BİTKİ KORUMA ARAŞTIRMALARINDA MOLEKÜLER TEKNOLOJİLER VE ZARARLI YÖNETİMİ

EDİTÖR
DOÇ. DR. AYŞE YEŞİLAYER



BİDGE Yayınları

Bitki Koruma Araştırmalarında Moleküler Teknolojiler ve Zararlı Yönetimi

Editör: Doç. Dr. AYŞE YEŞİLAYER

ISBN: 978-625-5057-82-2

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
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

BAĞDA GÖRÜLEN BAZI ÖNEMLİ ZARARLILAR 1
ESRA TAYAT, NİHAL ÖZDER

BİTKİ VİRÜS HASTALIK ISLAHINDA CRISPR-CAS13A MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI 26
BERNA BAŞ

NÜKLEİK ASİT TEŞHİSLERİNDE CRISPR-CAS BİYOSENSÖR SİNYALLERİNİN BİLGİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ 44
BERNA BAŞ

BÖLÜM 1

BAĞDA GÖRÜLEN BAZI ÖNEMLİ ZARARLILAR

ESRA TAYAT[1]
NİHAL ÖZDER[2]

Giriş

Bağcılık, dünya genelinde ekonomik ve tarımsal açıdan önemli bir üretim faaliyeti olup insanlık tarihi boyunca farklı toplumların beslenmesinde ve ekonomik yaşamında önemli bir yere sahip olmuştur. Asma (*Vitis vinifera* L.) dünyada oldukça geniş bir alanda yetiştirilmektedir. Üzüm; sofralık ve kurutmalık olarak tüketilmesinin yanı sıra şıra ve şarap gibi ürünlere işlenerek değerlendirilmektedir. Türkiye, sahip olduğu uygun ekolojik koşullar, zengin asma genetik kaynakları ve köklü bağcılık geçmişi sayesinde üzüm yetiştiriciliğinin yaygın olarak gerçekleştirildiği ülkeler arasında yer almaktadır (TAGEM, 2022b).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından Aralık 2025'te yayımlanan Bitkisel Üretim İstatistiklerine göre, Türkiye'de 2025

[1]Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, ORCID: 0000-0002-4023-7753
[2]Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, ORCID: 0000-0002-4637-5364

yılında toplam 2.515.152 ton üzüm üretilmiş olup bu miktar bir önceki yıla göre %27,5 oranında azalmıştır (TÜİK, 2025).

Türkiye'de üzüm üretiminde Ege Bölgesi ilk sırada yer almakta, bunu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri izlemektedir. Alan, üretim ve ihracat bakımından en büyük öneme sahip üzüm çeşidi Sultani Çekirdeksiz'dir (TAGEM, 2022b).

Zararlıların neden olduğu zararlar, bağ alanlarında bitki gelişimini olumsuz etkileyerek önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Bu nedenle zararlıların düzenli olarak izlenmesi ve uygun mücadele yöntemlerinin uygulanması sürdürülebilir bağcılık açısından büyük önem taşımaktadır (TAGEM, 2022a). Bağ alanlarında zarar oluşturan bazı zararlılar aşağıda ele alınmıştır.

***Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch, 1855)**

(Hemiptera: Phylloxeridae)

Bağ filokserası, *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) (Hemiptera: Phylloxeridae), stiletini bitki dokusuna sokarak parankima hücrelerinin içeriğiyle (parankima özsuyuyla) beslenir (Rispe et al., 2020; Wilmink et al., 2021). Floem özsuyuyla beslenen afitlerden farklı olarak (Rispe et al., 2020) filoksera larvaları floem iletim elemanlarını doğrudan delmez (Savoi et al., 2020).

Kök gallerinde gelişen larva dönemleri L2, L3 ve L4 olarak adlandırılır; ergin dönem yumurta bırakmanın başlamasıyla tanımlanır (Savoi et al., 2020). Birinci dönem (L1) nimfler hareketlidir; beslenme yerine yerleşen bireyler ise beslenmeye devam ederek sabit kalır (Savoi et al., 2020; Wilmink et al., 2021). Birinci dönem nimfler "crawler" olarak da adlandırılır (Rispe et al., 2020). Bireyler beslenme yerlerine yerleştikten sonra dört kez gömlek değiştirerek ergin olur (Wilmink et al., 2021).

Türün yapraklarda beslenen formu gallikol, köklerde beslenen formu radisikol olarak adlandırılır (Vidart et al., 2013; Rispe et al., 2020).

Bağ filokserası Kuzey Amerika kökenlidir ve Amerikan *Vitis* türleriyle birlikte evrimleşmiştir; bu türler zararlının yaprak ve kök saldırısına karşı farklı direnç stratejileri geliştirmiştir (Tello et al., 2019). Filoksera hem toprak altında köklerde hem de toprak üstünde yapraklarda beslenen yaşam evreleri geçirir (Rispe et al., 2020). Şarapçılıkta kullanılan Avrupa asması *Vitis vinifera* L.'de kök beslenmesi asma ölümüne yol açabilir (Rispe et al., 2020; Blacket et al., 2025).

Filoksera, floemle beslenen birçok afitten farklı olarak bilinen zorunlu bir bakteriyel endosimbiyont barındırmaz (Rispe et al., 2020; Li et al., 2023) ve parankima hücrelerinden beslenir (Rispe et al., 2020). Beslenme yerindeki dokular nişasta ve amino asit biriktiren hücrelere dönüşür; bu değişime uğramış parankima hücreleri böceğin gereksinim duyduğu temel amino asitleri içerir (Wilmink et al., 2021; Rispe et al., 2020). *V. vinifera* köklerinde filokseranın oluşturduğu nodozitelerde böcek, kök korteksinde yer alan bir beslenme noktasında beslenir (Kellow et al., 2004). Gal oluşturan böceklerin başarılı olabilmesi için hedef organın duyarlı olduğu dönemde bulunmaları gerekir; bu nedenle aktif olarak büyüyen bitki dokularını tercih ederler (Bauerle et al., 2007; Vidart et al., 2013). Kuvvetli gelişen bir asma, stres altındaki bir asmaya göre böceğe daha fazla yeni sürgün sağlayabilir (Vidart et al., 2013). Kaliforniya'da Napa Vadisi'nde Merlot çeşidiyle kurulmuş bir deneme bağında, hızlı büyüyen (1103P) ve daha yavaş büyüyen (101-14 Mgt) iki anaçta köklerdeki bulaşma büyüyen kök ucu sayısıyla orantılı bulunmuştur (Bauerle et al., 2007).

Eşeysiz dişiler köklerde (radisikoller) veya yapraklarda (gallikoller) beslenir (Rispe et al., 2020); bu döngü bir vejetasyon döneminde üç ila on kez yinelenebilir ve ergin başına 360'a kadar

yumurta bırakılabilir (Wilmink et al., 2021). Avrupa popülasyonlarında güçlü bir klonal yapı ve beklenenden düşük heterozigotluk saptanmıştır (Tello et al., 2019); Amerika kıtası dışındaki bölgelerde başlıca üreme biçimi partenogenetiktir (Blacket et al., 2025).

Hareketli birinci dönem nimfler aktif büyüyen sürgün uçlarında ya da köklerde yeni beslenme yerleri kurar (Rispe et al., 2020). Köklerde L1 nimfler kök uçlarını yoklayarak uygun konukçuyu ve beslenme yerini seçer (Savoi et al., 2020). Bulaşmadan sonraki günlere göre L2 dönemi 2–7, L3 dönemi 8–13, L4 dönemi ise 14 günden sonraya karşılık gelir (Savoi et al., 2020). Larvalar yıl boyunca köklerde, odunlaşmış köklerde oluşan tüberoziteler ile ince köklerin uçlarında oluşan nodoziteler olmak üzere iki gal tipinde beslenebilir (Wilmink et al., 2021). Uruguay'daki bağlarda (2004–2007) yaprak gallerinde dişilerin yumurtlaması ilk gallerin görülmesinden iki hafta sonra zirveye ulaşmış ve yumurtalar yaklaşık 7 gün sonra açılmaya başlamıştır (Vidart et al., 2013).

Radisikoller birinci dönem nimf olarak kışlayabilir. Uyarıcı koşullar altında ise bazı radisikollerden topraktan çıkarak kanatlı ergin (alat) evreye geçen bireyler oluşur; bu bireyler eşeyli dişi ya da erkek döller meydana getirir (Rispe et al., 2020). Uruguay'daki çalışmada gövde kabuğu (ritidom) başlıca kışlama yeri olarak kabul edilmiştir (Vidart et al., 2013). Eşeyli üremeden gelen tekil yumurta asma kabuğunda kışlar ve ilkbaharda açılır (Wilmink et al., 2021; Rispe et al., 2020). Filokseranın yaşam döngüsü, bulaşılan organa göre kökte ve yaprakta beslenen biçimler olarak da ayrılır (Wilmink et al., 2021). Filoksera, ince köklerin uçlarında nodozite, yaşlı ve odunlaşmış köklerde ise tüberozite adı verilen galler oluşturur (Wilmink et al., 2021). Nodozitenin gelişimi, beslenme yerinin distalindeki kök dokusunun şişmesiyle belirginleşir (Kellow et al., 2004).

Tüberoziteler, toprak kaynaklı patojenlerin bitkinin iletim sistemine girmesine olanak verir; nodoziteler ise genellikle ciddi zarara yol açmaz (Wilmink et al., 2021). Böceğin açtığı yaralar toprak kaynaklı fungal ve bakteriyel patojenler için giriş yeri oluşturabilir ve ikincil enfeksiyonlar kök nekrozuna yol açabilir (Savi et al., 2019; Rispe et al., 2020). Kuzey Doğu Victoria'daki bulaşık asma köklerinde kök nekrozu %26'ya kadar çıkmış ve nekroz fungal patojenlerin varlığıyla ilişkili bulunmuştur; en yaygın bulunan fungus *Fusarium oxysporum* olmuştur (Edwards et al., 2007). Filoksera beslenmesinin toprak kaynaklı mikroorganizmalarla ikincil kök enfeksiyonlarını kolaylaştırdığı da bildirilmektedir (Savoi et al., 2020). Kök galleri asmanın iletim sistemini tıkayarak yaprak yüzeyinde ve verimde ciddi kayıplara yol açabilir (Tello et al., 2019). Köklerdeki zarar toprak üstünde taç gelişiminin zayıflaması, yaprakların erken sararması ve salkım iriliğinin azalması şeklinde görülebilir (Savi et al., 2019); bulaşık köklerde kök nekrozu da gelişebilir (Edwards et al., 2007).

V. vinifera çeşitlerinin Amerikan *Vitis* türlerinden türetilmiş dayanıklı anaçlar üzerine aşılanması, filoksera ile mücadelede başlıca yöntemler arasında yer almaktadır (Blacket et al., 2025). *V. vinifera* yapraklarındaki beslenme ise asmanın verimliliğini düşürebilmektedir (Blacket et al., 2025).

Kuzey Amerika'ya özgü *Vitis* türlerinde filoksera yapraklarda gal oluşturur, köklerde ise belirgin zarar yapmadan beslenir (Vidart et al., 2013). *V. vinifera* çeşitlerinde kök formları, Amerika kökenli *Vitis* türlerinde ise yaprak formları baskındır (Vidart et al., 2013; Rispe et al., 2020). Kültür asmalarının (*V. vinifera*) yapraklarında belirtiler nadiren görülür (Rispe et al., 2020); bununla birlikte gallikol form *V. vinifera* yapraklarına da saldırabilir ve bazı yeni bağlarda çok yüksek yoğunluklara ulaşabilmektedir (Vidart et al., 2013). *Vitis* türlerinde stomaların normalde bulunmadığı yaprak üst yüzeyinde, filoksera beslenmesi böceğin

yakınında stoma oluşumunu uyarır (Nabity et al., 2013). Saksı denemelerinde kuraklık stresi altındaki asmalarda kök bulaşması iyi sulanan asmalara göre daha yüksek bulunmuştur; ancak sulanan asmalarda gal yoğunluğunun daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar da vardır (Savi et al., 2019).

Filokseranın kazara Avrupa'ya taşınmasının ardından kök formları Avrupa asmasını (*V. vinifera*) önce Fransa'da, ardından kıtanın genelinde tahrip etmiştir (Vidart et al., 2013). 1860'ların başında Avrupa bağlarında ortaya çıkışı çok sayıda bağın yıkımına ve Avrupa şarap üretimi ile ticaretinde derin bir krize yol açmıştır (Tello et al., 2019). Kısmen *V. vinifera* kökenli melez anaç AXR#1 (Ganzin), Fransa, İtalya, Güney Afrika ve en son Kaliforniya'da filokseraya karşı başarısız olmuştur (Chandel et al., 2022).

***Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775)**

(Lepidoptera: Tortricidae)

Ergin güve dinlenme hâlinde yaklaşık 6 mm uzunluğundadır; kanat açıklığı 11–13 mm'dir. Ön kanatları alacalı, mermerimsi desenlidir. Dişinin abdomeni dış hat bakımından daha dışbükey görünür. Erginin büyüklüğü larva dönemindeki beslenmeden etkilenir (Benelli et al., 2023a).

Yumurta eliptik, yassı-dışbükey ve hafif eliptiktir; 0,65– 0,90 mm uzunluğunda ve 0,45–0,75 mm genişliğindedir. Yeni bırakıldığında açık saman sarısı görünür; embriyo geliştikçe saydam açık gri ve parlak yansımalı hâle gelir, gelişimin sonunda larvanın siyah başının bulunduğu tarafta koyulaşır (Benelli et al., 2023a).

Yeni çıkan larva yaklaşık 1 mm uzunluğunda, siyahımsı başlı ve krem beyazı gövdelidir. Olgun larva genellikle beşinci, bazen altıncı larva dönemindedir ve 8–15 mm uzunluğa ulaşır; başı ela-kahverengi, kimi bireylerde yeşil veya gri tonludur (Benelli et al., 2023a). Larvanın beş ya da altı dönem geçirmesi fotoperiyot ve

sıcaklığa bağlıdır (Corsi et al., 2025). Gövde üzerindeki kıllı alanlar çevre deriden daha açık renktedir. Larva dönemlerinin ayrımında baş kapsülü genişliğinden yararlanılır (Benelli et al., 2023a).

Pupa 4–6 mm uzunluğundadır; başlangıçta yeşilimsi, olgunlaşırken koyu kahverengidir. İpek ipliklerden oluşan, iğ biçimli ve esnek bir kokon içinde bulunur. Dişi pupalar genellikle erkek pupalardan büyüktür; erkek pupalar daha ince yapılıdır ve iki eşey pupada genital taslakların konumuyla da ayırt edilebilir (Benelli et al., 2023a).

Bağ, türün tercih ettiği kültür bitkisidir; bununla birlikte tür 40'tan fazla konukçuda beslenebilen polifag bir zararlıdır (Benelli et al., 2023a; Kaçar & Özdemir, 2015). Bildirilen kültür konukçuları arasında bektaşi üzümü (*Ribes uva-crispa*), siyah frenk üzümü (*Ribes nigrum*), kiraz, erik, trabzon hurması, nar, kivi ve zeytin bulunur (Benelli et al., 2023a). Yabani konukçuların başında *Daphne gnidium* gelir ve bu bitki türün doğal (orijinal) yabani konukçusu olarak kabul edilmektedir (Pérez-Aparicio et al., 2019; Di Giovanni et al., 2022; Benelli et al., 2023a); ancak bunu doğrudan gösteren bilimsel kanıt bulunmamaktadır (Benelli et al., 2023a).

Türün kışlaması diyapozdaki pupa döneminde gerçekleşir. Diyapoza giren larvalar bağ bitkilerinin kabuk altında veya bağ direklerindeki yarıklarda pupa olur; kışlayan kokonlar asma kabuğunun altında kolaylıkla bulunabilmektedir (Benelli et al., 2023a; Di Giovanni et al., 2022). Gelişme süresi ve döl sayısı bölgenin sıcaklığına ve gün uzunluğuna bağlıdır (Benelli et al., 2023a).

Erginlerin uçuş, çiftleşme ve yumurta bırakma etkinliği çoğunlukla gün batımı çevresinde yoğunlaşır (Benelli et al., 2023a); erkeklerin uçuş etkinliği alacakaranlıktan gece yarısına kadar süren dönemde gerçekleşmektedir (Benelli et al., 2023b). Dişiler genellikle çiftleşmeden 1–3 gün sonra yumurta bırakmaya başlar. İlk

döl yumurtaları çoğunlukla çiçek durumunun brakteleri ve çiçek tomurcuklarına tek tek, daha seyrek olarak 2–3'lü gruplar hâlinde bırakılır; yumurtalar yaklaşık 7–10 günde açılır. İlk dölde larva dönemi bağda 20–28 gün sürer. Yumurta gelişimi ve dişi verimi yaklaşık 22 °C'de en yüksek düzeye ulaşır (Benelli et al., 2023a).

İkinci döl erginleri genellikle haziran sonlarında çıkmaya başlar; dişiler yumurtalarını yeşil tanelere bırakır. Bu dölün olgun larvaları temmuz ortasında salkımlarda, yapraklarda veya toprakta pupa olur. Üçüncü döl uçuşu çoğunlukla temmuz sonu–ağustos başında başlar ve yumurtalar ben düşme dönemindeki tanelere bırakılır; larvalar ağustos ve eylül boyunca gelişebilir (Benelli et al., 2023a).

Türkiye'deki çalışmalarda döl sayısının bölgeye göre değiştiği görülmektedir. Mardin'in Midyat ilçesinde, yörede en yaygın üzüm olan Mazruni çeşidinin yetiştirildiği bağlarda 2014–2015 yıllarında feromon tuzaklarıyla yapılan izlemede erginler ilk olarak nisan başında yakalanmış, yılda üç döl ve bağlarda yaklaşık yedi aylık etkinlik kaydedilmiş; kışlamaya giriş ekim sonu–kasım başı olarak belirlenmiştir (Argış et al., 2023). Ankara'da Kalecik karası bağlarında 2013–2014 yıllarında yürütülen çalışmada ise ilk erginler nisanda yakalanmış, yılda iki döl ve yaklaşık altı aylık ergin etkinliği belirlenmiştir (Özdem et al., 2022). Hatay'ın Reyhanlı ilçesinde on üzüm çeşidinde 2016 ve 2017 yıllarında yapılan izlemede ergin yakalamaları 2016'da 27 nisan–24 ağustos, 2017'de 5 mayıs–4 ağustos arasında kaydedilmiştir (Demirel, 2025).

Salkım güvesi, Avrupa bağlarında ekonomik açıdan en önemli zararlılar arasında sayılır ve üzüm verimi üzerinde ciddi etkiye sahiptir; dünya bağcılığı için ekonomik açıdan en zararlı böceklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Benelli et al., 2023a; Debat et al., 2025). Larva zararı verim ve kalite kayıplarına yol açar; kalite kayıpları salkım çürüklüklerinin yayılmasıyla ilişkilidir (Pavan et al., 2026).

İlk döl larvaları çiçek durumlarında beslenir; bu dönem antofag (çiçekle beslenen) dönemdir. Çiçek tomurcuklarının içine girerek başlıca erkek ve dişi üreme organlarını tüketir; daha sonra ipek iplikleriyle birden fazla tomurcuğu bir araya getirip ağsı bir yuva (glomerül) oluşturabilir. Bu beslenme çiçeklerin zarar görmesine yol açar (Benelli et al., 2023a; Corsi et al., 2025).

İkinci ve sonraki döl larvaları karpofag (meyveyle beslenen) dönemdedir. İkinci döl larvaları önce korukların yüzeyinde beslenir, ardından genellikle tane sapı çevresinden veya birbirine değen tanelerin arasından meyve içine girerek pulpada ilerler. Bir larva birden fazla taneye zarar verebilir; zarar gören taneler önce morarıp sonra koyu kahverengiye döner ve üzerlerinde dışkı ile ipek iplikleri görülebilir (Benelli et al., 2023a).

Üçüncü döl larvaları olgunlaşan tanelerde çoğunlukla kabuk kısmında beslenir; tür en büyük zararı yeşil ve olgunlaşan salkımlarda beslenen ikinci ve üçüncü döllerde vermektedir (Benelli et al., 2023a; Benelli et al., 2023b). Larva beslenmesiyle zarar gören taneler uygun koşullarda başta *Botrytis cinerea* olmak üzere mantarların kolonizasyonuna açık hâle gelir; kurşuni küf (gri çürüklük) ürünün kalitesinde ve miktarında ciddi kayıplara yol açabilir (Benelli et al., 2023a; Corsi et al., 2025; Debat et al., 2025). Benelli et al. (2023a) ayrıca zarar gören tanelerin *Aspergillus* türlerince de kolonize edilebildiğini; üçüncü dölün zarar verdiği tanelerden damlayan şekerli özün fermantasyonunun sirke sineklerini (*Drosophila* spp.) çektiğini ve bu sineklerin larvalarının ikincil bakteriyel ekşi çürüklüğü kolaylaştırdığını bildirmektedir.

Salkımları daha sık olan çeşitlerde larva yaşamı ve zarar düzeyi genellikle daha yüksektir (Benelli et al., 2023a). Orta İtalya'da yürütülen bir karşılaştırmada salkım yoğunluğu ve salkım sıkılığı daha düşük olan Petit Verdot, Sangiovese'ye göre anlamlı biçimde daha az bulaşık bulunmuş; yazarlar bu farkın salkım yoğunluğundan kaynaklanabileceğini öne sürmüştür (Corsi et al.,

2025). Gaziantep'in Körkün kasabasında altı sofralık üzüm çeşidinde (Trakya İlkeren, Hönüsü, Ata Sarısı, Barış, Yalova İncisi ve Italia) yapılan çalışmada zarar en fazla Italia, en az Ata Sarısı çeşidinde saptanmış; ancak çeşitler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Aslan & Candan, 2018).

Türkiye'de ergin popülasyonunun bulunmasına karşın hasatta zarar saptanmayan bağlar da bildirilmiştir. Ankara'daki Kalecik karası bağlarında iki yıl boyunca hasatta tanelerde yumurta, larva veya zarar görülmemiş ve bu bağlarda kimyasal mücadeleye gerek olmadığı sonucuna varılmıştır (Özdem et al., 2022). Hatay Reyhanlı'daki bağlarda da ergin varlığına karşın hasatta zarar kaydedilmemiştir; ancak bu durumun, bağlarda salkım güvesine ve diğer bağ zararlılarına yönelik olarak sürdürülen sürekli ve yoğun zararlı yönetimi programlarına bağlanmıştır (Demirel, 2025).

***Arboridia adanae* (Dlabola, 1957)**

(Hemiptera: Cicadellidae)

Erginlerin vücut uzunluğu dişilerde 2,6–3,1 mm, erkeklerde 2,4–2,9 mm'dir. Sırt yüzü açık sarıdan koyu sarıya değişir; ön kanatlar boyunca turuncu çizgiler uzanır, tergitler koyu kahverengidir. Scutellum üzerinde üç, vertex üzerinde iki koyu leke, pronotumun ön tarafında ise daha küçük koyu işaretler bulunur. Karın altı görünümünde bacaklar açık sarı, sternitler koyu kahverengidir; postclypeus'un her iki yanında birbirine paralel iki kahverengi çizgi uzanır (Piccinno et al., 2024).

Türkiye'den (Elazığ) incelenen örneklerin hepsinde değil bir bölümünde, vertex'ten anteclypeus'a uzanan parlak kırmızı, genişlemiş bir şerit ve bunun iki yanında beyazımsı lekeler görülmüştür; Türkiye örnekleri belirgin bir renk polimorfizmi sergilemektedir. Yazarlar bu renk farklılığının belirgin bir genetik ya da morfolojik farkla ilişkili olmadığını, böceğin fenolojisiyle ilgili olabileceğini belirtmiştir (Piccinno et al., 2024).

Erkek genital yapısında stilusların uçları genişlemiştir; kısa bir ventral çıkıntı ile uzun, kıvrık ve sivri bir dorsal uzantı taşır. Aedeagus yandan bakıldığında belirgin biçimde kıvrık ve uca doğru incelmiştir ve ucunda uzun bir distal lob bulunur; ventral görünümde simetrik ve düzdür, tabanında belirgin V biçimli çıkıntılar yer alır. Konnektif aedeagusla kaynaşmıştır. Subgenital plakalarda 4–6 makroseta ve çok sayıda kısa kıl yer alır. Türkiye, Apulia (İtalya) ve Dalmaçya (Hırvatistan) popülasyonları arasında bu karakterler bakımından önemli fark bulunmamıştır (Piccinno et al., 2024). Nimf gelişimi beş dönemden oluşur (Bahadıroğlu & Avgın, 2003; Özgen et al., 2009c).

Kahramanmaraş'ta 2001–2002 yıllarında yürütülen çalışmada erginlerin bağ kenarında kışladığı bildirilmiştir. Bununla birlikte sonbahar ve ilkbahar aramalarında yaprak döküntüsü, taş ve kabuk altı ile kök boğazında kışlayan bireye rastlanmamış; ilkbaharda erginlere en kenardaki asmalarda rastlanmıştır. Kışlama süresi 600 m rakımdaki Üngüt'te yaklaşık 157 ± 4 gün, 1100 m rakımdaki Bertiz'de 190 ± 6 gün olarak belirlenmiş ve aradaki fark başlıca rakıma bağlanmıştır: Üngüt'te böcek 15 Kasım'dan sonra kışlamaya girip 22 Nisan'dan sonra ortaya çıkmış, Bertiz'de ise 20 Ekim'de kışlamaya girip nisan sonu–mayıs başında kışlağı terk etmiştir. Erginler sıcaklık 14 °C'nin ve bağıl nem %50'nin üzerine çıktığında kışlaktan çıkmış, çiftleşmeden önce 18–20 gün beslenmiştir (Bahadıroğlu & Avgın, 2003).

Aynı çalışmada bir dölün iklim koşullarına bağlı olarak 15–16 günde tamamlandığı ve Kahramanmaraş'ta saksıda yetiştirilen asmalarda yılda üç döl verdiği belirlenmiştir; çalışmada aktarılan literatüre göre Gaziantep'te üç, Adana'da dört döl bildirilmiştir. Ergin ömrü erkeklerde 43,00 ± 4,61 gün, dişilerde 32,95 ± 1,27 gün olarak saptanmıştır (Bahadıroğlu & Avgın, 2003).

Dişiler yumurta koyma borularını yaprağın alt yüzünde epidermis altına sokarak yumurta bırakır. Kahramanmaraş

popülasyonunda bir dişinin ömrü boyunca 95–177 yumurta bıraktığı belirlenmiştir. Nimf dönemlerinin gömlek değiştirme süreleri sırasıyla 2–3, 2–3, 2–4, 2–4 ve 3 gün olarak saptanmıştır (Bahadıroğlu & Avgın, 2003). Özgen et al. (2009c) ise literatüre dayanarak türün yumurtalarını yaprak dokusuna ve damarlarına bırakarak yapraklara zarar verdiğini aktarmıştır.

Öküzgözü asma çeşidi üzerinde 25 ± 1 °C ve 30 ± 1 °C sıcaklık, 16:8 saat aydınlık:karanlık ve %65 nem koşullarındaki iklim odalarında yürütülen denemede yumurtaların açılması 25 °C'de ortalama 13,30 gün, 30 °C'de 8,51 gün sürmüştür. Birinci–beşinci nimf dönemlerinin ortalama süreleri 25 °C'de sırasıyla 2,38; 2,44; 2,22; 1,50 ve 2,38 gün, 30 °C'de 1,44; 1,38; 2,11; 1,22 ve 1,27 gün olmuştur. Yumurtadan ergine gelişme 25 °C'de ortalama 24,22 gün (21–28), 30 °C'de 15,93 gün (14–21) sürmüş; ergin olma süresi 30 °C'de 25 °C'ye göre 8,29 gün kısalmıştır. Ölümler yalnızca yumurta ve birinci nimf dönemlerinde görülmüş; 25 °C'de yumurtalarda %12,33, birinci nimflerde %10, 30 °C'de sırasıyla %12,90 ve %10 olarak kaydedilmiştir (Özgen et al., 2009c).

Türkiye'nin farklı illerinden (Adana, Ankara, Denizli, Diyarbakır, Gaziantep, Kayseri, Nevşehir ve Niğde) toplanan 223 örneğin kayıtları mayıstan ekime kadar uzanır; popülasyonun özellikle temmuz ayında arttığı bildirilmiştir. Türün konukçusu asma (*Vitis vinifera*) olarak verilmiş ve Türkiye'nin büyük bölümünde yaygın olduğu belirtilmiştir (Lodos & Kalkandelen, 1984). Daha sonraki bir faunistik derlemede türün dünyadaki yayılışı İsrail ve Türkiye, Türkiye'deki yayılışı ise Adıyaman, Ankara, Çankırı, Diyarbakır, Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Konya, Mardin, Nevşehir, Siirt, Sivas, Şanlıurfa ve Yozgat olarak verilmiştir (Özgen & Karsavuran, 2009b). Tür monofag olarak nitelendirilmekte ve mücadele edilmediğinde Türkiye'deki bağ alanlarında ciddi sorun oluşturabileceği belirtilmektedir (Lodos, 1982; Sertkaya et al., 2008).

Diyarbakır, Elazığ ve Mardin bağlarında yapılan sürveyde *A. adanae* tüm bağ alanlarında yoğun ve yaygın olarak belirlenmiş; toplanan örneklerin tarihleri 4 Mayıs 2006 ile 5 Ekim 2007 arasında yer almıştır. Sürveyde toplanan 50 örneğin dışında, popülasyon değişiminin izlendiği bağ alanlarında toplam 80.875 *A. adanae* bireyi saptanmıştır (Özgen & Karsavuran, 2009b).

Kahramanmaraş Üngüt'te yapılan sayımlarda nimf ve erginler mayıs ortasından eylül sonuna kadar görülmüş; ergin sayısı 9 Temmuz'da 50 bitkide 31 bireye ulaşmış, en yüksek düzeye ise ağustos sonunda 50 bitkide 34 ergin ve 167 nimf ile çıkmıştır. İlkbaharda toplanan 156 erginin 105'i dişi, 51'i erkektir (Bahadıroğlu & Avgın, 2003).

Diyarbakır merkezde bir araştırma enstitüsüne ait koleksiyon bağında 2006–2007 yıllarında Öküzgözü, Boğazkere, Şire (Şirelik), Malatya Karası ve Çiloreş çeşitlerinde ergin ve nimfler, her çeşitten 10 bitkinin alt (0–50 cm), orta (51–100 cm) ve üst (101–150 cm) yapraklarında haftalık olarak sayılmıştır. Beş çeşidin tümünde ergin ve nimfler alt yapraklarda daha yoğun bulunmuş, üst yapraklara doğru yoğunluk azalmıştır. Nimflerin bağıl nemin daha yüksek olduğu alt yapraklara yöneldiğini belirtmişlerdir (Özgen & Karsavuran, 2009a).

Ergin ve nimfler yaprağın alt yüzünde bitki özsuyunu emerek beslenir; nimfler daha çok damarlara yakın bölgelerde beslenir. Beslenme sonucunda yaprağın üst yüzünde beyaz, düzensiz lekeler oluşur; bu lekeler birleşip kahverengileşir, yapraklar kuruyarak dökülür (Bahadıroğlu & Avgın, 2003). Lodos & Kalkandelen (1984), türü çalışmalarında ele aldıkları türler içinde ekonomik açıdan en önemlisi olarak nitelendirmiştir. Aynı çalışmada beslenme yapraklarda beyaz lekelere yol açmakta, bulaşma yoğun olduğunda yapraklar kuruyup erken dökülmekte ve bu durum üzümde ekonomik kayba neden olduğunu ve. İren (1976), 1970 yılında

Kırıkkale (Ankara) ve İncesu'da (Kayseri) ciddi beslenme zararı kaydetmiştir

Özgen et al. (2009c), türün genç sürgün ve özellikle yapraklarda beslendiğini belirtmiş; literatüre dayanarak böceğin emgi yaptığı yerlere toksik madde salgılayarak iletim demetlerini tıkayabildiğini ve bitkinin fizyolojik düzenini bozduğunu aktarmıştır. Aynı çalışmada zarar belirtilerinin çoğu kez fark edilemediği ve hastalıklar, besin elementi eksikliği ya da kırmızı örümcek zararı ile karıştırılabildiği vurgulanmaktadır.

Doğu ve Güneydoğu Anadolu bağlarında *A. adanae* ikinci derecede öneme sahip zararlılar arasında yer almakta, zaman zaman ekonomik zarar eşiğinin üzerine çıkarak önemli zararlara neden olmaktadır (Anonymous, 2004'ten aktaran Özgen & Karsavuran, 2009b).

Hasat döneminde zarar gören yaprak alanı oranına dayanan bir skalayla yapılan değerlendirmede beş çeşidin tümünde zarar alt yapraklarda en yüksek, üst yapraklarda en düşük düzeyde bulunmuştur. 2006'da alt yapraklardaki zarar Öküzgözü (ortalama 4,48) ve Boğazkere (4,36) çeşitlerinde en yüksek olmuş ve bu iki çeşit istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır; diğer çeşitlerde değerler yaklaşık 3,20–3,44 arasında kalmıştır. 2007'de alt ve orta yapraklardaki zarar bakımından çeşitler istatistiksel olarak benzer bulunmuş, üst yapraklardaki zarar ise çeşitler arasında farklılık göstermiştir. Telle desteklenen asmalarda budamadan sonra alt yaprakların daha fazla kalmasının alt yapraklardaki zararı artırmış olabileceğini belirtmiş; kimyasal mücadelede hedef böceğin dikey dağılımının (alt > orta > üst yaprak) gözetilmesi gerektiğini ve yumurta parazitoitlerinin çeşit tercihine göre önem taşıyabileceğini değerlendirmiştir (Özgen & Karsavuran, 2009a).

Hatay'da yaprak kıvırcıklığı belirtisi gösteren 'Antep karası' asmalarından elde edilen virüs kaynaklarıyla yapılan kalıcı olmayan

(non-persistent) taşıma denemelerinde *A. adanae*, asma yaprak kıvırcıklık virüsleri GLRaV-1 ve GLRaV-3'ü taşımamıştır. Kalıcı (persistent) taşıma denemelerinde olumlu sonuç yalnızca *Planococcus citri* ile ve GLRaV-3 için alınmış; bulaşma oranı ergin bireylerle %13,3, nimf gruplarıyla %35,0 olarak verilmiştir. Virüsle bulaşık asmalarda en belirgin belirti yaprak kızarması olmuştur (Sertkaya et al., 2008).

***Belothrips vitis* (Priesner, 1933)**

(Thysanoptera: Thripidae)

Tür, Priesner (1933) tarafından *Anaphothrips vitis* adıyla tanımlanmış, daha sonra *Rubiothrips* cinsine aktarılmıştır (Akbarzadeh Shoukat & Shayesteh, 2006). Mirab-balou et al. (2025b) *Rubiothrips* cinsini *Belothrips* cinsinin sinonimi yaptığından türün güncel adı *Belothrips vitis* (Priesner, 1933) olmuştur. Bu bölümde aktarılan çalışmalar türü *Rubiothrips vitis* adıyla ele aldığından, kaynaklarla tutarlılık için metinde bu ad (*R. vitis*) korunmuştur.

Ergin dişi. Vücut esas olarak sarıdır; abdomen tergitleri I–VII üzerinde orta bölgede, tergit yüzeyinin ortadaki üçte birini aşmayan kahverengi benekler bulunur. Antenler sekiz segmentlidir; I. segment başla aynı renkte, II. segment kahverengimsi sarı, III–V. segmentlerin tabanları daha soluk, VI–VIII. segmentler koyu kahverengidir. Ön kanatlar hafif gölgelidir (Mirab-balou, 2025a). Cins tanısında ağız konisi orta uzunlukta ve maksiller palpler üç segmentli; antenin III. ve IV . segmentlerinin her birinde çatallı birer duyu konisi bulunur (Mirab-balou et al., 2025b). Tür tanısında dişi ergin 0,9–1,0 mm uzunluğunda, açık sarı renkli, sekiz segmentli antenli ve turuncu nokta gözlü olarak verilmektedir (Blunck, 1958'den aktaran Atakan & Teke, 2022, s. 445).

Erkekler dişilerden küçüktür; boyları 0,80–0,90 mm (ortalama 0,88 mm) arasındadır. Erkeklerde iyi gelişmiş kanatlı

(makropter) ve kısa, yastıkçık biçiminde kanatlı (brakipter) olmak üzere iki kanat formu görülür (Akbarzadeh Shoukat & Shayesteh, 2006).

Ayırıcı karakterler. *R. vitis*, yakın tür *R. sordidus*'tan tergitlerdeki kahverengi beneklerin daha küçük olması ve baş kenarının başın geri kalanı kadar soluk olmasıyla ayrılır (Mirab-balou, 2025a).

Tür asmaya özelleşmiş thrips türleri arasında sayılmaktadır (Özsemerci et al., 2011) ve konukçusu olarak *Vitis vinifera* L. bildirilmiştir. Dünyada İran, İsrail ve Romanya ile Türkiye'den kaydı vardır; Türkiye'de Antalya, Aydın, İzmir, Manisa ve Mardin kayıtlarına ek olarak Mersin bağlarında da saptanmıştır (Atakan& Teke,2022). Manisa'da 2003–2005 yıllarında 41 bağda yürütülen sürveyde *R. vitis* toplam thrips bireylerinin %34,4'ünü oluşturan en yaygın tür olmuş, erken sezonda (nisan) saptanan tek tür olarak kaydedilmiş, nisandan sonra azalarak mayıstan sonra çok seyrekleşmiş ve meyve oluşumuyla önemsiz düzeylere inmiştir; aynı çalışmada bağdaki en yüksek thrips yoğunluklarının gözlerin uyanması ve erken sürgün gelişmesi döneminde elde edildiği ve *R. vitis*'in yaprak ve sürgünlerde en bol türler arasında yer aldığı bildirilmiştir (Özsemerci et al., 2011). Manisa'da yapılan ilçe sürveyinde tür en yoğun bulunan fitofag türler arasında yer almış; Akhisar ve Gölmarmara dışındaki ilçelerde en yoğun saptanan tür olmuştur. Aynı çalışmanın 2003 yılı verilerine dayanan ilçe dağılımında tür en yoğun Ahmetli ilçesinde belirlenmiştir. Alaşehir, Ahmetli ve Merkez ilçeleri tür sayısı ve yoğunluğu bakımından en bulaşık ilçeler olarak belirlenmiştir (Özsemerci et al., 2006). Mardin'de 2012–2013 yıllarında 8 ilçede 22 bağda yürütülen sürveyde tür Mazıdağı, Ömerli ve Midyat'ta düşük yoğunlukta, nisan, mayıs ve haziran aylarında saptanmış; toplam 43 bireyle tüm thrips bireylerinin %2,73'ünü oluşturmuş ve Mardin bağ alanları için ilk kez bu çalışmayla kaydedilmiştir (Kaplan et al., 2016).

Tarsus ve Mut'taki 2019 sürveyinde ergin ve larvalar bağların meyve döneminde görece yüksek sayıda toplanmış ve türün bu kritik fenolojik dönemde ürediği belirtilmiştir (Atakan & Teke, 2022). Mersin'in Mut ve Tarsus ilçelerinde 2019'da yapılan sürveyde 14 thrips türü belirlenmiş; *R. vitis* toplanan erginlerin yaklaşık %56'sını oluşturarak birinci, *Mycterothrips tschirkunae* %23 ile ikinci sırada yer almış ve erginlerin %88'i meyveden toplanmıştır. Popülasyon yoğunluğu olgun meyve dönemiyle çakışmıştır. Hacıahmetli bağında tür ilk kez 25 haziranda (ham meyve başına 0,53 birey) görülmüş ve 23 temmuzda en yüksek yoğunluğa (0,60) ulaşmış; Bağcağız bağında 18 haziranda ilk kez görülmüş ve 10 eylülde olgun meyve başına 0,36 bireyle en yüksek düzeye çıkmıştır (Teke&Atakan, 2022).

Tür göz içindeki henüz açılmamış yapraklarla beslendiğinde yapraklarda buruşma ve şekil bozukluğu oluşur; bu dokular daha sonra nekroze olur ve yaprakta deliklere dönüşür. Manisa'daki Sultani Çekirdeksiz bağlarında bu zarar, incelenen thrips türleri arasında en ciddi zarar olarak belirlenmiştir (Özsemerci et al., 2011).

Mardin bağlarında türün gözlerde, genç yapraklarda, sürgünlerde ve çiçeklerde özsu emerek beslendiği gözlenmiştir (Kaplan et al., 2016). Aynı çalışmada tür önce genç yapraklarda beslenmiş, çiçeklenme döneminde çiçeklere geçerek çiçeklerin dökülmesine yol açmış, çiçeklenmeden sonra yeniden yapraklara dönmüş ve en fazla zararı mayıs–haziran aylarında oluşturmuştur (Zinca, 1964'ten aktaran Kaplan et al., 2016). Tarsus ve Mut'ta da ham ve olgun tanelerde thrips zararı gözlenmiş;, Türkiye'de bağlarda thrips zararına hangi türlerin neden olduğuna ilişkin bilginin yetersiz olduğunu belirterek bölgede belirlenen türlerin ekonomik önemine ilişkin daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim olduğunu belirtmişlerdir (Atakan&Teke, 2022).

Kaynakça

Akbarzadeh Shoukat, G., & Shayesteh, N. (2006). Thrips species found in West Azarbaijan (Orumieh) vineyards, and seasonal abundance of the predominant species (*Rubiothrips vitis*). Journal of Agricultural Science and Technology, 8, 133–139. https://jast.modares.ac.ir/article_15467_204e8ec7bc7abc1ff3934d44157fd691.pdf

Argış, F., Rişvanlı, M. R., & Atlıhan, R. (2023). Adult population dynamics of the European grapevine moth [*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller (Lepidoptera: Tortricidae)] in Midyat vineyards. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28 (3), 1155–1163. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1245314

Aslan, M. M., & Candan, G. (2018). Farklı üzüm çeşitlerinde salkım güvesi *Lobesia botrana* (Denis et Schiffermüller)'nın zarar durumunun belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 21(4), 482–488. https://doi.org/10.18016/ksudobil.349828

Atakan, E., & Teke, İ. (2022). Detection of thrips (Thysanoptera) species in vineyards in Tarsus and Mut districts of Mersin Province, Türkiye. International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 6 (3), 442–450. https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.3.14

Bahadıroğlu, C., & Avgın, S. (2003). Kahramanmaraş ilinde bağlara zarar veren benzerkanatlı (Homoptera) böcek türlerinin dağılımı ve bazı biyolojik özellikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (2), 14–23. https://dergipark.org.tr/en/pub/baunfbed/article/261836

Bauerle, T. L., Eissenstat, D. M., Granett, J., Gardner, D. M., & Smart, D. R. (2007). Consequences of insect herbivory on grape fine root systems with different growth rates. Plant, Cell and

Environment, 30 , 786–795. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01665.x

Benelli, G., Lucchi, A., Anfora, G., Bagnoli, B., Botton, M., Campos-Herrera, R., Carlos, C., Daugherty, M. P., Gemeno, C., Harari, A. R., Hoffmann, C., Ioriatti, C., López Plantey, R. J., Reineke, A., Ricciardi, R., Roditakis, E., Simmons, G. S., Tay, W. T., Torres-Vila, L. M., . . . Thiéry, D. (2023a). European grapevine moth, *Lobesia botrana* Part I: Biology and ecology. Entomologia Generalis, 43(2), 261–280. https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/1837

Benelli, G., Ricciardi, R., Cosci, F., Iodice, A., Ladurner, E., Savino, F., & Lucchi, A. (2023b). Sex pheromone aerosol emitters for *Lobesia botrana* mating disruption in Italian vineyards. Insects, 14 (3), Article 270. https://doi.org/10.3390/insects14030270

Blacket, M. J., Piper, A. M., Hoffmann, A. A., Cunningham, J. P., & Valenzuela, I. (2025). Bridging the gap between platforms: Comparing grape phylloxera *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) microsatellite allele size and DNA sequence variation. Insects, 16 (2), Article 230. https://doi.org/10.3390/insects16020230

Chandel, A. K., Moyer, M. M., Keller, M., Khot, L. R., & Hoheisel, G. A. (2022). Soil and climate geographic information system data-derived risk mapping for grape phylloxera in Washington State. Frontiers in Plant Science, 13 , Article 827393. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.827393

Corsi, L., Sperandio, G., Ruschioni, S., Ramilli, F., Lattanzi, T., Silvestroni, O., Isidoro, N., & Riolo, P. (2025). *Lobesia botrana* infestation in Petit Verdot and Sangiovese: A comparative study. Insects, 16 (2), Article 213. https://doi.org/10.3390/insects16020213

Debat, H., Gomez-Talquenca, S., & Bejerman, N. (2025). RNA virus discovery sheds light on the virome of a major vineyard pest, the

European grapevine moth (*Lobesia botrana*). Viruses, 17(1), Article 95. https://doi.org/10.3390/v17010095

Demirel, N. (2025). Seasonal flight dynamics of *Lobesia botrana* across grape cultivars in Hatay: Strategies for integrated pest management. Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology, 13 (s2), 3612–3623. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13is2.3612-3623.8233

Di Giovanni, F., Ricciardi, R., Loni, A., Scaramozzino, P. L., Benelli, G., & Lucchi, A. (2022). Back to the wild: The parasitoid community of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in a grapevine-free natural habitat. Insects, 13(7), Article 627. https://doi.org/10.3390/insects13070627

Edwards, J., Norng, S., Powell, K. S., & Granett, J. (2007). Relationships between grape phylloxera abundance, fungal interactions and grapevine decline. Acta Horticulturae, 733, 151–157. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.733.16

Kaçar, G., & Özdemir, M. (2015). Doğu Akdeniz Bölgesi zeytinlerinde iki yeni lepidopter, Gymnoscelis rufifasciata (Haworth) (Geometridae) ve *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Tortricidae)'nın yayılışı, zararı ve kısa biyolojisi üzerine gözlemler. Bitki Koruma Bülteni, 55 (4), 253–264. https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitkorb/article/563687

Kaplan, M., Bayhan, E., & Atakan, E. (2016). Mardin ili bağ alanlarındaki Thysanoptera türleri, mevsimsel yoğunlukları ve yayılış alanlarının belirlenmesi. Türkiye Entomoloji Bülteni, 6(2), 161–168. https://doi.org/10.16969/teb.03520

Kellow, A. V., Sedgley, M., & Van Heeswijck, R. (2004). Interaction between *Vitis vinifera* and grape phylloxera: Changes in root tissue during nodosity formation. Annals of Botany, 93, 581– 590. https://doi.org/10.1093/aob/mch082

Li, Z., Xue, A. Z., Maeda, G. P., Li, Y., Nabity, P. D., & Moran, N. A. (2023). Phylloxera and aphids show distinct features of genome evolution despite similar reproductive modes. Molecular Biology and Evolution, 40 (12), Article msad271. https://doi.org/10.1093/molbev/msad271

Lodos, N. (1982). Türkiye entomolojisi II: Genel, uygulamalı ve faunistik (Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 429). Ege Üniversitesi Matbaası.

Lodos, N., & Kalkandelen, A. (1984). Preliminary list of Auchenorrhyncha with notes on distribution and importance of species in Turkey. XV . Family Cicadellidae: Typhlocybinae: Erythroneurini (Part I). Türkiye Bitki Koruma Dergisi, 8 , 159–168. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/64373

Mirab-balou, M. (2025a). *Rubiothrips* Schliephake, a newly recorded genus of Thripinae from China (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Entomological Society of Iran, 45(1), 139–144. https://doi.org/10.61186/jesi.45.1.11

Mirab-balou, M., Mound, L., Goldarazena, A., & Şahin Negiş, İ. (2025b). The Palaearctic genus *Belothrips* Haliday (Thysanoptera: Thripidae), with new synonyms and new combinations. Zootaxa, 5631 (2), 387–394. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5631.2.11

Nabity, P. D., Haus, M. J., Berenbaum, M. R., & DeLucia, E. H. (2013). Leaf-galling phylloxera on grapes reprograms host metabolism and morphology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(41), 16663–16668. https://doi.org/10.1073/pnas.1220219110

Özdem, A., Aydar, A., & Sabahoğlu, Y. (2022). Investigation of flight activity and damage status of European grapevine moth *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae).

Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi), 28 (4), 704–710. https://doi.org/10.15832/ankutbd.795425

Özgen, İ., & Karsavuran, Y. (2009a). *Arboridia adanae* (Dlabola) (Hemiptera: Cicadellidae)'nin populasyon değişimine ve zarar oranına farklı üzüm çeşitlerinin etkisi. Bitki Koruma Bülteni, 49 (2), 55–66. https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitkorb/article/48822

Özgen, İ., & Karsavuran, Y. (2009b). Diyarbakır, Elazığ ve Mardin illeri bağ alanlarında bulunan Cicadellidae (Homoptera) türleri. Türkiye Entomoloji Dergisi, 33 (3), 217–240. https://dergipark.org.tr/en/pub/entoted/article/76038

Özgen, İ., Mutlu, Ç., & Karsavuran, Y. (2009c). Öküzgözü asma çeşidinde beslenen *Arboridia adanae* (Dlabola, 1957) (Homoptera: Cicadellidae)'nin ergin öncesi dönemlerinin gelişmesine farklı sıcaklıkların etkisi. TÜBAV Bilim Dergisi, 2(4), 465–467. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/article/230902

Özsemerci, F., Akşit, T., & Tunç, İ. (2006). Manisa ili bağ alanlarında saptanan thrips türleri ve önemli türlerin ilçelere göre dağılımı. Bitki Koruma Bülteni, 46 (1–4), 51–63. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/41539

Özsemerci, F., Akşit, T., & Tunç, İ. (2011). Composition, seasonal abundance and within-plant distribution of Thysanoptera species associated with seedless grapes (Sultana) in districts of Manisa, Turkey. Türkiye Entomoloji Dergisi, 35(1), 103– 118. https://dergipark.org.tr/en/pub/entoted/article/76096

Pavan, F., Cargnus, E., & Zandigiacomo, P. (2026). Vineyard design, cultural practices and physical methods for controlling grapevine pests and disease vectors in Europe. Insects, 17(1), Article 113. https://doi.org/10.3390/insects17010113

Pérez-Aparicio, A., Torres-Vila, L. M., & Gemeno, C. (2019). EAG responses of adult *Lobesia botrana* males and females collected from *Vitis vinifera* and *Daphne gnidium* to larval host-plant volatiles and sex pheromone. Insects, 10(9), Article 281. https://doi.org/10.3390/insects10090281

Piccinno, R., Tatti, A., Avosani, S., Galla, G., Lazazzara, V., Pedrazzoli, F., Zadra, N., Rodeghiero, M., Seljak, G., Özgen, İ., Hauffe, H. C., Verrastro, V., Rossi Stacconi, M. V., Mazzoni, V., & Rota-Stabelli, O. (2024). A multidisciplinary approach to tackling invasive species: Barcoding, morphology, and metataxonomy of the leafhopper *Arboridia adanae*. Scientific Reports, 14 , Article 2229. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49410-9

Rispe, C., Legeai, F., Nabity, P. D., Fernández, R., Arora, A. K., Baa-Puyoulet, P., Banfill, C. R., Bao, L., Barberà, M., Bouallègue, M., Bretaudeau, A., Brisson, J. A., Calevro, F., Capy, P., Catrice, O., Chertemps, T., Couture, C., Delière, L., Douglas, A. E., . . . Tagu, D. (2020). The genome sequence of the grape phylloxera provides insights into the evolution, adaptation, and invasion routes of an iconic pest. BMC Biology, 18 , Article 90. https://doi.org/10.1186/s12915-020-00820-5

Savi, T., García González, A., Herrera, J. C., & Forneck, A. (2019). Gas exchange, biomass and non-structural carbohydrates dynamics in vines under combined drought and biotic stress. BMC Plant Biology, 19 , Article 408. https://doi.org/10.1186/s12870-019-2017-2

Savoi, S., Eitle, M. W., Berger, H., Curto, M., Meimberg, H., Griesser, M., & Forneck, A. (2020). Comparative transcriptome analysis of two root-feeding grape phylloxera (D. vitifoliae) lineages feeding on a rootstock and *V. vinifera*. Insects, 11 (10), Article 691. https://doi.org/10.3390/insects11100691

Sertkaya, G., Yiğit, A., & Çağlayan, K. (2008). Asma yaprak kıvırcıklık virüslerinin (GLRaV 1-3) turunçgil unlubiti, *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera, Pseudococcidae) ve bağ üvezi, *Arboridia adanae* Dlab. (Hemiptera, Cicadellidae) ile taşınma durumu. The Journal of Turkish Phytopathology, 37 (1–3), 39–54. https://dergipark.org.tr/tr/pub/fitopatoloji/article/85418

TAGEM. (2022a). Bağ entegre mücadele teknik talimatı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/Entegre/Bag%20Entegre%20M%C3%BCcadele%20Teknik%20Talimat%C4%B1.pdf

TAGEM. (2022b). Bağcılık sektör politika belgesi 2022–2026. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Ba%C4%9Fc%C4%B1l%C4%B1k%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202022-2026.pdf

Teke, İ., & Atakan, E. (2022). Investigation of thrips (Thysanoptera) species, their population changes and damage rates in vineyards of Mersin Province (Türkiye). Türkiye Entomoloji Dergisi, 46 (2), 199–210. https://doi.org/10.16970/entoted.1049424

Tello, J., Mammerler, R., Čajić, M., & Forneck, A. (2019). Major outbreaks in the nineteenth century shaped grape phylloxera contemporary genetic structure in Europe. Scientific Reports, 9, Article 17540. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54122-0

TÜİK. (2025). Bitkisel üretim istatistikleri, 2025. Türkiye İstatistik Kurumu. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53939/metadata

Vidart, M. V., Mujica, M. V., Bao, L., Duarte, F., Bentancourt, C. M., Franco, J., & Scatoni, I. B. (2013). Life history and assessment of

grapevine phylloxera leaf galling incidence on *Vitis* species in Uruguay. SpringerPlus, 2, Article 181. https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-181

Wilmink, J., Breuer, M., & Forneck, A. (2021). Grape phylloxera genetic structure reveals root–leaf migration within commercial vineyards. Insects, 12 (8), Article 697. https://doi.org/10.3390/insects12080697

BÖLÜM 2

BİTKİ VİRÜS HASTALIK ISLAHINDA CRISPR-Cas13a MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

BERNA BAŞ[1]

Giriş

Bitki viral hastalıklar dünya genelinde temel tarım ürünlerinde önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Virüs hastalıklarının neden olduğu kayıpların kesin ölçümlerini yapmak oldukça zordur ve meydana gelen hasarın boyutları infeksiyon kaynağı, vektörler, çevresel koşullar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak %0 - %100 arasında değişebilmektedir (Rao & Reddy, 2020:531). Bitki hastalık etmenleri arasında viral patojen organizmalar, funguslar ve bakteriler kadar yaygın olmasa da mücadelesi en zor olan patojenler grubunda yer almaktadır. Dünya genelinde halen kültürel pratikler, mekanik, biyolojik ve kimyasal kontrol gibi konvansiyonel mücadele yöntemleriyle virüslerin yayılması minimum seviyelere düşürülmeye çalışılmaktadır (Krenz, Niehl & Krczal, 2024:1761; University of Florida, 2025).

Virüsler taksonomik olarak 7 üst alem, 11 alem ve birçok şube, sınıf, takım, familya, cins ve türlerden oluşan çok geniş bir

[1] Doktor Öğretim Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Orcid: 0000-0003-2455-2849

çeşitliliğe sahiptir (Sabanadzovic & ark., 2025). Obligat olan bitki patojen virüslerin nükleik asitleri genellikle RNA olup DNA 'ya sahip olan virüslerde bulunmaktadır ve genomu koruyucu bir kapsid-kılıf içinde yer almaktadır (Jaybhaye & ark., 2024). Bitki virüslerinin genom hacmi yaklaşık 2,5 kb – 20 kb arasındadır ve replikasyon, konukçu bitki savunmalarının yıkımı, konukçu bitkilerin infeksiyonu gibi hayati önemi olan fonksiyonlarını yerine getirecek şekilde 1-15 kadar oldukça özgül proteinleri kodlamaktadır (Xavier & Whitfield, 2023). Mutasyon geçirme olasılıklarının oldukça yüksek olmasından dolayı bitki virüsleri zengin bir genetik çeşitliliğe sahiptirler (Holmes, 2009). Generasyon sürelerinin de kısa olması virüs popülasyon çeşitliliğinin artmasına önemli katkılar sunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bitki patojen virüslerle mücadele de ıslahla selekte olan dayanıklı bitki varyeteleri kullanılsa bile zamanla bu dayanıklılık yeni mutant viral varyantlarla kırılabilmektedir. Bitki patojenlerinin hızlı evriminden dolayı klasik ıslahla biyotik faktörlere dayanıklı bitki çeşidi geliştirmek uzun yıllar almaktadır (Zhi & Chang, 2021; Sheat & Winter, 2023; Mushayi & ark., 2025; Pati & ark., 2025). Dayanıklı çeşit geliştirilmesi ve kullanımı, ekim nöbeti, taşıyıcı vektörlerle mücadele, hasat sonrası atık bitkilerin uzaklaştırılması, hijyen kurallara uymak, biyokontrol mücadelesi gibi kapsamlı bütüncül bir yaklaşım uygulaması ideal bir viral hastalık yönetimi olabilir. Hücre-içi obligat parazitler olan bitki virüsleri mekanik bulaşmanın yanı sıra vejetatif ve generatif üreme materyalleriyle hem horizontal hem de vertikal geçiş yaparak da yayılabilmektedirler (Hull & Turton, 2014:854; Cobos & ark., 2019; Pagán, 2022). Dolaysıyla sezon boyunca ekim ve dikim yapılacak yeterli sayıda, stabil bir genotipe sahip ve virüslere dayanıklı bitki çeşidi üretimi oldukça zordur, özellikle çok yıllık bitkiler için bu zorluk önemli bir sorundur. Her ne kadar mutant viral etmenler bitki dayanıklılığını zamanla alt etse de bitki virüsleriyle mücadele de mevcut yöntemler arasında

nispeten en etkili ve stabil kontrol, CRISPR stratejisine dayalı dayanıklılık ıslahıdır.

Fitopatojen organizmaların teşhis ve bitki ıslah araştırmalarında nükleik asitlere dayalı tanı çalışmaları tarımda önem kazanmaya başlamıştır. Sekansa özgü tanı-teşhis ve değişimler yapabilen, çok yönlü bir donanım sistemine sahip olan CRISPR/Cas kompleksi bitki genom mühendisliği alanında hedefe yönelik mutasyon veya programlanabilir mutasyon yaratmada, tekli veya çoklu sekans düzenlemesinde, gen INDEL araştırmalarında, nükleik asit bazlarının değişiminde, patojen teşhislerinde başarıyla kullanılmaktadır (Manghwar & ark., 2019:1102; Zhu, Li & Gao, 2020:661). Bitki ıslahında CRISPR teknolojisiyle yaratılan yapay mutasyonlarla dünyada beş bin civarında ıslah edilmiş yeni bitki çeşidi tescil edilmiştir (Açıkgöz, 2025). DNA üzerinde mutasyon yaratma araştırmalarında CRISPR-Cas9a kompleksi, mikroorganizmaların tanı-teşhis çalışmalarında DNA yönelimli hedeflerde Cas12a ve RNA yönelimli hedeflerde ise Cas13a yapısı en iyi bilinen ve en çok çalışılan sistemlerdir (Yan & ark., 2019: 88; Yang & Patel, 2024: 673). CRISPR-Cas13a sistemi RNA-hedefli parçalama ve belli bir transkriptin sentez miktarını değiştirmek amacıyla kullanılabilmektedir (Abudayyeh & ark., 2017:280; Cox & ark., 2017:1019; Yang & Patel, 2024:673). Sağlık sektöründe de CRISPR-Cas13a sistemleri gen terapileri, anti-infektif gen terapileri, bakteriyofaj genom düzenlenmesi, patojen bakteri, fungus gibi organizmaların teşhisi, stres tepki gen aracı molekülleri olan RNA transkriptlerinin modülasyonu gibi çeşitli konularda araştırma ve uygulama olanakları bulmuştur (Zhang & ark., 2024). Bununla beraber CRISPR-Cas13a mekanizması viral RNA ’ya dayalı teşhisler dışında bitki viral hastalık kontrolünde veya viral etmenlere dayanıklılık ıslahında da kullanım potansiyeline sahiptir. Bu bölümde CRISPR/Cas13a sistemiyle virüslere dayanıklı bitki

geliştirilmesi amacıyla yapılan çeşitli araştırma sonuçları değerlendirilmiştir.

CRISPR/Cas13a ’nın Yapısı ve Mekanizması

Belli bir RNA ’yı hedefleyen CRISPR/Cas13a sistemi RNA tanı-teşhisleri, RNA görüntüleme çalışmaları, RNA manipülasyon çalışmalarında kapsamlı olarak kullanılmaktadır (Zhu & ark., 2025). İlk olarak C2c2 ismiyle Shmakov ve ekibi tarafından 2015 yılında keşfedilmiştir. Daha sonra CRISPR-Cas sisteminin sistematik sınıflandırmasında CRISPR/Cas13a olarak değiştirilmiştir. CRISPR-Cas sisteminin genel yapısı ve basit çalışma şeması şekil 1 ’de verilmiştir.

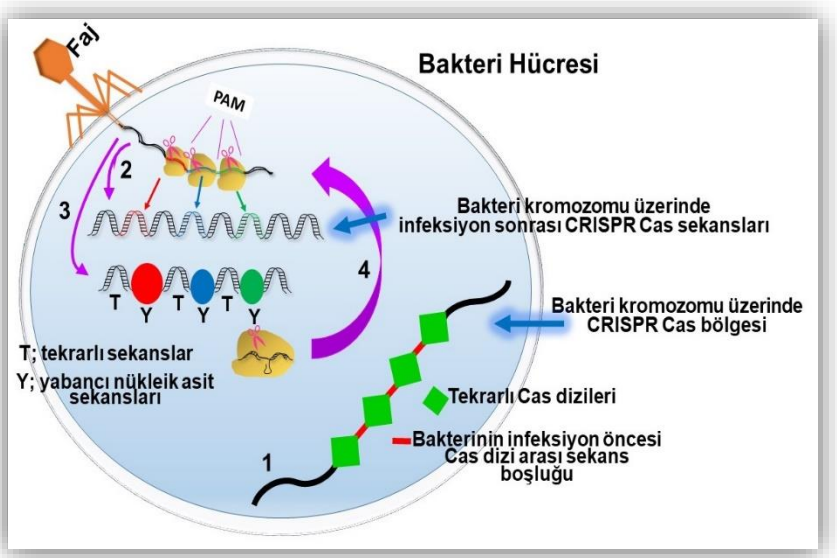
CRISPR-Cas13a kompleksi hedeflenen RNA ’ya yakın bir bölgeden bağlanarak kesim yapmakta ve bu özelliğinden dolayı patojen mikroorganizmaların tayininde de kullanılmaktadır. Cas13a kompleksi konukçunun hedeflenen RNA ’sı ile cr-gRNA arasında tek nükleik asit baz ’ının yanlış eşleşmesine tolere edebilirken, çoklu veya ardışık iki nükleik asit baz ’ının yanlış eşleşmesine oldukça duyarlı olan Cas13a enzimi yanlış bir kesim olasılığını önemli derecede azaltmaktadır (Zhang & ark., 2024). Bir infeksiyonun başlangıç aşamasında PCR ile negatif sonuçlar alınsa bile CRISPR ’a dayalı tanı testleri mikrobiyel genomun attomolar seviyesindeki RNA üzerinde bir tek nükleik asit baz farklılığını yüksek bir duyarlılıkla ortaya çıkarabilme kapasitesine sahiptir (Huang & ark., 2022). CRISPR-Cas9a ile elde edilen transgenik bitkilerde bitki genleri değişime uğratılırken CRISPR-Cas13a bileşenlerinin transfer edildiği bitki genleri zarar görmeden viral genler inaktif edilebilmektedir (Aman & ark., 2018). Bilindiği gibi CRISPR bakterilere ait bir savunma sistemi olup prokaryotik organizmalarda bulunmamaktadır. Bu yüzden bitkilerde CRISPR-Cas sistemlerine dayalı mutasyonlar yaratmak için bitkiye ait rastgele gen bölgeleri seçilerek gRNA aracılığıyla bitki genleri enzimatik kesime

uğratılmakta ve kesilen DNA bölgesine kısa bir nükleik asit dizisi taşıyan yabancı DNA fragmentleri yerleştirilmektedir. Bu amaçla CRISPR/Cas9a yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat Cas13a sistemi RNA'yı hedeflediği için RNA virüslerini yok etmek amacıyla kullanılabilmektedir. Dolaysıyla CRISPR-Cas13a/crRNA kompleksi aracılığıyla bitkinin herhangi fonksiyonel genlerinin zarar görmeyeceği bölgelere yabancı DNA fragmentinin veya fragmentlerinin yerleştirilebilme olanağı bulunmaktadır.

CRISPR sistemleri bitki biyoteknolojisinde kromozomlara küçük DNA fragmentleri yerleştirerek mutasyonlar yaratılmakta ve bir genin özellikleri değiştirebilmektedir. Mutasyon yaratacak kısa DNA sekansları laboratuvar koşullarında hazırlanan donör DNA fragmentleridir ve Cas kompleksinin bileşenlerinden örn., yapay sentezlenen gRNA komplementeri gibi bileşikler plazmid, faj gibi bir vektörle bitki hücrelerine transfer edilmektedir. Yeni bir sistem olmasından dolayı CRISPR/Cas ile genomu değiştirilen bitkilerin insan sağlığı ve/veya çevresel hasarları ilgilendiren zararlı etkileriyle ilgili pratik bir örnek veya bilgi henüz bulunmamaktadır.

Şekil 1. CRISPR-Cas mekanizması

1)CRISPR-Cas bakteri kromozomları üzerinde yer alan tekrarlı özel baz dizilerinden meydana gelen basit bir immün sistemdir. Bakteri daha önce fajla infekte edilmesiyse veya yabancı nükleik asitler bakteri hücresine girmemişse tekrarlı baz dizilerinin arasında boşluk bulunur. 2)Faj genomu bakteri hücresine giriş yapınca Cas proteinleri ve gRNA birleşerek aktif hale geçer ve yabancı nükleik asitleri parçalayarak çeşitli fragmentler oluşturur. 3)Bu fragmentler gRNA aracılığıyla kopyelenir ve bakteri kromozomu üzerindeki tekrarlı baz bölgelerinin arasına yerleştirilir. 4)Böylece bakteriler yabancı sekansları hafızasına alır ve tekrar aynı organizmayla karşılaşınca kayıtlardaki sekans dizilerini gRNA aracılığıyla ve Cas proteinleri yardımıyla enzimatik olarak parçalar



Kaynak: Resim yazar tarafından oluşturulmuştur

Bitki Viral Etmenlere Karşı CRISPR/Cas13a-Aracılı Geliştirilen Dayanıklılık Araştırmaları

Bitki hastalık dayanıklılığı başlıca bir seleksiyon baskısı olarak virüslerde varyasyona neden olmakta ve virüslerin dayanıklılık mekanizmasını alt edebilecek kapasitede yeni viral varyantların çıkışında sürekliliğe neden olmaktadır (Heo & ark., 2020). Gen düzenlenme teknolojilerinden olan CRISPR/Cas13a sistemi, RNA virüslerine karşı dayanıklı bitkilerin ortaya çıkarılmasında umut vaat eden sonuçlar vermektedir. Hedefe yönelik mutasyonlar yaratan CRISPR-Cas sistemiyle gemini virüslerinin inaktivasyonunu araştırmak amacıyla bir çalışma yapılmıştır (Ali & ark., 2016). Denemede transgenik *Nicotiana benthamiana* CRISPR/Cas9OE bitkileri çeşitli gemini virüslerle infekte edildiği zaman bitki kılavuz gRNA 'sı virüslerin hedeflenen DNA 'sı üzerindeki kodlanan sekans bölgesini susturmak için başarılı olamamış ve virüsün replike olmaya ve sistemik yayılmaya devam ettiği rapor edilmiştir. Ancak virüsün kodlanmayan sekans bölgesine yönelik mutasyonun ise gemini virüsü inaktif ettiği ve viral replikasyon ve sistemik yayılmasının sınırlandırıldığı bildirilmiştir. İlgili araştırma sonucu gRNA hedef sekanslarını belirlemede, istilacı virüsün bitki-Cas sisteminin parçalama etkisinden kaçamayacağı ve şiddetli mutant ırkların ortaya çıkışına engel olacak nükleik asit dizi seçiminin ne kadar önemli olduğunu açıkça göstermektedir. Yine de mutasyon frekansı yüksek bir organizma grubu için CRISPR sistemiyle ıslah edilmiş dayanıklı bitki hatlarıyla hastalık kontrolünün sürdürülebilirliği garanti edilemez. CRISPR-Cas sistemleri aynı anda birçok hedefe yönelik olarak da programlanabileceği için patojen virüsün birçok fonksiyonel gen bölgeleri hedeflenebilir ve böylece patojende meydana gelecek büyük hasarlar bitki dayanıklılığını daha stabil hale getirebilir.

RNA virüsleri tarımda önemli ürün kayıplarına neden olduğu için, CRISPR/Cas13a sisteminin bitki RNA virüslerine karşı bitki

dayanıklılığını test etmek amacıyla patates Y virüsü (PVY) ile bir araştırma yapılmıştır (Zhan & ark., 2023). PVY virüsünün gRNA ile hedeflenen 4 bölgesi moleküler biyolojik yöntemlerle patateste klonlanmış (yeni gen PTG olarak isimlendirilmiştir) ve serada viral infeksiyon sonrası analizlerde virüs RNA 'sı engellendiği bildirilmiştir. Çalışmada klonlanan 4 ayrı bölgenin gRNA 'ların viral partikülü baskılama etkileriyle bir tek çeşit gRNA 'nın baskı etkisinin yaklaşık birbirlerine yakın olduğu belirtilmiştir. Benzer çalışma asma A virüsü (GVA) için yapılmış ve deneysel tasarıma bağlı olarak multipleks gRNA ile GVA virüsünün birlikte uygulandığı tütün bitkilerinde viral RNA birikiminin azaldığı rapor edilmiştir (Spencer, Burger & Campa, 2023).

Bir *in planta* araştırmada, şalgam mozayik virüsünün (TuMV-GFP) GFP gen bölgesi (green fluorescent protein) içinde yer alan iki hedef içinde 4 bölge; *GFP1, GFP2, HC-Pro* (helper component-proteinase silencing suppressor), *CP* (capsid protein) seçilmiştir (Aman & ark., 2018). İlgili gen bölgelerinin transfer edildiği *Nicotiana benthamiana* bitkileri TuMV ile infekte edildikten sonra crRNA ile viral *HC-Pro* ve *GFP2* bölgeleri etkili bir şekilde inhibe edilirken *CP* veya *GFP1* sekansları üzerinde inhibisyon etkisinin daha az gözlendiği ortaya konmuştur.

Esas konukçusu patates yumruları olan potato spindle tuber viroid (PSTVd) 'i solanaceae bitkilerinden domates, pepino ve bazı ornamental bitkilerde de hastalığa neden olmaktadır (Afanasenko & ark., 2022). RNA genomuna sahip olan etmen geniş bir coğrafik dağılım göstermekte ve karantina kapsamında listelenmektedir (Hadidi & ark., 2017; Afanasenko & ark., 2022). Gerek ıslah çalışmalarıyla gerekse doğal patates varyeteleri arasında PSTVd viroidine dayanıklı olan bir patates çeşidi henüz rapor edilmemiştir. RNA virüslerine karşı CRISPR-Cas13a gen düzenlenme yöntemiyle dayanıklılık ıslahını test etmek amacıyla domates ve patateste bir çalışma yapılmıştır. PSTVd 'nin replikasyonu için önemli bir gen

bölgesi olan CCR2 'ye ait Cas13a-crRNA 'ya sahip transgen *Nicotiana benthmiana* ve geçici ekspresyon sistemiyle elde edilen transgen domateste kontrol bitkilerine göre viroid RNA 'sının çok düşük seviyede kaldığı ve semptom gelişiminin ise ya çok zayıfladığı veya semptom gelişmediği rapor edilmiştir (Khoo & ark., 2024). Araştırıcıların bu denemeden çıkardıkları diğer önemli sonuçta; PSTVd viroidi hem sense (+) hem de antisense (-) formlara sahip olduğu için Cas13a-crRNA ile her iki form için hazırlanan Cas kompleksi pozitif sense RNA 'yı hedeflemekte daha etkili sonuçlar vermiştir. Negatif sense RNA hem nükleusta sentezlenmekte hem de çift sarmal yapılı olduğu için crRNA tarafından daha zayıf tanınmaktadır. Araştırıcılara göre crRNA 'lar tek iplikçikli nükleik asitleri yakaladığı için (-) sense RNA henüz sentezlenirken crRNA tarafından yakalanabilmeli ki inaktif edilebilsin. Yabanıl domates varyetelerinde PSTVd viroidine karşı toleranslık dominant bir özellik olduğu için etmene duyarlı domates varyeteleriyle melezleme yapılabilir (Naoi & Hataya, 2021). Böylece ıslah edilecek kültür varyantlarıyla veya yabanıl domates türleri doğrudan kullanılarak PSTVd viroidine dayanıklılığın moleküler, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri ortaya çıkarılarak CRISPR sistemiyle seçilecek bölgenin genetik bilgileri de ortaya çıkarılabilecektir. CRISPR-Cas13a yaklaşımı kullanılarak TMV virüsüne karşı *Nicotiana benthamiana* tütününde ve SRBSDV ile RSMV virüslerine karşı çeltikte dayanıklılık geliştirilmesine yönelik bir araştırma çalışması yapılmıştır (Zhang & ark., 2019). CRISPR-Cas13a kullanılarak geçici ekspresyonla elde edilen transgen tütünlerde kontrol grubuna göre rekombinant infektiyöz TMV-GFP virüs yoğunluğu %70 – %80 dolayında azalmıştır. SRBSDV ve RSMV genom bilgileriyle tasarlanan sgRNA-aracılı transgenik çeltik T1 bitki hatları viral etmenlerle infekte edilmiş ve kontrol grubu bitkilere göre SRBSDV 'ye karşı semptom gelişimi %60 – %80 oranında azalırken RSMV 'ye karşı %70 – %80 azalma görülmüştür. Mahas & ark. (2019), CRISPR-Cas13 'ün farklı

gruplarının farklı rekombinant RNA virüslerine karşı etkilerini tütünde denemişlerdir. Denemede transgenik *Nicotiana benthamiana* tütünün de bulunan CasRx, LwaCas13a ve PspCas13b kompleksi nüklezlarının TRBO-GFP, TRBO-BFP, PVX-GFP ve TuMV-GFP RNA virüslerine karşı etkileri araştırılmıştır. *In planta* testlerde infektiyöz kimerik klonlardan TuMV ve TRBO etmenlerini hedeflemede en güçlü ve etkili sonucu CRISPR-CasRx ortologu vermiştir. Bitki RNA virüslerine karşı aynı grupta yer alan farklı CRISPR-Cas13 ortologlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi planlanabilir CRISPR 'a dayalı virüse dayanıklı ıslah araştırmalarının optimizasyonuna destek olacak ve benzer çalışmaların stratejik alt yapısına zemin hazırlayacaktır.

Bağcılık dünya genelinde taze-sofralık ve kuru olarak tüketildiği gibi şarap yapımında da kullanıldığı için yetiştirici ülkelerin ekonomisine önemli katkılar sunmaktadır (Khadatkar & ark., 2025). GLRav-3 virüsü tarafından neden olunan bağ yaprak kıvırcık virüs hastalığı önemli ekonomik kayıplara neden olmakta ve etmene karşı doğal asma çeşidi de bulunmadığı için klasik mücadele yöntemleriyle sürdürülebilir bir hastalık kontrolü sağlanamamaktadır (Jiao & ark., 2022). Araştırıcıların hem CRISPR-Cas9a hem de CRISPR-Cas13a sistemlerini agrobakteri-filtrasyonla transfer ettikleri bitkiciklerde GLRaV-3 viral etmeni önemli oranda engellenmiştir. GLRaV-3 'ün korumalı bölgesi ORF-4-8 segmenti içinde 5 farklı hedef bölgenin sekansları laboratuvarda tasarlanmış ve CRISPR/FnCas9 ve CRISPR/LshCas13a kompleksi içinde agrobakteriler yardımıyla asma bitkiciklerine nakil edilmiştir. Her iki Cas sisteminin sgRNAs/crRNAs 'ları viral hedef sekanslarla %100 komplementer olup hedeflenen viral sekansların asma genomuyla benzerliğinin %68 'den düşük olduğu rapor edilmiştir. Patojen organizmaların hedeflenen sekansları ile konukçu bitkinin genom sekans dizilerinin benzerlik oranı hedef-dışı bağlanma bölgelerinin potansiyeli için önem taşımaktadır. Hedef-dışı bölgeler

tasarlanacak olan gRNA dizilerine bağlı bir durumdur. Yani iki farklı organizmanın genomu (virüs genomu ile asma genomunda olduğu gibi) ne kadar az benzerlik gösterirse gRNA 'nın hedef dışı bölgelere bağlanma olasılığı azalacaktır. Diğer bir deyimle programlı CRISPR/Cas 'ın transfer edildiği bitkilerde, bitki genomunun patojen genomuna benzerlik göstermeyen bölgeleri hedeflenirse gRNA 'nın bitkilerde hedef dışı sekanslara bağlanma olasılığı düşecektir (Wang, La Russa & Qi, 2016:227; Haeussler, 2020:5; Guo & ark., 2023). Böylece bitki gelişimini etkileyebilecek bölgelerin rastgele-hedefsiz mutasyon etkisi de bertaraf edilecektir. Jiao & ark. (2022) 'nın yaptığı transformasyonda farklı plazmidler kullanılmış olup viral inhibisyon plazmidlere göre değişkenlik göstermiştir. İlgili çalışmada CRISPR/LshCas13a sistemi kontrol grubu bitkilere göre GLRaV-3 virüs replikasyonunu %60 - %90 oranında azaltırken CRISPR/FnCas9 sistemi ise %22 - %86 düzeylerinde azaltmıştır.

Çeşitli CRISPR-Cas13 ortologlarının aynı anda denemesi pamukta ve tütünde de yapılmıştır. Pamukta önemli iki önemli genlerden biri olan *GhPGF* (pigment gland formation) geni biyotik ve abiyotik streslerde rol oynayan ve böceklerde kısırlığa neden olan, insanlar için de toksik etkili önemli bir sekonder metaboliti sentezlemektedir (Ma & ark., 2016). İlgili gende meydana gelen mutasyon pigmentlerin depolandığı bezlerin miktarını azaltmaktadır (Yu & ark., 2024). Diğer gen ise *GhCLA* olup kloroplast gelişiminden sorumludur, mutant varyetelerde albinizm gelişmektedir (Wang & ark., 2018:137; Qin & ark., 2020:45). Pamukta Cas13a sisteminin etkinliğini araştırmak amacıyla bu iki gen ile birlikte tütünde TMV-RNA virüsüne karşı bir araştırma ele alınmıştır (Yu & ark., 2024). LwaCas13a 'nın dahil olduğu 7 farklı ortolog 'un pamukta *GhPGF* ve *GhCLA* gen transkriptleri aracılığıyla tütünde TMV düzeylerini azaltma etkisi çalışılmıştır. Denemeye alınan transgenik tütünlerin TMV virüsüne dayanıklılık oranları Cas kompleksinin tiplerine göre değişkenlik göstermiştir.

RfxCas13d, Cas13x.1, Cas13x.2, Cas13y.1 ve Cas13y.2 'nin özgül sekansları tütün ve pamuğa transfer edildikten sonra transgen bitkilerin pamuk GhPGF ve GhCLA gen transkriptlerinin ifade düzeyleriyle TMV RNA düzeylerini kontrol edebilme etkisinin %43 - %80 arasında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir. Viral infeksiyon sonrası ELİSA testiyle virüs tayin sonuçlarına göre; LwaCas13a genini ifade eden tütünlerin %60 'ı TMV virüsüne dayanıklı olup diğer transgen bitkilerden Cas13x.1 ve Cas13y.2 sekans dizilerini taşıyan tütünlerin %86,7 'sinin TMV 'nin RNA transkript seviyelerini düşürdüğü rapor edilmiştir. Araştırıcılar TMV ile infekteli transgenik tütünler de hasarın azaldığını, hafif oksidatif stres ve viral partükül birkiminin minimal düzeylerde kaldığını gözlemlemişlerdir. Bitkilerde çeşitli Cas ortologlarının kullanımı mutant varyete spektrumunu artırmakta, bitki gen havuzunu zenginleştirmekte, hedef-dışı etkileri asgariye indirmekte ve etkileri değişen derecelerde endojen transkriptlerin baskılanmasına imkan vermektedir (Yu & ark., 2024). Cas13 ortologlarının bitkilerde kullanımı henüz yeni bir konsept olup transkriptom düzenlenmesinde ve bitkilerin fonksiyonel özelliklerinin ortaya çıkarılmasında önemli bir veri tabanı oluşturacaktır.

Sonuç Değerlendirme

Bitki viral hastalıkların sürdürülebilir kontrolü için virüs popülasyonlarında evrimin yönünü etkileyen mekanizmaların araştırılması gerekir. Çünkü biyotik veya abiyotik faktörler virüslerde selektif baskı kaynağı olarak mutasyonu teşvik edebilmekte ve böylece CRISPR-Cas13a destekli ıslah çalışmalarıyla genom düzenlenmesi yapılan bitkilerin stabilitesi etkilenmektedir. CRISPR-Cas13a sistemine dayalı genom düzenlenmeyle bitki ıslah çalışmalarında fazla işgücü yoğunluğunu, gereksiz zaman ve maliyet kaybını önlemek için önemle üzerinde durulması gerekir. Bu bağlamda aşağıda verilen konular çok iyi analiz edilmelidir;

1)virüslerde ele alınması planlanan hedef gen bölgelerinin seçimi

2)bitkilerde CRISPR-Cas13a kompleksinin yerleştirileceği gen bölgelerinin seçimi

3)tarım bitkilerinin viral hastalıklara dayanıklı ve duyarlı gen bölgeleri ile viral genomun konservatif ve değişken bölgelerinin seçimi

4)tercih edilecek sekans bölgelerinin yapısal analizleri

5)etkisi daha güçlü Cas13a alternatifleri

6)CRISPR-Cas sisteminin daha yüksek verimle bitkilere transfer metotları

Cas13a yönelimli metot geliştirmeyi etkileyecektir.

Kaynakça

Abudayyeh, O. O., Gootenberg, J. S., Essletzbichler, P., Han, S., Joung, J., Belanto, J. J., ... & Zhang, F. (2017). RNA targeting with CRISPR–Cas13. *Nature*, *550*(7675), 280-284.

Açıkgöz, N. N. (2025). https://nazimiacikgoz.wordpress.com/2025/11/21/gelecegin-tarimi-bilim-ve-teknoloji/ (Son erişim tarihi: 09.12.2025)

Afanasenko, O. S., Lashina, N. M., Mironenko, N. V., Kyrova, E. I., Rogozina, E. V., Zubko, N. G. & Khiutti, A. V. (2022). Evaluation of responses of potato cultivars to potato spindle tuber viroid and to mixed viroid/viral infection. *Agronomy*, *12*(12), 2916.

Ali, Z., Ali, S., Tashkandi, M., Zaidi, S. S. E. A. & Mahfouz, M. M. (2016). CRISPR/Cas9-mediated immunity to geminiviruses: differential interference and evasion. *Scientific Reports*, *6*(1), 26912.

Aman, R., Ali, Z., Butt, H., Mahas, A., Aljedaani, F., Khan, M. Z., ... & Mahfouz, M. (2018). RNA virus interference via CRISPR/Cas13a system in plants. *Genome Biology*, *19*(1), 1.

Cobos, A., Montes, N., López-Herranz, M., Gil-Valle, M. & Pagán, I. (2019). Within-Host Multiplication and Speed of Colonization as Infection Traits Associated with Plant Virus Vertical Transmission. *Journal of Virology*, *93*(23), e01078-19.

Cox, D. B., Gootenberg, J. S., Abudayyeh, O. O., Franklin, B., Kellner, M. J., Joung, J. & Zhang, F. (2017). RNA editing with CRISPR-Cas13. *Science*, *358*(6366), 1019-1027.

Guo, C., Ma, X., Gao, F. & Guo, Y. (2023). Off-target effects in CRISPR/Cas9 gene editing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *11*, 1143157.

Hadidi, A., Flores, R., Randles, J. W. & Palukaitis, P. (Eds.). (2017). *Viroids and Satellites*. Academic Press.

Haeussler, M. (2020). CRISPR off-targets: a question of context. *Cell Biology and Toxicology*, *36*(1), 5-9.

Heo, K. J., Kwon, S. J., Kim, M. K., Kwak, H. R., Han, S. J. & Kwon, M. J. (2020). Newly emerged resistance-breaking variants of cucumber mosaic virus represent ongoing host-interactive evolution of an RNA virus. *Virus Evolution. 6:* veaa070.

Holmes, E. C. (2009). The evolution and emergence of RNA viruses. Oxford University Press.

Huang, Z., Fang, J., Zhou, M., Gong, Z. & Xiang, T. (2022). CRISPR-Cas13: A new technology for the rapid detection of pathogenic microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1011399.

Hull, K. & Turton, P. (2014). Understanding the concept of the key worker: do focus groups help?. *British Journal of Nursing*, *23*(15), 854-860.

Jaybhaye, S. G., Chavhan, R. L., Hinge, V. R., Deshmukh, A. S. & Kadam, U. S. (2024). CRISPR-Cas assisted diagnostics of plant viruses and challenges. *Virology*, *597*, 110160.

Jiao, B., Hao, X., Liu, Z., Liu, M., Wang, J., Liu, L., ... & Xu, Y. (2022). Engineering CRISPR immune systems conferring GLRaV-3 resistance in grapevine. *Horticulture Research*, *9*, uhab023.

Khoo, Y. W., Wang, Q., Liu, S., Zhan, B., Xu, T., Lv, W., Liu, G., Li, S. & Zhang, Z. (2024). Resistance of the CRISPR-Cas13a Gene-Editing System to Potato Spindle Tuber Viroid Infection in Tomato and *Nicotiana benthamiana*. *Viruses*, *16*(9), 1401.

Khadatkar, A., Sawant, C. P., Thorat, D., Gupta, A., Jadhav, S., Gawande, D. & Magar, A. P. (2025). A comprehensive review on grapes (*Vitis* spp.) cultivation and its crop management. *Discover Agriculture*, *3*(1), 9.

Krenz, B., Niehl, A. & Krczal, G. (2024). Emerging strategies in plant virus disease control: insights from the 56th meeting of the DPG working group “Viruskrankheiten der Pflanzen”. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *131*(6), 1761-1768.

Ma, D., Hu, Y., Yang, C., Liu, B., Fang, L., Wan, Q., Liang, W., Mei, G., Wang, L., Wang, H., Ding, L., Dong, C., Pan, M., Chen, J., Wang, S., Chen, S., Cai, C., Zhu, X., Guan, X., Zhou, B., … Zhang, T. (2016). Genetic basis for glandular trichome formation in cotton. *Nature Communications*, *7*, 10456.

Mahas, A., Aman, R. & Mahfouz, M. (2019). CRISPR-Cas13d mediates robust RNA virus interference in plants. *Genome Biology*, *20*(1), 263.

Manghwar, H., Lindsey, K., Zhang, X. & Jin, S. (2019). CRISPR/Cas system: recent advances and future prospects for genome editing. *Trends in Plant Science*, *24*(12), 1102-1125.

Mushayi, M., Shimelis, H., Derera, J. & Tesfamariam, S. A. (2025). Breeding for resistance to maize streak virus: challenges, progress and future directions: a review. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1590870.

Naoi, T. & Hataya, T. (2021). Tolerance even to lethal strain of potato spindle tuber viroid found in wild tomato species can be introduced by crossing. *Plants*, *10*(3), 575.

Pagán, I. (2022). Transmission through seeds: The unknown life of plant viruses. *PLoS Pathogens*, *18*(8), e1010707.

Pati, R., Sandhu, S., Kawadiwale, A. & Kaur, G. (2025). Unveiling the underlying complexities in breeding for disease resistance in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1559751.

Qin, L., Li, J., Wang, Q., Xu, Z., Sun, L., Alariqi, M., Manghwar, H., Wang, G., Li, B., Ding, X., Rui, H., Huang, H., Lu, T., Lindsey, K., Daniell, H., Zhang, X. & Jin, S. (2020). High-efficient and precise base editing of C•G to T•A in the allotetraploid cotton (*Gossypium hirsutum*) genome using a modified CRISPR/Cas9 system. *Plant Biotechnology Journal*, *18*(1), 45–56.

Rao, G. P. & Reddy, M. G. (2020). Overview of yield losses due to plant viruses. In *Applied Plant Virology* (pp. 531-562). Academic Press.

Sabanadzovic, S., Abergel, C., Ayllón, M. A., Botella, L., Canuti, M., Chiba, Y., ... & Zerbini, F. M. (2025). Summary of taxonomy changes ratified by the International Committee on

Taxonomy of Viruses (ICTV) from the Fungal and Protist Viruses Subcommittee, *Journal of General Virology*, *106*(7), 002115.

Sheat, S. & Winter, S. (2023). Developing broad-spectrum resistance in cassava against viruses causing the cassava mosaic and the cassava brown streak diseases. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1042701.

Shmakov, S., Abudayyeh, O. O., Makarova, K. S., Wolf, Y. I., Gootenberg, J. S., Semenova, E., ... & Koonin, E. V. (2015). Discovery and functional characterization of diverse class 2 CRISPR-Cas systems. *Molecular Cell*, *60*(3), 385-397.

Spencer, K. P., Burger, J. T. & Campa, M. (2023). CRISPR-based resistance to grapevine virüs A. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1296251.

University of Florida, (2025). Principles of Plant Virus Disease Management. https://plantpath.ifas.ufl.edu/classes/PLP4222-PLP6223/documents/LECTURENO22PRINCIPLESOFVIRUSMANAGEMENT.pdf (Son erişim tarihi, 09.12.2025)

Wang, H., La Russa, M. & Qi, L. S. (2016). CRISPR/Cas9 in genome editing and beyond. *Annual Review of Biochemistry*, *85*(1), 227-264.

Wang, P., Zhang, J., Sun, L., Ma, Y., Xu, J., Liang, S., Deng, J., Tan, J., Zhang, Q., Tu, L., Daniell, H., Jin, S. & Zhang, X. (2018). High efficient multisites genome editing in allotetraploid cotton (*Gossypium hirsutum*) using CRISPR/Cas9 system. *Plant Biotechnology Journal*, *16*(1), 137–150.

Xavier, C. A. & Whitfield, A. E. (2023). Plant virology. *Current Biology*, *33*(11), R478-R484.

Yan, W. X., Hunnewell, P., Alfonse, L. E., Carte, J. M., Keston-Smith, E., Sothiselvam, S., ... & Scott, D. A. (2019).

Functionally diverse type V CRISPR-Cas systems. *Science*, *363*(6422), 88-91.

Yang, H. & Patel, D. J. (2024). Structures, mechanisms and applications of RNA-centric CRISPR–Cas13. *Nature Chemical Biology*, *20*(6), 673-688.

Yu, L., Zou, J., Hussain, A., Jia, R., Fan, Y., Liu, J., Nie, X., Zhang, X. & Jin, S. (2024). Systemic evaluation of various CRISPR/Cas13 orthologs for knockdown of targeted transcripts in plants. *Genome Biology*, *25*(1), 307.

Zhan, X., Tu, Z., Song, W., Nie, B., Li, S., Zhang, J. & Zhang, F. (2023). Cas13a-based multiplex RNA targeting for potato virüs Y. *Planta*, *258*(4), 70.

Zhang, T., Zhao, Y., Ye, J., Cao, X., Xu, C., Chen, B., ... & Zhou, G. (2019). Establishing CRISPR/Cas13a immune system conferring RNA virus resistance in both dicot and monocot plants. *Plant Biotechnology Journal*, *17*(7), 1185.

Zhang, Y., Li, S., Li, R., Qiu, X., Fan, T., Wang, B., Zhang, B. & Zhang, L. (2024). Advances in application of CRISPR-Cas13a system. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *14*, 1291557.

Zhi, P. & Chang, C. (2021). Exploiting epigenetic variations for crop disease resistance improvement. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 692328.

Zhu, H., Li, C. & Gao, C. (2020). Applications of CRISPR–Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *21*(11), 661-677.

Zhu, T., Jiang, W., Wu, Y., Fang, R., Deng, F. & Yang, D. (2025). Advances in CRISPR/Cas13a-based biosensors for non-coding RNA detection. *Talanta*, 128223.

BÖLÜM 3

NÜKLEİK ASİT TEŞHİSLERİNDE CRISPR-CAS BİYOSENSÖR SİNYALLERİNİN BİLGİYE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

BERNA BAŞ[1]

Giriş

Moleküler teşhis araştırmalarında son yıllarda en önemli gelişmelerden biri de CRISPR-Cas biyosensör teknolojisidir. Çeşitli CRISPR-Cas efektörlerinin trans-kesim aktivitesinin keşfinden sonra farklı biyosensör sinyal okuma teknikleri CRISPR-Cas sistemine entegre edilmeye başlamıştır. Güvenilir ve yüksek verimle çalışan bir biyosensör teknolojisi belirlenen hedefi tanıma ve biyolojik sinyali okunabilir bilgiye dönüştürebilme kapasitesine sahip olmalıdır. Bu amaçla kullanılan biyosensörler temel olarak üç çeşit mekanizmayla çalışmakta olup bunlar elektrokimyasal sinyallere, kolorimetrik renk değişimine ve floresan ışık yoğunluğuna bağlı olarak ölçümler yapılmaktadır. Her bir yöntemin birçok alt sınıfları ve çok çeşitli metodolojileri bulunmaktadır. Çeşitli derleme makalelerde CRISPR-Cas ile sinyal okuma metotları kapsamlı olarak ele alınmış ve sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

[1] Doktor Öğretim Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Orcid: 0000-0003-2455-2849

DNA-RNA tanılama çalışmalarında kullanılacak olan biyosensör amaçlı geliştirilen raportör problar elektrokimyasal (EK) ve optikal sinyaller üretmekte olup ilgili sinyaller floresan, kolorimetrik ve elektrokimyasal ölçümlerle analiz edilerek bilgiye dönüştürülmektedir (Choi & ark., 2020:693; Ding & ark., 2020; Ding & ark., 2021; Li & ark., 2021; Sheng & ark., 2021). Her bir yöntemin kalitatif ve kantitatif avantajları farklılıklar göstermektedir.

Geleneksel sensörlerle analiz edilecek örneklerden ideal sonuçlar alınsa da, yüksek bedelli alet-ekipman ve bu aletleri kullanabilecek teknik eleman ihtiyacı, örnekleme aşamaları, kimyasalların muhafazası, ön-hazırlık aşamaları zaman almaktadır. Bu gibi zorluklar klasik tekniklerin pratik uygulamasını zorlaştırmaktadır. Dolaysıyla CRISPR-Cas 'a dayalı nükleik asit teşhisleri için arazide-yerinde kısa sürede, güvenilir bir şekilde sonuca ulaşılabilecek elektorkimyasal, kolorimetrik ve floresan yöntemlere dayalı yeni biyosensör cihazlar geliştirilmiştir. Biyosensörleme araştırmaları ilk olarak Clark isimli araştırıcı tarafından kan basıncının oksijen elektrodlarıyla ölçmesiyle başlamıştır (Clark, 1956:41). Ardından oksijen elektrodlarında yapılan bazı değişimlerle 1962 yılında glikoz-oksidaz biyosensörünün geliştirilmesiyle ilk kez glikoz elektrokimyasal biyosensörleme rapor edilmiştir (Clark & Lyons, 1962:29).

Laboratuvar performansları oldukça yüksek olan elektrokimyasal biyosensörlerin; cihazın temel-zemin maddesinin özelliği, biyolojik tanılama elementlerinin çevre-kaynaklı istikrarsızlığı, işlem akışının karmaşıklığı, çalışma sırasında standartizasyonun yetersiz oluşu gibi nedenlerden dolayı pratik uygulamaları zorlaştırmaktadır (Zheng & ark., 2026). Ancak grafen elektrodların kullanımı, mikro-akışkan entegrasyonu, yapay zeka destekli yorumlar, gibi yenilikçi teknolojilerle bu zorluklar aşılmaktadır (Elshewey & ark., 2025:1). Biyosensörün elektrot-

elektrolit bağlantısını sağlayan temel-zemin maddesi elektron transfer verimini, yüzey alan etkisini, prob immobilizasyon yoğunluğunu, istenmeyen maddelerin birikimini önleme gücü, sinyal stabilitesi ve üretim kolaylığını doğrudan etkilemektedir (Zheng & ark., 2026).

Bu bölümde patojen-apatojen mikroorganizmalar, genetiği değiştirilmiş organizmalar veya infekteli örneklerdeki nükleik asitlere dayalı teşhislerinde kullanılan raportör prob sinyallerin bilgiye dönüştürülmesinde başvurulan yöntemlerin uygulama alanları, avantajları ve dezavantajları ele alınmaktadır.

Elektrokimyasal Biyosensörler

Biyolojide kullanılan bir elektrokimyasal sensör, analiz edilecek bir biyolojik materyaldeki elektrokimyasal reaksiyonla ilgili bilgiyi rakamsal verilerle kantitatif değere dönüştürerek analitik bilgi veren bir cihazdır (Pereira, Monge & Postolache, 2024:18).

CRISPR ’a dayalı elektrokimyasal teşhislerde, CRISPR/Cas12a kompleksinin hedeflenen nükleik asit ’e bağlanmasından sonra aktif hale geçen trans-kesim özelliğinden yararlanılmaktadır. Çalışma mekanizması kısaca şu şekilde özetlenebilir (Tutulea & ark., 2012; Dai & ark., 2019:17560): CRISPR/Cas12a kompleksinin trans-kesim aktivitesi için küçük nükleik asit fragmentlerinden prob hazırlanmaktadır. Prob ise kısa bir ssDNA parçasıdır. Prob sentezlenirken fragmentin bir ucuna metilen mavisi (MM) eklenmekte, diğer uç ise altın elektroda bağlanmaktadır. Cas12a hedefe bağlanmaz ise veya hedef yoksa trans-aktivite de gelişmemektedir. Böylece MM ekli uç elektroda bağlı olduğu için akım şiddetlenmektedir. Cas12a hedefi yakalarsa trans-parçalamayla MM bağlı uç parçalandığı için elektroddan ayrılmaktadır. Böylece akım azalarak kondaktivite artmaktadır. Bir voltametre yardımıyla kondaktivite rakamlarla ölçülebilmektedir.

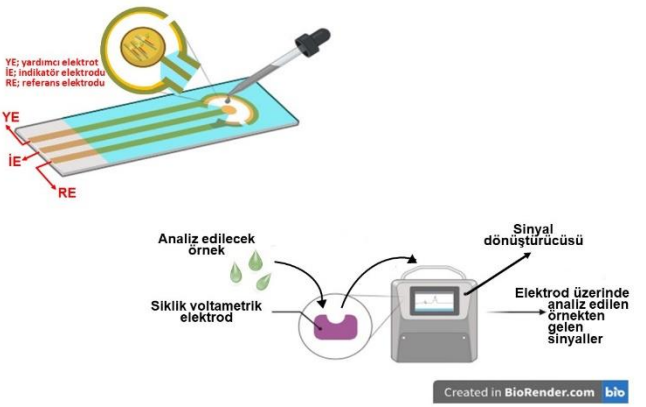
Akım değerlerindeki dalgalanmalar gözlenerek yorum yapılmaktadır.

Son yıllarda mikroteknolojide ki ilerlemeler sayesinde duyarlılığı ve seçiciliği yüksek olan, hacimsel büyüklüğü kolaylıkla ölçeklendirilebilen (büyük hacimli veya küçük hacimli de olabilen), üretim bedeli düşük olan sensörler, laboratuvarlarda veya dış ortamlarda çalışabilecek şekilde otomatik ölçüm sistemlerine kolay adapte edilebileceği bir platform sunmaktadır. Elektrokimyasal sensörlerin taleplere göre tekrarlı yapılandırılabilme ve çok zayıf bir akımı bile algılayabilme potansiyelinden dolayı CRISPR-Cas 'a dayalı geliştirilen elektrokimyasal sensörlele DNA/RNA gibi biyomoleküllerin tanısında alternatif bir tercih olarak ilgiyi artırmaktadır. Çeşitli biyosensör modelleri geliştirilmiş olup standart bir elektrokimyasal nükleik asit biyosensör aparatı üç elektrodlu bir yapıya sahiptir. Bunlar indikatör elektrodu (İE) (veya working elektrod WE) (analitik kimyada İE ve WE aynı anlamda kullanılır), referans elektrodu (RE) (standart veya kontrol elektrodu) ve destek elektrodu (DE) (counter veya auxiliary electrode) 'dur (Schoch & ark., 2026). İE, analiz edilecek olan örnekteki iyon konsantrasyonunu ölçmekte; RE, potansiyeli bilinen ve voltajı sabit tutan elektrod, şekil 1 'de görüldüğü gibi İE kısmı elektrot yüzeyine yakın olan ve elektron transferlerinin gerçekleştiği yani biyolojik tanıma olaylarının gerçekleştiği parça olup araştırılacak olan DNA/RNA gibi biyolojik materyalleri tanıma bölgesidir. Analiz edilecek özel bir örnekle/örneklerle interaksiyona girecek olan DNA/RNA probları, antibadiler, aptamerler veya CRISPR-Cas bileşenleri elektrot yüzeyine adapte edilerek işlevsel özellik kazanmaktadır (Schoch & ark., 2026). Elektrokimyasal potansiyeli iyi bilinen referans elektrodu, stabil bir referans potansiyelini korumak amacıyla redoks reaksiyonunun gerçekleştiği bölgeden uzak bir yere konumlandırılmaktadır (Bhuvanendran & ark., 2022:7113). İndikatör elektrodunun potansiyeli referans elektroduna

göre ölçülürken, yardımcı elektrod ise elektrokimyasal hücrenin elektriksel devreyi tamamlamasında önemli rol oynamaktadır (Westbroek, 2005:3). İE elektrodunda redüksiyon gerçekleşirken YE elektrodunda oksidasyon gerçekleşir, böylece elektrik akımı da başlamış olur (Elgrishi & ark., 2018:197). Voltmetreye bağlı olan elektrokimyasal sensör, WE üzerinde yüklü olan ve potansiyeli bilinmeyen biyolojik örneğin değişen iyon konsantrasyonunu sabit olan RE 'ye göre ölçmektedir. Değişken olan WE ile sabit olan RE arasındaki voltaj farkı hesaplanarak numunenin elektron potansiyeli rakamlarla nicelleştirilmektedir.

Yapılan bir çalışmada hem semptom gösteren infekteli bitkilerden hem de semptom göstermeyen infekteli bitkilerden toplanan yaprak, gövde ve yumru örneklerinden çıkarılan ham ekstraktlar doğrudan CRISPR-arazi-protokollerine uyarlanarak kullanılmıştır (Saini & ark., 2026). Çalışmada portatif ekipmanla gerçekleştirilen bütün testlerin çeşitli biyosensörlerle farklı teşhis ortamlarına uygunluğu doğrulanmıştır. Elde edilen kantitatif analitik sonuçlara göre *Xanthomonas campestris* 'in RPA-Cas12a teşhisinde LFA çıktısı %96, Potato virus Y (PVY) 'nin Cas13a RT-RPA teşhisinde %98 ve *Phytophthora infestans* 'ın Cas12a elektrokimyasal çıktılarla teşhisinde %95 oranında doğrulukla arazide kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Şekil 1. Üç bileşenli bir elektrokimyasal biyosensör



Kaynak; Şekil yazar tarafından BioRender programıyla hazırlanmıştır

Tarımda aşırı ve uzun süreli pestisid uygulamalarının yaratacağı sağlık ve çevresel sorunları kısmen önlemek amacıyla patojen organizmaların doğru, duyarlı ve hızla tayin edilebileceği araçların tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bilgiye dayalı hastalık yönetim stratejilerinin uygulamaya alınmasıyla gereğinden fazla sayıda ve dozda pestisid uygulamaları azaltılacaktır.

Kolorimetrik Biyosensörler

Biyolojide kolorimetrik tayin yöntemleri bir solüsyonun renk analizlerini yaparak işleyen bir sistemdir. Araştırılan bir kimyasal maddenin solüsyon içinde gelişen renk tonlarıyla varlığını veya yoğunluğunu veya özgül aktivitesini ortaya çıkarmak amacıyla çeşitli kolorimetrik metotlar geliştirilmiştir. Analiz edilecek örnekteki renk değişimi çıplak gözle kolayca fark edilmekte veya kantitaif analizler için portatif optik cihazlarla renk değişimleri hassas olarak tayin edilmektedir (Zhao & ark., 2020:237; Nasrollahpour & Khalilzadeh, 2024). Kolorimetrik sensörlerde bu renk değişimini optik cihazlarla oldukça hassas düzeyde ölçerek sonuçları nicelleştirmektedir. Özellikle nanoteknolojideki önemli

gelişmelerle grafen ve türevleri, metalik nanopartiküller, metal oksid nanopartiküller, kuantom dot 'ları, DNA nanomateryalleri vb. diğer fonksiyonel nanomaddelerin tasarımı ve üretimi kolorimetrik sensörlerin gelişimine önemli katkılar sunmuştur (Mohan & Neeroli Kizhakayil, 2016:14125; Huang, He, & Li, 2018:27; Lin & ark., 2020:162; Siripongpreda, Siralertmukul & Rodthongkum, 2020; Zhang & ark., 2020:12639; Sabzehmeidani & Kazemzad 2022). Kolorimetrik biyosensör sistemlerini diğer teşhis tekniklerinden ayıran en önemli özellikleri basit, kullanımı kolay, maliyeti düşük, ulaşılabilme kolaylığı ve laboratuvar dışında herhangi bir yerde (arazi, fabrika, ev ortamı gibi) uygulanabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak nükleik asit tayininde çıktıların kantitatif değerlendirilmesi için en az akıllı telefon gibi bir cihaz gereklidir (Yang Y. & ark., 2025). Sistemin başarısı sensörlerin üretiminde kullanılan materyallere bağlı olup grafen, altın/gümüş gibi nanopartiküller kümelenebilme eğilimi, nanomateryallerin homojen dağılmaması, DNA gibi nanomateryallerin elektron kondaktivitesinin düşük olması gibi dezavantajlar üretilen biyosensörün stabilitesini etkilemektedir (Wu & ark., 2023). Ancak malzeme mühendisliğindeki inovatif gelişmelerle bu sorunlarda çözüme kavuşabilecektir.

Organik boyaların kullanıldığı geleneksel sensör teknikleri yeterli düzeyde duyarlı olmadığından günümüzde çoğunlukla nanomateryallerle ileri kolorimetrik sensörlar geliştirilmiştir. CRISPR-Cas 'a dayalı kolorimetrik stratejilerde UV-mavi ışık kolorimetrik ölçüm, lateral flow şerit tabanlı kolorimetrik ölçüm, AuNP temelli kolorimetrik ölçüm ve enzim temelli kolorimetrik ölçümler en yaygın tercih edilen çalışmalar arasında yer almaktadır (Yang Y. & ark., 2025).

Ganoderma boninense ile infekteli yağlı palmiye türlerinde kök çürüklüğüyle ilgili bir RNA belirteci olan *EgPIN5* gen proteini, henüz semptom göstermeyen bitkilerde de infeksiyondan 11 gün

sonra ortaya çıktığı için kolorimetrik yöntemle erken teşhis edilmiştir (Bahari & ark., 2024). LFA şeritlerinde *EgPIN5* RNA fragmentlerinin miktarı en az 12.5 ng x μl^{-1} olduğunda çıplak gözle kırmızı renk gelişimi gözlenmiş olup *EgPIN5* RNA fragmentine karşı geliştirilen ssDNA aptamer içeren LFA şeritlerinde ise renk gelişimi için 2.45 ng x μl^{-1} RNA fragmenti yeterli olmuştur. Yapılan diğer çalışmada portatif CRISPR/Cas12a-LFA testi için kolorimetrik ve fototermal çıktılar Alternaria genlerini hızla teşhis etmektedir (Yang L. & ark., 2025).

CRISPR/Cas12a 'nın kollateral aktivitesinden yararlanarak G-kuadrupleks sinyal raportör moleküllerin kolorimetric biyosensor olarak kullanımı en yeni güncel çalışmalar arasında yer almaktadır (Chen & ark., 2025). G-kuadrupleks raportörünün geçerliliğini test etmek amacıyla genetiği değiştirilmiş çeltiklerin DNA 'sının kullanıldığı bir denemede RPA-CRISPR/Cas12a- G-kuadrupleks kompleksiyle çeltik bitkilerinin CaMV35S promoter bölgeleri hedeflenmiştir (Li & ark., 2024). Solüsyon içinde 10 aM düzeyde CaMV35S promoterinin 45 dakika içinde pozitif sonuç verdiği bildirilmiştir. G4 ile hemin birleştiği zaman DNAzim ektivitesi göstererek peroksidaz benzeri bir parçalamayla deney solüsyonuna oksidatif atıklar salınmakta ve solüsyonun rengi değişmektedir. Eğer ortamda crRNA-CRISPR/Cas12a mevcutsa Cas12a 'nın özgül olmayan trans-parçalama aktivitesiyle G4 fragmentlere ayrılarak parçalanmakta ve hemin ile birleşemediği için peroksidaz aktivitesi düşmektedir. Böylece redoks atıkları ortamda olmayınca renk değişimi gelişmemekte olup bu sonuç sistemin çalıştığının göstergesi kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçlar fotoğraflanarak akıllı telefona yüklenen uygun bir uygulamayla dijital fotolar arasındaki renk farkları analizine dayalı yorum yapılmaktadır.

Floresan Biyosensörler

Florometrik testler spestroskopik bir analiz çeşitidir ve uyarıcı kaynak olarak ışık kullanılmakta olup emisyon/absorbsiyon arasında işleyen bir sistemdir (Karoui, 2025). Analiz örneği farklı dalga boylarında farklı floresan ışık yaymaktadır. CRISPR-Cas ile teşhiste floresan problar hazırlanarak yine Cas proteininin trans-kesim özelliğinden yararlanılmaktadır.

Temelde çalışma mekanizması kolorimetrik sensörlere benzeyen floresan sensörler, analiz edilecek nükleik asitlerin hem kalitatif hem de kantitatif analizlerinde kullanılan önemli moleküler teşhis araçlarından birisidir. Floresan sensörler, floresan özellikteki bir madde ile (özellikle floresan problar veya raportör molekül gibi) hedeflenen nükleik asit, protein vb. maddeler kombine edilerek görünmez sinyalleri optik sinyallere dönüştürmekte ve böylece yayılan floresan ışığın yoğunluğu ölçülerek bir analitin mevcudiyeti ve konsantrasyonu kantite edilmektedir (Liu, Y., & ark., 2026:642). Floresan sensörler yüksek duyarlılık ve doğrulukla, son derece özgül, kolay opere edilebilen, düşük maliyetli ve kısa sürede güvenilir sonuç verme özelliklerinden dolayı CRISPR/Cas sistemine adapte edilmiştir (Ursache & ark., 2021). CRISPR/Cas12 (DNA için) ve CRISPR/Cas13 (RNA için) ile florometrik teşhis sisteminde kullanılacak olan kısa ssDNA veya RNA problar hazırlanırken nükleik asit fragmentlerinin bir ucuna floresan özellikte kimyasal diğer uç bölgeye sönümleyici adapte edilmektedir (Kellner & ark., 2019:2986). CRISPR/Cas kompleksi hedefi tanıdıktan sonra trans-acting özellikteki Cas proteinleri probları keserek parçalamaktadır. Probun sönümleyici ucu floresan uçtan ayrılınca floresan ışık yayılmaktadır. Gözle de görülebilen parlak floresan sinyaller fotograflanarak akıllı telefon uygulamalarına adapte edilen uygun programlarla analiz edilerek floresan ışık şiddeti nicelleştirilmektedir. Mevcut tekniklerle yapılan analizlerde nükleik asit konsantrasyonu çok düşük olduğunda DNA/RNA ’nın belli bir

yoğunluğa ulaşması için ilave adımlara gerek duyulmaktadır. Bir çalışmada GDO 'lu çeltiklerin CaMV35S promoter bölgelerinin varlığı AuCFRET floresan sensör sistemiyle doğrulanmış olup denemede AuNPs-dCas9 nanoprob olarak kullanılmıştır (Yang Y. & ark., 2025). Çeltik genomik DNA 'sının referans genleri GDO ve GDO olmayan çeltiklerde analiz edilmek amacıyla seçilmiştir. Floresan FAM eklenen primerlerle çeltikteki hedef CaMV35S promoter bölgesi çoğaltıldıktan sonra AuNPs ilaveli dCas9 ile muamele edilmiştir. Floreasn ışık veren FAM-CaMV35S promoter fragmentleri dCas9 ile eşleştikten sonra AuNP floresan enerjisini absorbe ederek ışık yayılımını zayıflatmıştır. GDO 'lu olmayan çeltiklerde ise floresan ışık şiddeti yoğun olarak rapor edilmiş ve böylece GDO ile GDO olmayan ürünlerin ayrımı kısa sürede, güvenle ve kolaylıkla gerçekleştirilmiştir.

Sonuç Değerlendirme

Patojen organizmaların CRISPR 'a dayalı tanı çalışmalarında çeşitli sinyal okuma metotları kullanılmaktadır. Biyosensör aracılı sinyallere ait çıktıların elde edilmesinde 3 temel teknik uygulanmakta olup, bunlar floresan, kolorimetrik ve elektrokimyasal sinyallerin görsel kayıtlarıdır. Floresan sistemlerde laboratuvar ortamında patojenik DNA ve RNA tanısında son derece etkili ve floresan ışık veren sinyal molekülleri kullanılmaktadır. Nükleik asitlerin tayininde basit ve görsel bir metot olan kolorimetrik sistemler yerinde teşhis ve hızı nedeniyle oldukça ideal yöntemdir. Elektrokimyasal sistemler POC gibi (Point of Care) portatif enstrümanlarla nükleik asitleri kantitatif tayin edebilen elektriksel sinyalleri moleküler interaksiyonlara dönüştürmektedir. Çok zayıf sinyalleri bile ölçebilme kapasitesinden dolayı mevcut teknikler içinde en hassas çalışan elektrokimyasal sensörlerdir.

Bitki patojenlerinin nükleik asitlere dayalı CRISPR teşhislerinde portatif biyosensörleme cihazlarının kullanımıyla

dakikalar içinde hızlı ve güvenilir teşhis metotları arazide-yerinde erken tanısı yapılarak bitki sağlığının takibi için büyük önem taşımaktadır. Tarımsal biyoteknolojide biyosensörlerle mikrobiyel hastalıkların teşhisi erken hastalık uyarı sistemi için ideal bir model olabilir. Her üç teknikte CRISPR/Cas nükleik asit teşhisleri için oldukça geniş bir otomasyon ve telsiz elektronik ağ sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için gerek tarım bitkilerinin gerekse tarımsal mikroorganizmaların nükleik asit analizlerinin CRISPR/Cas 'a dayalı analizi için her bir örneğin özgün nükleik asit dizilerine ihtiyaç vardır. Arazide-yerinde toplanan bitki veya mikroorganizma örneklerinden nükleik asitler saf olarak izole edilememektedir. Ham özütler doğrudan kullanıldığı için nükleik asit konsantrasyonu düşük çıkmakta olup sonuçlar etkilenebilmektedir. Mevcut teknolojilerin arazi koşullarına uyacak şekilde ıslah edilmesi gereklidir. Elde edilen sonuçların kantite edilebilmesi için akıllı telefonlarda kullanılabilecek güçte elektronik uygulama programlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Özel nükleik asitlere uyumlu özel sensörlerin üretimi bazı tekniklerde maliyeti yükseltecektir. Bütün bu sorunlar orta ve uzun vadede ideal bir maliyetle ve nanoteknoloji giibi inovatif teknolojik yeniliklerle çözülebilir niteliktedir.

Kaynakça

Bahari, M. N. A., Abdullah, S. N. A., Sakeh, N. M., Ahmad, K., Shaharuddin, N. A., Seman, I. A. & Osman, R. (2024). Devising a colorimetric aptasensor for detection of basal stem rot-associated RNA marker during early *Ganoderma boninense* infection in oil palm. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *129*, 102209.

Bhuvanendran, N., Ravichandran, S., Xu, Q., Maiyalagan, T. & Su, H. (2022). A quick guide to the assessment of key electrochemical performance indicators for the oxygen reduction reaction: A comprehensive review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(11), 7113-7138.

Chen, Y., Lv, B., Wang, W., Wu, Y. & Li, D. (2025). Structure-switching G-quadruplex: An efficient CRISPR/Cas12a signal reporter for label-free colorimetric biosensing. *International Journal of Biological Macromolecules*, *307*, 142410.

Choi, J. H., Lim J., Shin M., Paek S. H. & Choi J. W. (2020). CRISPR-Cas12a-based nucleic acid amplification-free DNA biosensor via Au nanoparticle-assisted metal-enhanced fluorescence and colorimetric analysis. *Nano Letters*, *21*, 693–699.

Clark Jr, L. C. (1956). Monitor and control of blood and tissue oxygen tensions**.** *Transactions of the American Society for Artificial Internal Organs***,** *2*, 41-45.

Clark Jr, L. C. & Lyons, C. (1962). Annals. *New York Academy of Sciences*, *102*, 29-145.

Dai, Y., Somoza, R. A., Wang, L., Welter, J. F., Li, Y., Caplan, A. I. & Liu, C. C. (2019). Exploring the trans-cleavage activity of CRISPR-Cas12a (cpf1) for the development of a universal electrochemical biosensor. *Angewandte Chemie*, *131*(48), 17560-17566.

Ding, X., Yin, K., Li, Z., Lalla, R. V., Ballesteros, E., Sfeir, M. M. & Liu, C. (2020). Ultrasensitive and visual detection of SARS-CoV-2 using all-in-one dual CRISPR-Cas12a assay. *Nature Communications*, *11*(1), 4711.

Ding, R., Long, J., Yuan, M., Zheng, X., Shen, Y., Jin, Y., ... & Duan, G. (2021). CRISPR/Cas12-based ultra-sensitive and specific point-of-care detection of HBV. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(9), 4842.

Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T. & Dempsey, J. L. (2018). A practical beginner's guide to cyclic voltammetry. *Journal of Chemical Education*, *95*(2), 197-206.

Elshewey, A. M., Tawfeek, S. M., Alhussan, A. A., Radwan, M. & Abed, A. H. (2025). Optimized deep learning for potato blight detection using the waterwheel plant algorithm and sine cosine algorithm. *Potato Research*, *68*(1), 1-25.

Huang, R., He, N. & Li, Z. (2018). Recent progresses in DNA nanostructure-based biosensors for detection of tumor markers. *Biosensors and Bioelectronics, 109*, 27-34.

Karoui, R. (Ed.). (2025). Application of Fluorescence Spectroscopy in Food Quality and Control. Springer.

Kellner, M. J., Koob, J. G., Gootenberg, J. S., Abudayyeh, O. O. & Zhang, F. (2019). SHERLOCK: nucleic acid detection with CRISPR nucleases. *Nature Protocols*, *14*(10), 2986-3012.

Li, F., Ye, Q., Chen, M., Zhou, B., Zhang, J., Pang, R., ... & Wu, Q. (2021). An ultrasensitive CRISPR/Cas12a based electrochemical biosensor for *Listeria monocytogenes* detection. *Biosensors and Bioelectronics*, *179*, 113073.

Li, X., Liu, M., Men, D., Duan, Y., Deng, L., Zhou, S., ... & Huo, D. (2024). Rapid, portable, and sensitive detection of CaMV35S by RPA-CRISPR/Cas12a-G4 colorimetric assays with high accuracy deep learning object recognition and classification. *Talanta*, *278*, 126441.

Lin, Z., Zhang, X., Liu, S., Zheng, L., Bu, Y., Deng, H., ... & Chen, W. (2020). Colorimetric acid phosphatase sensor based on MoO_3 nanozyme. *Analytica Chimica Acta, 1105*, 162-168.

Liu, Y., Zou, L., Niu, H., Li, Z., Ren, H., Zhang, X., ... & Ma, H. (2026). Graphite phase carbon nitride nanosheets-based fluorescent sensors for analysis and detection. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, *56*(3), 642-654.

Mohan, A. & Neeroli Kizhakayil, R. (2016). Graphene-rhodamine nanoprobe for colorimetric and fluorimetric Hg^{2+} ion assay. *ACS Applied Materials & Interfaces, 8*(22), 14125-14132.

Nasrollahpour, H. & Khalilzadeh, B. (2024). Naked eye biosensors for pathogen monitoring. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *171*, 117499.

Pereira, J. D., Monge, J. & Postolache, O. (2024). Measurement and applications: electrochemical sensors and instruments: main characteristics and applications. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, *27*(1), 18-25.

Sabzehmeidani, M. M. & Kazemzad, M. (2022). Quantum dots based sensitive nanosensors for detection of antibiotics in natural products: A review. *Science of the Total Environment, 810*, 151997.

Saini, H., Yadav, J., Pandey, S., Kumar, A., Nanda, D., Sachan, S. & Kaushik, J. J. (2026). Field-deployable CRISPR-Cas variants for rapid on-site detection of plant pathogens. *Plant Science*, 113028.

Schoch, L., Preska, R., Ban, D. K. & Aran, K. (2026). CRISPR-Integrated Electrochemical Biosensors for Precision Molecular Diagnostics. *Current Opinion in Electrochemistry*, 101813.

Sheng, Y., Zhang, T., Zhang, S., Johnston, M., Zheng, X., Shan, Y., ... & Hu, J. (2021). A CRISPR/Cas13a-powered catalytic electrochemical biosensor for successive and highly sensitive RNA diagnostics. *Biosensors and Bioelectronics*, *178*, 113027.

Siripongpreda, T., Siralertmukul, K. & Rodthongkum, N. (2020). Colorimetric sensor and LDI-MS detection of biogenic amines in food spoilage based on porous PLA and graphene oxide. *Food Chemistry, 329*, 127165.

Tutulea, M. D., Cretescu, I., Sibiescu, D. & Stan, C. (2012). Electrochemical sensors for heavy metal ions detection from aqueous solutions. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, *11*(2).

Ursache, R., Fujita, S., Dénervaud Tendon, V. & Geldner, N. (2021). Combined fluorescent seed selection and multiplex CRISPR/Cas9 assembly for fast generation of multiple Arabidopsis mutants. *Plant Methods*, *17*(1), 111.

Westbroek, P. (2005). Fundamentals of electrochemistry. *Analytical Electrochemistry in Textiles*, *2*, 3-36.

Wu, Y., Feng, J., Hu, G., Zhang, E. & Yu, H. H. (2023). Colorimetric Sensors for Chemical and Biological Sensing Applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *23*(5), 2749.

Yang, Y., Li, X., Wang, X., Wang, Z. & Gong, S. (2025). CRISPR-Cas-based colorimetric strategies for nucleic acids detection. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *182*, 118058.

Yang, Y., Zhai, S., Zhang, L., Wu, Y., Li, J., Li, Y., ... & Gao, H. (2025). A gold nanoparticle-enhanced dCas9-mediated fluorescence resonance energy transfer for nucleic acid detection. *Talanta*, *282*, 126978.

Yang, L., Zhang, T., Li, S., Dong, J., Li, X., Ma, X., ... & He, Y. (2025). Gold Core-petal nanoparticle-enhanced CRISPR/Cas12a lateral flow assay for dual-mode colorimetric and Photothermal detection of Citrus Alternaria. *Microchemical Journal*, 115591.

Zhang, C., Liu, X., Xu, Z. & Liu, D. (2020). Multichannel stimulus-responsive nanoprobes for H2O2 sensing in diverse biological milieus. *Analytical Chemistry, 92*(18), 12639-12646.

Zhao, V. X. T., Wong, T. I., Zheng, X. T., Tan, Y. N. & Zhou, X. (2020). Colorimetric biosensors for point-of-care virus detections. *Materials Science for Energy Technologies*, *3*, 237-249.

Zheng, Y., Fu, L., Yang, J., Gao, S., Sun, H. & Zhang, F. (2026). Electrochemical Biosensing Platforms for Rapid and Early Diagnosis of Crop Fungal and Viral Diseases. *Sensors*, *26*(6), 2004.


BİDGE