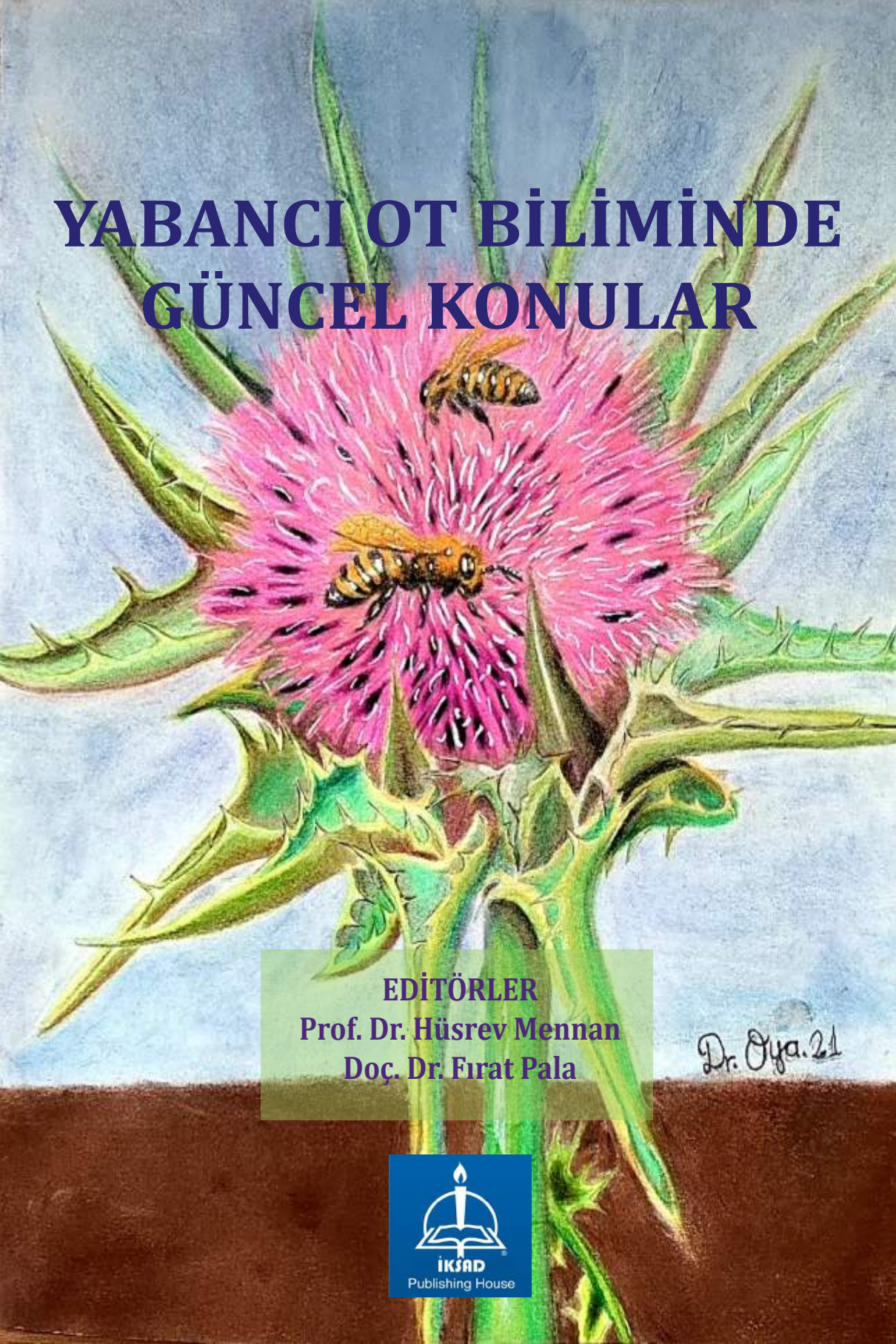
YABANCI OT BİLİMİNDE GÜNCEL KONULAR



EDİTÖRLER
Prof. Dr. Hüsrev Mennan
Doç. Dr. Fırat Pala

İKSAD
Publishing House

YABANCI OT BİLİMİNDE GÜNCEL KONULAR

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Hüsrev Mennan
Doç. Dr. Fırat Pala

YAZARLAR

Ahmet Uludağ
Ayşe YAZLIK
Bahadır ŞİN
Büşra KAYA
Doğan IŞIK
Eda Orel AKSOY
Ender Şahin ÇOLAK
Elvan KOÇ
Erdal ATEŞ
Esra ÇİĞNİTAŞ
Hakkı TAŞDELEN
Hanife BULUT
Harun ALPTEKİN
Hasan DEMİRKAN
Hilmi TORUN
İlhan Üremiş
İstem BUDAK
Kadri Necdet ÖNGEN
Mine ÖZKİL
Necmi Aksoy
Nazife TEMEL
Ramazan GÜRBÜZ
Reyyan YERGİN ÖZKAN
Tamer ÜSTÜNER
Yasin Emre KİTİŞ

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2021 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2021©

ISBN: 978-625-8061-67-3
Cove Design: Oya GÖNEN
December / 2021
Ankara / Turkey
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN

ÖNSÖZ…….....1

BÖLÜM 1

YABANCI OT İLE KÜLTÜR BİTKİSİ ETKİLEŞİMİ VE REKABETİ

Kadri Necdet ÖNGEN…….....3

BÖLÜM 2

BİTKİ TOPLAMA VE HERBARYUM TEKNİKLERİ

İlhan Üremiş, Ahmet Uludağ, Necmi Aksoy……..35

BÖLÜM 3

TOPRAK TOHUM BANKASI

Bahadır ŞİN ……....87

BÖLÜM 4

TOHUMLARDA DORMANSİ VE TÜRLERİ

Reyyan YERGİN ÖZKAN ……...……...111

BÖLÜM 5

KONUKÇU YABANCI OTLARIN ÖNEMİ, FARKLI TÜRLERLE OLAN İLİŞKİSİ VE AGROEKOLOJİDEKİ YERİ

Hilmi TORUN, Nazife TEMEL……....133

BÖLÜM 6

PARAZİT YABANCI OTLAR

Tamer ÜSTÜNER, Eda Orel AKSOY…….....179

BÖLÜM 7

İSTİLACI YABANCI BİTKİLER VE ETKİLERİ

Ayşe YAZLIK ……..263

BÖLÜM 8

YABANCI OTLARIN BİYOÇEŞİTLİLİK AÇISINDAN ÖNEMİ

Ramazan GÜRBÜZ……...295

BÖLÜM 9

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YABANCI OTLAR ÜZERİNE ETKİSİ

Ender Şahin ÇOLAK, Doğan IŞIK, Hanife BULUT,
Hakkı TAŞDELEN ……..327

BÖLÜM 10

FİTOREMEDİASYON

Hasan DEMİRKAN, Büşra KAYA……..347

BÖLÜM 11

HERBİSİTLERİN ETKİ MEKANİZMASI

Erdal ATEŞ……...387

BÖLÜM 12
HERBİSİTLERİN RUHSATLANDIRILMASI
İstem BUDAK……...419

BÖLÜM 13
YABANCI OTLARLA MÜCADELEDE DİJİTAL YÖNTEMLERİN KULLANILMASI
Hakkı TAŞDELEN, Doğan IŞIK, Ender Şahin ÇOLAK
Hanife BULUT……..439

BÖLÜM 14
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA) VE İLE GÖRÜNTÜ İŞLEME YABANCI OT KONTROLÜ
Bahadır ŞİN……...469

BÖLÜM 15
EKİM NÖBETİNİN (ÜRÜN ROTASYONU, MÜNAVEBE) AGROEKOLOJİYE VE YABANCI OTLARA ETKİSİ
Hilmi TORUN, Mine ÖZKİL……...……491

BÖLÜM 16
YABANCI OT YÖNETİMİNDE ALLELOPATİDEN YARARLANMA OLANAKLARI
Esra ÇİĞNİTAŞ, Yasin Emre KİTİŞ……523

BÖLÜM 17
ALLELOKİMYASALLAR

Tamer ÜSTÜNER…….569

BÖLÜM 18

TERMAL YÖNTEMLERLE YABANCI OT KONTROLÜ

Yasin Emre KİTİŞ, Ramazan GÜRBÜZ……..633

BÖLÜM 19

BİYOLOJİK YABANCI OT YÖNETİMİ

Elvan KOÇ, Ramazan GÜRBÜZ, Harun ALPTEKİN…….675

BÖLÜM 20

HERBİSİTLERE DAYANIKLI YABANCI OTLARDA EPİGENETİK MEKANİZMALAR

Harun ALPTEKİN, Ramazan GÜRBÜZ, Elvan KOÇ…….701

BÖLÜM 21

HERBİSİTLERE DAYANIKLI KÜLTÜR BİTKİLERİ

Hanife BULUT, Doğan IŞIK, Hakkı TAŞDELEN,
Ender Şahin ÇOLAK……729

Önsöz

Yabancı Ot Bilimi (Herboloji) ile ilgili bilimsel literatür taraması yapmak için güncel kaynaklara ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Bu eser "istenmeyen bitkiler" olarak adlandırılan yabancı otlar ile ilgili toplumda ve özellikle akademik alanda lisans ve lisansüstü öğrencilerinin ulaşabilecekleri aktüel bilimsel yazılara gereksinim duyulmasından yola çıkılarak harmanlanmıştır. Yayınlanan bu kitap ile Herboloji'nin temel amaçları nelerdir, yabancı otları nasıl kontrol edebiliriz, yabancı ot yönetimi kültür bitkisinin gelişimine nasıl etki eder, gelecekte yabancı ot direnci ile ilgili hangi yeniliklere ihtiyacımız olacak gibi sorulara cevap aramaya ve yabancı ot dünyasına geniş kapsamlı akademik bir bakış açısı kazandırılmaya çalışılmıştır. Bu kitabın yazılması için zaman harcayan, emek veren ve kitap bölüm yazarlığı yapan sayın hocalarımıza ve değerli arkadaşlarımıza sonsuz teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca bu akademik kitabımızın kapak tasarımı için Dr. Oya Gönen'e teşekkür ederiz. Bu kitabın Herboloji'nin akademik dünyamızda yeni bir Anabilim Dalı olma sürecine katkı sağlaması dileği ile hayırlara vesile olmasını dileriz.

BÖLÜM 21

HERBİSİTLERE DAYANIKLI KÜLTÜR BİTKİLERİ

Hanife BULUT[1] Doğan IŞIK[2]

Hakkı TAŞDELEN[3] Ender Şahin ÇOLAK[4]

[1]Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye hanife_bulut_07@hotmail.com; Orcid: 0000-0001-8514-0026

[2]Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye. Sorumlu yazar, dogani@erciyes.edu.tr. Orcid: 0000-0002-0554-2912

[3]Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye. htasdelen@erciyes.edu.tr , Orcid: 0000-0001-7143-9422

[4]Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye. endersahin@erciyes.edu.tr. Orcid: 0000-0002-8083-1175

GİRİŞ

Tarım ürünleri içerdikleri vitamin, mineral ve antioksidan maddeler sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Tarım alanlarını genişletmenin zor olduğu günümüz koşullarında, birim alandan elde edilen ürünün kalite ve miktarını artırmak, bunu yaparken de tarımın sürdürülebilirliğini göz önünde bulundurmak, artan dünya nüfusunun beslenmesi açısından oldukça önemlidir. Dünya Bankası ve Birleşmiş Milletler öngörülerine göre 2040 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara ulaşacağı düşünülmektedir (Macias ve ark., 2007). Bu durumda gelecekte insan beslenmesi için tarımsal verimliliğin de artırılması gerekmektedir ki, bu ise ancak amaca uygun genotip ve yetiştirme yöntemlerini seçmenin yanında; su, ışık, besin maddesi gibi çeşitli büyüme faktörlerine ortak olan "*yabancı otların*" da ortamdan uzaklaştırılmasıyla mümkün olabilmektedir (Ulukan 2008). Dünyanın mevcut tahıl üretimi 2.1 milyar ton ve tahıl verimindeki toplam kayıp 200 milyon tondur. Bu kaybın yaklaşık %10'u yabancı otlardan kaynaklanmaktadır (Anonim b 2020; Hussain 2021). Yabancı otlar, uygun mücadele yöntemleri ile doğru zamanda mücadele edilmezse ürün verimini düşüren tarımsal zararlıların başında gelmektedir. İkinci Dünya Savaşı'na kadar yabancı otlar, toprak işleme veya çapalamaya büyük önem verilerek, öncelikle kültürel mücadele yöntemi ile kontrol edilmekteydi. Son 50 yılda, bu tür yöntemlerin yerini büyük oranda kimyasal mücadele almıştır. Gelişmiş ülkelerde tarımsal üretim alanlarının neredeyse tamamında herbisitler kullanılmaktadır (Duke, 1996).

Kimyasal mücadele metotları, kullanılan pestisitlerin sıklığına bağlı olarak toprakta, suda ve gıda maddelerinde kalıntı sorunu oluşması, hedef dışı organizmaların olumsuz yönde etkilenmesi, çevre kirliliğinin artması gibi gerek çevre, gerekse insan sağlığı bakımından çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunlara ek olarak hastalık, zararlı ve yabancı ot gruplarının pestisitlere karşı dayanıklılık oluşturması da son yıllarda karşılaşılan önemli problemlerden biridir (Uysal, 2011). Herbisit dayanıklılığı ise, sürekli olarak aynı etki mekanizmasına sahip herbisitlere maruz kalan yabancı otların genetik özellikleri sayesinde bu herbisitlere karşı koyma özellikleri olarak açıklanabilir. Dayanıklılık problemleri ilk olarak 1970'li yıllarda Triazine grubuna karşı dayanıklı yabancı otların gelişmesiyle başlamıştır (Avcı, 2009).

Günümüzde, bitkilerin doğal olarak dayanıklı olduğu seçici herbisitler pazarlanmaktadır. Herbisit uygulaması, çiftçiye son derece faydalı olmuştur (Duke 1994). Fakat doğal dayanıklılığın genel olarak oluşmamış olması çiftçilerin bitkilerdeki fitotoksiteye katlanmak zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Dünyadaki herbisit kullanım oranına baktığımızda; herbisitler, tarım ilaçları içinde %47'lik bir payla birinci sırayı almaktadır; bunu %29 ile insektisitler izlemekte, fungisitlerin ise %19'luk bir payı bulunmaktadır. Herbisitler ve insektisitler kullanımın %70'den fazla bir bölümünü kapsamaktadır (Dağ, 2000). Türkiye'de pestisit tüketimi ortalama 53.672.000 kg-lt olup, bu miktarın %23' ünü insektisitler, %24' ünü herbisitler, %38' ini fungisitler, %15' ini de diğer gruplar oluşturmaktadır (Anonim a

2020). 2008 yılında pestisit grupları içerisinde 5.500 ton ile en yüksek oranda herbisitler kullanılmıştır (Delen ve ark. 2010). Herbisitler, yabancı otlarla mücadelede en önemli kontrol yöntemi haline gelmiştir. Kimyasal mücadelenin diğer mücadele yöntemleriyle kıyaslandığında ön plana çıkmasının nedeni daha geniş alanlarda uygulama kolaylığı, yabancı otların herbisit uygulamasıyla hızlı bir şekilde kontrol edilebilir olması ve güvenilir olmasıdır (Powles ve Shaner, 2001).

Yeni herbisitlerin keşfedilmesi, geliştirilmesi ve tescil edilmesinin maliyeti göz önüne alındığında, mevcut herbisitlerin kullanımının yaygınlaştırılması için daha fazla çaba sarf edilmektedir. Önceki herbisitlerin kullanımını artırma stratejilerinden biri, herbisit dayanıklı bitkiler üreterek bunların kullanılabileceği tarım ürünlerini genişletmektir. Herbisitler sadece yabancı otlara zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda kültür bitkilerini de etkilemektedir (Zhang ve ark., 2019). Bu nedenle, kültür bitkisi çeşitlerinde herbisit dayanıklılığının geliştirilmesine ve diğer önemli tarımsal özelliklerin iyileştirilmesine ihtiyaç vardır, bu da ürün artışı sağlayabilir ve çiftçilerin yabancı otları kontrol etmesine yardımcı olabilir (Hussain ve ark. 2021). The Weed Science Society of America (WSSA)'ya göre, herbisit direnci "bir bitkinin normalde yabani tür için öldürücü olan bir doz herbisite maruz kaldıktan sonra hayatta kalma ve üreme yeteneği olarak tanımlanır. Bir bitkide direnç, doğal olarak meydana gelebilir veya genetik mühendisliği, doku kültürü veya mutagenez tarafından üretilen varyantların seçimi gibi tekniklerle

oluşturulabilmektedir. Herbisit toleransı, bir bitkinin herbisit işleminden sonra hayatta kalmasıdır. Bazen herbisite dayanıklı bitkiler, herbisite toleranslı ürünler olarak da adlandırılmaktadır (Anonim 2021c).

Geleneksel yetiştirme yoluyla elde edilen ilk ticari herbisit dayanıklı bitki 1984'e kadar uzanmaktadır (Lombardo ve ark. 2016). Bununla birlikte, ister doğal varyasyon isterse yapay mutasyon kullanılsın, mutantlar geleneksel üremede rastgele oluşturulur ve bu nedenle izole edilmesi ve saflaştırılması daha zordur (Ni ve ark. 2018). Ek olarak, bitkilerde doğal genetik çeşitliliğin kademeli olarak azalması, kültür bitkisi üretimini büyük ölçüde etkilemiştir (Govindaraj ve ark. 2015).

Geleneksel ıslah yöntemleri ile Herbisitlere tolerant bitkilerin geliştirilmesinin yanı sıra modern biyoteknolojik yöntemler kullanılarak ta herbisitlere dayanıklı bitkiler geliştirilmektedir. Yeni nesil dizileme teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte, giderek daha fazla dizili ürün genomu ve yeni tanımlanan gen fonksiyonları, araştırmacıları transgenik bitki üretmeye yönlendirmektedir (Ni ve ark. 2018). Bilim adamlarının yoğun çabaları, kültür bitkilerinde farklı özelliklerin iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılan etkili ve şu anda en uygun genom düzenleme araçlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Bu nedenle, genom düzenleme yoluyla herbisit dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi, şu anda üreticilerin yabancı otları kontrol etmesini kolaylaştırmak için uygun maliyetli bir seçenek sunabilen transgenik ve geleneksel yaklaşımlara bir alternatiftir. Entegre yabancı

ot mücadele (IWM) 'de herbisit dayanıklı bitkilerin kullanılması, uzun vadeli, çevre dostu ve karlı bir yabancı ot kontrol sistemi sağlayabilir.

1. HERBİSİT DAYANIKLILIĞI VE ETKİ MEKANİZMASI

Herbisitler insanların istenmeyen bitkileri öldürmek için kullandığı fitotoksinlerdir (Duke, 1996). 1940'ların ortalarında 2,4-D'nin kullanılmasıyla kimyasal yabancı ot mücadelesi başlamıştır. O zamandan beri, çok çeşitli herbisitler ticarileştirilmiş ve bu, ürün veriminin artmasına büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Birkaç yeni, daha spesifik ve daha etkili herbisitin piyasaya sürülmesi, herbisitlerle yabancı ot kontrolünün maliyetini, diğer kontrol uygulamalarına (işçilik, yakıt ve makine) göre azaltmıştır. Fakat her yıl aynı herbisitin kullanılması, herbisite dayanıklı yabancı otların artmasına sebep olmuştur. Konumuz olan herbisit dayanıklılığı, 1970'li yıllarda Triazin'lere dayanıklılık ile gündeme gelmiştir. Daha sonra mekanizması araştırıldığında bazı farklılıklar görülmüştür. Genel olarak çapraz ve çoklu dayanıklılık olarak adlandırılan mekanizmalar, bir yabancı ot biyotipinin bir herbisite karşı aynı etki mekanizmasında birden fazla dayanıklılık geliştirmesi ve bir biyotipin farklı etki mekanizmalarına karşı dayanıklılık geliştirmesi şeklinde açıklanmaktadır (Heap ve Lebaron, 2001). 2021 yılında dünya çapında 266 tür (153 dikot ve 113 monokot) ile 509 herbisite dayanıklı yabancı ot vakası (tür x etki alanı) bulunmaktadır. Yabancı otlar, bilinen 31 herbisit etki alanının 21' ine ve 164 farklı herbisite karşı direnç geliştirmiştir. Herbisite dayanıklı yabancı otlar 71 ülkede 95 üründe rapor edilmiştir (Anonim d 2021). Herbisit dayanıklılığı

ülkemizde ilk kez 1997 yılında Çukurova Bölgesinde buğday ekim alanlarında sorun olan *Avena sterilis* L. yabancı otunda tespit edilmiştir (Uludağ ve ark., 2001).

Herbisitler genellikle bitkilere özgün, örneğin fotosentez aktivitesi gibi, biyokimyasal yolları etkilemektedir. Bunun dışında değişik etki mekanizmaları olan farklı grup herbisitler mevcuttur. Herbisitler farklı şekilde sınıflandırılabilmelerine rağmen, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de etki mekanizmalarına göre sınıflandırılma tercih edilmektedir (Torun, 2017). Özellikle doğru herbisit uygulaması planlamasında kullanılan kimyasal grupları sınıflandırma sistemi HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) ve WSSA (Weed Science Society of America) gruplarında yer alan yabancı ot ile ilgilenen bilim insanları tarafından yapılmaktadır. Hemen hemen birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi Türkiye'de de ruhsatlandırılan herbisitlerin etiketleri üzerinde HRAC gruplarına benzer şekilde harflendirme sistemi uygulanmaktadır. Dünyada Asetolakto Sentetaz (ALS) Enzimi Engelleyicileri (Grup B), Fotosentez Engelleyicileri (Grup C) ve Kök Gelişimi Engelleyicileri (Grup K) etki mekanizmasına ait aktif madde kullanımı en yüksektir (Forouzesh ve ark., 2015).

Dünya çapında yaygın olarak kullanılan başlıca seçici herbisit grupları, Asetohidroksiasit sentaz (AHAS)-inhibe edici herbisitler olarak da bilinen birçok Asetolaktat sentaz (ALS) içeren Sülfonilüre herbisitlerini içerir. Geniş bir yabancı ot kontrol potansiyeli, kullanım esnekliği ve düşük uygulama oranlarını temsil ederler. Bu nedenle,

kültür bitkilerinde Sülfonilüre direncinin geliştirilmesi, yabancı otların neden olduğu zararla başa çıkmanın ekonomik ve pratik bir yolu olabilir (Guo ve ark. 2020).

Bir yabancı ot popülasyonunu etkin şekilde kontrol etmek için normal şartlar altında kullanılan bir herbisit dozuna maruz kaldıktan sonra, canlı kalarak üreyen bitkilerin söz konusu dayanıklılığı iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, o kimyasal gruba dayanıklılığı sağlayan gen ya da gen gruplarına daha önceden sahip olan bitkilerin aynı türe ait popülasyon içerisinde doğal seleksiyon yoluyla baskın hale gelmesi şeklindedir. İkincisi ise, aşırı ve sık herbisit kullanımına bağlı olarak, bitkilerde meydana gelen mutasyonlar sonucu ortaya çıkmaktadır (Mengüç ve Elibüyük 2014).

Herbisite dayanıklı kültür bitkisinin geliştirilmesinde en önemli adım, herbisitin bitkide etkilediği yerin moleküler düzeyde anlaşılmasıdır. Bir bitkinin herhangi bir herbisite dayanıklılığını oluşturması için herbisitin bitkiyi etkilediği noktaya taşınmasının etkilenmesi, herbisitin etkisinin biyokimyasal olaylar ile geri çevrilmesi, herbisitin yapısının bitki tarafından bozulması, herbisitin bitkide etkilediği noktanın dayanıklılığı gibi mekanizmalar bulunmaktadır (Sherman ve ark., 1996).

Bir bitki herbisitlere karşı 3 şekilde dayanıklılık gösterir. Bunlardan ilki; bitkinin herbisitin etkili olduğu hedef enzimini daha fazla miktarda üretmesiyle, ikincisi; bitki bünyesi içerisinde herbisitin etkili olduğu enzimin yerine aynı görevi yapan farklı bir enzimin

sentezlenmesiyle, üçüncüsü ise; bitki metabolizma faaliyetlerini artırarak bünyesinde bulunan herbisiti detoksifiye etmesiyle herbisitlere dayanıklılık göstermektedir. Her üç etki mekanizması da bitkide daha önceden var olan ya da daha sonra, mutasyonlar sonucu ortaya çıkan gen ya da gen grupları tarafından gerçekleştirilir (Moss, 2002).

1940'larda yabancı otların kimyasal kontrolünün başlangıcından bu yana yaklaşık yüz herbisit aktif bileşeni pazarlanmıştır. Eksikliklerin olmasına rağmen bu bileşiklerin çoğunun etki mekanizmaları bilinmektedir. Herbisitlerin yaklaşık 15 moleküler hedef bölgesi bilinmektedir. (Devine ve ark.. 1993; Duke, 1992; Pilmoor ve ark.. 1995). Bir herbisitin etkili olabilmesi için moleküler hedef bölgesine ulaşması gerekir. Moleküler hedef bölge, herbisit uygulama bölgesinden çok uzakta olabilir. Örneğin, etkili olması için herbisitin yapraklardan apikal meristemlere taşınması gerekebilir. Bir tür, yabancı ot veya ürün, bu mekanizmalardan bir veya daha fazlası ile belirli bir herbisite karşı dirençli olabilir. Herbisitlerin moleküler etki alanlarını bilmek herbisit dayanıklı ürünlerin üretiminde önemlidir**.** Bu etki alanlarının önemlilerinden biri "Amino Asit Sentez İnhibitörleri"dir.

Bitkiler, gerekli tüm amino asitleri sentezlemektedir. Teorik olarak, herhangi bir esansiyel amino asidin sentezini engellemek bitkiyi öldürmektedir. Amino asit sentezinde yer alan üç enzimi hedefleyen ticari herbisitler vardır: (1) glutamin sentetaz (GS), (2) asetolaktat sentaz (ALS) ve (3) enolpiruvilşikimatfosfat sentaz (EPSP sentaz).

1.1. Glutamin sentetaz

Glutamin sentetaz aktivitesi, amonyak formundaki organik azotun bitkilere asimilasyonu için temeldir. Nitriti amonyağa indirgeyen bir bitkide, genetik bir lezyon veya GS'nin inhibisyonu nedeniyle GS aktivitesinin olmaması, çok yüksek amonyak seviyelerine yol açabilir. GS inhibitörlerinin neden olduğu amonyak birikiminin, fitotoksisitenin başlıca nedeni olduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte, herbisidal GS inhibitörlerinin, fitotoksisitelerinin çoğuna, karbon fiksasyonunun ilk enzimi olan RUBP karboksilazın bir inhibitörü olan glioksilatı hızla yükselterek neden olduğu bilinmektedir (Devine ve ark. 1993). İki ticari herbisit, bialafos ve glufosinat (doğal bir kaynaktan geldiğinde fosfinotrisin olarak da bilinir), GS'nin inhibisyonu yoluyla hareket eder. Bu herbisitler, yabancı otlarda dayanıklılık oluşturacak kadar uzun süre kullanılmamıştır.

1.2. Acetolactate İnhibitörü (ALS)

Bu, üç temel dallı zincirli amino asidin (lösin, izolösin ve valin) sentezinde ortak olan bir enzimdir. Halihazırda bu enzimi hedefleyen üç ana herbisit kimyasal sınıfı vardır: imidazolinonlar, triazolopirimidinler ve sülfonilüreler (Devine ve ark. 1993). Sülfonilüreler (Beyer ve ark. 1988) ve triazolopirimidinler (Subramanian ve Gerwick 1989) hakkında incelemeler mevcuttur ve imidazolinonlar hakkında bütün bir kitap mevcuttur (Shaner ve O'Connor 1991). Bu herbisitler, genel olarak oldukça aktif ve seçicidir, belirli ALS inhibitörleri, spesifik ürünlerle kullanım için

pazarlanmaktadır. Bu, nispeten büyük ve artan sayıda ALS inhibitörü herbisitlerin pazarlanmasına yol açmıştır. Bu inhibitörler çoğu durumda çıkış sonrası yabancı ot yönetimi için kullanılmaktadır.

Asetohidroksi asit sentaz veya AHAS olarak da bilinen ALS, dallı zincirli amino asit yolundaki ilk enzimdir. Bu yolun tüm enzimleri sadece plastidde (yeşil olduğunda kloroplast) bulunur. Pek çok bileşik, görünüşte körelmiş bir ubikinon bağlanma bölgesine bağlanan ALS'nin iyi inhibitörleridir (Schloss ve ark. 1988). ALS'nin inhibisyonu büyümeyi durdurur ve ardından bitkiyi nispeten yavaş öldürür. Asetalaktat sentaz, herbisitler için mükemmel bir moleküler hedef bölgedir, çünkü hedef yabancı otları öldürmek için belirli ALS inhibitörlerinin hektar başına sadece birkaç gramı yeterli olmaktadır.

ALS'yi inhibe eden herbisitlere karşı doğal mahsul direnci, herbisitin hızlı metabolik bozulmasından kaynaklanmaktadır (Beyer ve ark. 1988; Shaner ve Mallipudi 1991). Buna karşılık, ALS inhibitörlerine karşı direnç geliştiren yabancı otlar, neredeyse her zaman, herbisite dirençli, değiştirilmiş bir ALS geliştirmiştir (Devine ve ark. 1993; Schmitzer ve ark. 1993). Mutasyonların sayısı ve konumuna bağlı olarak, tek bir tür içinde farklı çapraz direnç modelleri meydana gelebilir (Hattori ve ark. 1992). En az on mutasyon bölgesindeki değişiklikler, enzim aktivitesini ciddi şekilde düşürmeden direnç sağlayabilir (Mazur ve Falco 1989).

Yabancı otlar, sülfonilüreler (Thill ve ark., 1991) ve imidazolinonlara (Schmitzer ve ark., 1993) sadece 3 ila 5 yıllık bir seçimde ortaya

çıkan, ALS inhibitörü herbisitlere karşı nispeten hızlı bir şekilde direnç geliştirmiştir. Tüm bu durumlarda direnç, herbisite dayanıklı ALS'den kaynaklanmaktadır. Bu herbisitler, düşük dozda etkili, çevreye duyarlı olup, dar ve geniş yapraklı yabancı otları kontrol edebilmektedir (Anonim, 2007). Imidazolinon herbisitler, bitkilerde dallı zincirli amino asitlerin biyosentezi için asitli enzim olan asetolaktat sentaz (ALS) olarak da adlandırılan asetohidroksiasit sentaz (AHAS) enzimini inhibe eder (Tan ve ark., 2005).

Imidazolinone grubunda bulunan kimyasal bileşikler uygulandığı alanlardaki bitkilerde enzim aktivitesini etkileyerek bitkide ölüme yol açmaktadır (Battaglin ve ark., 2000). Imidazolinone herbisit grubuna ilk defa 1996 yılında ABD Kansas eyaletinde soya fasulyesi arazisindeki yabancı ayçiçeğinde rastlanmıştır (Al-Khatib,ve ark. 1998; Miller, 2002). Imidazolinonlar büyük alanlardaki dar ve geniş yapraklı yabancı otların kontrolünü sağlayabilmektedir. Yanıcı ve/veya yakıcı değildirler ve çevreye duyarlı özellikleriyle bilinmektedirler (Anonim, 2007; Cobb, 2010). Herbisite dayanıklı kültür bitkisi çeşitleri, dirençli gen kaynağı, doku kültürü teknikleri veya mutagenez kullanarak klasik ıslah yoluyla geliştirilebilir. IMI dirençli şeker pancarı geliştirmek için, doku kültürü ve somatik hücre seçimi, Wright ve ark., (1998) tarafından kullanılmıştır.

IMI herbisitlerine direnç, AHAS geninde amino asit sübstitüsyonuna neden olan bir nokta mutasyonunun sonucudur. Herbisit direncine neden olan yaygın AHAS amino asitler; Ala122, Pro197, Ala205, Asp376, Trp574 ve Ser653'tür (*Arabidopsis* AHAS'a dayanan amino

asit pozisyonu) (Jain et al., 2015). Ala122 ve Ser653'teki amino asitleri, imidazolinon herbisitlere (IMI) karşı yüksek direnç gösterir (Lee et al., 2011).

1.3. Enolpirvilşikimatfosfat (EPSP) Sentezi

Glifosat (N-(fosfonometil)glisin), şikimat yolunun bir enzimi olan EPSP sentezini inhibe eden tek ticari herbisittir. Aromatik amino asitler olan tirozin, fenilalanin ve triptofanın sentezinde ortak olan bir enzimdir. Bitkilerde bu amino asitler, hücre duvarı oluşumu, patojenlere ve böceklere karşı savunma, hormon üretimi ve plastokinon gibi enerji iletiminde gerekli bileşiklerin üretimi yanında protein sentezi dışındaki önemli olaylar için gereklidir (Duke, 1988). Glifosat total bir herbisittir. Bazı türler, muhtemelen alım veya yer değiştirme mekanizmalarından dolayı glifosata bir şekilde dirençlidir, ancak hiçbir ürün, glifosatın doğrudan ürün üzerinde seçici bir herbisit olarak kullanılması için yeterli dirence sahip değildir.

2. HERBİSİTLERE DAYANIKLI KÜLTÜR BİTKİLERİNİN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Herbisite dayanıklı bitkiler, bitki biyoteknolojisinin ilk ve en yaygın olarak duyurulan uygulamalarından birini temsil eder. Çoğu herbisitlere dayanıklı çeşitleri, yakın zamanda geliştirilen moleküler biyoloji ve bitki transformasyonu teknikleri kullanılarak yabancı bir genin kararlı entegrasyonu yoluyla oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, her bitki hücresinin, yabancı bir gen aldıktan sonra bütün bir bitkiye dönüştürülme potansiyelinden yararlanır. Bazı türler uzlaşmaz olsa da, transformasyon ve rejenerasyon metodolojisindeki ilerlemeler hızlı bir

tempoda gerçekleşmekte ve çoğu tür için transformasyonu tercih edilen metot haline getirmektedir. Bununla birlikte, herbisitlere dayanıklı bitkilerin aynı zamanda geleneksel bitki ıslah yöntemlerinin yanı sıra belirli herbisit dayanıklı bitkilerin akrabaları ile hibridizasyon yöntemi geliştirildiğini belirtmek önemlidir (Duke 1996).

Verim ve ekonomik tasarruflardaki önemli artışlara katkıda bulunma nedeniyle, yabancı ot yönetimi etkinliği ve sadeliği ile birlikte, herbisit dayanıklı bitki teknolojisi hızla yaygın olarak kabul görmüştür (Duke, 2015). Bununla birlikte, bitkilerde herbisit dayanıklılığının gelişimi için, genom düzenleme dahil doku kültürü, tohum seçimi, bitki seçme, mikrospor kültürü, mutagenez ve hibridizasyon gibi çeşitli teknikler kullanılmıştır (Tablo 1).

Çizelge 1. Ticari olarak üretilen transgenik olmayan herbisite dayanıklı bitkiler*

Bitki	Aktif Madde	Seçim Yöntemi	Yıllar
Soya Fasulyesi	Triazine Sulfonylureas	Doku Kültürü Tohum Seçimi	1981 1994
Kanola	Triazine Imidazolinone	Bitki Seçme Mikrospor Kültürü	1984 1997
Mısır	Imidazolinone Cyclohexanediones (sethoxydim)	Polen Mutagenesisi Doku Kültürü	1993 1996
Şeker Pancarı	Imidazolinone	Doku kültürü	1998
Buğday	Imidazolinone	Tohum mutagenesisi	2002
Çeltik	Imidazolinone	Tohum mutagenesisi	2002
Ayçiçeği	Imidazolinone Sulfonylureas	Hibridizasyon Hibridizasyon	2003 2006
Sorgum	Sulfonylureas	Hibridizasyon	2013

*Jha P. ve Reddy K. N. (2018)'den alınmıştır.

2.1. Seçim Yöntemleri

2.1.1. Bitki seçme

Tarama germplazmı koleksiyonları genellikle belirli bir herbisite karşı direnç seviyelerindeki çizgiler arasındaki değişkenliği tanımlar. Örneğin, difenzokuata direnç bazı buğday çeşitlerinde yaklaşık iki ila üç kat değişir (Snape ve ark. 1991); soya fasulyesi türleri ve çeşitleri de aynı şekilde metribuzin (Duke 1996) ve diğer herbisitlere (Duke 1996) farklı tepkiler gösterir. Bu nedenle, herbisit direncindeki değişkenlikten yararlanılabilir ve belki de yeni mahsul çeşitleri oluşturmak için tekrarlayan seçim ve geleneksel melezleme programları yoluyla geliştirilebilir. Böyle bir yaklaşım, Birleşik Krallık' ta çok yıllık otlaklar ve çimler için başarıyla kullanılmıştır (Duke 1996). Dalapon, parakuat veya glifosata karşı yararlı direnç seviyelerine sahip çok yıllık çavdar otu ve diğer türlerin birkaç çeşidi seçilmiştir. Bununla birlikte, bu yaklaşım, belki de geleneksel olarak herbisit direnci gibi özelliklere verilen nispeten düşük öncelik nedeniyle bitki yetiştiricileri tarafından geniş çapta benimsenmemiştir.

2.1.2. Tohum seçimi

Mutagenez, büyük popülasyonlardan herbisit dayanıklı bitkileri seçme olasılığını arttırmak için seleksiyonla birleştirilebilir. İlgili genlerde nokta mutasyonları oluşturmak için kimyasallar ve X-ışınları gibi çeşitli mutagenez yöntemleri kullanılmıştır. Bu yaklaşım, çeşitli türlerde herbisit dayanıklı bitkileri seçmek için başarıyla kullanılmaktadır. Kolza (*Brassica napus var. napus*) tohumunun

kimyasal mutagenezi sülfonilüre dirençli hatları seçmek için kullanılmıştır (Duke 1996).

2.1.3. Polen seçimi

Polen mutagenezi, istenen bir fenotipi elde etmek için de kullanılabilir. Bu yaklaşım, özellikle mısırda, biyolojik olarak ilginç bir dizi mutant elde etmek için kullanılmıştır (Duke 1996). Bu metodolojinin avantajı, büyük bir haploid polen tanesi popülasyonunu mutasyona uğratmanın ve döllenmeden sonra tarama için birçok birey elde etmenin kolay olmasıdır. Tekniğin kullanımı herbisit dayanıklı bitkilerin geliştirilmesinde rapor edilmemiş olmasına rağmen, yeni fenotipler oluşturmak için değerli bir yaklaşım olmaya devam etmektedir (Duke, 1996).

2.2. Hücre Kültürü Seçimi

Bitki hücreleri kallus veya süspansiyon halindeki hücreler olarak kültüre alındığında, gen yeniden düzenlemeleri, değiştirilmiş ploidi seviyeleri, kromozom değişiklikleri dahil olmak üzere genetik bileşimlerinde çok sayıda değişiklik meydana gelir. Somaklonal varyasyon olarak adlandırılan bu süreç, 1980'lerin başında, yeni ve geliştirilmiş mahsul çeşitlerini elde etmek için kullanılabilecek zengin bir değişkenlik kaynağı olarak ortaya atılmıştır (Duke 1996). Bir miktar başarı elde edilmiş olsa da, genel olarak geri kazanılan faydalı mutantların sayısı beklentileri karşılamamıştır. Bunun nedeni büyük olasılıkla istenen mutasyona sahip somaklonal varyantların çoğu zaman çok sayıda istenmeyen değişikliğe sahip olmasıdır. Örneğin, uzun süreli tütün hücre kültürlerinde glifosat direnci için seçim, stabil

dirençli hatların geri kazanılmasıyla sonuçlanmış, ancak rejenere bitkiler kısmen steril çıkmış ve aksi takdirde agronomik olarak bozulmuştur (Duke 1996). Birçok durumda muhtemelen doku kültürü sürecinin kendisinin bir sonucu olarak oluşan bir direnç mekanizması nedeniyle, direncin, herbisit hedef enzimini kodlayan genlerin amplifikasyonundan kaynaklandığı gösterilmiştir (Duke 1996).

Protoplast, mikrospor, kallus ve özellikle hücre süspansiyon kültürleri kullanılarak herbisit dayanıklı mutant hatlarının seçilmesinin sayısız örneği vardır. Protoplast, mikrospor (Swanson ve diğ. 1988), kallus (Duke 1996) ve özellikle hücre süspansiyon kültürleri (Duke 1996) bunlardan bazılarıdır. En iyi karakterize edilmiş örneklerden biri, embriyojenik mısır kallus kültürlerinin imidazolinon herbisitlere maruz bırakılmasını ve ardından dirençli sektörlerin izole edilmesini içeriyordu (Duke 1996). Çeşitli herbisite dayanıklı hatlar, değişen derecelerde direnç sağlayan iki bağlantısız, yarı baskın alelden birini (Newhouse ve ark. 1991) taşıyarak rejenere edilmiştir. Hatlar, tarımsal açıdan faydalı kendi içinde yetiştirilmiş hatlara geri çaprazlandı ve 1993'ün başlarında ticari kullanım için 14 imidazolinona dirençli hibrit mısır çeşidi elde edildi (Duke 1996). Şeker pancarı hücre kültürlerinde klorsülfüron direnci seçimi ve dirençli bitkilerin rejenerasyonu diğer örneklerdendir (Hart ve ark., 1992).

2.3. Hibridizasyon

Yabancı ot biyotiplerinde doğal olarak oluşan direnç özelliğinin geleneksel bitki ıslah yöntemleri kullanılarak kültür bitkilerine aktarılmasında kullanılmıştır. Atrazine dirençli yabancı ot *Brassica*

campestris, çin lahanası ve kanola olmak üzere ticari öneme sahip birkaç Brassica türü ile melezlenmiş ve 'Triton' atrazine dirençli kanolanın elde edilmesini sağlamıştır (Duke 1996). Direnç sağlayan kloroplast mutasyonunun tipi nedeniyle bu çeşitte yaklaşık %20 verim azalması olmasına rağmen, yüksek yabancı ot baskısının duyarlı çeşitlerin kullanımını engelleyebileceği durumlarda yetiştirilebilir. *Setaria viridis'*den atrazin direncini *Setaria italica* (Duke 1996) ve sülfonilüre direncine sahip maruldan (*Lactuca serriola*) yerli marula (*Lactuca sativa*) (Duke 1996) herbisite dayanıklılık özelliğini aktarmak için benzer bir yaklaşım kullanılmıştır.

2.4. Genom Düzenleme

Genom düzenleme, hedeflenen genomik dizilerde kesin ve verimli modifikasyonlar sunan ileri moleküler biyoloji tekniklerinin toplamıdır. Şu anda, genom düzenleme, biyolojik araştırmaları geliştirerek, canlı organizmaların genomlarını düzenlemek için yeni olanaklar sağlamaktadır. Basit ve karmaşık genomları düzenlemek için birçok genom düzenleme tekniği araştırılmıştır (Wang ve ark. 2020; Manghwar ve ark.2019). Bitki ıslahının ilerlemesini önemli ölçüde hızlandırmakta ve genom düzenleme aracılı bitki ıslahında yeni bir çağ sunmaktadır. Verimi, zararlılara ve herbisitlere karşı direnci, iklim değişikliklerine ve diğer streslere adaptasyonu iyileştirmek için kültür bitkilerine istenen özelliklerin kazandırılmasını sağlamıştır (Ricroch, 2019;Wang 2020).

Başlıca genom düzenleme araçları, hedeflenen gen modifikasyonunun basitliğini ve kolaylığını sağlayan TALEN'ler, ZFN'ler ve CRISPR-

Cas9 sistemlerini içermektedir. ZFN'ler, herhangi bir bölgede DNA dizilerini kesmek için kullanılan hedeflenebilir DNA parçalayıcı proteinlerdir. TALEN'ler, hedef bölgede DNA hasarı tepki yollarını uyaran ve genom modifikasyonuna yol açan çift sarmallı kopmaları (DSB'ler) tetiklemektedir (Gaj ve ark. 2013). ZFN'ler ve TALEN'ler *Arabidopsis*, mısır, çeltik, buğday, tütün, domates ve patateste genom modifikasyonu için manipüle edilmiştir (Sharma ve ark. 2010). Bu genom düzenleme araçları, genom düzenleme için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yine de belirli sınırlamaları vardır. ZFN'nin etkinliği sınırlıdır ve sıklıkla hedef dışı modifikasyonlara neden olur (Puchta, 2017). Bununla birlikte, CRISPR-Cas sistemi verimliliği, doğruluğu, maliyet etkinliği ve biyolojik araştırmalardaki geniş uygulama aralığı nedeniyle en güçlü, sağlam ve şu anda baskın gen düzenleme aracıdır (Manghwar ve ark. 2020). CRISPR-Cas sistemi, spesifik olarak hedeflenen RNA güdümlü bir endonükleazdır.

CRISPR-Cas9 sistemi, bitkiler de dahil olmak üzere çeşitli organizmalardaki çeşitli uygulamalar nedeniyle umut verici bir teknoloji olduğunu kanıtlamıştır. Şimdiye kadar, bu sistem Arabidopsis, çeltik, buğday, tütün, mısır, patates, domates, ayçiçeği ve soya fasulyesi dahil olmak üzere çok sayıda bitki türünde hedeflenen gen mutasyonları, gen entegrasyonu ve gen düzenlemesi oluşturmak için kullanılmıştır (Manghwar ve ark. 2019; Li ve ark. 2020).

CRISPR-Cas9, herbisit dayanıklı bitkileri oluşturmak için devrim niteliğinde çözümler sunmaktadır. Cas9-gRNA sistemi kullanılarak mısırda ALS2 geninin düzenlenmesi, klorsülfüron direncine neden

olmuştur (Svitashev ve ark. 2015). Sun ve arkadaşları, çeltiğin ALS geninde çoklu nokta mutasyonları oluşturmak için CRISPR-Cas9 homolog rekombinasyonunu kullanmıştır. Bu yöntem, çeltikte herbisit dayanıklılık gelişimi ile sonuçlanan hedeflenen mutasyonu etkili bir şekilde ortaya çıkarmıştır (Sun ve ark 2016).

Bitkilerdeki ALS, ACCase, OsTubA2 ve EPSPS gibi birçok gen, herbisit dayanıklılığını oluşturmak için hedeflenmektedir. Tüm bitkiler, fosfoenolpiruvat (PEP) bağlanması veya bunun yarışmalı inhibitörü glifosat için önemli olan korunmuş bir EPSPS motifine sahiptir (Li ve ark. 2016). Böylece, herbisit dayanıklılığı geliştirme teknolojisinin en hızlı benimsenen yöntemi haline gelen EPSPS modifikasyonu ile kültür bitkilerinde glifosat direnci sağlanmıştır. Çeltikte CRISPR-Cas9 sistemi kullanılarak glifosata karşı direnç sağlanmıştır. OsEPSPS'deki hedeflenen ikameler, çeltikte glifosata direnç sağlamıştır (Li, 2016). EPSPS düzenlenerek herbisit toleransı oluşturmak için ketende ssODN ile birlikte CRISPRCas9 kullanılmıştır (Sauer ve ark. 2016).

ALS geninin birçok korunmuş bölgesindeki tek nokta mutasyonlarının, çeşitli bitkilerde herbisitlere karşı yüksek düzeyde direnç oluşturduğu tespit edilmiştir (Yu ve Powles 2014). ALS geninde C'den T'ye dönüşüm elde etmek için karpuzda sitidin bazı düzenlemesi (CBE) uygulanmış ve müteakip amino asit değişikliği, karpuz bitkilerinde trifennuron herbisit dayanıklılığı ile sonuçlanmıştır (Tian ve ark.2018).

Mısırda aynı baz düzenleme sistemini kullanan başka bir araştırma, iki alelik olmayan ZmALS1 ve ZmALS2 geninde hedeflenen amino asit ikamesini sağlamıştır. Şaşırtıcı bir şekilde, bu genlerdeki hedeflenen mutasyonlar, mısırda klorsülfüron herbisite karşı önemli ölçüde daha yüksek direnç sağlamıştır (Li, 2020). Başka bir temel düzenleme aracı olan adenin tabanı düzenleme (ABE), Liu ve arkadaşları tarafından çeltikte kullanılmıştır. *Agrobacterium* aracılı transformasyon yoluyla rBE14/sgRNA sistemini çeltikte entegre etmişlerdir. Çalışma, endojen OsTubA2 geninin hedeflenen düzenlenmesinin, dinitroanilin herbisite, yani pendimetalin ve trifluraline direnç kazandıran Met-268-Thr mutasyonuna yol açtığını ortaya koymuştur (Liu ve ark. 2020).

Günümüzde, yeni ve evrensel bir Cas9'dan türetilmiş hassas genom düzenleme aracı olan birincil düzenleme geliştirilmiş ve hassas dizi değiştirme, ekleme ve silmeye izin vermektedir (Hussain ve ark. 2021).

3. BAZI HERBİSİT GRUPLARINA DAYANIKLI KÜLTÜR BİTKİLERİ

3.1. Glifosat Dayanıklı Kültür Bitkileri

Herbisitlere dayanıklı bitkilerin, özellikle glyphosate dayanıklı bitkilerin ticarileştirilmesi, yabancı ot kontrolünde önemli bir gelişme olmuştur. Glyphosate dayanıklı soya fasulyesi, pamuk ve kanola 1996'da, mısır 1998'de üretilmiştir. 2016 yılına kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde soya fasulyesinin %94'ü, pamuğun %89'u ve mısır alanlarının %89'u glyphosate dayanıklı çeşitleriyle ekilmiştir

(Jha ve Reddy 2018). 2015 yılında dünya genelinde soya fasulyesinin %83'ü, pamuğun %75'i, mısırın %29'u ve kanola alanlarının %24'üne glyphosate dayanıklı çeşitleri ekilmiştir (James, 2015). Bu glyphosate dayanıklı yabancı otların hızlı üreme potansiyeli ve yayılması nedeniyle, yetiştiriciler ciddi verim düşüşleri ile karşı karşıya kalmakta ve yabancı ot kontrol uygulamalarını değiştirmek zorunda kalmaktadır (Shaw ve ark. 2011).

3.2. Glufosinate Dayanıklı Bitkileri

Glufosinata dirençli mısır, pamuk ve soya fasulyesi sırasıyla 1997, 2004 ve 2009' da glyphosate dayanıklı kültür bitkileri muadilleriyle benzer bir zaman diliminde ticarileştirilmiştir. Glufosinat direnci özelliği, ABD'deki pamuk ve soya fasulyesi yetiştiricilerine *Palmer amaranth* gibi glyphosate dayanıklı yabancı otları kontrol etmek için değerli bir araç sağlamıştır (Norsworthy ve ark. 2008). Hem glufosinat hem de glifosata direnç kazandıran soya fasulyesi, mısır ve pamuk çeşitleri artık ticari olarak mevcuttur ve yetiştiricilerin yabancı ot mücadele programlarını çeşitlendirmelerine olanak tanır. Üç yabancı ot türü *Eleusine indica* L., *Lolium perenne* L. *ssp. perenne* ve *Lolium perenne* L. *ssp. multiflorum* glufosinata karşı direnç geliştirmiştir (Jha ve Reddy 2018).

3.3. Imidazolinone ve Sulphonylurea Dayanıklı Kültür Bitkileri

Clearfield™ özelliği olarak da adlandırılan IMI dayanıklılık özelliği, 1993 yılında mısırda ticarileştirilmiş, bunu kanola (1997), buğday (2002), çeltik (2002) ve ayçiçeği (2003) izlemiştir. IMI herbisitler, IMI dayanıklı mısırda *Sorghum bicolor* L. ve *Sorghum halepense* L.,

IMI dayanıklı çeltikte *Oryza sativa* var. *sylvatica* ve IMI dayanıklı buğdayda *Bromus tectorum, Aegilops cylindrica* ve *Lolium perenne* gibi kontrolü zor bazı yabancı otların kontrolü için etkilidir (Tan ve ark. 2005).

Benzer şekilde, bitkilerdeki sülfonilüre dayanıklılık özelliği, yabancı ot kontrolü için çıkış sonrası uygulanan ALS inhibitörlerinin sülfonilüre ailesindeki klorimuron ve diğer bileşiklere karşı artan dayanıklılık sağlar (Reddy ve Whiting 2000). Sülfonilüre dayanıklı soya fasulyesi, buğdayda uygulanan toprak kalıntı sülfonilüre herbisitlerinden soya fasulyesinde herbisit bulaşma hasarı endişelerini azaltarak iki ürün durumlarında (buğdaydan sonra soya fasulyesi) yetiştiricilere fırsat sunmaktadır.

4. YENİ HERBİSİT DAYANIKLI BİTKİ TEKNOLOJİSİ

Yabancı ot direncinin glifosata karşı gelişimi, glifosatın faydasını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu soruna bir çözüm olarak, yeni nesil çoklu herbisit dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi, birkaç zirai kimya endüstrisi tarafından sürdürülmüştür. Şu anda Monsanto, Dow, Bayer, Syngenta ve BASF, glyphosate dayanıklılık özelliğiyle birlikte yeni bitkiler geliştirmektedir.

2,4-D (2,4-D kolin) ve dikamba (DGA tuzu) kullanımına yönelik geliştirilmiş formülasyon ve uygulama teknolojileri, yetiştiricilere, hedef dışı herbisit sürüklenmesi ve hedef dışı herbisit sürüklenmesinin azaltılmasıyla, bitkilerde glyphosate dayanıklı geniş yapraklı yabancı otları kontrol etmek için çok ihtiyaç duyulan araçları sağlayacaktır

(Green ve Owen 2011). Birden fazla herbisit dayanıklı bitki gelişmeye devam edecek fakat mevcut herbisitlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini korumak için bu teknolojiyi daha mantıklı bir şekilde kullanmaya acil bir ihtiyaç vardır.

SONUÇ

Herbisitlere dayanıklı kültür bitkileri, yabancı ot kontrol teknolojisinde devrim niteliğinde bir atılımı temsil eder, ancak bunlar yabancı ot mücadele yöntemlerinden yalnızca birisidir. Herbisitlere dayanıklı kültür bitkisi kullanılarak oluşturulan yabancı ot yönetimi stratejileri, herhangi bir yabancı otun hayatta kalmasına ve tohum vermesine izin verilmemesi, yabancı otlarının gelişmesini ve yayılmasını engellemesi nihai hedefiyle, ürün teknolojisinin kültürel, mekanik ve kimyasal mücadele (mümkün olan yerlerde biyolojik yöntemlerle birlikte) yöntemleriyle birlikte kullanılmalıdır. Herbisitlere dayanıklı kültür bitkileri aynı zamanda yabancı otlarda oluşan herbisit direncinin yönetiminde kritik öneme sahiptir. Gelecekteki yabancı ot yönetimi taktikleri, geçmişte kullanılanlara öncesi mahsul oldukça benzerlik göstermektedir. Herbisitlere dayanıklı kültür bitkileri, yabancı ot sorununun 'kötü' doğasını yönetmek var olan araçlardan sadece birisidir. Yeni etki mekanizmasına sahip herbisitlerin ve diğer yeni teknolojilerin (robotlar ve sahaya özel yabancı ot yönetim araçları) keşfedilmesi ihtiyacı her zaman mevcuttur.

KAYNAKLAR

Al-Khatib, K., Baumgartner, J. R., Peterson, D. E., & Currie, R. S. (1998). Imazethapyr resistance in common sunflower (*Helianthus annuus*). Weed Science, 403-407.

Anonim (2007). Weed Science Society of America, Herbicide Handbook, 9th. edn., Weed Science Society of America, Lawrence, K.S.

Anonim a (2020). T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Gıda Ve Kontrol Genel Müdürlüğü (GKGM). https://www.tarimorman.gov.tr/gkgm. (Erişim tarihi: 10.12.2021).

Anonim b (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recommendations for Improved Weed Management. www.fao.org/3/a0884e/a0884e.pdf (Erişim tarihi: 11.10.2021).

Anonim c (2021). Weed Science Society of America (WSSA). https://wssa.net/wssa/weed/resistance/herbicide-resistance-andherbicide-tolerance-definitions/ (Erişim tarihi: 19.11. 2021).

Anonim d (2021). Herbicide Resistance Action Committee. http://www.weedscience.org/Home.aspx (Erişim tarihi: 10.12.2021)

Avcı, M.Ç. (2009). Çukurova Bölgesi buğday ekim alanlarında sorun olan Phalaris brachystchys Link (kanlı çayır)'in bazı buğday herbisitlerine karşı oluşturduğu dayanıklılık sorunlarının araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Beyer, E.M., Duffy, M.J., Hay, J.V., Schlueter, D.D. (1988). Sulfonylureas. In Herbicides-Chemistry, Degradation and Mode of Action Vol. Ill. Ed. by Kearney, P.C. and Kaufman, D.D. Marcel Dekker, New York, pp. 117-189.

Cobb A.H ve Read J.P.H.(2010). Herbicides and Plant Physiology. 2nd edn. John Wiley and Sons, Oxford, UK..

Dağ, S. (2000). Türkiye' de Tarım İlaçları Endüstrisi ve Geleceği. V. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi Bildirileri 2. Cilt, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara, s. 933-958, 17-21 Ocak 2000. 5.

Delen, N., Kınay, P., Yıldız, F., Yıldız, M., Altınok, H., Z. Uçkun, (2010). Türkiye tarımında kimyasal savaşımın durumu ve entegre savaşım olanakları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, s: 609-625.

Devine, M.D., Duke, S.O., Fedtke, C. (1993). Physiology of Herbicide Action. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Duke, S.O. and Kenyon, W.H. (1988). Polycyclic alkanoic acids. In Herbicides-Chemistry, Degradation and Mode of Action, Vol. Ill. Ed. by Kearney, P.C. and Kaufman, D.D. Marcel Dekker, New York, pp. 71-116.

Duke, S.O. (1992). Weed science- the need and the reality. Phytoparasitica 20: 183.

Duke, S.O. (1994). Weed science. In Encyclopedia of Agricultural Science, Vol. 4. Academic Press, New York, p. 485.

Duke, S.O. (1996). Herbicide Resistant Crops. Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory, and Technical Aspects. Chemical Rubber Company (CRC Press). ISBN 13: 978-1-315-89409-6.

Duke, S.O. (2015). Perspectives on transgenic, herbicide-resistant crops in the United States almost 20 years after introduction. Pest Management Science.. 71, 652–657.

Gaj, T.; Gersbach, C.A.; Barbas, C.F., (2013). III. ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. Trends Biotechnol. 31, 397–405.

Govindaraj, M.; Vetriventhan, M.; Srinivasan, M. (2015). Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. Genetics Research International, 1–14.

Green, J. M. and Owen, M. D. K. (2011), 'Herbicide-resistant crops: Utilities and limitations for herbicide-resistant weed management', J. Agric. Food Chem., 59, 5819–29.

Guo, Y.; Cheng, L.; Long, W.; Gao, J.; Zhang, J.; Chen, S.; Pu, H.; Hu, M. (2020). Synergistic mutations of two rapeseed AHAS genes confer high resistance to sulfonylurea herbicides for weed control. Theor. Appl. Genet. 133, 2811–2824.

Hart, S.E., Saunders, J.W., and Penner, D. 1992. Chlorsulfuron-resistant sugarbeet: cross-resistance and physiological basis of resistance. Weed Sci. 40: 378.

Hartung, F.; Schiemann, J. (2014). Precise plant breeding using new genome editing techniques: Opportunities, safety and regulation in the EU. Plant J. 78, 742–752.

Hattori, J., Rutledge, R., Labbe, H., Brown, D., Sunohara, G.,Miki, B. (1992). Multiple resistance to sulfonylureas and imidazolinones conferred by an acetohydroxyacid synthase gene with separate mutations for selective resistance. Molecular Genetics and Genomics . 232: 167-173.

Heap, I. (2017). The international survey of herbicide-resistant weeds, www.weedscience.org. Erişim tarihi.10.10.2021.

Hussain, A.; Ding, X.; Alariqi, M.; Manghwar, H.; Hui, F.; Li, Y.; Cheng, J.;Wu, C.; Cao, J.; Jin, S. (2021). Herbicide Resistance: Another Hot Agronomic Trait for Plant Genome Editing. Plants, 10, 621. https://doi.org/10.3390/plants10040621.

Jha P., ve Reddy K. N. (2018). The role of herbicide-resistant crops in integrated weed management. Burleigh Dodds Science. http://dx.doi.org/10.19103/AS.2017.0025.12.

James, C. (2015), 'Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops', ISAAA Brief No. 51. ISAAA: Ithaca, NY, http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/51/executivesummary/default. asp

Lee, H., Rustgi, S., Kumar, N., Burke, I., Yenish, J.P., Gill, K.S., Wettstein, D.V., Ullrich, S.E., Single(2011).Nucleotide Mutation İn The Barley Acetohydroxy Acid.

Li, J.; Meng, X.; Zong, Y.; Chen, K.; Zhang, H.; Liu, J.; Li, J.; Gao, C. (2016).Gene replacements and insertions in rice by intron targeting using CRISPR–Cas9. Nat. Plants, 2, 1–6.

Li, B.; Liang, S.; Alariqi, M.;Wang, F.;Wang, G.;Wang, Q.; Xu, Z.; Yu, L.; Zafar, M.N.; Sun, L. (2020).The application of temperature sensitivity CRISPR/LbCpf1 (LbCas12a) mediated genome editing in allotetraploid

cotton (G. hirsutum) and creation of nontransgenic, gossypol-free cotton. Plant Biotechnol. J. 19, 221–223.

Liu, L.; Kuang, Y.; Yan, F.; Li, S.; Ren, B.; Gosavi, G.; Spetz, C.; Li, X.; Wang, X.; Zhou, X.(2020). Developing a novel artificial rice germplasm for dinitroaniline herbicide resistance by base editing of OsTubA2.Plant Biotechnol. J, 19,57.

Lombardo, L., Coppola, G., Zelasco, S. (2016). New technologies for insect-resistant and herbicide-tolerant plants. Trends Biotechnol., 34, 49–57.

Macias, A.F., Molinillo, J.M.G., Varela, R.M., Galindo, J.C.G. (2007). Allelopathy – A natural alternative for weed control. Pest Management. Sci. 63: 327–348.

Manghwar, H.; Lindsey, K.; Zhang, X.; Jin, S. (2019) CRISPR/Cas system: Recent advances and future prospects for genome editing. Trends Plant Science, 24, 1102–1125.

Manghwar, H.; Li, B.; Ding, X.; Hussain, A.; Lindsey, K.; Zhang, X.; Jin, S.(2020). CRISPR/Cas Systems in Genome Editing: Methodologies and tools for sgRNA design, off-target evaluation, and strategies to mitigate off-target effects. Adv. Science, 7, 1902312.

Mazur, B.J. Falco, S.C. (1989). The development of herbicide-resistant crops. Annu. Rev. Plant Physiol. 40: 441-470.

Mengüç Ç., Elibüyük İ.Ö. (2014). Yabancı Otlarda Herbisitlere Dayanıklılık ve Yönetimi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 7 (2): 19-22, 2014 ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132.

Miller, J. F., & Al-Khatib, K. 2002. Registration of imidazolinone herbicide-resistant sunflower maintainer (HA 425) and fertility restorer (RHA 426 and RHA 427) germplasms. Crop Science, 42(3), 988-a.

Moss, S.R., (2002). Herbicide resitant weeds. Weed microgement handbook, 225-252p.

Newhouse, K., Singh, B., Shaner, D., and Stidham, M. (1991). Mutations in com (Zea mays L.) conferring resistance to imidazolinone herbicides. Theor. Appl. Genet. 83: 65.

Ni, Z., Han, Q., He, Y.Q., Huang, S. (2018). Application of genome-editing technology in crop improvement. Cereal Chem., 95, 35–48.

Norsworthy, J. K., Griffith, G. M., Scott, R. C., Smith, K. L. and Oliver, L. R. (2008), 'Confirmation and control of glyphosate-resistant Palmer amaranth (Amaranthus palmeri) in Arkansas', Weed Technol., 22, 108–13.

Pilmoor, J.B., Lindell, S.D., Briggs, G.G., Wright, K. (1995). In Eighth International Congress of Pesticide Chemistry, Options 2000. Ed. by Ragsdale, N.N., Kearney, P.C., and Plimmer, J.R. American Chemical Society, Washington, D.C., pp. 292-303.

Powles SB., Shaner DL. (2001). Herbicides Resistance and World Grains. Chemical Rubber Company (CRC Press LLC), Boca Raton, FL. ISBN: 9780849322198.

Puchta, H. (2017). Applying CRISPR/Cas for genome engineering in plants: The best is yet to come. Curr. Opin. Plant Biol. 36, 1–8.

Reddy, K. N. and Whiting, K. (2000), 'Weed control and economic comparisons of glyphosateresistant, sulfonylurea-tolerant, and conventional soybean (Glycine max) systems', Weed Technol., 14, 204–11.

Ricroch, A. (2019). Global developments of genome editing in agriculture. Transgenic Res. 28, 45–52.

Sauer, N.J.; Narváez-Vásquez, J.; Mozoruk, J.; Miller, R.B.;Warburg, Z.J.;Woodward, M.J.; Mihiret, Y.A.; Lincoln, T.A.; Segami, R.E.; Sanders, S.L.(2016). Oligonucleotide-mediated genome editing provides precision and function to engineered nucleases and antibiotics in plants. Plant Physiol, 170, 1917–1928.

Schloss, J.V., Ciskanik, L.M., VanDyk, D.E. (1988). Origin of the herbicide binding site of acetolactate synthase. Nature 331: 360-362.

Schmitzer, P.R., Eilers, R.J., Cseke, C. (1993). Lack of cross-resistance of imazaquin-resistant Xanthium strumarium acetolactate synthase to flumetsulam and chlorimuron. Plant Physiol. 103: 281-283.

Shaner, D.L., Mallipudi, N.M. (1991). Mechanisms of selectivity of the imidazolinones. In The lmidazolinone Herbicides. Ed. by Shaner, D.L. and O'Connor, S.L. Chemical Rubber Company (CRC Press), Boca Raton, FL, pp. 91-102.

Shaner, D.L., O'Connor, S.L. (Eds.) (1991). The Imidazolinone Herbicides. CRC Press, Boca Raton, FL.

Sharma, S.; Kaur, R.; Singh, A.(2010). Recent advances in CRISPR/Cas mediated genome editing for crop improvement. Plant Biotechnol. Rep. 11, 193–207.

Shaw, D. R., Owen, M. D., Dixon, P. M., Weller, S. C., Young, B. G., Wilson, R. G. and Jordan, D. L. (2011). 'Benchmark study on glyphosate-resistant cropping systems in the United States. Part 1: Introduction to 2006–2008', Pest Manag. Sci., 67, 741–6

Snape, J.W., Leckie, D., Parker, B.B., and Nevo, E. (1991). The genetical analysis and exploitation of differential responses to herbicides in crop species. In Herbicide Resistance in Weeds and Crops. Ed. by Caseley, J.C., Cussans, G.W., and Atkin, R.K. Butterworth-Heinemann, Oxford, p. 305.

Subramanian, M.V., Gerwick, B.C. (1989). Inhibition of acetolactate synthase by triazolopyrimidines. A review of recent developments. ACS Symp. Ser. 389: 277-288.

Sun, Y.; Zhang, X.;Wu, C.; He, Y.; Ma, Y.; Hou, H.; Guo, X.; Du,W.; Zhao, Y.; Xia, L.(2016). Engineering herbicide-resistant rice plants through CRISPR/Cas9-mediated homologous recombination of acetolactate synthase. Mol. Plant 9, 628–631.

Swanson, E.B., Coumans, M.P., Brown, G.L., Patel, J.D., and Beversdorf, W.D. 1988. The characterization of herbicide tolerant plants in Brassica napus L. after in vitro selection of microspores and protoplasts. Plant Cell Rep. 7: 83.

Svitashev, S.; Young, J.K.; Schwartz, C.; Gao, H.; Falco, S.C.; Cigan, A.M. (2015).Targeted mutagenesis, precise gene editing, and site-specific gene insertion in maize using Cas9 and guide RNA. Plant Physiol. 169, 931–945.

Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K. and Shaner, D. L. (2005), 'Imidazolinone-tolerant crops: History, current status, and future', Pest Management. Science., 61, 246–57.

Tian, S.; Jiang, L.; Cui, X.; Zhang, J.; Guo, S.; Li, M.; Zhang, H.; Ren, Y.; Gong, G.; Zong, M.(2018). Engineering herbicide-resistant watermelon variety through CRISPR/Cas9-mediated base-editing. Plant Cell Rep, 37, 1353–1356.

Torun H. (2017). Herbisitler ve Türkiye'deki Ruhsatlı Herbisitlerin Güncel Durumu. Turkish Journal of Weed Science 20(2):2017:61-68.

Uludağ, A., Nemlı, Y., Rubın, B., (2001). Yabani Yulafta (Avena sterilis L.) Cladinofop'a Dayanıklılık Üzerine Çalışmalar. Türkiye II. Herboloji Kongresi Bildiri Özetleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü.

Ulukan, H. (2008). Agronomic adaptation of some field crops: A general approach. J. Agronomy & Crop Sci. 194: 169–179.

Uysal, B. (2011). Yabancı Otların Herbisitlere Dayanıklılığı. (Yüksek Lisans Semineri) Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki koruma Ana Bilim Dalı, Tokat.

Wang, Q.; Alariqi, M.; Wang, F.; Li, B.; Ding, X.; Rui, H.; Li, Y.; Xu, Z.; Qin, L.; Sun, L.(2020). The application of a heat-inducible CRISPR/Cas12b (C2c1) genome editing system in tetraploid cotton (G. hirsutum) plants. Plant Biotechnol. J., 18, 2436–2443.

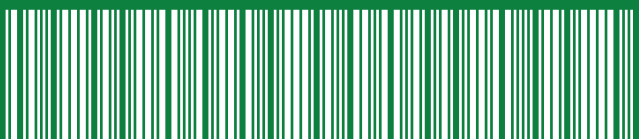
Wright, T.R., Penner, D., (1998). Cell Selection And İnheritance Of İmidazolinone Resistance In Sugarbeet, Theoretical Applied Genetics, 96:612-620.

Yu, Q.; Powles, S.B.(2014). Resistance to AHAS inhibitor herbicides: Current understanding. Pest Management Science 70, 1340–1350.

Zhang, R.; Liu, J.; Chai, Z.; Chen, S.; Bai, Y.; Zong, Y.; Chen, K.; Li, J.; Jiang, L.; Gao, C. (2019). Generation of herbicide tolerance traits and a new selectable marker in wheat using base editing. Nat. Plants, 5, 480–485.

Zhang, D.; Hussain, A.; Manghwar, H.; Xie, K.; Xie, S.; Zhao, S.; Larkin, R.M.; Qing, P.; Jin, S.; Ding, F. (2020). Genome editing with the CRISPR-Cas system: An art, ethics and global regulatory perspective. Plant Biotechnol. J, 18, 1651–1669.





ISBN: 978-625-8061-67-3