

**İMAZAMOKS HERBİSİTİNİN *Allium cepa* L. ÜZERİNDEKİ
SİTOGENETİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

HAYRETTİN SARIKAYA

**YÜKSEK LİSANS
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. PINAR GÖÇ RASGELE**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İMAZAMOKS HERBİSİTİNİN *Allium cepa* L. ÜZERİNDEKİ
SİTOGENETİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hayrettin SARIKAYA tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Pınar GÖÇ RASGELE

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fulya Dilek GÖKALP
Trakya Üniversitesi

Doç. Dr. Serpil UĞRAŞ
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Pınar GÖÇ RASGELE
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/06/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Haziran 2023

Hayrettin SARIKAYA

TEŐEKKÖR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Pınar GÖÇ RASGELE'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

16 Haziran 2023

Hayrettin SARIKAYA



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. PESTİSİTLER.....	1
1.2. HERBİSİTLER.....	4
1.2.1. İmidazolinon Herbisitler	7
1.2.1.1. İmazamoks	8
1.3. <i>ALLIUM CEPA</i> TESTİ.....	9
1.4. ÇALIŞMANIN AMACI	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM	11
2.1. ÇALIŞMA MATERYALİ VE UYGULAMA KONSANTRASYONLARI ...	11
2.2. KÖK GELİŞİMİ ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ VE SİTOLOJİK İNCELEME	11
2.3. İSTATİSTİK ANALİZ.....	12
3. BULGULAR.....	13
4. TARTIŞMA.....	19
5. SONUÇ	23
6. KAYNAKLAR.....	24
ÖZGEÇMİŞ	31

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Küresel düzeyde 2020 yılı pestisit kullanımının ülkelere göre dağılımı [5]. ...	2
Şekil 1.2. Türkiye’de 2020 yılı pestisit kullanımında ilk on il [2].	2
Şekil 1.3. Pestisitlerin sınıflandırılması [10].	3
Şekil 1.4. Piridin imidazolinon herbisitlerin moleküler yapısı [17].	7
Şekil 1.5. İmazamoks herbisidinin kimyasal yapısı [27].	9
Şekil 3.1. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının <i>A. cepa</i> ’nın kök uzunlukları üzerindeki etkileri.	13
Şekil 3.2. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının <i>A. cepa</i> ’nın kök ucu sayısı üzerindeki etkileri.	14
Şekil 3.3. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının <i>A. cepa</i> ’nın ağırlık artışı üzerindeki etkileri.	14
Şekil 3.4. Negatif kontrol grubunda mitoz bölünme evreleri: (a)Profaz, (b)Metafaz, (c)Anafaz, (d) Telofaz.	15
Şekil 3.5. <i>A. cepa</i> L.’nin kök uçlarında çeşitli imazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarında belirlenen mitotik bölünme anormallikleri: (a)Düzensiz metafaz, (b)Kromozom yapışıklığı, (c)C-mitoz.	15
Şekil 3.6. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlar ile muamele edilen <i>A. cepa</i> L.’da total anormal hücre sayılarının dağılımı.	17
Şekil 3.7. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlar ile muamele edilen <i>A. cepa</i> L.’da mitotik indeks yüzdesinin dağılımı	18

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Farklı imazamoks konsantrasyonlarına maruz kalan <i>Allium cepa</i> L. kök uçlarında meydana gelen kromozomal anormallikler ve MI (%).....	16
---	----



KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHAS	Asetohidroksi Asit Sentaz İnhibitörü
ALS	Asetolaktat Sentaz İnhibitörü
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
LC	Letal Konsantrasyon
pH	Potansiyel hidrojen
MI	Mitotik İndeks
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü



SİMGELER

β	Beta
Bw	Vücut ağırlığı
°C	Santigrat derece
Gr	Gram
Ha	Hektar
Kg	Kilogram
L	Litre
Mg	Miligram
N	Normal
Ppm	Milyonda bir birim



ÖZET

İMAZAMOKS HERBİSİTİNİN *Allium cepa* L. ÜZERİNDEKİ SİTOGENETİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hayrettin SARIKAYA

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Pınar GÖÇ RASGELE

Haziran 2023, 30 sayfa

İmidazolinon herbisitlerinden biri olan imazamoks, asetolaktat sentaz (ALS)/asetohidroksi asit sentaz (AHAS) inhibitörüdür ve yabancı ot kontrolünde yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, imazamoks herbisitinin ticari formülasyonunun morfolojik ve sitogenotoksik potansiyeli genotoksisite testlerinde biyoindikator yöntemlerden biri olarak kullanılan *Allium cepa* test yöntemi kullanılarak araştırıldı. Kök uçları, 96 saat boyunca farklı konsantrasyonlarda (0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm) imazamoks herbisiti ile muamele edildi. İmazamoksun *Allium cepa* kök ucu hücrelerinde kök uzunlukları, kök ucu sayısı ve ağırlığı gibi morfolojik parametreleri ile kromozomal anormallikler ve mitotik indeks gibi sitogenotoksik etkileri belirlendi. İmazamoks herbisitinin 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarının kök uzunlukları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı inhibisyonlara neden olduğu, konsantrasyon arttıkça kök sayısında azalma olduğu saptandı. İmazamoks herbisitinin tüm konsantrasyonlarının toplam anormal hücre sayısını önemli ölçüde artırdığı, bu mitotik anormallikler arasında en fazla görülen anormalliğin düzensiz metafaz olduğu, bundan başka yapışıklık, c-mitoz, köprü ve ayrık kromozom gibi anormalliklerin de olduğu saptandı. Ayrıca, imazamoks herbisitinin *A. cepa* kök ucu hücreleri ile 96 saatlik muamele sonucunda tüm konsantrasyonlarda mitotik indeks yüzdesinde bir azalma meydana geldiği, 2.5, 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarında meydana gelen bu azalmaların istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu. Sonuç olarak, imazamoks herbisitinin yüksek konsantrasyonlarının (50 ve 100 ppm) *A. cepa* kök ucu hücreleri üzerine potansiyel genotoksik ve sitotoksik etkili olduğu belirlendi. Hedef dışı organizmalardaki toksisitelerinin mekanizmalarını ortaya koymak için daha ileri teknik ve yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Sözcükler: İmazamoks, *Allium cepa* Testi, Mitotik Anormallikler, Mitotik İndeks.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CYTOGENETIC EFFECTS OF IMAZAMOX HERBICIDE ON *Allium cepa* L.

Student Hayrettin SARIKAYA

Düzce University
Graduate School, Department of Biology
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Pinar GOC RASGELE

June 2023, 30 pages

Imazamox, one of the imidazolinone herbicides, is an acetolactate synthase (ALS) / acetohydroxyacid synthase (AHAS) inhibitor and is widely used in weed control. In this study, the morphological and cytogenotoxic potential of the commercial formulation of imazamox herbicide was investigated using the *Allium cepa* test method, which is used as one of the bioindicator methods in genotoxicity tests. Root tips were treated with imazamox herbicide at different concentrations (0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50 and 100 ppm) for 96 hours. Morphological parameters such as root length, root tip number and weight and cytogenotoxic effects such as chromosomal abnormalities and mitotic index of imazamox herbicide on *Allium cepa* root tip cells were determined. It was detected that 5, 10, 25, 50 and 100 ppm concentrations of imazamox herbicide caused statistically significant inhibition on root lengths, and a decrease in root number as the concentration increased. It was observed that all concentrations of imazamox herbicide significantly increased the total number of abnormal cells, the most common abnormality among these mitotic abnormalities was irregular metaphase, and there were also abnormalities such as adhesion, c-mitosis, bridge and vagrant chromosomes. In addition, it was found that after 96 hours of treatment with *A. cepa* root tip cells of imazamox herbicide, there was a decrease in the percentage of mitotic index at all concentrations, and these reductions at 2.5, 5, 10, 25, 50 and 100 ppm concentrations were statistically significant. As a result, it was determined that high concentrations (50 and 100 ppm) of imazamox herbicide had potential genotoxic and cytotoxic effects on *A. cepa* root tip cells. Studies using more advanced techniques and methods are needed to reveal the mechanisms of their toxicity in non-target organisms.

Keywords: Imazamox, *Allium cepa* Test, Mitotic Abnormalities, Mitotic Index.

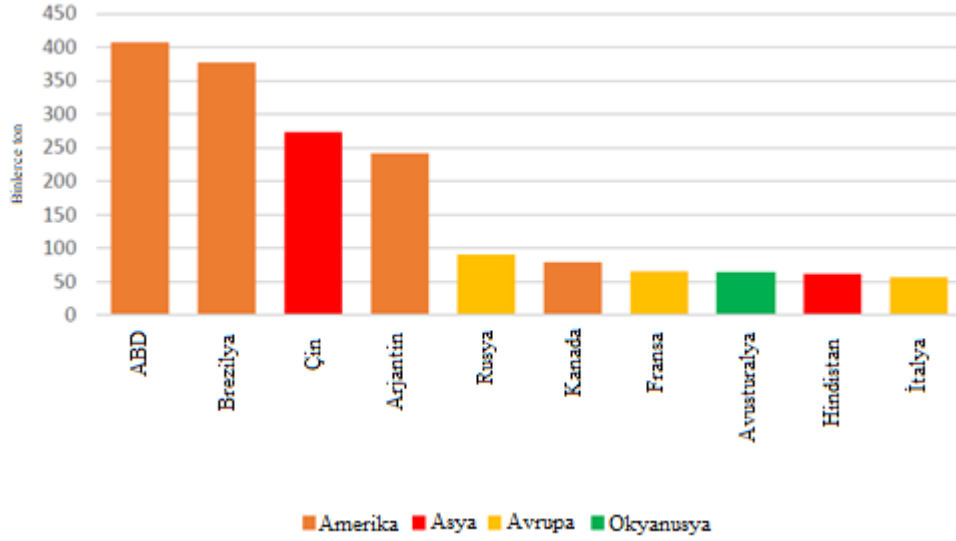
1. GİRİŞ

1.1. PESTİSİTLER

Zararlı anlamına gelen “pest” ve öldürmek anlamına gelen “cide” kelimelerinin birleşmesiyle oluşan pestisit kavramı, bitkilerde ekonomik açıdan üretime zarar veren böcekler, yabancı otlar, kemirgenler, mantarlar gibi diğer zararlı organizmaların popülasyonlarını önlemek, caydırmak, kontrol etmek ve azaltmak için çevreye salınan biyolojik veya kimyasal kökenli maddeleri tanımlamaktadır [1].

Gıda maddelerine olan ihtiyaç nüfus ile doğru orantılı olarak her geçen gün daha da artmaktadır. Pestisitler tarımsal üretimde ve miktarda artış sağlamak amacıyla modern tarımda önemli bir yere sahiptir. Hemen hemen her yerde tarım ilaçlarının ve pestisitlerin kullanılmadığı takdirde verimli üretimin elde edilmesi güçleştiğinden, üretime zarar veren organizmaların etkilerini azaltmak için zirai mücadele adı altında pestisitler yaygın olarak kullanılmaktadır [2-4].

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre küresel düzeyde, tarım alanlarında toplam pestisit kullanımı 2020'de 2,7 milyon ton aktif bileşen olup, tarım arazisi başına dünya çapında pestisit uygulaması 1,8 kg/ha'dır [5]. 2020 yılı pestisit kullanımının ülkelere göre dağılımına bakıldığında, Amerika Birleşik Devletlerinin birinci sırada; Brezilya'nın ikinci, Çin'in ise üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir. Arjantin, Rusya, Kanada, Fransa, Avustralya, Hindistan ve İtalya da ilk on ülke arasındadır (Şekil 1.1).|



Şekil 1.1. Küresel düzeyde 2020 yılı pestisit kullanımının ülkelere göre dağılımı [5].

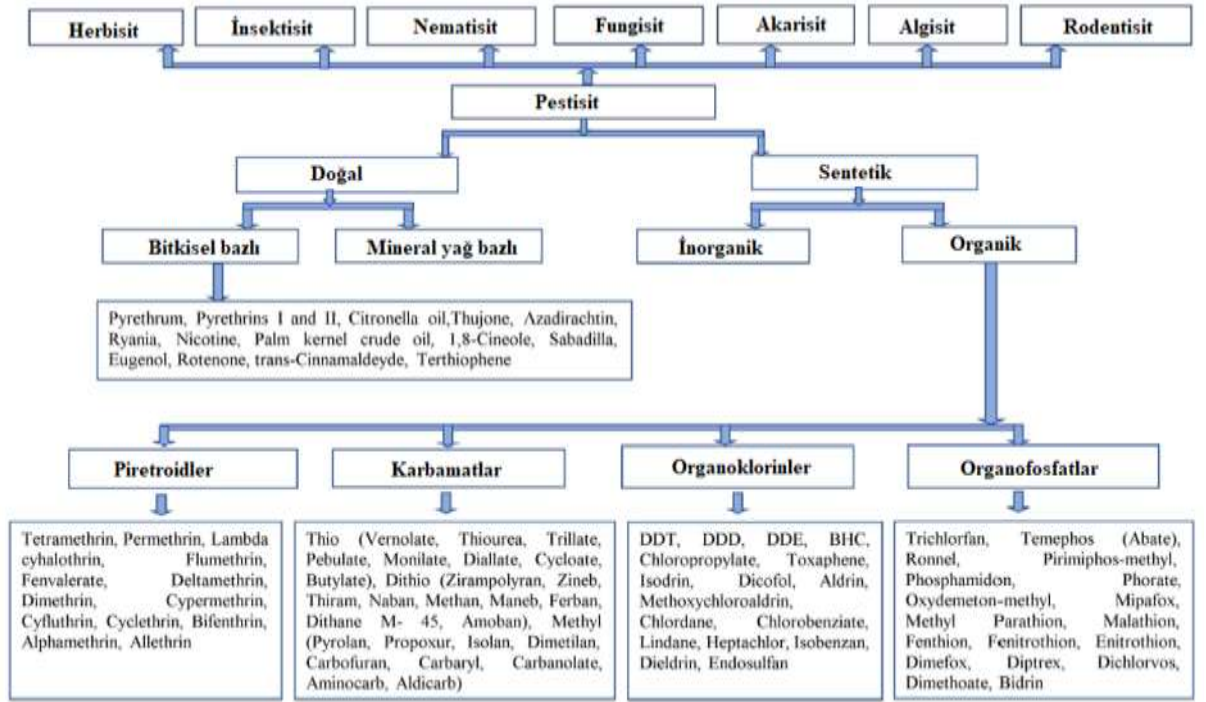
Pestisit kullanımının Türkiye’deki durumu değerlendirildiğinde, Akdeniz Bölgesinde en yoğun pestisit kullanımının olduğu ve % 8,10 oranı ile Antalya ilinin birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Manisa %7,70 ile ikinci, Adana ise %6,95 kullanım oranı ile üçüncü sıradadır. Türkiye’de 2020 yılında pestisit kullanımında ilk on il içinde yer alan diğer illerimiz sırasıyla Mersin, Bursa, İzmir, Aydın, Konya, Malatya ve Çanakkale’dir (Şekil 1.2) [2].



Şekil 1.2. Türkiye’de 2020 yılı pestisit kullanımında ilk on il [2].

Kimyasal mücadelede yaygın olarak kullanılan bu pestisitlerin zararlılardan korumak ve birim başına düşen verimin arttırmasının yanı sıra hedef dışı organizmalara ve insan sağlığına zarar verdiği anlaşılmaktadır [2-4]. Birçok araştırmacı tarafından pestisitlerin hedef olmayan organizmalar üzerine toksik etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur [6-8] .

Pestisitler; toksik etkisi, etkilenen canlı organizma, önlenabilir hastalık grubu, kimyasal bileşimine, etki mekanizması ve menşei gibi çeşitli özelliklere göre farklı şekillerde (Şekil 1.3) sınıflandırılabilirler [9].



Şekil 1.3. Pestisitlerin sınıflandırılması [10].

Etkiledikleri canlı türlerine ve kullanım alanlarına göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

İnsektisitler: Böcek öldürücü olarak kullanılan bir pestisit türüdür. İnsektisitler böcek yumurta ve larvalarını yok etmek için ovisid ve larvisidler kapsar. Bu kimyasal maddeler örneğin tıp, endüstri, ziraat gibi birçok alanda böcekleri kontrol altına almak için kullanılır. Buna ek olarak böceklerin kontrol altına alınması sayesinde tarımda verimlilik açısından ciddi bir artış gösteren önemli faktörlerden birisi olmuştur.

Herbisitler: Tarımda mahsulün yanında istenmeyen yabancı otların gelişiminin engellenmesinde ve öldürülmesinde kullanılan pestisit türüdür.

Fungusitler: Fungusitler kelime anlamı mantar olan fungi kelimesinden türetilmiştir.

Tarım mahsullerinin verimini korumak ve arttırmak amacıyla mantar ve mantar sporlarının öldürülmesi sonucu yeni mantarların oluşmasını engelleyen kimyasallardır.

Akarisitler: Adından da anlaşılacağı gibi akarların kontrolünde kullanılan kimyasal ilaçlara verilen isimdir.

Bakterisitler: Tarımsal alanlarda karşılaşılan bakterilerin öldürülmesinde kullanılan kimyasal ilaç türüdür.

Molluskisitler: Bunlar salyangoz ve sümüklü böcekler gibi yumuşakçalara karşı kullanılan kimyasal maddelerdir.

Rodentisitler: Kemirgenlere karşı kullanılan kimyasallardır. Mahsullerin depo ambar gibi saklama alanlarında kemirgenlerin oluşturabileceği zararları önlemek için kullanılır. Böylece zirai kayıplar engellenmeye çalışılır.

Nematisitler: Nematisidal aktiviteye sahip birçok ilaç ayrıca fungusit ve insektisit etkilere sahiptir ve birer toprak fumigantlarıdır. Geneli fitotoksik etkiye sahip olduğundan tarlada üretim yokken kullanılırlar. Bazı çeşitleri ise tarlada bitki varken uygulanabilir özelliktedir [11].

1.2. HERBİSİTLER

Tarımsal faaliyetlerle gerçekleşebilen gıda üretiminin verimi, üretim için ilgili türler ile çevredeki mevcut kaynaklar için rekabet eden diğer bitki, hayvan, mikrobiyal ve parazitik biyolojik sistemler arasındaki ilişki ile doğrudan bağlantılıdır. Tarımsal üretimi tehlikeye atan türler arasında, ekinleri istila ettiklerinde mahsulün veriminde ve kalitesinde önemli kayıplara neden olabilen yabancı otlar bulunmaktadır. Bu nedenle, mahsulün verimliliğini ve kalitesini artırmak için, tarımda yabancı otların temizlenmesi önem kazanmaktadır [12].

Herbisitler, tarımda mahsulün yanında istenmeyen yabancı otların gelişiminin engellenmesinde ve öldürülmesinde kullanılan kimyasal maddelerdir. Herbisitler yabancı otları kontrol altına alma etkisi sayesinde ekinlerde verimin artmasına yol açar, ancak verim açısından olumlu etkileri olmasına rağmen yüksek kalıcılıkları ve hedef dışı toksisite nedeniyle çevre ve insan sağlığı üzerinde dikkat edilmesi gereken olumsuz etkilere neden olabilmektedirler. İnsan ve çevre sağlığı anlayışımız geliştikçe, yeni geliştirilen herbisitlerin hedef özgüllüğü, yüksek seçicilik, düşük toksisite, düşük

uygulama oranları, ekonomik ve çevre dostu olması önem kazanmaktadır. Birçok teknolojik yeniliğe ve gelişmelere rağmen hedef tabanlı herbisitlerin geliştirilmesi hedef dışı bitkilere de olan etkilerinde dolayı hala birçok zorlukla karşı karşıyadır. En önemlisi bitkiler için herbisit seçiciliğidir. Ekinler ve yabancı otlar arasındaki yüksek derecede homoloji, özellikle herbisit etki alanları için keşif sürecini zorlaştırmaktadır [13].

Bir herbisitın etkili olabilmesi için toprağa veya bitkiye uygulandıktan sonra hücreye ulaşması gerekir. Bitkilerin anatomik, morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik özellikleri herbisitlerin bitkiye girişini ve bitki içindeki dağılımını etkiler. Bitkinin metabolizmasındaki değişiklikler, aktif olmayan bölgelere soğurma ve kompleks oluşumu gibi etkiler ile herbisitın varlığını azaltır [14].

Herbisitler Moreland'a göre [14] Amerika Ot Bilimi Derneği ve İngiliz Standartları Enstitüsü tarafından onaylanan ortak isimlerle belirtilmekte ve uygulama yöntemine, kimyasal afiniteye, yapısal benzerliğe ve etki mekanizmaları gibi özellikleri göz önüne alınarak çeşitli şekillerde sınıflandırmaktadırlar. Etki mekanizmalarına göre yapılan sınıflandırma aşağıda verilmiştir:

1-Kloroplastla ilişkili reaksiyonlar: Kloroplastta foto kaynaklı elektron taşınması ve fosforilasyona bağlı reaksiyon meydana gelir, bu reaksiyonlardaki herhangi bir müdahale fotosentetik aktiviteyi engeller. Fotokimyasal olarak indüklenen reaksiyonları inhibe eden herbisitler aşağıdaki sınıfa ayrılır;

- a. Elektron taşıma inhibitörleri,
- b. Ayrıştırıcılar,
- c. Enerji aktarımı inhibitörleri,
- d. İnhibitör ayrıştırıcılar,
- e. Elektron alıcıları,
- f. Karotenoid sentezinin inhibitörleri,

2-Mitokondriyal elektron taşınması ve fosforilasyon: Mitokondriyal sisteme müdahale eden herbisitler;

- a. Elektron taşıma inhibitörleri,
- b. Ayrıştırıcılar,
- c. Enerji transferi inhibitörleri,

d. İnhibitör ayrıştırıcılar.

3- Zarla etkileşimler: Herbisitler, zarların yapısını ve işlevini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilir. Herbisitler bir zarı parçaladığında, ATPazlar gibi protein bileşikleriyle etkileşerek ve fizyokimyasal etkileşimlerle geçirgenliği değiştirerek veya zarı enerjilendirmek için gereken ATP'nin tedarikini modüle ederek dolaylı olarak taşıma işlemlerini etkileyebilirler. Membran ile etkileşimler;

a. Kompozisyon değişiklikleri,

b. Geçirgenlik ve bütünlük üzerindeki etkileri.

4-Hücre bölünmesi: Herbisitler, interfaz sırasında DNA sentezi için gerekli olan öncü maddelerin çekirdeğe aktif taşınmasına veya sentezine müdahale ederek hücre bölünmesini baskılayabilir; DNA'nın veya komplekslerinin fiziksel veya kimyasal özelliklerini değiştirebilir; iğ ipliklerinin oluşumuna ve işlevine müdahale edebilir ve/veya hücre duvarının oluşumunu engelleyebilir. Bu süreçlerin birçoğu enerji gerektirdiğinden, herbisitlerin neden olabileceği enerji miktarına bağlı olarak mitotik aktiviteyi modüle edebilir. Hücre bölünmesi inhibitörlerinin etkileri konsantrasyona bağlıdır ve türe ve doku tipine göre değişir. Hücre bölünmesi ile hücresel enerjisi arasında bir ilişki vardır. Yüksek bitkilerde, glikoliz veya oksidatif fosforilasyonun inhibe olduğu koşullarda hücre bölünmesi engellenir veya baskılanır. Hücre bölünmesini değiştiren başka bir herbisit etki mekanizması, mikrotübüller ile etkileşime girmesidir, çünkü bu hücresel yapılar, hücre bölünmesi sırasında kromozomların yönlenmesinden ve hareketinden sorumludur.

5-DNA, RNA ve protein sentezi: RNA ve protein sentezinin inhibisyonu ile dokulardaki düşük ATP konsantrasyonu arasında korelasyonlar vardır ve bu korelasyonlar, biyosentetik reaksiyonları gerçekleştirmek için gerekli olan enerji üretimindeki müdahalelerin, herbisitlerin etkilerini ifade edebildiği mekanizma olabileceğini düşündürmektedir.

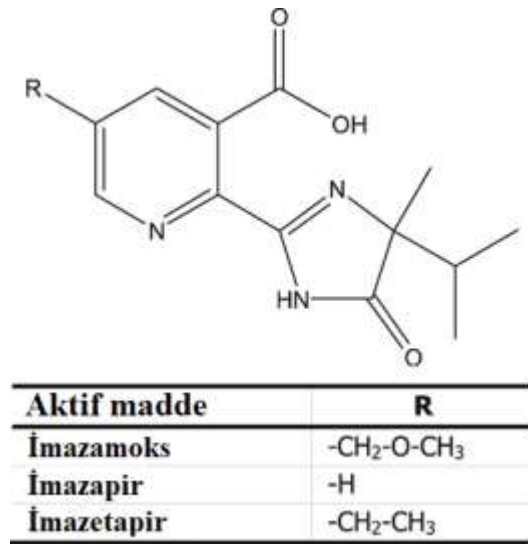
Amino asit biyosentezini engelleyen herbisitler, yabancı ot yönetiminde yararlı araçlardır ve memelilerde düşük toksisiteleri nedeniyle özellikle başarılı olmuştur. Çünkü bu herbisitler memelilerde olmayan asetolaktatsentazın (ALS) ve asetohidroksiasitsentaz (AHAS) enzim yolları engellemektedir. Hedefleri veya birincil etki alanları, amino asitler için biyosentez yollarındaki enzimatik aktivitenin spesifik inhibisyonu ile ilişkili olan birkaç herbisit türü vardır. Bu tür bir herbisit grubu, aynı zamanda asetohidroksiasitsentaz

olarak da anılan ALS inhibisyonu yoluyla dallı zincirli amino asitlerin (valin, lösin ve izolösin) biyosentezini inhibe eden bileşikler içerir. ALS inhibitörleri, çeşitli kimyasal sınıfların aktif bileşenlerini içerir ve geniş spektrumlu yabancı ot kontrol aktiviteleri, yüksek mahsul seçiciliği, düşük gerekli uygulama oranları ve memelilerde düşük toksisitesi nedeniyle en yaygın kullanılan herbisit türlerinden biri haline gelmiştir [15].

1.2.1. İmidazolinon Herbisitler

İmidazolinon herbisitleri bitkilerde AHAS ya da ALS olarak da adlandırılan enzimleri inhibe ederek dallanmış amino asit zincirinin oluşumunu engelleyerek etki gösteren bir herbisit grubudur [16].

Yapısal olarak, her bir bileşiğin aktif molekülü, bir piridin halkası gibi ilgili omurga gruplarına bağlı, bir karboksilik asit grubuyla veya spesifik olarak imazametabenz-metil için bir karboksilik ester grubuyla özdeş bir imidazolinon halka yapısına sahiptir (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. Piridin imidazolinon herbisitlerin moleküler yapısı [17].

İmidazolinon toleransı sağlayan çeşitli varyant AHAS genleri, bitkilerde mutajenez ve seçim yoluyla keşfedildi. İmidazolinon herbisitler, imidazolinona toleranslı mahsullerde, mahsulün kendisi ile yakından ilişkili yabancı otlar ve bazı önemli parazitik yabancı otlar da dahil olmak üzere geniş bir ot ve geniş yapraklı yabancı ot yelpazesini kontrol eder. AHAS'ı inhibe eden herbisitler ve böcek öldürücüler arasındaki etkileşimin sebep olduğu bitkisel hasarlar, imidazolinona toleranslı ekinler sayesinde önlenabilir. AHAS genindeki tek bir hedef bölge mutasyonu, AHAS'ı inhibe eden herbisitlere karşı tolerans

sağlayabilir, böylece birçok mahsulde imidazolinon tolerans özelliğinin geliştirilmesi teknik olarak mümkündür [18-19].

İmidazolinon herbisitlerin aktif bileşenleri, çıkış sonrası selektif ot kontrolü için etkili olup, herbisidal aktiviteleri, etki tarzlarına, yani spesifik bitki enzimi olan AHAS inhibisyonuna bağlıdır. AHAS'ın bu inhibisyonu, protein sentezini bozar ve ardından DNA sentezine ve hücre büyümesine müdahale ederek belirli yabancı otlarda hücre ölümüne yol açar [20].

İmidazolinon herbisit grubunun genotoksik etkilerini ortaya koymak amacıyla pek çok araştırmacı çeşitli organizma modelleri üzerinde araştırmalar yapmışlardır [21-26].

İmazetapir herbisitinin 10, 20 ve 40 ppm konsantrasyonlarının *A. cepa* kök hücreleri üzerine olan 24, 48, 72 ve 96 saatlik muamele süreleri sonundaki sitotoksik ve genotoksik etkileri mitotik indeks, mitotik fazlar, kromozomal aberasyonlar ve DNA hasarı yöntemlerini kullanarak yapıldığı araştırmada imazetapirin sitotoksik aktivite gösterdiği ancak genotoksik aktivite göstermediği ve doza bağlı olarak DNA hasarına neden olduğu bildirilmiştir [21]. Benzer olarak, İmazetapir herbisidinin artan konsantrasyonlarının *Triticum vulgare* [22] ve *Vicia faba* [23] kök uçlarında kromozom aberasyonlarını arttırdığı bildirilmiştir.

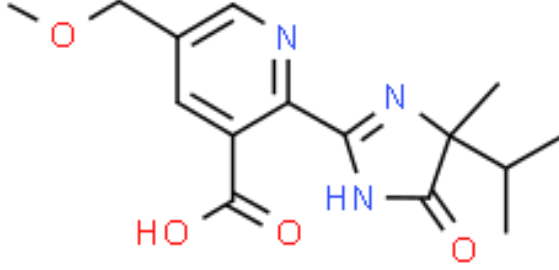
İmazetapir herbisidinin ticari formülasyonu olan Pivot®H (%10.59 İmazetapir)'nin 10 mg/L ve 1000 mg/L konsantrasyonlarının *Leptodactylus latinasus* üzerine 48 ve 96 saatlik maruziyetleri sonucunda sadece 96 saatlik muamelelerde mikronukleus frekansında artış olduğu ifade edilmiştir [24]. Benzer şekilde, ticari formülasyon olan Pivot®H (%10.59 İmazetapir)'nin 0,39-1,17 mg/L konsantrasyon aralığında *Hypsiboas pulchellus* iribaşları üzerinde olan 48 ve 96 saatlik muamele süreleri sonunda mikronukleus sıklığını ve genetik hasar indeksini artırdığı gözlemlenmiştir [25].

Bir başka çalışmada imazetapir ve ticari formülasyonu olan Pivot®H'nin 0.1, 0.25 ve 1 µg/mL konsantrasyonlarının memeli CHO-K1 hücre hattında Comet yöntemi ile DNA hasarı araştırılmış ve saf aktif bileşen imazetapir ve imazetapir bazlı ticari formülasyon Pivot®H'nin hem pürin hem de pirimidin bazlı oksidasyonlar yoluyla oksidatif DNA hasarına neden olduğu saptanmıştır [26].

1.2.1.1. İmazamoks

İmazamoks, ayçiçeği, soya fasulyesi, yonca ve kuru fasulye gibi bitkisel ürünlerin üretiminde birçok ot ve geniş yapraklı yabancı otları kontrol etmek için kullanılan bir

imidazolinon herbisitidir. Kimyasal formülü $C_{15}H_{19}N_3O_4$ 'tür ve moleküler ağırlığı 305.33 gr'dır. 1.39 g/mL yoğunluğa sahip olan imazamoks herbisitinin erime ısısı 166.0°C'dir. Sudaki çözünürlüğü 4,160 mg/L olan imazamoks herbisiti kirli beyaz renklidir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. İmazamoks herbisitinin kimyasal yapısı [27].

İmazamoks herbisitinin dallı zincirli amino asitlerin biyosentezini inhibe eden, serbest amino asit içeriklerinin artırılması ve çözünür protein içeriklerinin azaltılması ile ilgili metabolik yolları engelleyen etki mekanizmalarına sahip olduğu rapor edilmiştir. İmazamoks muamelesinden sonra protein parçalanmasından birkaç proteolitik yolun sorumlu olduğu görülmüştür [28].

İmazamoks herbisiti ile ilgili farklı test modelleri ile yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. *Oncorhynchus mykiss* balığında DNA hasarına ve apoptoz süreçlerinde inflamasyona neden olduğu [29], zebra balığının periferik kan hücrelerinde genotoksik etkiye [30], sucuk organizmalarda [31], sıçanların pankreas ve karaciğer dokularında pankreatik ve hepatik toksik etkilere neden olduğu [16], *Drosophila melanogaster*'de [32] genotoksik etkilerin olduğu bildirilmiştir. Ancak, imazamoks herbisitinin *Allium cepa* L. modeli ile genotoksitesinin araştırıldığı bir çalışma rastlanmamıştır.

1.3. *Allium cepa* TESTİ

Çeşitli pestisitler doğrudan veya dolaylı olarak havayı, suyu, toprağı ve genel ekosistemi kirleterek canlılar için ciddi sağlık tehlikesine neden olurlar. Ayrışma hızı farklılıkları, daha yüksek stabiliteleri ve uzun yarı ömürleri nedeniyle farklı pestisit grupları daha zararlı hale gelmekte ve besin zincirinin üst trofik seviyelerinde birikebilmektedirler. Pestisit kontaminasyonu her ekosistem için ciddi bir sorundur ve ilgili tüm organizmalar için zararlıdır [33].

Pestisitler gibi çeşitli kirleticilerin zararlı etkilerini izlemek için yapılan genetik testler oldukça önemlidir. Özellikle bitki köklerinin test etmek istenilen madde ile doğrudan temas halinde olması nedeniyle *Allium cepa* testinin sitotoksikite ve genotoksikite değerlendirilme çalışmaları için güvenilir olduğu bildirilmiştir [34]. Benzer şekilde, *Vicia faba*, *Tradescantia paludosa*, *Pisum sativum*, *Hordeum vulgare*, *Crepis kapillerleri*, *Nicotiana tabacum* ve *Allium cepa* gibi yüksek bitkilerin test organizmaları olarak kullanılması Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Dünya Sağlık Örgütü, Uluslararası Bitki Biyoassay Programı ve ABD Çevre Koruma Ajansı gibi çevre kuruluşları tarafından teşvik edilmiş ve onaylanmıştır [35].

Allium kök uçları ilk olarak Levan [36] tarafından kimyasalların neden olduğu biyolojik etkilerin araştırılmasında saptanmış ve birçok deneysel sistemle karşılaştırılabilir sonuçlar sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır. *Allium cepa* testi, çevresel kirleticilerin neden olduğu nokta mutasyon da dahil olmak üzere mitotik aktivite ve kromozomal aberasyonlar gibi tüm sitogenetik etkilerin tespiti için faydalı bir genetik modeldir [21, 37].

1.4. ÇALIŞMANIN AMACI

İmazamoks herbisiti buğday, çeltik, ayçiçeği, bezelye, soya, fasulye, yer fıstığı, yonca gibi bitkilerin yetiştirilmesi sırasında görülen darıcan, çobançantası, canavar otu gibi birçok yabancı otun kontrolü amacı ile yaygın kullanılan bir imidazolinon herbisitidir. Bu kimyasalların topraktaki birikimleri ve besin zinciri aracılığıyla hedef dışı organizmalardaki toksisitesi ile ilgili yapılmış çalışmalara rastlanmıştır. Ancak, imazamoks herbisitinin *Allium cepa* L. modeli ile potansiyel genotoksik etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile;

- İmazamoks herbisitinin *A. cepa* L. bitkisinin kök gelişimi üzerine olan etkilerinin kök uzunlukları, kök ucu sayısı ve ağırlığı gibi morfolojik parametrelerin incelenmesi ile
- Sitogenetik etkilerinin ise mitotik indeks ve düzensiz metafaz, kromozom yapışıklığı, c-mitoz, kromozom köprüsü ve ayırık kromozom gibi mitotik anormalliklerin incelenmesi ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. ÇALIŞMA MATERYALİ VE UYGULAMA KONSANTRASYONLARI

Çalışmamızda kullanılan imazamoks herbisiti mücadele edildiği yabancı ota göre değişmekle birlikte tarım alanlarında genellikle 100, 125 ve 150 ml/da konsantrasyonlarında kullanılmaktadır [38]. Çalışmamızda kullanılan konsantrasyonlar tarımdaki en düşük uygulama konsantrasyonu göz önüne alınarak hesaplandı.

Çalışmamızda test materyali olarak kullanılan eşit büyüklükteki *Allium cepa* L. (2n =16) bulbları ve imazamoks herbisiti Düzce’de ticari bir marketten temin edildi. Bulblar negatif kontrol ve uygulama gruplarından oluşacak şekilde dokuz gruba ayrıldı. Negatif kontrol grubu için distile su, uygulama grupları için ise imazamoks herbisitinin sekiz farklı (0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm) konsantrasyonu kullanıldı. Bulblar 22±2°C’de 96 saat süresince çimlendirildi.

2.2. KÖK GELİŞİMİ ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ VE SİTOLOJİK İNCELEME

İmazamoks herbisitinin *A. cepa* L. bitkisinin kök gelişimi üzerine olan etkilerini incelemek için kök uzunlukları, kök ucu sayısı ve ağırlığı gibi morfolojik parametreler üzerindeki etkileri belirlendi. Çalışmamızda kullanılan soğan sayısına Kaynak Eşitlik Analiz yöntemi kullanılarak karar verildi. Bu yöntemle göre, her bir grupta yer alan soğan sayısı 5 olarak belirlendi [39].

Maruz kalma süresi olan 96. saatin sonunda;

Kök uzunlukları için; her bir konsantrasyondaki her bir soğandan rasgele beş adet kök seçildi, uzunlukları milimetrik cetvel ile ölçüldü.

Kök ucu sayısı için; her bir konsantrasyondaki her bir soğanın tüm kökleri sayıldı.

Ağırlık artışı için; her bir konsantrasyondaki her bir soğan herbisit ile muamele edilmeden önce (0.saat) ve 96. saatin sonunda olmak üzere iki kez hassas terazi ile tartıldı.

Çimlenme yüzdesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı.

Çimlenme yüzdesi (%) =Çimlenen Bulb Sayısı/ Toplam Bulb Sayısı X 100

Sitolojik inceleme için Darlington ve La Cour [40]’un metodunda küçük değişikliklerle

modifiye edilerek fiksasyon, ezme ve boyama gibi hazırlama yöntemleri uygulandı. Buna göre, *Allium cepa* L.'nin kök uçları Carnoy fiksatifinde (3metanol:1asetik asit) fikse edildi, ardından saf metanole, sonra %70'lik metanole alındı ve +4°C'de saklandı. %70'lik alkolden çıkarılan kök uçları 1N HCl'de 60°C derecede 15 dakika hidrolize edildi. Aseto orsein boyasında boyanarak, ezme preparatlar hazırlandı. Olympus CX21 ışık mikroskobu kullanılarak yapılan preparat incelemelerinde görülen mitotik anormallikler saptandı. İmazamoks herbisitinin mitotik indeks üzerindeki etkilerini belirlemek için de 3000 hücre sayıldı.

Mitotik İndeks yüzdesi (%) = Bölünen Hücre Sayısı/ Toplam Hücre Sayısı X 100

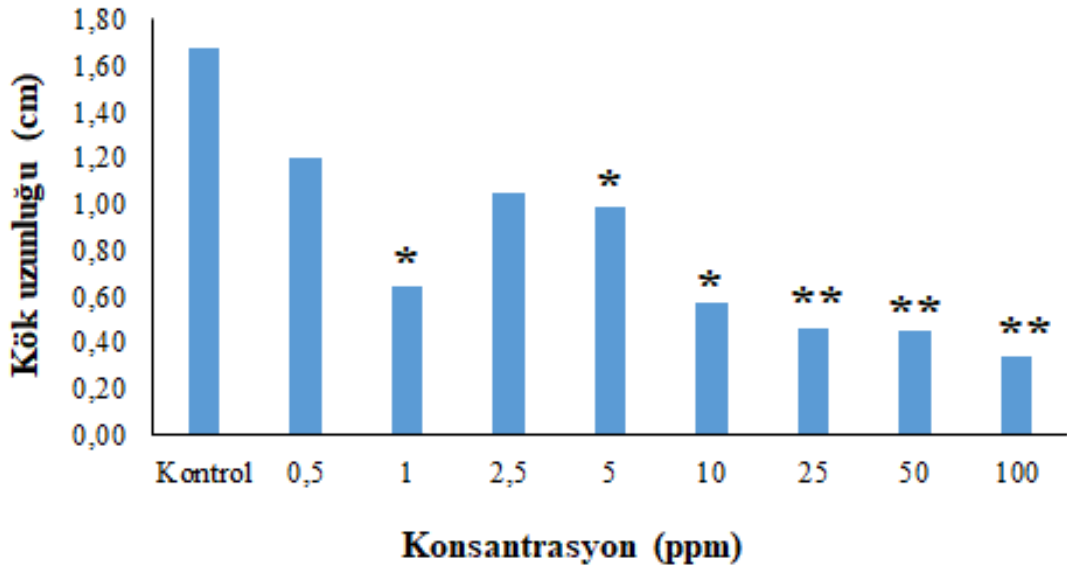
2.3. İSTATİSTİK ANALİZ

Veriler SPSS 20 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak analiz edildi ve elde edilen sonuçlar ortalama±standart hata olarak ifade edildi. Muamele gruplarının negatif kontrol ile karşılaştırılarak anlamlı olup olmadığı non-parametrik testlerden biri olan Kruskal Wallis testi ile değerlendirildi. $P < 0.05$ "istatistiksel olarak anlamlı" kabul edildi.

3. BULGULAR

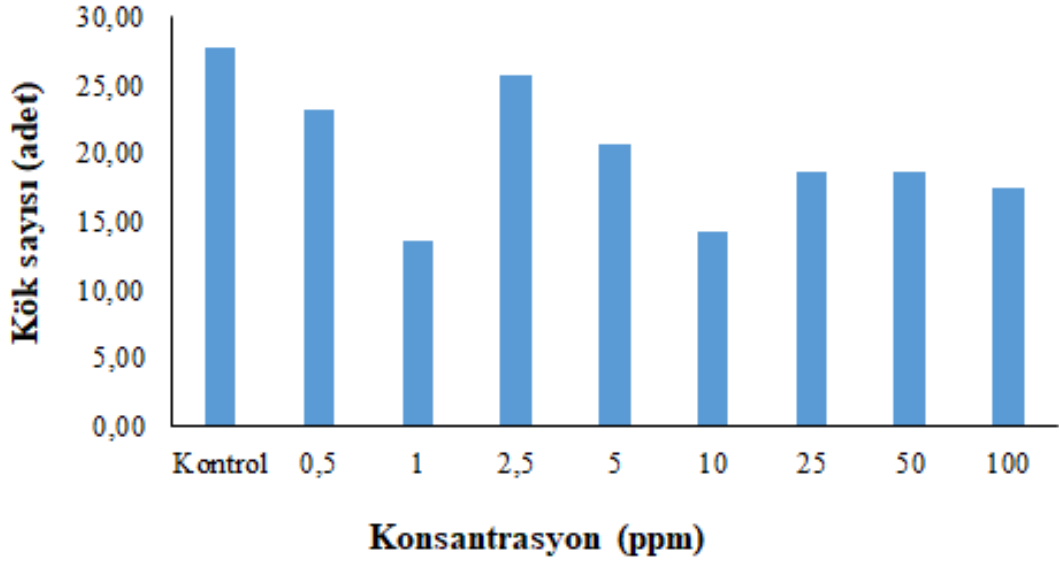
İmazamoks herbisit muamelesinin çimlenme üzerindeki etkisine bakıldığında sadece 1 ppm’lik konsantrasyonda çimlenme % 90, diğer tüm konsantrasyonlarda %100’dür, yani imazamoks herbisitinin çimlenme yüzdesi üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

Çalışmamızda imazamoks herbisitinin *A. cepa* kök uzunluğu üzerindeki etkileri incelendiğinde konsantrasyon arttıkça (1 ppm hariç) genel olarak kök uzunluğunda bir inhibisyon meydana geldiği gözlemlendi. Negatif kontrol ile karşılaştırıldığında meydana gelen bu inhibisyonun 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı (Şekil 3.1).



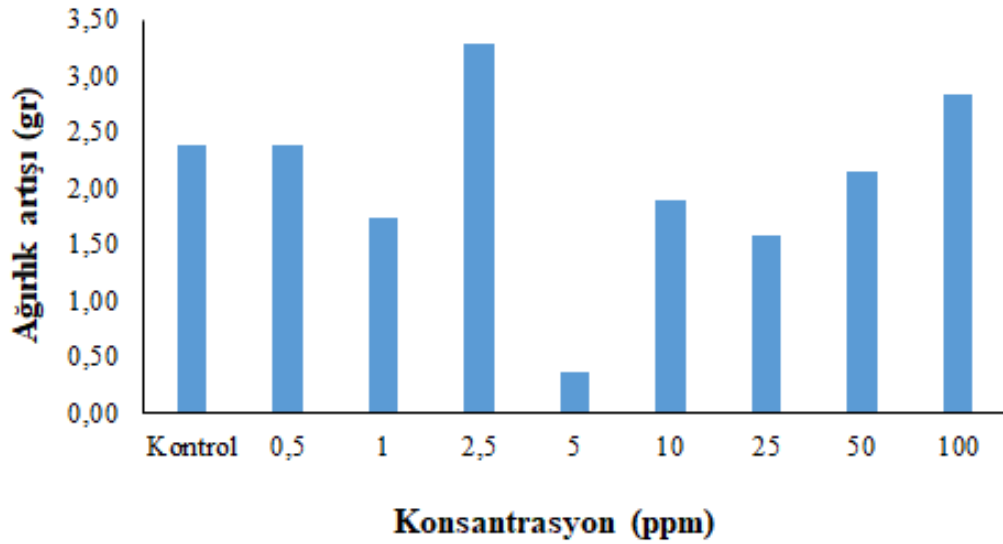
Şekil 3.1. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının *A. cepa*'nın kök uzunlukları üzerindeki etkileri.

İmazamoks herbisitinin 2,5 ppm konsantrasyonunun *A. cepa*'nın kök sayısını maksimum düzeyde arttırırken, 1 ppm’lik konsantrasyonun minimum seviyede olduğu belirlendi. Ayrıca konsantrasyon arttıkça kök sayısında azalma olduğu (Şekil 3.2), ancak bu azalma istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü.



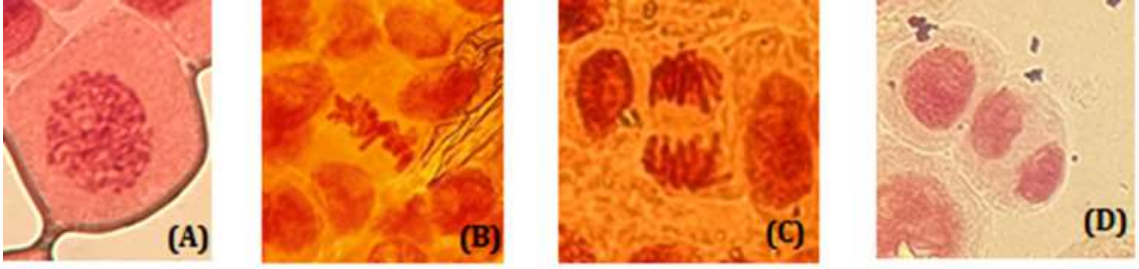
Şekil 3.2. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının *A. cepa*'nın kök ucu sayısı üzerindeki etkileri.

İmazamoks herbisitinin *A. cepa* bitkisinin ağırlığı üzerindeki etkileri negatif kontrole ile karşılaştırıldığında, imazamoks herbisitinin 2,5 ppm konsantrasyonunun *A. cepa*'da maksimum seviyede ağırlık artışına neden olurken, 5 ppm konsantrasyonda ise minimum düzeyde ağırlık artışı olduğu saptandı (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlarının *A. cepa*'nın ağırlık artışı üzerindeki etkileri.

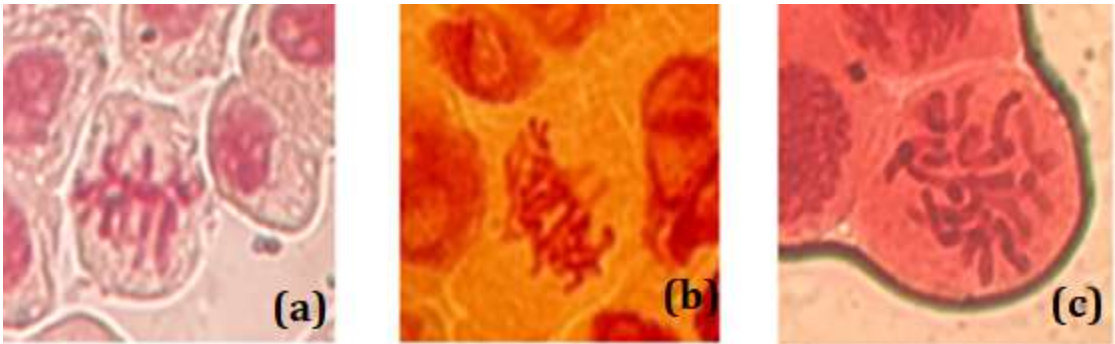
Negatif kontrol grubunda ve imazamoks herbisiti ile muamele edilmiş gruplarda görülen normal ve anormal hücelere ait görseller Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Negatif kontrol grubunda mitoz bölünme evreleri: (a)Profaz, (b)Metafaz, (c)Anafaz, (d) Telofaz.

A. cepa kök hücrelerinde meydana gelen kromozomal anormallikleri ve mitotik indeks (MI) yüzdesi Çizelge 3.1.’de gösterilmektedir. İmazamoks herbisiti ile ait konsantrasyonlar, negatif kontrole karşılaştırıldığında, *A. cepa* kök meristem hücrelerinde tüm konsantrasyon aralıkları (0,5–100 ppm) için mitotik anormalliği arttırdığı belirlendi.

Gözlenen mitotik anormallikler arasında en fazla görülen düzensiz metafaz olup, ardından sırasıyla yapışıklık, c-mitoz, köprü ve ayırık kromozom anormallikleri saptandı. Bu anormalliklerden düzensiz metafazın sadece 100 ppm konsantrasyonda; yapışıklık ve c-mitozun ise 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu.



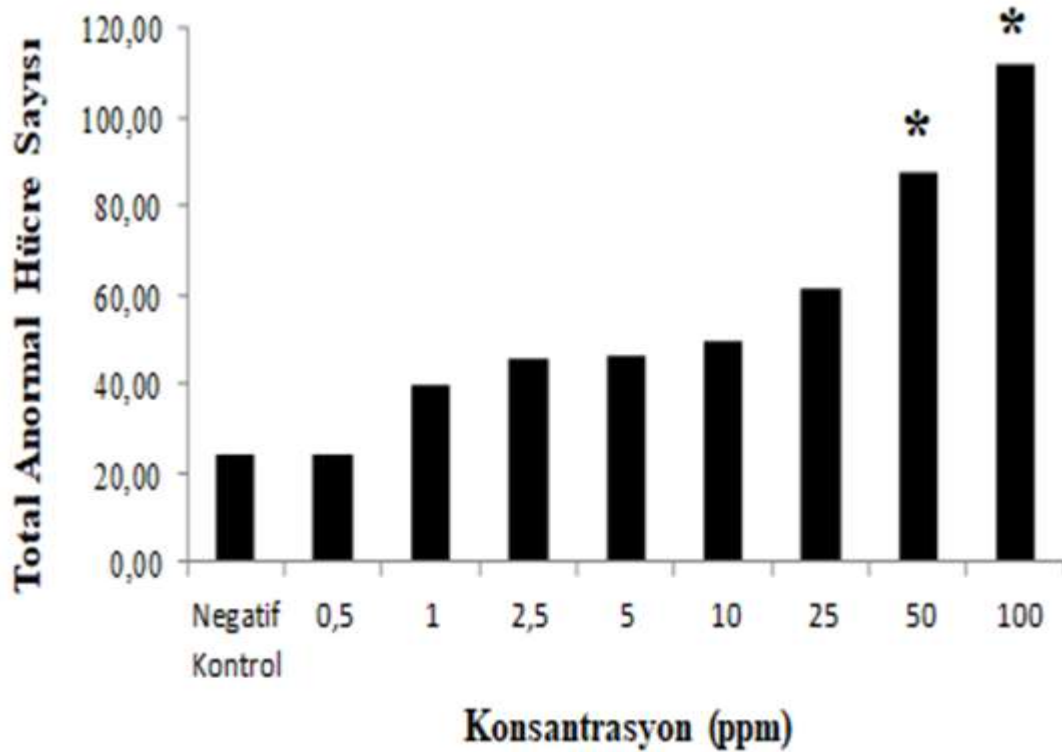
Şekil 3.5. *A. cepa* L.’nin kök uçlarında çeşitli imazamoks herbisitin farklı konsantrasyonlarında belirlenen mitotik bölünme anormallikleri: (a)Düzensiz metafaz, (b)Kromozom yapışıklığı, (c)C-mitoz

Çizelge 3.1. Farklı imazamoks konsantrasyonlarına maruz kalan *Allium cepa* L. kök uçlarında meydana gelen kromozomal anormallikler ve MI (%).

Konsantrasyon (ppm)	Düzensiz Metafaz	Yapışıklık	C-Mitosis	Ayrık kromozom	Köprü	Total Anormal Hücre Sayısı	MI (%)
Negatif Kontrol	8,00±4,00	6,00±3,46	8,00±2,00	0,00±0,00	2,00±2,00	24,00±9,16	17,24
0.5	6,00±3,46	6,00±3,46	8,00±4,00	0,00±0,00	4,00±2,00	24,00±9,16	15,29
1	12,00±6,00	8,00±2,00	12,00±3,46	0,00±0,00	8,00±4,00	40,00±14,00	15,06
2.5	0,00±0,00	14,00±2,00	10,00±4,00	14,00±4,00*	8,00±4,00	46,00±11,13	12,50*
5	13,50±2,87	15,00±3,87	10,50±3,77	0,00±0,00	7,50±4,50	46,50±13,05	11,14*
10	15,00±3,87	16,50±6,65	9,00±5,19	0,00±0,00	9,00±3,87	49,50±18,55	9,33*
25	16,50±2,87	19,50±7,08	13,50±2,87	0,00±0,00	12,00±4,24	61,50±12,33	9,70*
50	24,00±6,00	26,00±5,29*	24,00±0,00*	0,00±0,00	14,00±4,00	88,00±14,42*	11,34*
100	34,00±7,21*	32,00±4,00*	28,00±5,29*	0,00±0,00	18,00±6,92	112,00±4,00*	12,41*

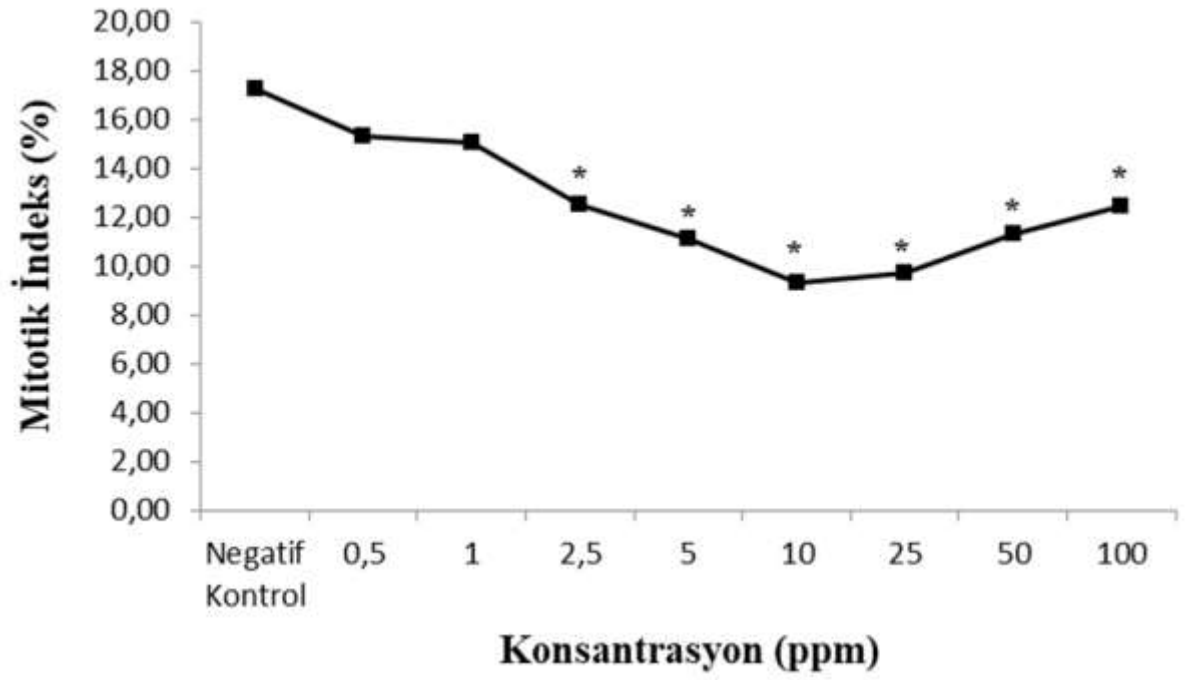
Veriler ortalama değeri±standart hata olarak değerlendirildi; *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001

Ayrıca, negatif kontrol ile karşılaştırıldığında, imazamoks herbisitinin 96 saatlik muamele süresi sonunda en yüksek iki konsantrasyon olan 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarda toplam anormal hücre sayısının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlar ile muamele edilen *A. cepa* L.'da total anormal hücre sayılarının dağılımı

İmazamoks herbisitinin *A. cepa* kök ucu hücreleri ile 96 saatlik muamele sonucunda tüm konsantrasyonlarda mitotik indeks yüzdesinde bir azalma meydana geldi (Şekil 3.7). 2,5, 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarında meydana gelenler bu azalmalar istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Ancak bu düşüşler konsantrasyonlara bağlı değildir.



Şekil 3.7. İmazamoks herbisitinin farklı konsantrasyonlar ile muamele edilen *A. cepa* L.'da mitotik indeks yüzdesinin dağılımı

4. TARTIŞMA

Toprakta en sık tespit edilen kirleticilerden biri pestisitlerdir. Pestisitlerin içinde en baskın gruplardan birisi olan herbisitler ekinlerde, bahçecilik, çiçekçilik ve ormancılık gibi tarımın çeşitli sektörlerinde kullanılmakta olup, imazamoks herbisiti özellikle Trakya Bölgesinde ayçiçeği tarımında yabancı otlarla mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprakta kalıcılığı etkileyen birçok faktör olmasına rağmen (yağış, pH, sıcaklık, nem, mikrobiyal aktivite vb.), toprak örneklerinde imazamoks kalıntılarının bulunduğu birçok çalışma ile bildirilmiştir [41, 42]. Herbisitlerin bu yaygın kullanımının, toprakta birikimi ve kalıcılığı, beraberinde, doğrudan veya dolaylı etkiler yoluyla çeşitli ekosistemlerde değişiklikler meydana gelmesine neden olabileceği gibi hedef dışı organizmalar içinde bir risk oluşturmaktadır [43]. Bu nedenle herbisitlerin de dâhil olduğu tüm pestisitlerin piyasaya sürülmeden önce yapılan toksisite testlerinin çerçevesi genişletilerek daha fazla hedef dışı organizmadaki etkinlikleri araştırılmalıdır.

Çalışmamızda hedef dışı organizmalardan biri olan *Allium cepa* üzerinde tarım alanlarında yaygın olarak kullanılan imazamoks herbisitinin morfolojik ve sitolojik parametreler kullanılarak sitogenetik etkileri araştırılmıştır. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar imazamoks ile ve ait olduğu imidazolinon grubu herbisitler ile yapılmış benzer çalışma olmadığından, diğer herbisitlerin kullanıldığı benzer çalışmalar sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda imazamoks herbisidinin konsantrasyon artışının çimlenme yüzdesi üzerine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar, herbisitler ile yapılan benzer çalışmaların sonuçlardan farklılık göstermektedir. Örneğin Fattah ve Omer [44] tarafından glifosat herbisidinin 0.5, 1, 2 ve 4 ml/L konsantrasyonlarının 72 saatlik muamele sonunda; Çavuşoğlu vd. [45] tarafından glifosat herbisitinin 100, 250 ve 500 mg/L konsantrasyonlarının 72 saatlik muamele sonunda; Acar vd. [46] tarafından paraquat herbisitinin 10, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarının 72 saatlik muamele sonunda çimlenme yüzdelерinde azalmalar olduğu ve bu azalmaların kontrol ile karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan önemli olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonuçları arasındaki bu farklılığın kullanılan herbisitler nedeniyle etki mekanizmalarının, muamele sürelerinin farklı oluşu gibi nedenlerden ileri gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmamızda araştırılan diğer parametrelerden olan kök uzunluğu ve bulb ağırlığı üzerinde olan etkilerine bakıldığında, imazamoks herbisitinin 5, 10, 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarının kök uzunluğunda istatistiksel olarak anlamlı inhibisyonlara neden olduğu; 2,5 ppm konsantrasyonunun *A. cepa*'da maksimum seviyede ağırlık artışına neden olurken, 5 ppm konsantrasyonda ise minimum düzeyde ağırlık artışına neden olduğu belirlenmiştir. Kök büyümesinin inhibisyonu genellikle apikal meristematik aktivite [47] ve farklılaşma sırasında hücre uzaması [48] ile ilişkilidir. Bunu destekler nitelikte yapılmış birçok araştırma bulunmaktadır. Liman vd. [21] imidazolinon grubu bir herbisit olan imazetapirin 10, 20 ve 40 mg/L konsantrasyonlarının 24, 48, 72 ve 96 saatlik maruziyet sonucunda *A. cepa* üzerindeki genotoksik etkilerini araştırdıkları çalışmada, tüm konsantrasyonlarının *A. cepa*'nın kök uzunluğunda istatistiksel olarak anlamlı azalma neden olduğunu ve bu azalmanın konsantrasyona bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca imazetapire maruz kaldıktan sonra, *Oryza sativa* [49, 50], *Zea mays* [51] ve *Arabidopsis thaliana* [52] bitkilerinin kök uzunluklarında da azalmalar olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde diğer herbisitler ile yapılan çalışmalarda, Amaç ve Liman [53] klopuralid herbisitinin 6.25, 12.5, 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 µg/mL konsantrasyonlarının 96 saatlik muamele sonunda kök uzunlarının konsantrasyon artışına bağlı olarak inhibe olduğunu göstermişlerdir. Fattah ve Omer [44] glifosat herbisidinin 0.5, 1, 2 ve 4 ml/L konsantrasyonlarının *A. cepa* üzerinde 72 saatlik muamele sonunda genotoksik ve sitotoksik etkilerini araştırmışlar, tüm konsantrasyonlarının kök uzunluklarında inhibisyona neden olduğunu bildirmişlerdir. Acar vd. [46] paraquat herbisitinin 10, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarının *A. cepa* üzerine 72 saatlik muamelenin fizyolojik, anatomik ve genotoksik etkilerini araştırmışlar, kök uzunluğu ve ağırlık kazancında konsantrasyona bağlı düşüşlerin olduğunu ifade etmişlerdir. sonunda; Demirtaş vd. [54] dinikanazol herbisidinin 25, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarının *A. cepa* üzerine 72 saatlik muamelenin fizyolojik, anatomik ve sitogenetik etkilerini araştırmışlar, kök uzunluğu ve ağırlık kazancında konsantrasyona bağlı azalmaların olduğunu gözlemlemişlerdir. Çavuşoğlu vd. [45] tarafından glifosat herbisitinin 100, 250 ve 500 mg/L konsantrasyonlarının 72 saatlik muamele sonunda kök uzunluklarında azalmalara olduğu ve bu azalmaların kontrol ile karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan önemli olduğu bildirilmiştir.

Çalışmamızdan elde edilen verilere göre İmazamoks herbisitinin yüksek konsantrasyonlarının (50 ve 100 ppm) *A. cepa* kök ucu hücreleri üzerine potansiyel

genotoksik ve sitotoksik etkili olduğu belirlendi. En fazla görülen anormallik düzensiz metafaz ve yapışıklıktır. Düzensiz metafazın, iğ aparatının bozulması veya kromozomların hareket mekanizmasındaki veya ekvator plakasındaki yerleşimlerdeki düzensizlikten kaynaklanabileceği düşünülmektedir [55, 56]. Yapışkanlık ise, kimyasalların toksik etkilerini yansıtan ve hücre ölümüne neden olan geri dönüşümsüz anormalliklerden biridir. Kromozomlar arasındaki subkromatid bağlantılardan, kromozomal DNA'nın parçalanmasından veya depolarizasyonundan, kromozom organizasyonu sırasında histon olmayan proteinlerin kusurlu işleyişı gibi nedenlerden ileri gelebilir [57-59]. Sitotoksik etkinlik, MI değerinin artması ve azalması ile belirlenebilir. MI'daki önemli azalma, DNA sentezinin inhibisyonu veya hücrenin mitozaya girmesini önleyen G2 fazının bloke edilmesi, veya kimyasalların mitodepresif aktivitesi, veya hücre döngüsünün spesifik proteinlerinin inhibisyonu nedeniyle açıklanabilir [35].

Çalışmamızın sonuçları imazamoks ile ilgili daha önce farklı test sistemleri kullanılarak yapılmış çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Akbey [29] imazamoks herbisitinin 96 saatlik muamele s resinde *Oncorhynchus mykiss* için LC50 değerinin 56,361 mg/L olduğunu, 96 saatlik maruziyet sonucunda balıklarda oksidatif stres meydana geldiğini, antioksidan savunma sistemini bozduğunu, DNA hasarı ve apoptoz süreçlerinde inflamasyona neden olduğunu saptamıştır. Rasgele vd. [30] imazamoks herbisitinin 3, 6 ve 12 mg/L konsantrasyonlarının 24, 48, 72 ve 96 saatlik muameleleri sonucunda; en yüksek konsantrasyonda (12 mg/L) bulunan tüm zebra balıklarının öldüğünü ve negatif kontrol ile karşılaştırıldığında konsantrasyonun artmasıyla doğru orantılı olarak mikronukleus frekansında artış olduğunu ve imazamoks herbisitinin sucul canlılar için genotoksik etkiye sahip olabileceği belirlemişlerdir. Arda vd. [60] yüksek konsantrasyonlu imazamoks muamelesinin sadece imidazolinona duyarlı ayçiçeği melezlerinde değil, dirençli melezlerinde de fitotoksik düzeyde bazı fizyolojik ve genetik değişikliklere neden olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca EFSA [31] tarafından da imazamoks herbisitinin yüzey sularında yaşayan organizmalar için düşük bir risk oluşturduğu bildirilmiştir. Benzer bir şekilde, Sevim vd. [16] imazamoks bazlı herbisitinin 12, 24 ve 36 mg/kg bw konsantrasyonlarının 24, 48 ve 72 saatlik muamelesi sonucunda sıçanların serum glukoz ve kalsiyum düzeylerinde artışa neden olduğu, insülin pozitif   hücrelerinde nekrotik ve dejeneratif değişikliklerin meydana geldiğini ve imazamoks'un çeşitli yardımcı formüller içeren ticari formülasyonlarının hepatik ve pankreatik toksik etkilere sahip olabileceğini bildirmişlerdir. Fragiorgie vd. [32] imazamoks herbisitinin

yüksek konsantrasyonlarının *Drosophila melanogaster* üzerinde genotoksik etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bunların aksine, imazamoks herbisiti ile yapılmış negatif sonuçların elde edildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Bakteriyel mutajenite testinde, in vitro yapısal kromozomal anormallik testinde, in vitro çin hamster ovaryum/hipoksantin guanin forofribosiltransferaz testinde ve in vivo mikronükleus testlerinde imazamoks herbisitinin mutajenik yada genotoksik olmadığını ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) [61], Gıda ve Tarım Örgütü/Dünya Sağlık Örgütü (FAO/WHO) [62] ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) [31] tarafından bildirilmiştir. Aynı şekilde, Tkachuk vd. [63] dört farklı üreticiden alınan imazamoks herbisitlerinin 2500, 250 ve 25 mg/kg konsantrasyonlarında erkek farelere 24 saat muamele edilmesi sonucunda polikromatik eritrositlerdeki mikronukleus frekansındaki artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ve herhangi bir mutajenik etkinin gözlenmediğini bildirmişlerdir.

İmazamoks ve diğer imidazolinon herbisitlerin etki mekanizmasına bakıldığında, asetolaktat sentaz olarak da adlandırılan asetohidroksiasit sentaz enzimi ile etkileşime girerek dallı zincirli amino asitlerin (valin, lösin ve izolösin) biyosentezini inhibe ettiği, bitki büyümesini durdurduğu ve sonunda bitkinin ölümüne neden olduğu belirtilmiştir [21]. Ancak karasal ve sucul yabancı otların kontrolünü sağlayan imazamoks herbisitinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen, çok yüksek dozlarda bile memelilerde saptanabilir toksisite belirtileri göstermediği [64], bununla birlikte, düşük dozlarda, kirli su yoluyla uzun süre maruz kalınmasının, yüksek dozlarda toksik olmasa bile, hücresel yapı ve fonksiyonda değişikliğe neden olabileceği bildirilmiştir [16].

5. SONUÇ

Sonuç olarak, tarımsal üretimde yabancı otların kontrolünde büyük bir yere sahip olan imazamoks herbisitinin yüksek konsantrasyonlarının *Allium cepa* L. üzerinde sitogenetik etkilere neden olduğu gösterilmiştir. Türkiye’de bitkisel üretimde geniş bir yere sahip olan ayçiçeği, soya fasulyesi, yonca ve kuru fasulye gibi ürünlerin üretiminde yüksek kalite ve verimin sağlanmasındaki önemli faktörlerden biri herbisit kullanımı ile yapılan yabancı ot mücadelesidir. Ancak herbisitlerin toprakta birikimi, kalıcılıkları ve hedef dışı organizmalarda neden olabilecekleri olumsuz etkileri nedeniyle sentetik olmayan bitkisel ya da mineral bazlı doğal bileşenler tercih edilmeli ya da biyolojik mücadeleye önem verilmelidir. Pestisit kalıntılarının olası riskleri ve sürdürülebilir tarım için etkileşimler göz önünde bulundurularak kapsamı ve nitelikleri daha ileri düzeyde olan araştırmaların sayısı arttırılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] J. E. Serrão, A. Plata-Rueda, L. C. Martínez, & J. C. Zanuncio, “Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review”, *The Science of Nature*, c. 109, sayı 17, 2022.
- [2] B. Özercan & R. Taşci, “Türkiye’de pestisit kullanımının iller, bölgeler ve pestisit grupları açısından incelenmesi”, *Ziraat Mühendisliği*, sayı 375, ss. 75-88, 2022.
- [3] F. N. Doğan & M. E. Karpuzcu, “Türkiye’de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin durumu ve alternatif kontrol tedbirlerinin incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 25, sayı 6, ss. 734 – 747, 2019.
- [4] A. Altıkat, T. Turan, F. E. Torun, & Z. Bingül, “Türkiye’de pestisit kullanımı ve çevreye olan etkileri”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 40, sayı 2, ss. 87-92, 2013.
- [5] FAO, *Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators: Global, regional and country trends, 1990–2020*. Rome, Italy: FAO, 2022.
- [6] G. Jorge-Escudero, M. Pérez Polanco, J. E. Lagerlöf, C. A. Pérez, & D. Míguez, “Commercial fungicide toxic effects on terrestrial non-target species might be underestimated when based solely on active ingredient toxicity and standard earthworm tests”, *Toxics*, c. 10, sayı 9, s. 488, 2022.
- [7] H. Burtscher-Schaden, T. Durstberger, & J. G. Zaller, “Toxicological comparison of pesticide active substances approved for conventional vs. organic agriculture in Europe”, *Toxics*, c. 10, sayı 12, s. 753, 2022.
- [8] G. Giunti G. Benelli, V. Palmeri, F. Laudani, M. Ricupero, R. Ricciardi, F. Maggi, A. Lucchi, R. Narciso C. Guedes, Nicolas Desneux, & Orlando Campolo, “Non-target effects of essential oil-based biopesticides for crop protection: impact on natural enemies, pollinators, and soil invertebrates”, *Biological Control*, c. 176, s. 105071, 2022.
- [9] M. Akashe, U. Pawade, & A. Nikam, “Classification of pesticides: A review”, *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, c. 9, ss. 144-150,

2018.

- [10] V. M. Pathak, V. K. Verma, B. S. Rawat, B. Kaur, N. Babu, A. Sharma, S. Dewali, M. Yadav, R. Kumari, S. Singh, A. Mohapatra, V. Pandey, N. Rana, & J. M. Cunill, “Current status of pesticide effects on environment, human health and it’s eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review”, *Frontiers in Microbiology*, c. 13, 2022.
- [11] T. Atabey, “*Edirne yöresinde üretilen pirinçlerde pestisit tayini*,” Yüksek lisans tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2016.
- [12] M. A. Marin-Morales, B. C. Ventura-Camargo, & M. M. Hoshina, Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health, 2013. In book: Herbicides - Current Research and Case Studies in Use Chapter: Chapter 16 Publisher: IntechEditors: Andrew J. Price, Jessica A. Kelton.
- [13] R. Y. Qu, B. He, J. F. Yang, H. Y. Lin, W. C. Yang, Q. Y. Wu, Q. X. Li, & G. F. Yang, “Where are the new herbicides?”, *Pest Management Science*, c. 77, sayı 6, ss. 2620-2625, 2021.
- [14] D. E. Moreland, “Mechanisms of action of herbicides”, *Annual Review of Plant Physiology*, c. 31, sayı 1, ss. 597-638, 1980.
- [15] Q. Zhou, W. Liu, Y. Zhang, & K. K. Liu, “Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides”, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, c. 89, sy 2, ss. 89-96, 2007.
- [16] Ç. Sevim, S. Çomaklı, A. Taghizadehghalehjoughi, M. Özkaraca, R. Mesnage, L. Kovatsi, T. I. Burykina, A. Kalogeraki, M. N. Antoniou, & A. Tsatsakis, “An imazamox-based herbicide causes apoptotic changes in rat liver and pancreas”, *Toxicology Reports*, c. 6, ss. 42-50, 2019.
- [17] A. Mari, E. Alonso-Prados, J. J. Villaverde, J. L. Alonso-Prados, & P. Sandín-España, “Impact of drinking water treatment processes on the residues of plant protection products for consumer and aquatic risk assessment: theoretical and experimental studies”, *EFSA Journal*, c. 20, sayı S2, s. e200906, 2022.
- [18] S. Tan, R. R. Evans, M. L. Dahmer, B. K. Singh, & D. L. Shaner, “Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future”, *Pest Management Science*, c. 61, sayı 3, ss. 246-257, 2005.

- [19] F. Başaran “İmidazolinone-Tolerant Kültür Bitkileri ve Yabancı Ot Mücadelesinde Kullanımı”, *Journal of Agriculture*, c. 4, sayı 2, ss. 67-79, 2021.
- [20] F. G. Hess, J. E. Harris, K. Pendino, & K. Ponnock, “İmidazolinones”, Robert Krieger (Editör), *Hayes’ Handbook of Pesticide Toxicology* . Üçüncü Baskı. New York: Academic Press, 2010, ss. 1853-1863.
- [21] R. Liman, İ. H. Ciğerci, & N. S. Öztürk, “Determination of genotoxic effects of Imazethapyr herbicide in *Allium cepa* root cells by mitotic activity, chromosome aberration, and comet assay”, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, c. 118, ss. 38-42, 2015.
- [22] M. H. Rad, A. A. Aivazi, & S. Jagannath, “Cytogenetic and biochemical effects of imazethapyr in wheat (*Triticum durum*)”, *Turkish Journal of Biology*, c. 35, ss. 663–670, 2011.
- [23] A. I. El-Nahas, “Mutagenic potential of imazethapyr herbicide (Pursuit®) on *Vicia faba* in the presence of urea fertilizer”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, c. 3, ss. 900–905, 2000.
- [24] J. M. Pérez-Iglesias, L. Z. Fanali, L. Franco-Belussi, G. S. Natale, C. De oliveira, J. C. Brodeur, & M. L. Larramendy, “Multiple level effects of imazethapyr on *Leptodactylus latinasus* (Anura) adult frogs”, *Arch Environ Contam Toxicol*, c. 81, sayı 3, ss. 492-506, 2021.
- [25] J. M. Pérez-Iglesias, S. Soloneski, N. Nikoloff, G. S. Natale, & M. L. Larramendy, “Toxic and genotoxic effects of the imazethapyr-based herbicide formulation Pivot H® on montevideo tree frog *Hypsiboas pulchellus* tadpoles (Anura, Hylidae)”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, c. 119, ss. 15-24, 2015.
- [26] S. Soloneski, C. R. Arcaute, N. Nikoloff, & M. L. Larramendy, “Genotoxicity of the herbicide imazethapyr in mammalian cells by oxidative DNA damage evaluation using the Endo III and FPG alkaline comet assays”, *Environmental Science and Pollution Research*, c. 24, ss. 10292–10300, 2017.
- [27] PubChem, (2023, 08 Mayıs). *Imazamox*. [Online]. Erişim: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/86137>.
- [28] A. Zulet, M. Gil-Monreal, J. G. Villamor, A. Zabalza, R. A. L. van der Hoorn,

- & M. Royuela, “Proteolytic pathways induced by herbicides that inhibit amino acid biosynthesis”, *Plos One*, c. 8, sayı 9, s. e73847, 2013.
- [29] T. Akbey, “Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)' nda imazamoxun hematotokisitesi ve boraksın terapotik etkisi”, Yüksek lisans tezi, Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2023.
- [30] P.G. Rasgele, G. Meredova, & Ş. G. Kirankaya, “Investigation of genotoxic effects of imazamox herbicide on Zebrafish (*Danio rerio*) using micronucleus assay”, *Dubited*, c. 10, sayı 4, ss. 1664-1669, 2022.
- [31] E. F. S. Authority (EFSA), “Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance imazamox”, *EFSA Journal*, c. 14, sayı 4, s. 4432, 2016.
- [32] E. J. Fragiorge, A. A. A. de Rezende, U. Graf, & M. A. Spanó, “Comparative genotoxicity evaluation of imidazolinone herbicides in somatic cells of *Drosophila melanogaster*”, *Food and Chemical Toxicology*, c. 46, sayı 1, ss. 393-401, 2008.
- [33] Vicentini V.E.P., Camparoto M.L., Teixeira R.O., Mantovani M.S. 2001. *Averrhoa carambola* L., *Syzygium cumini* (L.) Skeels and *Cissus sicyoides* L.: Medicinal herbal tea effects on vegetal and test systems. *Acta Scientiarum*. 23, 2, ss. 593-598.
- [34] A. Sharma, V. Kumar, B. Shahzad, M. Tanveer, G. P. S. Sidhu, N. Handa, S. K. Kohli, P. Yadav, A. S. Bali, R. D. Parihar, O. I. Dar, K. Singh, S. Jasrotia, P. Bakshi, M. Ramakrishnan, S. Kumar, R. Bhardwaj, & A. K. Thukral, “Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem”, *SN Applied Sciences*, c. 1, sayı 11, s. 1446, 2019.
- [35] P. G. Rasgele, “Assessment of geno- and cytotoxic effects of propineb using onion apical root meristem”, *Cytology and Genetics*, c. 57, sayı 1, ss. 95-103, 2023.
- [36] A. Levan, (1938). *The effect of colchicine on root mitoses in Allium* [Online] Erişim:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1601-5223.1938.tb03221.x>
- [37] M. A. D. Silveira, D. L. Ribeiro, T. A. dos Santos, G. M. Vieira, C. N. Cechinato,

- M. Kazanovski, & L. P. Grégio d'Arce, "Mutagenicity of two herbicides widely used on soybean crops by the *Allium cepa* test", *Cytotechnology*, c. 68, sayı 4, ss. 1215-1222, 2016.
- [38] Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Bitki Koruma Ürünleri Daire Başkanlığı [Online]. Erişim: <https://bku.tarimorman.gov.tr/BKURuhsat/Details/6775>.
- [39] İ. Doğan, & Doğan N, "Deney hayvanı kullanılan çalışmalarda örneklem büyüklüğünün kaynak eşitlik yöntemi ile tahmini", *Türkiye Klinikleri Biyoistatistik Dergisi*, c. 12, sayı 2, ss. 211-217, 2020.
- [40] D. Darlington & L. F. La Cour, "The handling of chromosomes.", *The handling of chromosomes*, 1942.
- [41] U. Çebi, C. Özcan, M. A. Gürbüz, & S. Özer, "İmazamox herbisitinin ve türevlerinin ayçiçeği bitkisinin farklı aksamalarında ve ayçiçeği florası etkisi altında üretilen bal örneklerindeki kalıntı düzeyleri", *Derim*, 2019.
- [42] Ü.K Çebi, C. Özcan, M. A. Gürbüz, & S. Özer, "Trakya Bölgesi'nde ayçiçeği tarımında kullanılan imazamox herbisit'inin toprak ortamında kalıntı düzeylerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi" *Toprak Su Dergisi*, c. 6, sayı 2, ss. 32-39, 2017.
- [43] S. C. Panico, C. A. M. van Gestel, R. A. Verweij, M. Rault, C. Bertrand, C. A. Menacho Barriga, M. Coeurdassier, C. Fritsch, F. Gimbert, & C. Pelosi, "Field mixtures of currently used pesticides in agricultural soil pose a risk to soil invertebrates", *Environ Pollut*, c. 305, s. 119290, 2022.
- [44] Y. M. Fattah, & A. H. Omer, "Evaluation of genotoxic and cytotoxic effects of Glyphosate on *Allium cepa*", *Technium Bio Chem Med*, c. 2, sayı 1, ss. 131-140, 2021.
- [45] K. Çavuşoğlu, E. Yalçın, Z. Türkmen, K. Yapar, K. Çavuşoğlu, & F. Çiçek, "Investigation of toxic effects of the Glyphosate on *Allium cepa*", *Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 17, ss. 131-142, 2011.
- [46] A. Acar, K. Çavuşoğlu, Z. Türkmen, K. Çavuşoğlu, & E. Yalçın, "The investigation of genotoxic, physiological and anatomical effects of paraquat herbicide on *Allium cepa* L." *Cytologia*, c. 80, sayı 3, ss. 343-351, 2015.

- [47] P. L. Webster, & R. D. Macleod, “The root apical meristem and its margin”, in: Y. Waishel, A. Eshel, U. Kafkafi (Eds.), *Plant Roots. The Hidden Half*, second ed. Marcel Dekker, New York, 1996, ss. 51–76.
- [48] A. Fusconi, O. Repetto, E. Bona, N. Massa, C. Gallo, E. Dumas-Gaudot, & G. Berta, “Effect of cadmium on meristem activity and nucleus ploidy in roots of *Pisum sativum* L. cv. Frisson seedlings”, *Environmental and Experimental Botany*, c. 58, ss. 253–260, 2006.
- [49] H. Qian, H. Hu, Y. Mao, J. Ma, A. Zhang, W. Liu, & Z. Fu, “Enantioselective phytotoxicity of the herbicide imazethapyr in rice”, *Chemosphere*, c. 76, ss. 885–892, 2009.
- [50] H. Ding, D. Wen, Z. Fu, & H. Qian, “The secretion of organic acids is also regulated by factors other than aluminum”, *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 186, ss. 1123–1131, 2014.
- [51] Q. Y. Zhou, C. Xu, Y. S. Zhang, & W. P. Liu, “Enantioselectivity in the phytotoxicity of herbicide imazethapyr”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, c. 57, ss. 1624–1631, 2009.
- [52] H. Qian, T. Lu, X. Peng, X. Han, Z. Fu, & W. Liu, “Enantioselective phytotoxicity of the herbicide imazethapyr on the response of the antioxidant system and starch metabolism in *Arabidopsis thaliana*”, *PLoS ONE*, c. 6, e19451, 2011.
- [53] E. Amaç & R. Liman, “Cytotoxic and genotoxic effects of clopyralid herbicide on *Allium cepa* roots”, *Environmental Science and Pollution Research*, c. 28, ss. 48450–48458, 2021.
- [54] G. Demirtaş, K. Çavusoglu, & E. Yalçın, “Anatomic, physiologic and cytogenetic changes in *Allium cepa* L. induced by diniconazole”, *Cytologia*, c. 80, sayı (1), ss. 51-57, 2015.
- [55] S. M. Amer, & E. M. Ali, “Cytological effects of pesticides. V. Effects of some herbicides on *Vicia faba*”, *Cytologia*, c. 39, ss. 633–643, 1974.
- [56] M. I. Soliman, & G.T. Ghoneam, “The mutagenic potentialities of some herbicides using *Vicia faba* as a biological system”, *Biotechnology*, c. 3, sayı 2, ss. 140–154, 2004.

- [57] M. McGill, S. Pathak, & T. C. Hsu, “Effects of ethidium bromide on mitosis and chromosomes: a possible material basis for chromosome stickiness”, *Chromosoma*, c. 47, ss. 157–167, 1974.
- [58] W. F. Grant, “Chromosome aberrations in plants as monitoring system”, *Environmental Health Perspectives*, c. 27, ss. 37–43, 1978.
- [59] B. C. Patil, & G.I. Bhat, “A comparative study of MH and EMS in the induction of chromosomal aberrations on lateral root meristem in *Clitoria termata* L.”, *Cytologia*, c. 57, ss. 259–264, 1992.
- [60] H. Arda, A. Kaya, & G. Alyuruk, “Physiological and genetic effects of imazamox treatment on imidazolinone-sensitive and resistant sunflower hybrids”, *Water, Air, & Soil Pollution*, c. 231, sayı 3, s. 118, 2020.
- [61] USEPA, (2021, 19 Aralık). *Imazamox; notice of filing a pesticide petition to establish a tolerance for a certain pesticide chemical in or on food*. [Online]. Erişim: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2002-12-23/pdf/02-32260.pdf>
- [62] FAO/WHO, (2021, 19 Aralık). *Pesticide residues in food. Report 2014, FAO plant production and protection paper*. [Online]. Erişim: https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Report2014/JMPR_2014_Full_Report.pdf
- [63] T. Tkachuk, O. Tkachuk, O. Zubko & O. Kostik, “Mutagenicity studies of herbicide imazamox in the mice bone marrow micronucleus assay”, The 52nd Congress of the European Societies of Toxicology, Seville, Spain, 2016.
- [64] E. By, F. Sklar, T. Dreschel, & R. Stanek, “*South Florida Environmental Report*”. Chapter 6: Everglades Research and Evaluation, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :HAYRETTİN SARIKAYA
Yabancı Dili :İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Biyoloji	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Genetik ve Biyomühendislik	Kastamonu Üniversitesi	2018
Lise	Bilişim Teknolojileri Alanı	İzzet Baysal Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	2013

İŞ TECRÜBESİ

Pozisyon	Çalışılan Firma	Çalışılan Yıl
KKL Analisti	Çetinkaya İlaç	2022-2023
Yönetici	Patista Restaurant	2021-2022
Tanıtım Görevlisi	Hedef Direct	2018

YAYINLAR

H. Sarıkaya & P. G. Rasgele, “Investigation of cytogenetic effects of imazamox herbicide on *Allium cepa* L”, *Anadolu 12th International Conference on Applied Sciences*, Diyarbakır. 2023.