds of defruited and fruiting pistachio (*Pistacia vera* L.) branches in relation to biennial bearing. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(1), 94–100.
<https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511079>

Weinbaum, S., Picchioni, G., Muraoka, T., Ferguson, L., & Brown, P. (1994). Fertilizer nitrogen and boron uptake, storage, and allocation vary during the alternate-bearing cycle in pistachio trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(1), 24–31. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.1.24>

Xiong, Y., McCormack, M., Li, L., Hall, Q., Xiang, C., & Sheen, J. (2013). Glucose-TOR signalling reprograms the transcriptome and activates meristems. *Nature*, 496(7444), 181–186. <https://doi.org/10.1038/nature12030>

Yu, S., Amaral, D., Brown, P. H., Ferguson, L., & Tian, L. (2023). Temporal transcriptome and metabolite analyses provide insights into the biochemical and physiological processes underlying endodormancy release in pistachio (*Pistacia vera* L.) flower buds. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1240442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1240442>

Zavaliev, R., Ueki, S., Epel, B. L., & Citovsky, V. (2011). Biology of callose (β -1,3-glucan) turnover at plasmodesmata. *Protoplasma*, 248, 117–130. <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0247-0>

BÖLÜM 3

ELMA İŞLETMELERİNDE ÜRETİM YAPISI, TEKNİK ETKİNLİK VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Ömer Faruk BALTA¹
Said Efe DOST²

Giriş

Elma (*Malus domestica* Borkh.), yüksek besin değeri, geniş adaptasyon kabiliyeti ve ekonomik getirisi nedeniyle dünya genelinde en önemli ılıman iklim meyvelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Bayav ve ark., 2022). Üretim alanlarında küresel ölçekte daralma eğilimi görülmesine karşın, birim alandan alınan verimdeki artış elma üretim miktarının yükselmeyi sürdürmesine katkı sağlamaktadır (Bayav ve ark., 2022). Türkiye dünya elma üretiminde üst sıralarda yer almakta; ancak dekara verim düzeyi, modern üretim tekniklerini yoğun olarak kullanan ülkelerin gerisinde kalabilmektedir (Bayav ve ark., 2022). Bu durum, elma işletmelerinde üretim yapısının modernizasyonunu, kaynak kullanımının rasyonelleştirilmesini ve teknik etkinliğin artırılmasını gerekli kılmaktadır (Karakaya ve ark., 2021). Nitekim Türkiye’de

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üni. Bitkisel üretim ve Teknolojileri, Orcid: 0009-0001-3946-0560

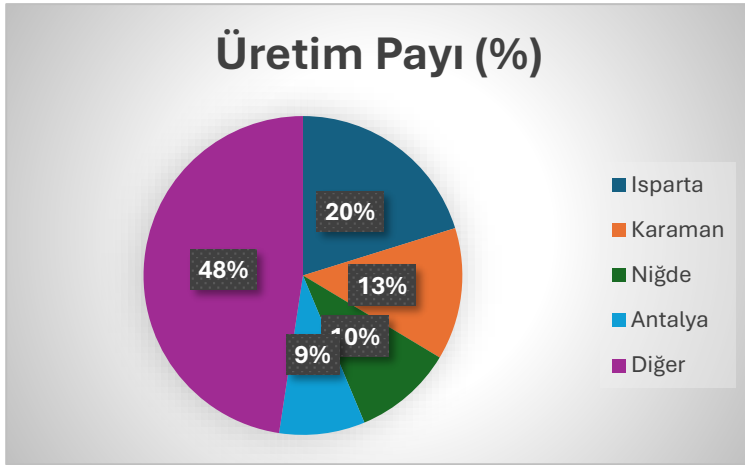
² Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üni. Teknik Bilimler M.Y.O, Orcid: 0000-0003-4279-7292

elma işletmelerinin belirli örneklemelerinde ortalama teknik etkinlik düzeyinin yaklaşık %71 olduğu; teknik yetersizliklerin giderilmesi hâlinde üretim azaltılmadan girdi kullanımının anlamlı ölçüde düşürülebileceği bildirilmektedir (Karakaya ve ark., 2021). Pazarlama boyutunda ise doğrudan satış kanallarının tercih edilmesi, dolaylı kanallara kıyasla üretici etkinliğini artıran önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Erdoğan ve ark., 2016).

Türkiye’de elma üretimi özellikle İç Anadolu, Akdeniz, Ege ve Karadeniz bölgelerinde yoğunlaşmakta; Isparta, Karaman, Niğde ve Antalya illeri üretimde ön plana çıkmaktadır. Bölgesel dağılım incelendiğinde, toplam üretimin %20’sinin Isparta’da, %13’ünün Karaman’da, %10’unun Niğde’de ve %9’unun Antalya’da gerçekleştiği, diğer illerin toplam payının ise %48 düzeyinde olduğu görülmektedir (Şekil 1). Bu dağılım, söz konusu dört ilin Türkiye elma üretiminde çekirdek üretim merkezleri olduğunu ortaya koymakta; bu bölgelerde uygulanan modern yetiştiricilik sistemlerinin ülke genelindeki toplam üretim ve verimlilik üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle bodur ve yarı bodur anaçların yaygınlaşması, modern bahçe tesislerinin kurulması ve teknik uygulamaların artması, hem üretim miktarının yükselmesine hem de meyve kalite parametrelerinin iyileştirilmesine ve depolama süresinin uzatılmasına katkı sağlamaktadır. Elma üretimi aynı zamanda kırsal istihdamın korunması, tarımsal sanayiye hammadde temini ve ihracata yönelik katma değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesi açısından da önemli bir tarımsal faaliyet alanı olarak değerlendirilmektedir. FAO verilerine göre 2015–2019 döneminde dünya elma üretim alanı azalırken verim ve toplam üretimde artış gerçekleşmiş; Türkiye’de ise aynı dönemde üretim alanındaki sınırlı artışa karşın verim ve üretimde belirgin yükseliş kaydedilmiştir (FAO, 2020). Nitekim 2020 yılında Türkiye yaklaşık 4,3 milyon tonluk üretimle dünya elma üretiminde üçüncü sırada yer almıştır (Anonim, 2021). Bölgesel ölçekte bakıldığında

TRB1 Bölgesi'nin Türkiye elma üretimi içindeki payının görece sınırlı olduğu, buna karşın verim artış potansiyelinin yüksek bulunduğu anlaşılmakta; üretimin sınırlı sayıda ilde yoğunlaşması, elma işletmelerinde teknik etkinlik ve enerji verimliliğinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesini gerekli kılmakta ve kaynak kullanımının optimize edilmesi açısından bu illeri öncelikli araştırma alanları hâline getirmektedir (TÜİK, 2019).

Şekil 1. Türkiye’de Elma Üretiminin İl Bazında Dağılımı (%)



Tarımsal işletmelerde üretim yapısı, geleneksel sistemlerden birim alandan daha yüksek ve kaliteli ürün alınmasına imkân tanıyan bodur ve yarı bodur modern plantasyonlara doğru evrilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010). Modern meyvecilik yaklaşımı; mekanizasyon, bitki koruma ve gübreleme gibi enerji yoğun girdilerin daha sistematik kullanımını gerektirmekte, bunun doğal sonucu olarak enerji talebi ve maliyet baskısı artmaktadır (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017). Üreticilerin alternatif ve etkin girdi/enerji kullanımı konusunda bilgi eksikliklerinin bulunması, girdilerin “daha çok kullanımın daha fazla üretim sağlayacağı” anlayışıyla uygulanmasına ve üretim maliyetlerinin yükselmesine

yol açabilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010; Gözübüyük ve ark., 2009). Bu nedenle elma işletmelerinde yalnızca verim artışı değil, girdilerin teknik olarak doğru düzeyde ve uygun zamanda kullanılması yoluyla etkinliğin artırılması da temel hedefler arasında yer almalıdır.

Verimlilik ve etkinlik, üretim birimlerinin performansını değerlendiren temel kavramlardır (Lovell, 1993; Aydın, 2014). En genel anlamıyla verimlilik, çıktılarla girdilerin oranı olarak tanımlanırken; etkinlik, mevcut girdi setiyle elde edilebilecek maksimum çıktının fiili çıktıya oranı olarak ifade edilmektedir (Özden ve Armağan, 2005). Daha kapsamlı bir yaklaşımla etkinlik, mevcut girdilerle maksimum çıktının üretilmesi ya da mevcut çıktının minimum girdiyle elde edilmesidir (Yükçü ve Atağan, 2009; Özden ve Armağan, 2014; Özden ve Öncü, 2016). Bilimsel çalışmalar, işletme etkinliğinin teknik ve ekonomik boyutlarıyla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Teknik etkinlik, girdilerin en uygun bileşimiyle mümkün olan maksimum çıktının elde edilmesini; ekonomik etkinlik ise maliyetleri minimize eden ve optimum girdi kombinasyonunu sağlayan kaynak kullanımını ifade etmektedir. Tahsis etkinliği ise girdi fiyatları dikkate alınarak üretim maliyetini en aza indirecek girdi bileşiminin seçilmesindeki başarı olarak tanımlanmaktadır (Yeni, 2012).

Üretimin sürdürülebilirliği ve ekonomik başarısı açısından enerji verimliliği kritik bir göstergedir. Tarımsal üretimde toprak işleme, gübreleme, sulama, bitki koruma, hasat ve taşıma gibi süreçler önemli ölçüde enerji tüketimi yaratmakta; modernizasyon bu tüketimi artırırken enerji akışının analiz edilmesi üretim planlayıcıları ve politika uygulayıcıları için ekonomik sonuçların değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır (Ekinci ve ark., 2005; Özkan ve ark., 2004a; Pimentel, 1980). Elma üretiminde enerji kullanım etkinliği bölgelere göre değişebilmekte; bazı bölgelerde bodur elma yetiştiriciliğinde enerji etkinliği katsayısının daha yüksek değerlere ulaşabildiği bildirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010;

Çelen ve ark., 2017). Toplam enerji girdisi içinde kimyasal gübreler ve tarımsal ilaçların önemli paylara sahip olması, enerji verimliliğini artırmak amacıyla bu girdilerin bilinçli uygulamalar çerçevesinde (örneğin toprak analizine dayalı gübreleme ve uygun bitki koruma programları) optimize edilmesini gerekli kılmaktadır (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017).

Türkiye’de yaklaşık üç milyon tarım işletmesinin varlığı ve tarımın istihdam içindeki yüksek payı dikkate alındığında, etkinlik analizleri mevcut kaynakların optimum kullanımına olanak sağlaması bakımından büyük önem taşımaktadır (Kaçıra, 2007; Yeni, 2012; Aydın, 2014). Bu bağlamda elma işletmelerinde üretim yapısı, teknik etkinlik ve enerji verimliliğinin birlikte değerlendirilmesi; hem maliyetlerin düşürülmesi hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından daha gerçekçi ve uygulanabilir işletmecilik ve politika önerilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışma, TRB1 Bölgesi’nde elma yetiştiriciliği yapan işletmelerin teknik etkinlik düzeylerini Stokastik Sınır Analizi yaklaşımıyla belirlemeyi ve teknik etkinliği etkileyen faktörleri ortaya koymayı amaçlamaktadır.

İşletme Yapısı, Teknik Etkinlik ve Enerji Kullanımı

Elma üretiminde verimlilik artışının temel belirleyicilerinden biri, üretim sürecinde kullanılan girdilerin ne ölçüde etkin ve rasyonel biçimde yönetildiğini ortaya koyan teknik etkinlik düzeyidir. Teknik etkinlik, bir tarım işletmesinin sahip olduğu üretim faktörleri (toprak, işgücü, sermaye, makine, gübre, pestisit ve enerji gibi) ile ulaşabileceği maksimum çıktı düzeyini ifade etmekte olup, üretim sürecindeki potansiyel kayıpların ve verimsizliklerin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Lovell, 1993; Özden & Armağan, 2005). Teknik etkinliğin düşük olması, işletmelerin mevcut kaynaklarını tam kapasiteyle kullanamadığını ve aynı girdi düzeyiyle daha yüksek üretim

seviyelerine ulaşabileceklerini göstermektedir (Yükçü & Atağan, 2009).

Tarım ekonomisi literatüründe teknik etkinliğin ölçülmesinde en yaygın kullanılan yöntemler Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis – DEA) ve Stokastik Sınır Analizi (Stochastic Frontier Analysis – SFA) olarak öne çıkmaktadır. DEA, parametrik olmayan bir yöntem olup çoklu girdi ve çıktının eş zamanlı değerlendirilmesine olanak tanımakta ve işletmeler arasında göreceli etkinlik düzeylerini belirlemektedir. SFA ise parametrik bir yaklaşım olup üretim fonksiyonunu istatistiksel olarak tahmin etmekte ve üretimdeki rastlantısal hatalar ile teknik etkinsizliği birbirinden ayırabilme avantajı sunmaktadır (Lovell, 1993; Özden & Öncü, 2016). İklimsel ve biyolojik belirsizliklerin yüksek olduğu elma üretimi gibi tarımsal faaliyetlerde, bu yöntemlerin kullanımı işletme performansının daha gerçekçi biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Türkiye’de elma işletmelerine yönelik yapılan teknik etkinlik analizleri, etkinlik düzeylerinin bölgesel, yapısal ve yönetsel faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. TRB1 Bölgesi (Bingöl, Elazığ ve Malatya) üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, elma işletmelerinin ortalama teknik etkinlik düzeyinin yaklaşık %71 olduğu belirlenmiş; bu bulgu, işletmelerin mevcut girdi düzeyleri korunarak üretimlerini teorik olarak yaklaşık %29 oranında artırabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Karakaya et al., 2021). İl bazında yapılan değerlendirmelerde Malatya’daki elma işletmelerinin Elazığ ve Bingöl’e kıyasla daha yüksek teknik etkinlik düzeylerine ulaştığı saptanmış; bu durum işletme ölçeği, modern yetiştiricilik uygulamalarının yaygınlığı, üreticilerin teknik bilgiye erişimi ve uzun yıllara dayanan üretim tecrübesi gibi faktörlerle ilişkilendirilmiştir (Karakaya et al., 2021).

Modern elma yetiştiriciliğinde verimlilik analizlerinin bir diğer temel boyutunu enerji kullanımı ve enerji etkinliği oluşturmaktadır. Tarımsal üretimde kullanılan her bir girdi belirli bir enerji karşılığına sahip olup, bu girdilerin toplamı üretim sisteminin enerji dengesini belirlemektedir. Enerji etkinliği, birim enerji girdisine karşılık elde edilen enerji çıktısını ifade etmekte ve üretim sisteminin enerji açısından ne derece verimli olduğunu ortaya koymaktadır (Pimentel, 1980; Özkan et al., 2004). Enerji etkinliğinin yüksek olması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel etkilerin sınırlandırılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Elma üretiminde enerji girdileri genellikle insan işgücü, makine kullanımı, yakıt tüketimi, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, sulama ve elektrik enerjisinden oluşmaktadır. Antalya'nın Elmalı ilçesinde bodur elma yetiştiriciliği üzerine yapılan çalışmalarda enerji kullanım etkinliği 2,69 olarak hesaplanmış; toplam enerji girdileri içerisinde kimyasal gübrelerin %37,71–44,97, tarımsal ilaçların ise yaklaşık %30,8 oranında pay aldığı belirlenmiştir (Yılmaz et al., 2010; Çelen et al., 2017). Bu bulgular, özellikle gübreleme ve bitki koruma uygulamalarının enerji tüketimi üzerindeki belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır.

Enerji girdilerinin bu denli yüksek paya sahip olması, elma üretiminde girdi yönetiminin yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da ele alınması gerektiğini göstermektedir. Aşırı ve bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı enerji tüketimini artırmakla kalmayıp, toprak ve su kaynakları üzerinde de olumsuz çevresel etkiler yaratabilmektedir (Gözübüyük et al., 2009; Yılmaz et al., 2010). Bu nedenle dengeli gübreleme programlarının uygulanması, entegre mücadele yöntemlerinin benimsenmesi ve enerji tasarruflu üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması, hem teknik etkinliğin artırılması hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda elma üretiminde işletme yapısının iyileştirilmesi, teknik etkinlik düzeyinin artırılması ve enerji kullanımının optimize edilmesi, birbirini tamamlayan ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin temelini oluşturan unsurlar olarak değerlendirilmektedir. Üretici eğitimlerinin artırılması, modern yetiştiricilik tekniklerinin yaygınlaştırılması, veri temelli karar destek sistemlerinin kullanımı ve girdi kullanımında planlı yaklaşımların benimsenmesi, elma işletmelerinde hem ekonomik hem de çevresel verimliliğin artırılmasına katkı sağlayacaktır (Aydın, 2014; Karakaya et al., 2021).

Tarım Sigortası (TARSİM), İşletme Büyüklüğü, Teknik Etkinlik ve Enerji Kullanımı Arasındaki Etkileşim

Tarımsal üretim, doğa koşullarına doğrudan bağımlı olması ve kontrol edilemeyen çok sayıda dış faktörün etkisi altında gerçekleşmesi nedeniyle riski en yüksek ekonomik faaliyet alanlarından biridir (Özçelik, 2018; Özçelik, 2023). İklim değişkenliği, biyolojik belirsizlikler ve piyasa dalgalanmaları üretici gelirlerinde istikrarsızlığa yol açmakta; bu durum işletmelerin borç ödeme kapasitesini ve üretimin sürekliliğini olumsuz etkilemektedir (Akçaöz ve ark., 2006). Bu bağlamda tarım sigortaları, üreticilerin karşı karşıya kaldıkları riskleri yönetmelerine olanak tanıyan en önemli politika araçlarından biri olarak öne çıkmaktadır (Çelik & Özçelik, 2024).

Türkiye’de 2006 yılında yürürlüğe giren Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM), dolu, don, kuraklık, sel ve fırtına gibi doğal afetlerden kaynaklanan üretim kayıplarını prim karşılığında transfer ederek işletmelerin faaliyetlerine devam edebilmesini amaçlamaktadır (Çelik & Özçelik, 2024). Devletin poliçe primlerinin yaklaşık %50’sini sübvansetmesine karşın, sigortalılık oranlarının beklenen düzeye ulaşamadığı; 2020 yılı itibarıyla tarım alanlarının yalnızca yaklaşık %11’inin sigorta kapsamına alındığı

bildirilmektedir (TARSİM, 2023). Oysa tarım sigortaları yalnızca fiziksel kayıpların finansal etkilerini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda üreticilerin kaynak kullanımında daha rasyonel kararlar almalarını teşvik ederek dolaylı biçimde teknik etkinliğin korunmasına katkı sağlamaktadır (Çelik & Özçelik, 2024).

Tarımda sigorta kullanımını ve üretim etkinliğini belirleyen temel yapısal faktörlerden biri işletme büyüklüğüdür. Türkiye’de tarım işletmeleri genel olarak küçük ve parçalı bir yapıya sahip olup bu durum sermaye birikimini, teknolojiye erişimi ve risk yönetimi kapasitesini sınırlamaktadır (Bayav ve ark., 2022). Elma yetiştiriciliğinde ortalama bahçe büyüklüğünün 8,12–18,83 dekar aralığında değiştiği bildirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010; Bayav ve ark., 2022). Küçük ölçekli işletmelerde gelir yetersizliği, primlerin yüksek algılanması ve kurumsal güven eksikliği tarım sigortasına katılımı sınırlandırırken; büyük ölçekli işletmeler yüksek yatırım maliyetleri ve üretim riskleri nedeniyle sigortayı ekonomik bir zorunluluk olarak değerlendirmektedir (Aydın, 2014; Yeni, 2012; Çelik & Özçelik, 2024). Ayrıca işletme ölçeği büyüdükçe üreticilerin pazarlama kanallarında daha avantajlı konumlandığı, ihracatçıya doğrudan satış oranlarının arttığı ve bunun ekonomik sürdürülebilirliği desteklediği ortaya konulmuştur (Bayav ve ark., 2022).

Üretim etkinliği, mevcut girdi seti ile maksimum çıktının elde edilmesi ya da belirli bir çıktının minimum girdiyle üretilmesi yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Karakaya ve ark., 2021). Türkiye’de elma işletmelerine yönelik yapılan teknik etkinlik analizleri, işletmelerin ortalama %71 düzeyinde teknik etkinlikle çalıştığını; başka bir ifadeyle mevcut girdi düzeyi korunarak üretimin teorik olarak %29 oranında artırılabileceğini göstermektedir (Karakaya ve ark., 2021). Bu bulgu, işletmelerde önemli ölçüde gizli üretim potansiyeli bulunduğunu ve etkin girdi yönetimiyle verim artışının mümkün olduğunu ortaya koymaktadır.

Modern elma yetiştiriciliğinde verimlilik analizlerinin tamamlayıcı bir boyutunu enerji kullanımı oluşturmaktadır. Elma üretiminde insan işgücü, makine, yakıt, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, sulama ve elektrik başlıca enerji girdileri arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalar, elma üretiminde enerji kullanım etkinliği katsayısının 1,56 ile 2,69 arasında değiştiğini; en yüksek enerji payının kimyasal gübreler (%37–45) ve tarımsal ilaçlar (%21–36) tarafından oluşturulduğunu ortaya koymaktadır (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017). Bu durum, özellikle gübreleme ve bitki koruma uygulamalarının hem maliyet hem de çevresel etki açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Tarım sigortalarının yaygınlaşması, üreticilerin belirsizlik algısını azaltarak aşırı ve korunmacı girdi kullanımını sınırlandırabilmekte; böylece enerji verimliliğinin artmasına ve çevresel baskının azalmasına katkı sunabilmektedir. Sigorta güvencesine sahip işletmelerin modern girdilere daha bilinçli yatırım yaptığı, üretim planlamasını daha sistematik yürüttüğü ve teknik etkinlik düzeylerinin görece daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Özden & Armağan, 2014; Karakaya ve ark., 2021).

İlaçlama Kararlarını Etkileyen Bilgi Kaynakları ve Üretim Etkinliği Üzerindeki Yansımaları

Elma üretiminde bitki koruma uygulamaları ve buna bağlı olarak alınan ilaçlama kararları, üreticilerin benimsediğı üretim sistemi, teknik bilgi düzeyi ve danışmanlık hizmetlerine erişim olanaklarına göre önemli farklılıklar göstermektedir. Özellikle geleneksel üretim yapan işletmeler ile İyi Tarım Uygulamaları (İTU) kapsamında üretim yapan işletmeler arasında bilgi kaynaklarının niteliğı ve karar alma süreçleri açısından belirgin ayrışmalar bulunmaktadır.

Geleneksel üretim sistemlerinde zirai ilaç bayileri çoğu zaman temel, hatta tek bilgi kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bingöl

ili Adaklı ilçesinde gerçekleştirilen saha çalışmalarında, üreticilerin tamamının tarımsal ilaçlarını bayilerden temin ettiği ve ilaçlama kararlarını büyük ölçüde bayi önerilerine dayandığı belirlenmiştir (Kızılay & Akçaöz, 2009; Bayav & Karlı, 2020). Bu yapı, üreticilerin teknik danışmanlığa erişiminin sınırlı olduğunu ve bitki koruma uygulamalarında piyasa odaklı yönlendirmelerin belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bayi temelli karar alma süreci, zararlı yoğunluğu ve ekonomik zarar eşiği dikkate alınmaksızın yapılan aşırı ve gereksiz ilaçlamalara yol açabilmekte; bu durum hem üretim maliyetlerini artırmakta hem de çevresel riskleri büyötmektedir (Yılmaz ve ark., 2010; Bayav & Karlı, 2020).

Buna karşılık İyi Tarım Uygulamaları kapsamında üretim yapan işletmelerde ilaçlama kararlarının daha çok bilimsel ve teknik temellere dayandığı görölmektedir. Bu gruptaki üreticilerin %90,9'unun Tarım İl ve İlçe Müdürlüklerinden teknik destek aldığı, bitki koruma uygulamalarını ise uzman görüşleri doğrultusunda planladığı bildirilmektedir (Karakaya & Kızıloğlu, 2021; Yılmaz & Akçaöz, 2020). İTU yapan üreticilerin %59,6'sının ilaçlama kararını doğrudan bahçe gözlemleri sonucunda verdiği, yani zararlı görölmeden veya ekonomik zarar eşiği aşılmadan kimyasal mücadeleye başvurmadağı belirlenmiştir. Bu yaklaşım, entegre mücadele prensipleriyle uyumlu olup, kimyasal ilaç kullanımını azaltarak hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de enerji kullanım etkinliğini artırmaktadır (Öztürk ve ark., 2017).

Bilgi kaynağının niteliğı ile ilaçlama sıklığı arasındaki ilişki değeriendirildiğinde, teknik danışmanlık alan ve bilimsel yöntemlere dayalı karar veren işletmelerde ilaçlama sayısının anlamlı düzeyde daha düşük olduğı görölmektedir. Bu durum, İTU sisteminin yalnızca bir üretim standardı değil, aynı zamanda bilgiye dayalı bir yönetim modeli olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın geleneksel üretimde yaygın olan alışkanlık temelli ve dış yönlendirmelere açık karar alma yapısı, ekonomik kayıplara ve

sürdürülebilirlik sorunlarına zemin hazırlamaktadır (Yılmaz ve ark., 2019; Bayav & Karlı, 2020).

Tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirlik, üretim girdilerinin yeterli, dengeli ve zamanında kullanılmasına doğrudan bağlıdır (Mercan & Özçelik, 2024). Ancak özellikle elma gibi yüksek enerji girdisi gerektiren modern yetiştiricilik sistemlerinde üreticilerin, bitki koruma ilaçları ve gübreleme başta olmak üzere alternatif ve etkin girdi kullanımı konusunda yeterli teknik bilgiye sahip olmadığı bildirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010). Bu bilgi eksikliği, üreticilerin üretim alanlarını büyütmeden daha fazla girdi kullanarak verim artışı sağlama eğilimiyle birleştiğinde, bilinçsiz uygulamalara ve üretim maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır.

İlaçlama kararlarında başvurulanan bilgi kaynakları ve stratejik yaklaşımlar incelendiğinde dört temel unsur öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki teknik personel ve uzman görüşüdür. Teknik eleman rehberliğiyle yürütülen bitki koruma uygulamalarının hem ilaçlama sıklığını azalttığı hem de sulama ve gübreleme gibi diğer girdilerin optimize edilmesine katkı sağladığı bildirilmektedir (Karakaya ve ark., 2021). İkinci unsur, bilimsel araştırmalar ve kurumsal iş birlikleridir. Üniversiteler ve araştırma enstitülerince üretilen bilginin doğrudan üreticiye aktarılması ve üretici–yayımcı–araştırmacı üçgeninin güçlendirilmesi, sahadaki teknik bilgi açığının kapatılmasında stratejik önem taşımaktadır (Bayav ve ark., 2022). Üçüncü unsur teknolojik sistemler ve dijital kaynaklardır. Erken uyarı sistemleri, hastalık ve zararlı tahmin modelleri ile dijital platformlar, ilaçlama zamanının doğru belirlenmesinde üreticilere önemli fırsatlar sunmakta; aynı zamanda bilgiye erişimi kolaylaştırmaktadır (Çelik & Özçelik, 2024; Ağızan & Bayramoğlu, 2023). Son olarak eğitim ve uygulamalı demonstrasyon çalışmaları, üreticilerin modern yetiştiricilik tekniklerini benimsemelerini

sağlayarak girdi kullanımında daha rasyonel kararlar almalarına katkı sunmaktadır (Çelen ve ark., 2017; Karakaya ve ark., 2021).

Girdi Kullanımı, İşletme Büyüklüğü, Teknik Etkinlik ve Enerji Verimliliği İlişkisi

Modern meyvecilik faaliyetlerinde yüksek verim ve kaliteli ürün elde edebilmek için ilaç, gübre ve makine kullanımı gibi yüksek enerji girişi gerektiren girdiler hayati önem taşımaktadır (Yılmaz ve ark., 2010). Özellikle elma yetiştiriciliğinde üreticiler, üretim alanlarını genişletmeden birim alandan daha fazla ürün elde edebilmek amacıyla yoğun girdi kullanımına yönelmektedir. Ancak birçok üreticinin etkili enerji girdi kullanımı konusunda yeterli teknik bilgiye sahip olmaması, üretim maliyetlerini artırırken enerji verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Yılmaz ve ark., 2010).

Elma üretiminde ilaçlama ve gübreleme masrafları, toplam üretim giderleri ve enerji girdileri içerisinde en büyük paya sahiptir. Senirkent ilçesinde yürütülen bir araştırmada dekara ilaçlama masrafının 345,44 TL olduğu ve toplam değişken masrafların %47,33'ünü oluşturduğu; gübreleme masraflarının ise %14,57 pay aldığı belirlenmiştir (Erdoğan ve ark., 2016). Enerji girdileri açısından da benzer bir yapı söz konusudur. Bodur elma üretiminde toplam enerji girdisinin %37,71–%44,97'si kimyasal gübrelerden, %30,82–%36,25'i ise kimyasal ilaçlardan kaynaklanmaktadır (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017). Bu durum, kimyasal girdilerin hem ekonomik hem de ekolojik açıdan üretim maliyetleri üzerindeki belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır.

İşletme büyüklüğü, girdi yönetimi ve teknik etkinlik üzerinde doğrudan etkili olan temel yapısal unsurlardan biridir. Türkiye'de elma işletmeleri genel olarak küçük ve parçalı bir yapıya sahip olup, küçük ölçekli işletmelerde sermaye yetersizliği ve teknolojiye erişim güçlükleri yaygın olarak görülmektedir (Bayav ve ark., 2022). Buna karşılık işletme ölçeği arttıkça ihracatçıya doğrudan satış olanakları

ve pazarlama avantajları artmakta, bu durum ekonomik sürdürülebilirliği desteklemektedir (Bayav ve ark., 2022). Ancak teknik etkinlik analizleri, özellikle ilaç masraflarındaki artışın verimlilik üzerinde negatif etki yarattığını göstermektedir. Nitekim Karakaya ve ark. (2021), ilaç giderlerindeki bir birimlik artışın teknik etkinlik değerini 0,22785 birim azalttığını belirlemiş; bu bulgu, gereksiz veya aşırı ilaç kullanımının teknik etkinliği düşürdüğünü ortaya koymuştur.

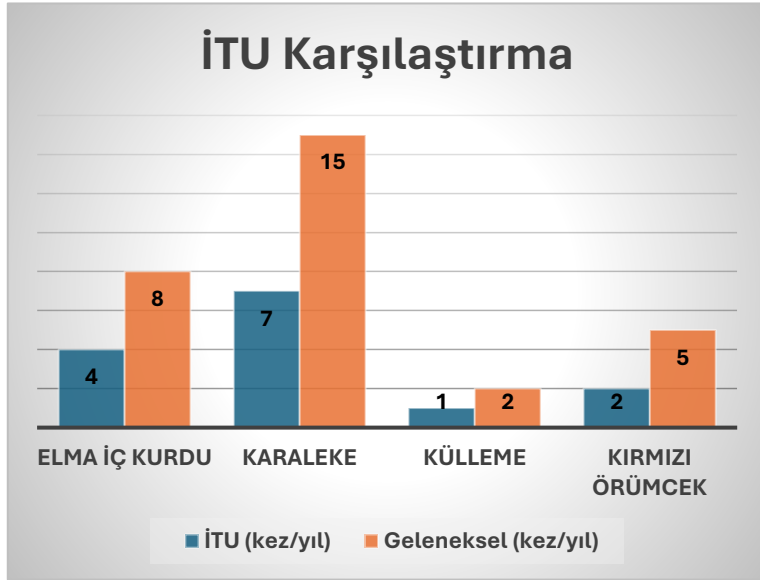
Enerji etkinliği (çıktı/girdi katsayısı), üretimde kullanılan girdilerin ne ölçüde çıktıya dönüştüğünü gösteren temel bir performans göstergesidir (Çelen ve ark., 2017). Elma üretiminde bu katsayının bölgelere göre farklılık gösterdiği; Antalya Elmalı ilçesinde 2,26–2,69 aralığında hesaplanırken, Tekirdağ ilinde 1,56 düzeyinde kaldığı bildirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017). Bu farklılıklar, üretim sistemleri, girdi yoğunluğu ve teknik uygulamalardaki çeşitlilikle yakından ilişkilidir. Enerji etkinliğini artırmak için gübre ve ilaç kullanımının toprak analizlerine dayalı olarak planlanması ve teknik personel önerileri doğrultusunda optimize edilmesi gerekmektedir (Yılmaz ve ark., 2010; Karakaya ve ark., 2021).

İyi Tarım Uygulamaları (İTU), Sürdürülebilirlik ve Ekonomik Etkiler

Tarımsal üretimde geleneksel yöntemlerin ekolojik sistemler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin giderek daha belirgin hâle gelmesi, dünyada ve Türkiye’de sürdürülebilir üretim modellerine yönelimi hızlandırmıştır (Ağızan & Bayramoğlu, 2023). Bu bağlamda organik tarım ve İyi Tarım Uygulamaları (İTU), doğal kaynakları kalıcı biçimde tüketmeden katma değer yaratmayı hedefleyen, üretim ile çevre arasında denge kuran bütüncül sistemler olarak öne çıkmaktadır. Konvansiyonel tarım uygulamalarının toprak yapısında bozulmaya yol açması ve çevresel yük oluşturmaları

bu üretim modelini uzun vadede sürdürülebilir olmaktan uzaklaştırırken; doğa temelli tarım ve hayvancılık stratejileri hem kırsal kalkınma hem de ekonomik refah açısından yeni fırsatlar sunmaktadır (Arslan, 2018).

Şekil 2. İTU ve Geleneksel Elma Yetiştiriciliğinde Yıllık İlaçlama Sıklıklarının Karşılaştırılması



Sürdürülebilirlik açısından üretimin devamlılığı, tarımsal girdilerin yeterli, dengeli ve zamanında kullanılmasına doğrudan bağlıdır (Mercan & Özçelik, 2024). Bu çerçevede enerji kullanımında etkinliğin artırılması ve fosil yakıtlar, kimyasal gübreler ile pestisitler gibi yenilenemez kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Yılmaz ve ark., 2010; Çelen ve ark., 2017). Nitekim bodur elma üretimi gibi modern plantasyon sistemlerinde toplam enerji girdisinin yaklaşık %91,44'ünün yenilenemez kaynaklardan oluştuğu bildirilmektedir; bu durum hem üretim maliyetlerini yükseltmekte hem de çevresel

riskleri artırmaktadır (Yılmaz ve ark., 2010). Buna karşılık çevre dostu uygulamalar ile modern üretim tekniklerinin entegrasyonu, enerji verimliliğini artırırken aynı zamanda birim alandan elde edilen verim ve ürün kalitesinde anlamlı iyileşmeler sağlamaktadır (Bayav ve ark., 2022; Çelen ve ark., 2017).

Bu genel çerçeve içerisinde İyi Tarım Uygulamaları, elma yetiştiriciliğinde kimyasal girdilerin azaltılmasına yönelik bütüncül bir üretim yaklaşımı sunmakta; üretim sürecinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını birlikte ele alan sürdürülebilir bir model oluşturmaktadır. Türkiye'nin farklı bölgelerinde yürütülen çalışmalar, İTU'nun özellikle bitki koruma uygulamalarında yapısal bir dönüşüm sağladığını ve tarımsal ilaç kullanım miktarını buna bağlı olarak ilaçlama sıklığı ile maliyetlerini yaklaşık %50 oranında azalttığını ortaya koymaktadır (Yılmaz & Akçaöz, 2020; Karakaya & Kızıloğlu, 2021). Kayseri–Yeşilhisar örneğinde elde edilen bulgulara göre, elma iç kurdu mücadelesinde İTU yapan işletmeler yılda ortalama dört kez ilaçlama gerçekleştirirken, geleneksel üretimde bu sayı sekize kadar yükselmekte; karaleke hastalığında ise İTU kapsamında ortalama yedi uygulama yeterli olurken geleneksel sistemde ilaçlama sayısı on beşe ulaşabilmektedir. Külleme ve kırmızı örümcek gibi zararlı ve hastalıklarda da benzer biçimde İTU'nun ilaçlama sayısını yarıdan fazla azalttığı görülmektedir (Kızılay & Akçaöz, 2009; Yılmaz ve ark., 2019). Bu sonuçlar, İTU'nun yalnızca bir sertifikasyon sistemi değil, aynı zamanda bilgiye dayalı bir üretim yönetimi modeli olduğunu ortaya koymaktadır.

İlaçlama sıklığındaki bu belirgin azalmanın temelinde, İTU sisteminde benimsenen kontrollü ve gözleme dayalı mücadele anlayışı yer almaktadır. İTU yapan üreticiler ilaçlama kararlarını düzenli bahçe kontrolleri, zararlı yoğunluğu gözlemleri ve ekonomik zarar eşiği kriterlerine dayandırmakta; feromon tuzakları, biyoteknik mücadele yöntemleri ve mekanik önlemler gibi alternatif

uygulamalarla kimyasal girdilere olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltmaktadır (Öztürk ve ark., 2017; Demircan ve ark., 2018). Buna karşılık geleneksel üretimde ilaçlama kararlarının çoğunlukla bayi yönlendirmeleri veya komşu tavsiyelerine dayanması, gereksiz veya aşırı ilaç kullanımına yol açabilmektedir (Kızılay & Akçaöz, 2009).

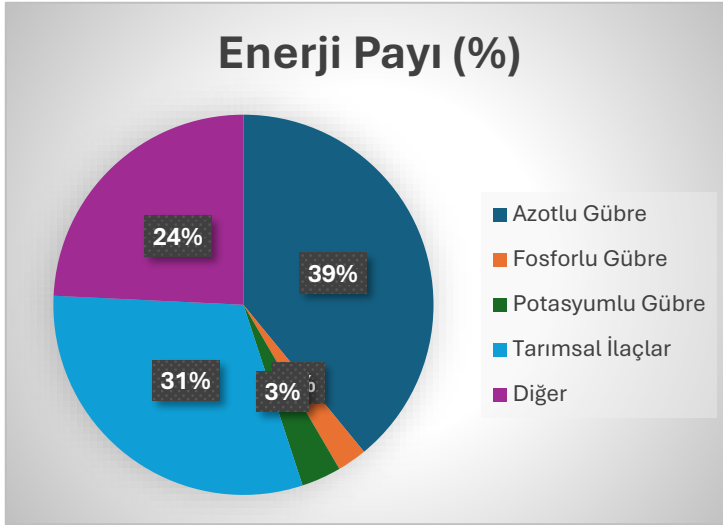
İTU'nun sağladığı bu yapısal dönüşüm, doğrudan ekonomik kazanımlara da yansımaktadır. Antalya ili örneğinde yapılan analizler, önerilen düzeyin üzerinde yapılan pestisit kullanımının dekara 95,6 TL'ye varan ekonomik kayıplara neden olduğunu göstermiş; İTU uygulamaları sayesinde bu tür gereksiz harcamaların önüne geçilebildiği ortaya konmuştur (Yılmaz & Akçaöz, 2020). Benzer şekilde Isparta ve Karaman illerinde gerçekleştirilen maliyet çalışmalarında, ilaçlama giderlerinin toplam üretim maliyetleri içindeki payının %19–23 arasında değiştiği belirlenmiş; bu kalemde sağlanacak tasarrufların işletme bütçesi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır (Bayav & Karlı, 2020).

Sürdürülebilir tarımın ekonomik etkileri değerlendirildiğinde, doğal ve sertifikalı ürünlere yönelik artan talebin bu ürünlerin konvansiyonel ürünlere kıyasla daha yüksek fiyatlarla pazarlanmasına olanak tanıdığı görülmektedir (Arslan, 2018). Kimyasallarla kirlenmemiş alanlarda gerçekleştirilen organik üretim, görece düşük maliyetle yüksek katma değer yaratma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte işletmelerin ekonomik başarısı yalnızca fiyat avantajına değil, aynı zamanda teknik etkinlik düzeyine bağlıdır; teknik yetersizliklerin giderilmesi durumunda mevcut girdi düzeyi korunarak üretim miktarının yaklaşık %29 oranında artırılacağı bildirilmektedir (Karakaya ve ark., 2021). Ayrıca organik tarımda e-pazar gibi dijital pazarlama kanallarının kullanılması, üreticiler açısından en yüksek ekonomik etkinliği sağlayan modellerden biri olarak öne çıkmaktadır (Ağızan & Bayramoğlu, 2023).

Gübre Kullanımı, Enerji Girdileri ve Azotun Baskın Rolü

Elma yetiştiriciliği, yoğun girdi kullanımı gerektiren yapısı nedeniyle yüksek enerji tüketimine sahip tarımsal üretim sistemleri arasında yer almaktadır. Modern meyvecilik faaliyetleri; birim alandan yüksek verim ve kaliteli ürün elde edebilmek amacıyla makine kullanımı, sulama, ilaçlama ve özellikle kimyasal gübreleme gibi yüksek enerji girişi gerektiren uygulamalara dayanmaktadır. Tarımsal üretimde enerji, işgücü, yakıt ve elektrik gibi doğrudan girdiler ile gübre, pestisit ve tarım makinelerinin üretiminden kaynaklanan dolaylı girdiler şeklinde sınıflandırılmakta olup, bu girdilerin toplamı üretim sisteminin sürdürülebilirliği ve ekonomik performansı açısından kritik bir gösterge oluşturmaktadır.

Şekil 3. Elma üretiminde girdi bazlı enerji dağılımı (%)



Türkiye’de Antalya (Elmalı), Tekirdağ ve Isparta gibi farklı ekolojik bölgelerde yürütülen enerji analizleri, elma üretiminde toplam enerji girdisinin büyük bölümünün kimyasal girdilerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışmalarda kimyasal gübrelerin toplam enerji girdisi içindeki payının %29–45 aralığında değiştiği ve üretim sisteminin en baskın enerji bileşeni

olduğu bildirilmektedir (Özkan et al., 2004; Yılmaz et al., 2010; Öztürk et al., 2017; Yılmaz & Akçaöz, 2020). Tekirdağ koşullarında gübre enerjisinin toplam enerji girdisi içindeki payı %29,02 olarak belirlenirken, Antalya Elmalı ilçesinde bodur elma yetiştiriciliğinde bu oran %44,97'ye kadar yükselmektedir. Bu bulgular, gübrelemenin modern meyvecilikte hem en maliyetli hem de en enerji yoğun işlem olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Kimyasal gübreler içerisinde ise azotlu gübreler, yüksek üretim enerjisi gereksinimleri nedeniyle kritik bir konuma sahiptir. Antalya Elmalı ilçesinde bodur elma işletmelerinde toplam enerji girdisinin %39,06'sının yalnızca azot enerjisinden kaynaklandığı belirlenmiştir (Demircan et al., 2018). Benzer şekilde Tekirdağ'da yürütülen çalışmalarda azot girdisinin enerji karşılığı (14544 MJ ha^{-1}), fosfor (1998 MJ ha^{-1}) ve potasyum (536 MJ ha^{-1}) girdilerinin toplamından kat kat daha yüksek bulunmuştur. Uluslararası literatür de azotlu gübrelerin tarımsal üretimde kullanılan toplam fosil enerjinin yaklaşık %30–50'sinden sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır (Rafiee et al., 2010; Pimentel & Burgess, 2014). Bu durum, elma üretiminin büyük ölçüde fosil yakıtlara dayalı yenilenemez enerji kaynaklarına bağımlı olduğunu ve enerji fiyatlarında yaşanan dalgalanmaların doğrudan gübre maliyetleri üzerinden üretici gelirlerini baskıladığını göstermektedir.

Enerji girdileri açısından ikinci önemli kalemi tarımsal ilaçlar (pestisitler) oluşturmaktadır. Bölgesel çalışmalarda pestisitlerin toplam enerji girdisi içindeki payının yaklaşık %30 düzeyinde olduğu bildirilmektedir (Yılmaz et al., 2010; Öztürk et al., 2017). Pestisit kullanımının bu denli yüksek enerji payına sahip olması yalnızca üretim maliyetlerini artırmakla kalmamakta; aynı zamanda çevresel kirlilik, biyolojik çeşitlilik kaybı ve gıda güvenliği açısından da ciddi riskler doğurmaktadır (Kızılay & Akçaöz, 2009; Yılmaz et al., 2019). Özellikle geleneksel üretim sistemlerinde zararlı yoğunluğu ve ekonomik zarar eşiği dikkate alınmadan

yapılan rutin ilaçlamalar, enerji verimliliğini düşürmekte ve gereksiz ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

Enerji sınıflandırması açısından değerlendirildiğinde, kimyasal gübreler ve pestisitler dolaylı ve yenilenemez enerji grubunda yer almakta; bodur elma işletmelerinde dolaylı enerjinin toplam enerji girdisi içindeki payının %90'ın üzerine çıktığı bildirilmektedir (Öztürk et al., 2017). Bu yapı, üretim sisteminin sürdürülebilirliği açısından önemli bir kırılganlık yaratmakta ve enerji kullanım etkinliğinin artırılabilmesi için öncelikle kimyasal girdilerin miktar ve kullanım biçimlerinin optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır. Nitekim enerji çıktı/girdi oranının yükseltilmesi yalnızca verim artışıyla değil, aynı zamanda girdilerin daha rasyonel ve teknik temelli kullanımıyla mümkün olabilmektedir (Çelen et al., 2017; Rafiee et al., 2010).

Bu bağlamda, İyi Tarım Uygulamaları (İTU) ve entegre mücadele yaklaşımları elma üretiminde enerji etkinliğini artıran stratejik araçlar olarak öne çıkmaktadır. Literatürde İTU uygulayan işletmelerde gübre ve pestisit kullanımının anlamlı düzeyde azaldığı, buna bağlı olarak toplam enerji tüketiminin düştüğü ve birim alan başına kârlılığın yükseldiği bildirilmektedir (Yılmaz & Akçaöz, 2020; Karakaya & Kızıloğlu, 2021). Toprak analizine dayalı gübreleme, ekonomik zarar eşiğine göre ilaçlama ve biyoteknik mücadele yöntemlerinin yaygınlaştırılması, özellikle azot girdisinin optimize edilmesine olanak sağlayarak hem enerji bağımlılığını azaltmakta hem de çevresel baskıyı hafifletmektedir (Demircan et al., 2018; Karakaya et al., 2021).

Sonuç ve Genel Değerlendirme

Bu çalışma, elma işletmelerinde üretim yapısı, teknik etkinlik ve enerji verimliliğinin birbiriyle güçlü biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, işletmelerin ortalama teknik etkinlik düzeyinin yaklaşık %71 civarında olduğunu ve mevcut girdi

miktarı korunarak üretimin teorik olarak yaklaşık %29 oranında artırılabilceğini göstermektedir. Bu durum, elma üretiminde önemli bir gizli potansiyel bulunduğunu ve verimsizliklerin büyük ölçüde yönetsel faktörler, teknik bilgi eksikliği ve plansız girdi kullanımından kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Özellikle kimyasal gübreler ve tarımsal ilaçlar toplam enerji girdisinin en büyük bölümünü oluşturmakta; bu girdiler içerisinde azotlu gübreler baskın rol oynamaktadır.

Enerji kullanımına ilişkin sonuçlar, elma üretiminin büyük ölçüde yenilenemez kaynaklara dayandığını ve bu durumun hem üretim maliyetlerini artırdığını hem de çevresel sürdürülebilirliği sınırladığını göstermektedir. İlaçlama kararlarında bayi yönlendirmelerine dayalı geleneksel üretim anlayışı, gereksiz kimyasal kullanımına yol açarken; İyi Tarım Uygulamaları kapsamında üretim yapan işletmelerde teknik danışmanlık, bahçe gözlemleri ve ekonomik zarar eşiğine dayalı uygulamalar sayesinde ilaçlama sıklığının ve enerji tüketiminin anlamlı biçimde azaldığı belirlenmiştir. Bu bulgular, bilgiye dayalı üretim modellerinin teknik etkinlik ve enerji verimliliği açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elma yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için teknik etkinliğin artırılması, kimyasal girdilerin optimize edilmesi, enerji kullanımının azaltılması ve üretici eğitimlerinin güçlendirilmesi temel öncelikler olarak öne çıkmaktadır. İyi Tarım Uygulamalarının yaygınlaştırılması, toprak analizine dayalı gübreleme, entegre mücadele yöntemleri ve üretici örgütlenmesinin desteklenmesi; hem üretici gelirlerinin artırılmasına hem de çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu bütüncül yaklaşım, artan iklim belirsizliği koşulları altında Türkiye elma üretiminin rekabet gücünü ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini güçlendirecek temel strateji olarak değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Ağızhan, S., & Bayramoğlu, Z. (2023). Dijital pazarlama kanallarının organik tarım ürünlerinin ekonomik etkinliği üzerindeki etkileri. *Türkiye Tarım Ekonomisi Dergisi*, 29(1), 45–58.

Akçaöz, H., Özkan, B., & Fert, C. (2006). Risk management in Turkish agriculture. *Journal of Applied Sciences*, 6(10), 2161–2166.

Anonim. (2021). Türkiye elma üretim istatistikleri. Ankara.

Arslan, M. (2018). Sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma ilişkisi. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 87–98.

Aydın, B. (2014). Tarımsal işletmelerde etkinlik analizi. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Bayav, A., & Karlı, B. (2020). Isparta ve Karaman illerinde elma üretim maliyetinin karşılaştırılması. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(2), 225–236.

Bayav, A., Karlı, B., & arkadaşları. (2022). Türkiye’de elma üretiminin yapısal analizi. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 15–29.

Bayramoğlu, Z., & Gündoğmuş, E. (2010). Türkiye’de elma üretiminde teknik etkinlik analizi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 16(1), 1–14.

Çelen, İ. H., Özkan, H. C., & Demircan, V. (2017). Bodur elma üretiminde enerji kullanım etkinliği. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 23(2), 45–58.

Çelik, A., & Özçelik, A. (2024). Tarım sigortalarının üretim etkinliği üzerindeki etkileri. *Türkiye Tarım Ekonomisi Dergisi*, 30(1), 33–47.

Demircan, V., Yılmaz, H., & ark. (2018). Antalya Elmalı ilçesinde bodur elma üretiminde enerji analizi. *Bahçe*, 47(1), 21–34.

Ekinci, K., Akbolat, D., & ark. (2005). Tarımda enerji kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 1–10.

Erdoğan, S., Bayav, A., & Karlı, B. (2016). Elma üretiminde pazarlama kanallarının ekonomik etkinliğe etkisi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 22(1), 55–68.

FAO. (2020). FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2021). FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gözübüyük, T., Yılmaz, H., & Demircan, V. (2009). Tarımsal girdilerin bilinçsiz kullanımının ekonomik etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 15(3), 245–252.

Günden, C., & Miran, B. (2019). İyi Tarım Uygulamalarının üretim maliyetleri ve çevresel etkileri. *Türkiye Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25(1), 67–82.

Kaçıra, M. (2007). Tarım işletmelerinde kaynak kullanım etkinliği. Ankara.

Karakaya, E., & Kızıloğlu, S. (2021). TRB1 bölgesinde elma yetiştiriciliğinin mevcut durumu. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(2), 470–483.

Karakaya, E., Kızıloğlu, S., & ark. (2021). TRB1 Bölgesi elma işletmelerinde teknik etkinlik analizi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(3), 615–628.

Kaya, Y., & Akıncı, İ. (2018). Elma yetiştiriciliğinde pestisit kullanımının ekonomik etkileri. *Bahçe*, 47(2), 33–42.

Kaya, Y., & Akıncı, İ. (2020). Modern elma bahçelerinde üretici davranışları: Isparta örneği. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*.

Kızılay, H., & Akçaöz, H. (2009). Elma yetiştiriciliğinde ilaç ve gübre kullanımında ekonomik kayıplar. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*.

Lovell, C. A. K. (1993). Production frontiers and productive efficiency. In H. O. Fried et al. (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency*. Oxford University Press.

Mercan, M., & Özçelik, A. (2024). Sürdürülebilir tarımda girdi yönetimi. *Tarım Politikaları Dergisi*, 5(1), 12–25.

Özden, A., & Armağan, G. (2005). Tarım işletmelerinde teknik etkinlik. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 77–88.

Özden, A., & Armağan, G. (2014). Etkinlik analizlerinde yeni yaklaşımlar. İzmir.

Özden, A., & Öncü, E. (2016). Tarımda etkinlik ölçüm yöntemleri. Ankara.

Özçelik, A. (2018). Tarımsal risk yönetimi. Ankara.

Özçelik, A. (2023). Tarım sigortalarının ekonomik etkileri. Ankara.

Özkan, B., Fert, C., & Karadeniz, C. F. (2004). Energy use and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45, 1821–1830.

Özkan, H. C., Arpacioğlu, A. E., Ari, N., Demirtaş, E. I., & Asrı, F. Ö. (2017). Determination of energy efficiency in dwarf apple production. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 23(2), 45–58.

Öztürk, H., Demircan, V., & ark. (2017). Elma üretiminde entegre mücadele ve enerji kullanımı. *Bahçe*, 46(1), 17–28.

Pimentel, D. (1980). Energy inputs in food crop production. *Energy in Agriculture*, 1, 1–20.

Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). Energy use in agriculture. Boca Raton: CRC Press.

Rafiee, S., Mousavi-Avval, S. H., & Mohammadi, A. (2010). Energy use efficiency in apple production. *Energy*, 35, 1141–1145.

Şahin, K. (2015). Sürdürülebilir tarım politikaları. Ankara.

TARSİM. (2023). Tarım Sigortaları Havuzu Faaliyet Raporu. Ankara.

TÜİK. (2019). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.

TÜİK. (2021). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.

Yeni, O. (2012). Tarımsal işletmelerde ekonomik etkinlik. Ankara.

Yılmaz, H., & Akçaöz, H. (2020). İyi Tarım Uygulamalarının ekonomik etkileri. *Bahçe*, 49(2), 89–102.

Yılmaz, H., & Demircan, V. (2015). Elma üretiminde tarım sigortası tercihleri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(3), 211–223.

Yılmaz, H., Demircan, V., & ark. (2010). Antalya Elmalı ilçesinde bodur elma üretiminde enerji kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16(3), 213–223.

Yılmaz, H., Akçaöz, H., & ark. (2019). Elma üretiminde bitki koruma uygulamalarının ekonomik analizi. *Bahçe*, 48(1), 41–52.

Yükçü, S., & Atağan, G. (2009). Performans ölçümü ve etkinlik analizi. İzmir.

