



**ÇÖREK OTU (*Nigella sativa* L.) BİTKİSİNDE SODYUM
AZİD UYGULAMASININ OPTİMİZASYONU VE M₁
GENERASYONUNDA TARIMSAL ÖZELLİKLERİN
BELİRLENMESİ**

Hivrun TURANLI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN
Yüksek Lisans Tezi
Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı
2023
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

**ÇÖREK OTU (*Nigella sativa* L.) BİTKİSİNDE SODYUM AZİD UYGULAMASININ
OPTİMİZASYONU VE M₁ GENERASYONUNDA TARIMSAL ÖZELLİKLERİN
BELİRLENMESİ**

(Optimization of Sodium Azide Application in Black Cumin (*Nigella sativa* L.) and
Determination of Agronomic Characteristics in M₁ Generation)

YÜKSEK LİSANS

Hivrun TURANLI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN

Erzurum

Şubat, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Hivrun TURANLI tarafından hazırlanan “Çörek Otu (*Nigella sativa* L.) Bitkisinde Sodyum Azid Uygulamasının Optimizasyonu ve M₁ Generasyonunda Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi” başlıklı çalışması 08 / 02 / 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

| | | |
|---------------|--|----------------------|
| Jüri Başkanı: | Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI <i>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi</i> | Aslı Islak İmzalıdır |
| Danışman: | Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN <i>Atatürk Üniversitesi</i> | Aslı Islak İmzalıdır |
| Jüri Üyesi: | Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i> | Aslı Islak İmzalıdır |

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN danışmanlığında sunulan “Çörek Otu (*Nigella Sativa* L.) Bitkisinde Sodyum Azid Uygulamasının Optimizasyonu ve M₁ Generasyonunda Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

| Tez Bölümleri | Tezin Benzerlik Oranı (%) | Maksimum Oran (%) |
|---------------------|---------------------------|-------------------|
| Giriş | 11 | 30 |
| Kuramsal Temeller | 7 | 30 |
| Materyal ve Yöntem | 13 | 35 |
| Araştırma Bulguları | 7 | 20 |
| Tartışma | 10 | 20 |
| Sonuç ve Öneriler | 0 | 20 |
| Tezin Geneli | 11 | 25 |

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Tez Yazarı (Öğrenci) | Tez Danışmanı |
| Hivrun TURANLI | Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN |
| 14.2.2023 | 14.2.2023 |
| İmza: Aslı Islak İmzalıdır | İmza: Aslı Islak İmzalıdır |

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın planlanması, yürütülmesinde ve sonuçlarının değerlendirilmesinde bilgi ve deneyimleri ile bana her zaman rehberlik eden, ilgi ve alakasını esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince danıştığım, çalışmalarına yardımda bulunan ve her zaman yanımda olan Sayın Prof. Dr. Hakan ÖZER'e, Sayın Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU'na Sayın Arş. Gör. Zehra TOKTAY'a, Sayın Ziraat Mühendisi ERKAN ÖZDEMİR'e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca ve çalışmamın her aşamasında birçok fedakârlık göstererek, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme her zaman yanımda olduğu için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hivrun TURANLI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇÖREK OTU (*Nigella sativa* L.) BİTKİSİNDE SODYUM AZİD UYGULAMASININ OPTİMİZASYONU VE M₁ GENERASYONUNDA TARIMSAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Hivrun TURANLI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÇOBAN

Amaç: Klasik ıslah yöntemleri kullanarak çeşit geliştirmede gen kaynağı olarak kullanılabilir çörek otu hatlarının geliştirilmesinde ilk aşama olan uygun kimyasal mutagen olarak kullanılacak sodyum azidin tohumlara uygulama optimizasyonu (doz, süre) ve M₁ tohum elde edilmesidir.

Yöntem: Çörek otu bitkisinde sodyum azid uygulamasının optimizasyonunu sağlamak amacıyla 4 farklı konsantrasyon (1, 2, 3 ve 4 mM) ve sürede (1, 2, 3 ve 4 sa) mutagen uygulaması gerçekleştirilmiş ve çimlenme parametreleri üzerinde etkileri belirlenmiştir. Arazi çalışmasında M₁ generasyonunda tarımsal özelliklerin belirlenmesi için oluşturan mutant ve kontrol grubundan tek bitki seçimleri ile agronomik ölçüm ve gözlemler yapılmıştır.

Bulgular: Sodyum azid kontrasyonlarının artmasına bağlı olarak çimlenme oranı, çimlenme hızı katsayısı, çimlenme hızı indeksi, çimlenme gücü indeksi azalmış ortalama çimlenme zamanı artmıştır. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çörek otunun çimlenme parametrelerine ait varyans analiz sonuçları göz önüne alındığında doz uygulaması arasındaki farklılıklar tüm varyasyon kaynaklarında önemli çıkmıştır. Çimlenme oranı kontrol grubunda %85,6 iken dozların artması ile %38,0' e kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Arazi performansı göz önüne alındığında M₁ bitkilerinde bitki boyu, ilk dal yüksekliği, ilk kapsül yüksekliği, kapsül çapı, bin tane ağırlığı bakımından mutant grubu ve kontrol grubuna arasındaki farklılık önemli çıkarken; dal sayısı, bitkide kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı, bitki başına verim bakımından bu farklılıklar önemsiz bulunmuştur. Mutant grubunda ortalama bitki boyu 49,98 cm, dal sayısı 5,25 adet, ilk dal yüksekliği 19,86 cm, ilk kapsül yüksekliği 36,58 cm, kapsül çapı 9,92 mm, bitkide kapsül sayısı 12,16 adet, kapsülde tohum sayısı 75,7 adet, bin tane ağırlığı 4,00 g, bitki başına verim 3,29 g olarak tespit edilmiştir.

Sonuç: Çimlenme parametreleri göz önüne alındığında tohumlara uygulanmasına karar verilen doz x süre kombinasyonu 3 mM x 2 sa olarak belirlenmiştir. Arazi çalışması sonucunda sodyum azidin, çörek otu bitkisinin iyileştirilmesi için varyasyon oluşturma amacıyla kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çörek otu, *Nigella sativa* L. sodyum azid, mutasyon ıslahı

Ocak 2023, 62 sayfa

ABSTRACT

DEGREE DISSERTATION

OPTIMIZATION OF SODIUM AZIDE APPLICATION IN BLACK CUMIN (*NIGELLA SATIVA* L.) AND DETERMINATION OF AGRONOMIC CHARACTERISTICS IN M₁ GENERATION

Hivrun TURANLI

Supervisor: Assist Prof. Dr. Furkan ÇOBAN

Purpose: The first step in the production of black cumin lines that can be used as a gene source in cultivar development using classical breeding methods is the optimization of the application (dose, duration) of sodium azide to the seeds to be used as a suitable chemical mutagen and obtaining M₁ seeds.

Method: In order to optimize sodium azide application in black cumin, 4 different concentrations (1, 2, 3 and 4 mM) and duration (1, 2, 3 and 4 h) were applied mutagen and their effects on germination parameters were determined. In the field study, agronomic measurements and observations were provided with single plant selections from the mutant and control groups for the determination of agricultural characteristics in the M₁ generation.

Findings: Depending on the increase in sodium azide concentrations, germination rate, germination rate coefficient, germination rate index, germination power index decreased and mean germination time increased. Considering the variance analysis results of germination parameters of black cumin at different sodium azide concentrations and durations, the differences between dose administration were significant in all sources of variation. While the germination rate was 85.6% in the control group, it was observed that it decreased to 38.0% with increasing doses. Considering the field performance, the difference between the mutant group and the control group was significant in terms of plant height, first branch height, first capsule height, capsule diameter, and thousand-seed weight in M₁ plants. These differences were insignificant in terms of the number of branches, the number of capsules per plant, the number of seeds in the capsule, and the yield per plant. The results obtained from mutant group were as follows. Plant height 49.98 cm; number of branches 5.25; first branch height is 19.86 cm; first capsule height 36.58 cm; capsule diameter 9.92 mm; number of capsules per plant 12.16; number of seeds in the capsule 75.7; thousand seed weights 4.00 g; and yield per plant 3.29 g.

Results: Considering the germination parameters, the dose x time combination decided to be applied to the seeds was determined as 3 mM x 2 h. As a result of the field study, it was concluded that sodium azide can be used to create variation for the improvement of black cumin plant.

Keywords: Black cumin, *Nigella sativa* L. sodium azide, mutation breeding

January 2023, 62 pages

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| KABUL VE ONAY TUTANAĞI..... | i |
| ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vi |
| TABLolar DİZİNİ..... | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xi |
| GİRİŞ..... | 1 |
| KURAMSAL TEMELLER..... | 6 |
| MATERYAL VE YÖNTEM | 13 |
| Materyal | 13 |
| Bitki materyali..... | 13 |
| Araştırma yeri..... | 13 |
| Deneme alanının iklim ve toprak özellikleri..... | 13 |
| Yöntem..... | 14 |
| Laboratuvar çalışmaları..... | 15 |
| Arazi çalışmaları | 17 |
| Hasat ve harman..... | 18 |
| Sonuçların değerlendirilmesi | 18 |
| Arazi Şartlarında M ₁ Generasyonunda Yapılan Gözlemler..... | 19 |
| ARAŞTIRMA BULGULARI | 24 |
| Laboratuvar Çalışmaları..... | 24 |
| Çimlenme oranı (%)..... | 24 |
| Çimlenme hızı katsayısı | 25 |
| Çimlenme hızı indeksi..... | 26 |
| Ortalama çimlenme zamanı..... | 27 |
| Çimlenme gücü indeksi..... | 29 |
| Arazi Çalışmaları | 31 |
| Bitki boyu (cm)..... | 31 |

| | |
|------------------------------------|----|
| Dal sayısı (adet)..... | 32 |
| İlk dal yüksekliği (cm) | 32 |
| İlk kapsül yüksekliği (cm)..... | 33 |
| Kapsül çapı (mm)..... | 34 |
| Bitkide kapsül sayısı (adet) | 35 |
| Kapsülde tohum sayısı | 36 |
| Bin tane ağırlığı (g) | 36 |
| Bitki başına verim (g)..... | 38 |
| TARTIŞMA..... | 39 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 42 |
| KAYNAKÇA | 43 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 49 |

TABLolar DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1. Erzurum İli Merkez Bölgesinin Uzun Yıllar (2000-2021) ile 2022 Yılına Ait İklim Verileri | 13 |
| Tablo 2. Deneme Alanı Topraklarının 2016-2017 Yıllarına Ait Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri | 14 |
| Tablo 3. Deneme Süresince Yapılan Bakım İşlemleri ve Yapılma Zamanları..... | 18 |
| Tablo 4. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının Çörek Otunun Çimlenme Parametrelerine Ait Varyans Analiz Sonuçları..... | 25 |
| Tablo 5. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının Çörek Otunun Çimlenme Parametrelerine Ait Ortalama Değerler | 29 |
| Tablo 6. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının M ₁ Generasyonunda Bitki Boyu, Dal Sayısı, İlk Dal Yüksekliği, İlk Kapsül Yüksekliği ve Kapsül Çapına Ait Ortalama Değerleri ve T-Test Analiz Sonuçları..... | 34 |
| Tablo 7. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının M ₁ Generasyonunda Bitkide Kapsül Sayısı, Kapsülde Tohum Sayısı, Bin Tane Ağırlığı ve Bitki Başına Verimine Ait Ortalama Değerleri ve T-Test Analiz Sonuçları | 37 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1. Çörek otu ve farklı bitki aksamları. 1. Büyüme formu, 2. Petal, 3. Stamen (önden görünüş), 4. Meyve, 5. Meyve (enine kesit), 6. Tohum, ve 7. Tohum (enine ve boyuna kesit) | 2 |
| Şekil 2. Çörek otu tohumlarına kimyasal mutagen hazırlama ve uygulamasından görünüm .. | 15 |
| Şekil 3. Çimlenme çalışmasında bir görüntü..... | 16 |
| Şekil 4. Parselasyon, gübreleme ve ekim zamanından bir görüntü..... | 17 |
| Şekil 5. Çörek otu bitkisinin çıkış zamanından bir görüntü | 20 |
| Şekil 6. Çörek otu bitkisinin çiçeklenme zamanından bir görüntü | 21 |
| Şekil 7. Çörek otu bitkisinin kapsül oluşumundan bir görüntü..... | 22 |
| Şekil 8. Çörek otu bitkisinin hasat zamanından bir görüntü | 23 |
| Şekil 9. Çörek otu bitkisinin harman ve ölçüm zamanından bir görüntü..... | 23 |
| Şekil 10. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme oranı üzerine etkileri | 25 |
| Şekil 11. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme hızı katsayısı üzerine etkileri..... | 26 |
| Şekil 12. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme hızı indeksi üzerine etkileri..... | 27 |
| Şekil 13. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının ortalama çimlenme zamanı üzerine etkileri..... | 28 |
| Şekil 14. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme gücü indeksi üzerine etkileri..... | 30 |
| Şekil 15. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitki boylarına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı | 31 |
| Şekil 16. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının dal sayılarına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı | 32 |
| Şekil 17. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının ilk dal yüksekliğine ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı | 33 |
| Şekil 18. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının ilk kapsül yüksekliğine ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı..... | 33 |
| Şekil 19. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının kapsül çapına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı | 35 |

| | |
|---|----|
| Şekil 20. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitkide kapsül sayısına ait | |
| a) kutu grafiği ve b)serpilme diyagramı..... | 35 |
| Şekil 21. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının kapsülde tohum sayısına ait | |
| a) kutu grafiği ve b)serpilme diyagramı..... | 36 |
| Şekil 22. Kontrol ve mutasyon popülasyonlarının bin tane ağırlığına ait a) kutu grafiği ve | |
| b)serpilme diyagramı | 37 |
| Şekil 23. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitki başına verim ait a) kutu | |
| grafiği ve b)serpilme diyagramı | 38 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------|--|
| % | : Yüzde |
| °C | : Santigrat Derece |
| cm | : Santimetre |
| da | : Dekar |
| FAO | : Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organisation) |
| g | : Gram |
| kg | : Kilogram |
| m ² | : Metrekare |
| mM | : Milimolar |
| N | : Azot |
| NaN ₃ | : Sodyum azid |
| P | : Fosfor |
| pH | : Asitlik derecesi |
| TUIK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| WHO | : Dünya Sağlık Örgütü |

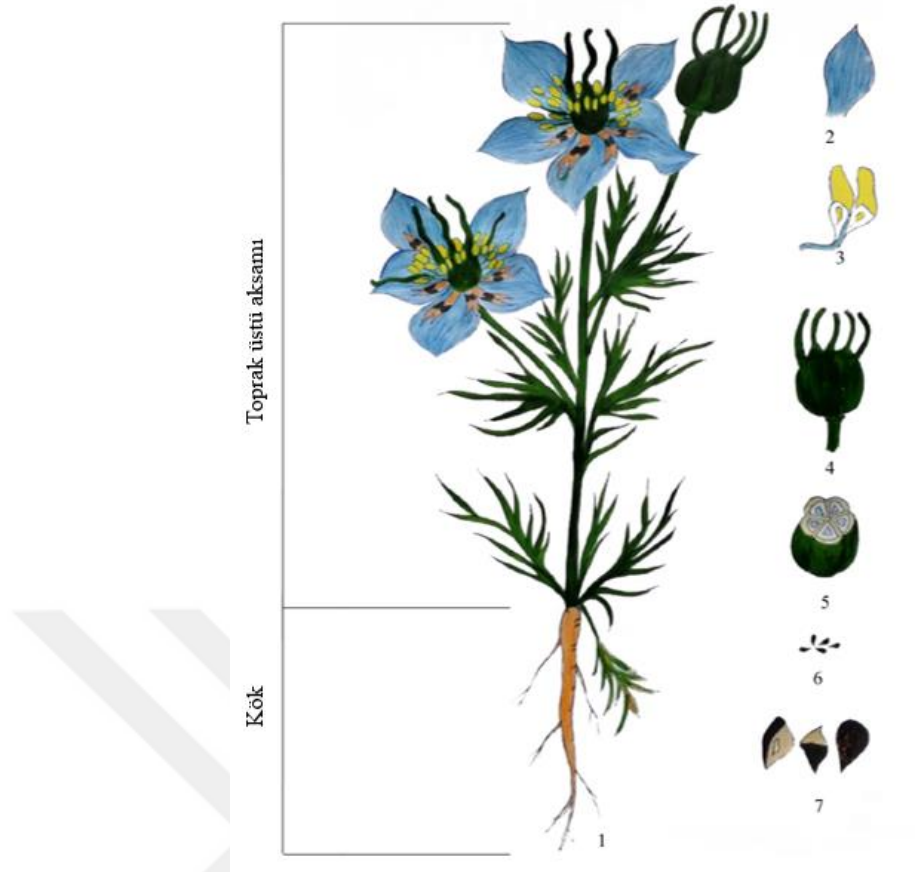
GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı eski uygarlıklara kadar dayanmaktadır ve günümüzde çoğu ülkede gıda ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. İçerdikleri uçucu yağlar, flavonoidler, alkaloidler, mineraller ve besinler gibi aktif maddeler nedeniyle yapıları gereği tedavi edici ve besleyici özelliklere sahiptir (Embuscado 2015; Barata *et al.* 2016). Bu özellikler bitkilerin yaprak, kök, çiçek, meyve ve tohum gibi farklı kısımlarından elde edilmektedir (Saha ve Başak 2020).

Dünya nüfusunun yaklaşık %60'ı bu bitkilere güvenmekte ve besinsel ve tıbbi değerleri nedeniyle türevlerine olan talep gözle görülür şekilde artmaktadır (Kiani *et al.* 2016). Tıbbi ve aromatik bitkiler tüm dünyada sağlık ve ticaret açısından en önemli stratejik ürünlerden biri olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, ihracatları ülke ekonomilerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Küresel ihracatın yaklaşık %60'ını oluşturan Çin, Hindistan, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya, tıbbi ve aromatik bitkilerin ana tedarikçileridir. Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Japonya ve Singapur da küresel ithalatın %50'sini oluşturmaktadır (Nguyen *et al.* 2019). Günümüzde ticareti yapılan en önemli tıbbi ve aromatik bitkiler, tropik bölgelerde bulunan karabiber, kakule, vanilya, karanfil, zencefil, tarçın ve zerdeçal ve tropikal olmayan bölgelerde kişniş, kimyon, adaçayı, kekik, nane ve çörek otudur (Embuscado 2015).

Çörek otu (*Nigella sativa* L.) Ranunculaceae familyasına ait, 30-70 cm arasında bitki boyuna, 2-3 mm boyutunda siyah renkli ve oval tohumlara, kapsül formunda meyvelere, açık mavi, beyaz renkli çiçeklere sahip, kazık köklü, tek yıllık otsu bir bitkidir (Şekil 1). Çörek otu tohumlarının anavatanının M.Ö. 1549/1550–1292 yıllarında Mısır'daki Tutankhamun'un mezarında keşfedildiği için bu bitkinin kökeninin Mısır ve çevre bölgeleri (Akdeniz kıyıları) olduğu düşünülmektedir (Paarakh 2010; Hossain *et al.* 2021).



Şekil 1. Çörek otu ve farklı bitki aksamaları. 1. Büyüme formu, 2. Petal, 3. Stamen (önden görünüş), 4. Meyve, 5. Meyve (enine kesit), 6. Tohum, ve 7. Tohum (enine ve boyuna kesit) Hossain *et al.* (2021)

Çörek otu, farmakolojik ve fitokimyasal özellikleri bakımından oldukça önem arz eden, tıbbi ve aromatik bitkilerden biridir. Kültürü yapılan bölgenin ekolojisi, agronomik faaliyetler, genotiplere bağlı farklılık göstermekle birlikte, tohumların yapısında %32-42 arasında değişen sabit yağ, %0,40-0,90 arasında uçucu yağ, %16-24 arasında protein, %4-7 arasında lif, %25-35 arasında karbonhidrat, 3,5–8,7 mg/g arasında thymoquinone, % 1,5-3,5 arasında mineral ve vitaminler ihtiva etmektedir. Birçok uygarlıkta (Unani, Ayurveda, Arap, Hint, Çin) geleneksel tıp tamamlayıcısı olarak kullanılmıştır. Örneğin, Ayurveda alternatif tıp sisteminde çörek otunun Vata (hareket enerjisi) ve Kapha'yı (yapı ve yağlama enerjisi) dengelediği ve Pitta'yı (metabolizma veya sindirim enerjisi) arttırdığı bilinmektedir. Unani alternatif tıp sisteminde ise tohumların terapötik kullanımları arasında mide, müshil, gaz giderici, öksürük ve astımla mücadelede ve böbrek taşlarını atmak için kullanıldığı bildirilmektedir (Botnick *et al.* 2012; Datta *et al.* 2012; Melnyk *et al.* 2015; Srinivasan 2018; Hossain *et al.* 2021; Sommer *et al.* 2021). Öte yandan çörek otunun biyolojik etkilerini inceleyen birçok çalışma rapor edilmiştir. Bu çalışmalarda çörek otunun antimikrobiyal (Iqbal *et al.* 2017), antibakteriyel (Gasong *et al.* 2017), antifungal (Benazzouz-Smail *et al.* 2023) antihistaminik (Gholamnezhad *et al.* 2019), antidiyabetik (Rani *et al.* 2018), antiinflamatuvar (Ahmad *et al.* 2021), antikanser (Butt *et al.*

2019), antikonvulzan (Noor *et al.* 2012), antihipertansif (Shahbazi *et al.* 2022) ve antiviral (Basurra *et al.* 2021) etkiye sahip olduğunu bildirilmiştir.

Çörek otu Orta ve Doğu Akdeniz bölgesi, Orta ve Güney Avrupa, Baltık devletleri, Orta Asya, Kuzey Afrika, Sudan, Etiyopya, Kenya, Somali, Hindistan, Pakistan, Bangladeş, Sri Lanka, Nepal, İran, Suriye, Türkiye ve Suudi Arabistan'da yetiştirilmektedir. Dünyanın en fazla çörek otu üreticisi ve ihracatçısı Hindistan'dır (Hossain *et al.* 2021).

Ülkemizde ise 2021 yılında 83915 da ekim alanına sahip olmuş ve dekara 77 kg verim elde edilmiştir. Toplam üretim miktarımız 6435 ton'dur. Üretim yapılan iller arasında 2019 ton ile Uşak en fazla çörek otu üreten ilimizdir. Bunu sırasıyla Burdur (1141 ton), Çorum (762 ton), Kırşehir (396 ton), Konya (384 ton) izlemektedir (TUIK 2022).

Tıbbi ve aromatik bitkiler arasında hem üretim hem de tüketiminde önemli bir yere sahip olan çörek otunda verim, verim unsurları ve kalite bakımında son yıllarda çalışmalar artmış olsa da yeterli değildir. Ülkemizde sadece Çameli adında bir adet tescilli çörek otu bulunmakta olup üretim, dağıtım ve yayımı istenilen düzeyde değildir. Nitekim, üreticilerimiz popülasyon düzeyinde bir önceki sene hasat edilen tohumlukları kullanmaktadır. İkincil bir unsur ise, ülkemizde tıbbi ve aromatik bitkiler yetiştiriciliğinde en önemli sorunlarında biri de yabancı ot mücadelesidir. Çörek otu yetiştiriciliğinde bitkinin çıkış ve 3-10 yaprak döneminde, ilk sulama ve yağışlı havalardan sonra artan yabancı ot durumunda ruhsatlı bir herbisit bulunmamasından dolayı çapalama ve elle çekme yöntemi kullanılmaktadır. Yabancı otlar, çörek otu bitkisinde su, alan ve mineral maddeler açısından rekabete girerek ve erken çimlenip çörek otunun gelişmesi, verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadırlar. Ayrıca, yabancı otların hasadı güçleştirmeleri ve hastalık etmeni zararlı böceklere beslenme yeri sağlamaları gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çörek otunda herbisite dayanıklı hatların geliştirilmesi ilk aşamada önemli bir faktördür.

Herbisitlere karşı bitki toleransı elde etmek için çok sayıda olası strateji vardır. Bunlar; hedef geni değiştirmek, arttırmak veya aşırı olarak üretmek; hedef enzimi alternatif bir yoldan bertaraf etmek, herbisiti detoksifiye etmek (Tsafaris 1996), herbisitin alımını ve translokasyonunu kısıtlayarak hedef bölgeye ulaşmasını engellemek (Knezevic and Cassman 2003), herbisitin ayrı tutulmasını (tecrit etmek) sağlamak ve substrat akışını hızlandırmaktır (Tan vd. 2005). Bununla birlikte, ticarileştirilmiş herbisit toleranslı kültür bitkisi elde etmede yalnızca iki strateji başarıyla kullanılmıştır. Bunlar; genetik varyasyon ve herbisitin metabolizma yoluyla detoksifikasyonudur (Kirkwood 2002; Naidu and Ranganath 2011).

Genetik varyasyon, bir popülasyon içerisindeki bireylerin DNA dizilerindeki farklılıklardır. Genetik varyasyonun başlıca kaynağı mutasyondur. Mutasyon, bitkilerin genetik

yapısında aniden ortaya çıkan kalıtsal değişimlerdir. Mutasyonlar ya kendiliğinden (doğal) yada yapay olarak meydana gelirler. Doğal mutasyonların ortaya çıkışında özellikle çekingen (resesif) genlerin etkisi ve populasyon frekanslarının düşük olması gibi nedenlerle mutant tiplerin ıslahçılar tarafından belirlenmesinde zorluklarla karşılaşıldığından, araştırmacılar yapay mutasyonlar elde etme çabasına girmişlerdir. Yapay mutasyonlar ise ya radyasyon ışınları ile ya da kimyasal mutagenler ile yapılmaktadır (Genç ve Özar 1986).

Mutasyon oluşturmak, dayanıklılık ıslahında kullanılan yöntemlerden birisidir. Dayanıklı genotiplerin eldesi, çörek otu tarımında yabancı ot mücadelesini kolaylaştıracaktır. Ön şart olarak, yüksek bir ıslah popülasyonu oluşturmak elzemdir. Kimyasal mutasyonlar, ıslah programlarında varyasyon kaynağı olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Mutasyon yöntemi kullanılarak çok sayıda çeşit geliştirilmiştir (Oladosu *et al.* 2016).

Mutasyon ıslahı, bitki ıslahında önemli bir rol oynar ve yenilik yaratmak için genetik varyasyonun yaratılmasına yardımcı olur. Bununla birlikte çeşitli çalışmalar, kolşisin (Col), etil metan sülfonat (EMS) ve sodyum azid (SA) tarafından yapay mutasyon indüksiyonunun, bitkilerin daha iyi özelliklerini bozmadan spesifik gelişmeye neden olan değişkenlik sınırlamalarının üstesinden gelmek için bir araç sağladığını vurgulamaktadır. Sodyum azid kimyasal mutagen çalışmalarında oldukça sık kullanılan bir kimyasaldır. Bir organik metabolit olan b-azidoalanin [N₃-CH₂-CH (-NH₂)-COOH], bir amino asit analogu “Lazidoalanin” sentezi sodyum azidin mutagenitesine aracılık eder. Bu organik metabolit, DNA ile etkileşime girer ve AT→GC baz çifti geçişini ve transversiyonunu (Khan *et al.* 2009) ve kromozomal sapmaları (Gruszka *et al.* 2012) indükler. Nokta mutasyonu oluşturma yeteneğine sahip olan sodyum azid, uygulanan bitkinin birçok gelişimsel, fizyolojik ve metabolik aktivitesini değiştirmektedir. Kimyasal mutagenler bitki genomunda gen dizilerinde veya kromozomlarda değişiklik yaratmaktadır. Gen dizilerindeki mutasyonlar kromozom mutasyonlarına göre küçük çapta etkilere sahiptir. Gen mutasyonları resesif oldukları için M₂ generasyonunda belirlenmektedir. Ancak değişimlere kalıcı mı yoksa modifikasyon mu olduğu döl kontrolü ile M₃ generasyonunda tespit edilebilmektedir (Raina *et al.* 2022).

Çörek otu yetiştiriciliğinde bitkinin ilk vejetatif dönemlerinde, sulama ve yağışlardan sonra artan yabancı ot durumunda ruhsatlı bir herbisit bulunmamasından dolayı çapalama ve elle çekme yöntemi kullanılmaktadır. Yabancı otlar, çörek otu bitkisinde su, alan ve mineral maddeler açısından rekabete girerek ve erken çimlenip gelişmesi verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadırlar. Ayrıca, hasadı güçleştirmeleri, hastalık etmeni zararlı böceklere beslenme yeri sağlamaları diğer bir olumsuz tarafıdır. Bu nedenlerden dolayı çörek otunda herbisite dayanıklı hatlar oluşturmak ilk aşamada önemli bir faktördür. Öte yandan ülkemizde sadece

Çameli adında bir adet tescilli çörek otu bulunmakta olup üretim, dağıtım ve yayımı istenilen düzeyde değildir. Klasik ıslah yöntemlerinde mutasyon ıslahı metotları kullanılarak çeşit geliştirmede gen kaynağı olarak kullanılabilir M₁ çörek otu hatlarının elde edilmesidir. Elde edilecek sonuçlar, sonraki generasyonların elde edilmesi ve yabancı otlara ve stres faktörlerine bağlı verim kayıpları probleminin çözümüne yönelik stratejilere katkı sağlayacaktır.

Bu araştırmanın temel amacı, klasik ıslah yöntemleri kullanarak çeşit geliştirmede gen kaynağı olarak kullanılabilir çörek otu hatlarının geliştirilmesinde ilk aşama olan uygun kimyasal mutagen olarak kullanılacak sodyum azidin tohumlara uygulama optimizasyonu (doz, süre) ve M₁ tohum elde edilmesidir.



KURAMSAL TEMELLER

Bölge ekolojisi, çörek otu yetiştiriciliğinde daha önce yürütülen çalışmalar ve çalışmamız sonucunda elde edilen veriler göz önüne alındığında herhangi bir dezavantaj oluşturmamaktadır. Çörek otu, üretimi ve işlenmesi ile ilgili olarak kuru tarım münavebesine uygunluğu, diğer ürünlerde kullanılan alet ve ekipmanların kullanılabilirliği, pazar arz-talep dengesini pozitif eğilimde olması ve proses kolaylığı dikkate alındığında bölge tarım deseninde yer alması önemlidir (Ozer *et al.* 2020).

Erzurum ekolojisinde yürütülen çalışmalarda Ürüşan (2016) Çameli çörek otu çeşidinin tohum verimi bakımından diğer kullandığı genotiplere (Diyarbakır, Tokat, İzmir, Aksaray, Burdur, Afyon, Bursa, Denizli ve Kerkük) göre daha üstün olduğunu ve bitki boyunun 22,0-47,7 cm, dal sayısının 3,9-6,7 adet, bitkide kapsül sayısının 5,5-19,8 adet, kapsülde tohum sayısının 62,2-117,3 adet ve bin tane ağırlığının 2,5-3,5 g arasında değiştiğini bildirmiştir. Aynı ekolojide yürütülen diğer bir çalışmada çörek otu yetiştiriciliğinde uygun azot dozu ve sıra aralığını belirleyen Yıldız (2021) tüm varyasyon kaynaklarının ortalaması olarak çörek otu bitkisinde bitki boyunu 43,40 cm, dal sayısını 4,13 adet, bitkide kapsül sayısını 8,71 adet, bin tane ağırlığını 3,15 g ve tohum verimini 108,98 kg/da olarak belirlemiştir. Yukarıda belirtilen çalışmalarda görüleceği üzere çörek otu bölge ekolojisinde kolaylıkla yetiştirilmektedir. Araştırmamızın arazi çalışmalarında uygulandığı gibi Ceylan (1987) çörek otunda sıra arası mesafenin 20 cm ve dekara 1,5-2 kg olacak şekilde tohumluk kullanılmasının uygun olacağını bildirmiştir.

Çörek otu bitkisinde tek tescilli çeşit Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü/Eskişehir tarafından geliştirilen “Çameli” çeşididir. Çameli çeşidi ülkemizde birçok araştırmacı ve bir çok lokasyonda denemeye tabi tutulmuştur. Beyzi (2018), Kayseri’de 2017-2018 yaz vejetasyon döneminde Çameli çeşidini materyal olarak kullanarak verim ve kalite özelliklerini belirlemiştir. Çalışmasında bitki boyunu 44,2 cm, bitkide kapsül sayısını 8,7 adet, kapsülde tohum sayısını 91,8 adet, bin tane ağırlığı 2,6 g ve tohum verimini 71,8 kg/da olarak tespit etmiştir. Koşar ve Özel (2018) Şanlıurfa’da farklı çörek otu genotiplerinin adaptasyonu çalışmasında Çameli çeşidinin bitki boyunu 60,13 cm, dal sayısını 3,87 adet, bitkide kapsül sayısını 4,97 adet, bin tane ağırlığını 2,20 g ve tohum verimini 44,28 kg/da olarak rapor etmişlerdir. İnan (2019) Kahta/Adıyaman ekolojisinde Çameli çörek otu çeşidinin bitki boyunu 24.13 ile 44.93 cm, dal sayısını 2.67 ile 5.30 adet, kapsül sayısını 6,08 ile 11,47 adet, kapsülde

tohum sayısını 51,97 ile 66,13 adet, bin tane ağırlığını 2,50 ile 2,64 g ve tohum verimini 31,49 ile 49,11 kg/da arasında değiştiğini bildirmiştir. Uşak ekolojik koşullarında Can (2021) tarafından yürütülen çalışmada Çameli çeşidinin bitki boyunu 30,2 cm, dal sayısını 5,2 adet, bitkide kapsül sayısını 4,5 adet, bin tane ağırlığını 3,0 g ve tohum verimini 66,5 kg/da olarak bildirmiştir. Kahramanmaraş ekolojisinde Aybasar ve Gedik (2022) tarafından yürütülen araştırmada Çameli çeşidinin bitki boyunu 57,73 cm, ilk dal yüksekliğini 10,97, ilk kapsül yüksekliğini 27,82, dal sayısını 6,53 adet, kapsül sayısını 24,65 adet, kapsüldeki tohum sayısını 104 adet, bin tane ağırlığını 2,59 g ve tohum verimini 132 kg/da olarak tespit etmişlerdir. Güneş ve Tonçer (2022), Mardin ekolojik koşullarında bazı çörek otu genotiplerinin fenolojik ve agronomik özelliklerini belirlediği araştırmasında yazlık ekimlerde Çameli çeşidinde bitki boyunu 58,6 cm, dal sayısını 5,05 adet, bitkide kapsül sayısını 12,6 adet, kapsül çapını 1,09 cm, bitki başına tohum verimini 1,62 g, bin tane ağırlığını 2,68 g olduğunu rapor etmişlerdir.

Üretimin geliştirilmesi optimizasyonu ve ekonomik sürdürülebilirlik için en önemli ihtiyaç ve materyal tohumluktur. Ancak çörek otunda sertifikalı tohumluk yeterli düzeyde değildir. Bu sebeple çörek otunda ıslah çalışmalarının artırılması oldukça önemlidir. Öte yandan, bitkisel üretimi sınırlayan en önemli faktörlerden biri çevresel stres faktörleridir. Yabancı otlar, zararlı böcekler, kuraklık, tuzluluk vb. çevresel faktörler dünyada üretim yapılan tarım arazilerinin yaklaşık %25-30 'unda sorun oluşturmaktadır (Akgün ve Tosun 2004). Yürütülecek ıslah çalışmaları stres faktörleri, üretim stratejileri, bölge ekolojileri vb. konularda göz önüne alınarak yürütülmesi oldukça önem taşımaktadır.

Genetik çeşitlilik bitki ıslahının temel kaynağını oluşturmaktadır. Bitki gen havuzlarında varyasyon oluşturma kaynaklarından bir tanesi de mutasyondur. Mutasyon, bitki genomundaki kalıtsal değişikliklerdir ve doğal veya bitki ıslahçıları tarafından yapay olarak oluşturulabilirler. Mutasyon ıslahı birçok bitki türünde başarılı olarak kullanılmaktadır (Fehr 1993). Mutasyon ıslahı, seleksiyon ve melezleme tekniklerinin kullanılmadığı ıslah programlarında en uygun ve önemli ıslah yöntemlerinden biridir. Öte yandan, mutasyon ıslahı klasik ıslah metotlarından olduğu için GDO protokollerin dışında tutulmaktadır (Dobres 2008).

Mutasyon ıslahı kültür bitkilerinin ıslahında ve yetiştiriciliğinde etkili bir araçtır. Mutagenез ucuz ve basit bir şekilde tüm bitki türlerinde uygulanabilmesi, her türlü ölçekte değerlendirilmesi sebebiyle günümüzde oldukça popülerdir. Kimyasal mutasyon bitkilerde bazı karakterleri iyileştirme ve geliştirme imkânı sağlayarak oldukça avantajlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Khan *et al.* 2009). Nitekim günümüzde birçok bitkisel üründe kimyasal mutagen çalışmaları oldukça hız kazanmıştır. Bu çalışmalar mısır bitkisinde *Striga* patojenine karşı dayanıklılık (Kiruki *et al.* 2006), bezelyede Piridoksin eksikliği (Kumar 1988), arpada

mildiyöye karşı dayanıklılık (Molina-Cano *et al.* 2003), yer fıstığında yüksek verim (Mensah and Obadoni 2007), yer fıstığında hastalıklara tolerans (Mondal *et al.* 2007), çeltikte yüksek verim (Jeng *et al.* 2006) ve silikon toleransı (Nakata *et al.* 2008), fasulyede yüksek antioksidan aktivitesi (Jeng *et al.* 2010), ayçiçeğinde trigliserit oranını azaltma (Venegas-Caleron *et al.* 2008), amilaz içeriğini (Suzuki *et al.* 2008) ve stearik içeriğini geliştirme (Skoric *et al.* 2008), buğdayda tuz toleransı (Agata *et al.* 2001), çörek otunda tozlaşma ve lokül oluşumu (Tantray *et al.* 2017), çemende yüksek verim (Prabha *et al.* 2010), karaban otunda çiçek rengi (Farooqi and Shriramu 2001), nanede yüksek verim ve yüksek menthol eldesi, rezenede mildiyöye dayanıklılık, kimyonda rüzgara dayanıklılık ve yüksek verim, papatyada ve karnıyarıkotunda yüksek verim (Kolakar *et al.* 2018) araştırmaları şeklinde sıralanabilir.

Genetik çeşitliliğini artırmak ve bitkinin ıslah program hedefi için verimli ve etkili mutagen seçimi oldukça önemlidir (Roychowdhury and Tah 2011). Birçok bitkide sodyum azidin (NaN_3) az tehlikeli, ucuz ve etkili bir mutagen olduğu belirtilmiştir (Rodriguez and Robertson 2000; Adamu and Aliyu 2007). NaN_3 uygulamaları sonucu elde edilen mutant bitkiler stres şartlarına toleranslı, yüksek verimli olabileceği belirtilmiştir (Ahloowalia and Maluszynski 2001). Sodyum azidin mutagenitesi hidrojen peroksidazın biriminden ileri gelmektedir (Kleinhofs *et al.* 1975). Öte yandan sodyum azid hücrelerde mutagenik olan “L-azidoalanine amino asit” analogunu metabolize ettiği ve O-asetilsülhidrilazı katalize ederek mutagenik etkinliği artırdığı bildirilmiştir (Khan *et al.* 2009).

Sodyum azidin, çeltik bitkisinde amilaz oranını (Suzuki *et al.* 2008) ve yer fıstığının verimini arttırdığını (Mensah and Obadoni 2007), mısır bitkisinde parazite karşı dayanıklılık sağladığı (Kiruki *et al.* 2006) bildirilmiştir.

Mutasyon ıslahı çalışma programlarında mutagen dozu en önemli hususlardan biridir. Gaul (1964)'e tarafından, mutagen dozunun yüksek konsantrasyonları çimlenmeyi olumsuz etkileyebileceğini ve biyolojik hasara sebep olabileceğini bildirilmiştir. Mutagenik etkinlik kimyasal mutagen dozlarının yükseltilmesi ile artmaktadır. Bu artış, hücrelerin mutasyona uğrama olasılığını yükseltmektedir ancak uygulanacak dozların eşik değeri belirlenip ölümcül dozda çimlenmenin olumsuz etkileyeceğini hatta çimlenmenin gerçekleşmeyeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı mutasyon ıslah çalışmalarında uygun dozun tespiti elzemdir (Robbie *et al.* 2006). Diğer önemli bir husus ise soydum azidin uygulanacağı çözeltilinin pH'dır. NaN_3 'ün mutagenik etkinliğini çözeltilinin pH'ı etkilemekte ve çözeltilinin pH 3'te en etkili sonuçların elde edildiği Gruszka *et al.* (2012) tarafından bildirilmiştir.

Sodyum azid uygulamalarının bitkilerde gösterdiği ilk aksiyon çimlenme ile ilgili parametrelerdir (Gichner and Veleminsky 1977). Sodyum azidin çimlenmeye engelleyici etkisi

Ananthaswamy *et al.* (1971)'e göre hormonal dengesizlikler, Kleinhofs and Sander (1975)'e göre oksidatif fosforilasyonu engelleyen sitokrom oksidazın inhibitörleri olan azid anyonlarının etkilerinden, Cheng and Gao (1988)'e göre ATP'nin biyosentezini engellediğinden, Zhang (2000)'e göre mitokondriyel zar potansiyelinin değiştirdiğinden, Khan and Goyal (2009)'a göre enzim aktivitelerinin değişmesi sonucu ileri geldiğini ifade etmişlerdir. Yukarıda belirtilen bulgularda görüleceği üzere temel olarak tohumun biyolojik, fizyolojik ve hücre fazları ile ilgili süreçlerinin engellenmesi sonucu çimlenme kabiliyetlerinde azalmalar görülmüştür (Mensah *et al.* 2007). Nitekim birçok bitkide yürütülen çalışmalar bu sebepleri desteklemektedir.

Datta *et al.* (1986) çörek otu bitkisinde mutagen uygulamalarının çimlenme oranını azalttığını bildirmiştir. Araştırmasında çörek otu tohumlarına 5KR, 10KR, 20KR, 30KR, 40KR, 50KR ve 60KR gama ışını ile fiziksel mutasyon uygulamasını gerçekleştirmiş, gama ışını radyasyonları, R₁ neslinde fizyolojik bozuklukların yanı sıra kromozomal anormalliklere neden olmuştur. Araştırmacılar kontrol grubunda çimlenme %94 iken, mutasyona uğramış bitkilerde çimlenme oranının %58'e kadar düştüğünü ifade etmişlerdir.

Arpada yürütülen kimyasal mutasyon ıslahı çalışmalarında; Cheng and Gao (1988) sodyum azid uygulamasının artan dozlarında çimlenme oranının azaldığını, Ilbas *et al.* (2005) sodyum azidin farklı doz (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 ve 3,0 mM) ve zamanlarda (3 ve 4 sa) etkisini incelemiş çalışma sonucunda artan doz ve sürelerin kontrol grubuna göre mitotik indeksini azalttığını ve çimlenme oranı bakımından farklılıkların önemli olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan Dyulgerov and Dyulgerov (2020) sodyum azid uygulaması sonucu elde edilen mutant hatların sap sayısı, bitki boyu, sap uzunluğu, başak başına tane sayısı, başak başına tane ağırlığı, 1000 tane ağırlığı ve tane verimi bakımından ortaya çıkan farklılıkların istatistiki olarak önemli olduğunu tespit etmişlerdir.

Sodyum azid kontrasyonlarının artması birçok baklagillerde de çimlenme oranını azaltıcı etki göstermiştir. Araştırmacılar tarafından nohut ve fasulye bitkilerinde (Khan *et al.* 2004) ve mercimek bitkisinde (Sinha and Lal 2007) bu durum rapor edilmiştir.

Sasi *et al.* (2005), üç farklı etil metansülfonat ve sodyum azid dozunun (0,1, 0,2 ve 0,3 mM) iki farklı bamya genotipinin morfolojik gelişimi üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmada artan dozların çimlenme oranını kontrol gruplarına göre önemli derecede azalttığını bildirmişlerdir.

Mensah *et al.* (2007) tarafından susam bitkisine (*Sesamum indicum* L.) uygulanan farklı sodyum azid ve kolçisin dozlarının artan dozlarında çimlenme oranı, bitki boyu, bitkide kapsül sayısının azaldığı, olgunlaşma süresi ve bin tane ağırlığının arttığı bildirilmiştir.

Prabha *et al.* (2010), çörek otu bitkisinde 4, 6 ve 8 saat süresince 1,5, 3,0 ve 4,5 mM sodyum azid konsantrasyonlarına tohumları maruz bırakmışlardır. Çalışma sonucunda en yüksek çimlenme oranını kontrol grubunda elde ederken (%100) en düşük çimlenme oranını 8 saat x 4,5 mM kombinasyonunda (%43,47) elde etmişlerdir. Kontrol grubundan sonra en yüksek çimlenme oranı ise %63,04 ile 4 sa x 1,5 mM uygulama kombinasyonunda gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar M₁ generasyonunda bitki boyu, dal sayısı ve bin tane ağırlığı arasındaki farklılıkları, istatistiki olarak çok önemli bulduklarını bildirmişlerdir. Ek olarak parametreler arasında geniş bir varyasyon olduğunu ifade etmişlerdir.

Srivastava *et al.* (2010), tarafından yürütülen bir araştırmada buğday bitkisine %0,02, %0,04 ve %0,06 sodyum azid konsantrasyonları uygulamasını gerçekleştirilmiş ve en yüksek çimlenme oranlarına kontrol grubunda elde edilmiştir. Araştırmacılar, yüksek dozlarda çimlenme oranlarında azalma olduğunu bildirmiştir. Aynı bitkide Rachovska and Dimova (2000)' da benzer bulgular elde ettiğini ifade etmişlerdir.

Emrani *et al.* (2011), farklı dozlar ve süreyle sodyum azid kimyasal mutagenle muamele edilen kanola (*Brassica napus* L.) bitkisinde tohum çimlenmesi, tohum canlılığı ve fide büyüme özelliği üzerine etkileri incelenmiş ve sonuç olarak her uygulamada artan dozaj ve sürenin, test edilen mutagenler için tohum canlılığında önemli düşüslere yol açtığı gözlemlenmiştir.

Mostafa *et al.* (2011), iki farklı ayçiçeği genotipinde beş farklı sodyum azid konsantrasyonunu (0, 100, 200, 300, 400 ve 500 ppm) dört saat boyunca tohumlara uygulamıştır. Çalışma sonucunda 100 ppm uygulamasının kök gelişimini arttırdığını, 300 ppm uygulamasında ise sürgün gelişiminin engellediğini, artan sodyum azid dozlarının çimlenme oranını ve bitki boyunu azalttığını, çiçeklenme süresini arttırdığını ve dozlar arasındaki bu farklılıkların çimlenme oranı ve bitki boyu bakımından istatistiki olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir. Kumar and Ratnam (2010), ayçiçeğinde mutagen konsantrasyonundaki artışın polen verimliliğinde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Aurabi *et al.* (2012) tarafından yürütülen çalışmada çeltik bitkisinde sodyum azid mutagenini 2, 4 ve 6 saat boyunca 0, 0,5, 1,0 ve 2,0 mM konsantrasyonlarında uygulamıştır. Araştırma sonucunda çimlenme oranı, sürgün ve kök uzunluğunun artan mutagen konsantrasyonu ve uygulama süresi ile azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı bitkide diğer bir araştırmacı Ujomonigho *et al.* (2014), sodyum azidin kullanılan çeltik çeşitlerinde güçlü bir kimyasal mutagen olduğunu ve yüksek dozda sodyum azidin çimlenmede gecikmeye neden olduğunu bildirmişlerdir.

Eze and Dambo (2015), tarafından mısır bitkisinde farklı sodyum azid (0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 ve 0.05 mM) dozlarının etkilerini incelediği araştırmasında mısır üzerinde sodyum azidin morfolojik ve fizyolojik olarak önemli derecede etkili olduğunu bildirmiştir.

Tantray *et al.* (2017), kimyasal mutagenin çörek otu kapsüllerinde tozlaşmayı ve lokül oluşumunu etkilerini incelemiştir. Çörek otu tohumlarına 6 saat boyunca %1 EMS (etil metil sülfonat) + %2 DMSO (dimetil sülfoksit) kombinasyon uygulamasının verimde önemli bir artış gösterdiğini ve kantitatif özelliklerde büyük farklılıklara yol açtığını bildirmiştir. Verimdeki artışın, çapraz tozlaşmadan kendi kendine tozlaşmaya geçiş yapan ve kapsül başına lokül sayısındaki artışa eşlik eden tozlaşma mekanizmasının modifikasyonundan kaynaklandığı ileri sürmüştür.

Iqbal *et al.* (2021), tarafından çörek otu bitkisinde artırılmış aktiviteye sahip sekonder metabolitlerin üretimi/modifikasyonu için *in vitro* çörek otu kallus kültürlerine sodyum azid (0, 5 µM, 10 µM, 20 µM, 50 µM, 100 µM ve 200 µM) dozları uygulanmıştır. 200 µM sodyum azid ile muamele edilmiş çörek otu kallusları, maksimum peroksidaz aktivitesi ($1,286 \pm 0,101$ nanokatal mg^{-1} protein) ve polifenol oksidaz aktivitesi ($1,590 \pm 0,110$ nanokatal mg^{-1} protein) sergilerken, optimum katalaz aktivitesi için 100 µM sodyum azid ile muamele edilmiş çörek otu kallus örnekleri en iyi sonucu ($1,250 \pm 0,105$ nanokatal mg^{-1} protein) vermiştir. Ayrıca, 200 µM sodyum azidle işlenmiş kallus örnekleri önemli ölçüde en yüksek fenolikleri ($3,666 \pm 0,475$ mg g^{-1} yaş ağırlığı), 20 µM sodyum azidle işlenmiş kallus örnekleri en yüksek flavonoid ($1,308 \pm 0,082$ mg g^{-1} yaş ağırlığı) değerlerini vermiştir. 200 µM sodyum azid uygulamasında, kallus ekstraktının ($4,6 \pm 0,36$ mg g^{-1} kallus yaş ağırlığı) ve timokinon veriminin ($16,65 \pm 2,52$ $\mu\text{g g}^{-1}$ kallus yaş ağırlığı) ve içeriğinin ($0,36 \pm 0,07$ mg g^{-1}) önemli ölçüde en düşük değerleri elde edilmiştir. Araştırmacılar DNA hasarı inhibisyonunu ($\%24,3 \pm 1,7$) en yüksek doz olan 200 µM sodyum azid uygulamasında gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda çörek otu kalluslarında sodyum azid uygulaması, yüksek antioksidan özellikten ve DNA hasarının önlenmesinden sorumlu ikincil metabolitlerin veya timokinon analog(lar)ının olası üretimini başarı ile sağlanacağını, nutrasötik ve ilaç endüstrileri için değerli bir ürün eldesi için kullanılabileceği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Raina *et al.* (2022), börülce bitkisinde yüksek verimli ve biyolojik olarak üstün hatlar eldesi için tohumlara farklı gama ışınları (100Gy, 200Gy, 300Gy, 400Gy, 500Gy, 600Gy, 700Gy, 800Gy, 900Gy ve 1,000Gy ve sodyum azid dozları (0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09% ve 0.1%) uygulamıştır. Çalışma sonucunda mutagenler, seçilen mutagenize popülasyonlarda genetik parametreleri önemli ölçüde artırdığı ve börülce çeşitlerinde verim iyileştirme kapsamında olumlu sonuçlar vermiştir. Araştırmacılar tohum

veriminde M₂'den M₃ nesline kadar maksimum bir artış olduğunu M₂-M₄ nesillerinden de kapsamlı bir fenotipik seçim döngüsü, yeni yüksek verimli ve besin elementleri açısından yoğun mutant hatların izole edilmesiyle araştırmanın sonuçlandığını bildirmiştir.

Weldemichael *et al.* (2023), susam bitkisinde sodyum azidin hem kalitatif hem de kantitatif özellikleri üzerinde mutagenik bir etki yarattığını ifade etmişlerdir. Mutasyona uğramış tohumlarda çalışılan hemen hemen tüm morfolojik özelliklerde önemli farklılıklar gözlenmiştir. % 0.75'lik belirlenen konsantrasyondaki NaN₃, susamın birçok özelliğinde en önemli rolü oynamıştır. Araştırmacılar kapalı kapsül mutant özelliğine bağlı farklı moleküler belirteçlerin tanımlanması konusunda daha fazla araştırma yapılmasını gerektiğini ifade etmişlerdir.



MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bitki materyali

Çalışmamızda bitki materyali olarak Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından ıslah edilen ve tek tescilli çeşit olma özelliği olan “Çameli” çörek otu çeşidi kullanılmıştır. Çameli çeşidi daha önce bölgede yapılan çalışmalar sonucu (Ozer *et al.* 2018) çıkış problemi ve yetiştiriciliğinde her hangi bir sorun gözlemlenmemiştir.

Araştırma yeri

Araştırma 2022 yılında laboratuvar çalışmaları Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarında arazi çalışmaları ise Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğüne ait 4'nolu deneme alanında yürütülmüştür.

Deneme alanının iklim ve toprak özellikleri

İklim özellikleri

Araştırmanın arazi çalışmalarının gerçekleştiği deneme alanları (39° 55' kuzey enlemi 41° 16' doğu boylamı) Erzurum ili sınırları içerisinde 1855 m rakıma sahip kışların uzun ve soğuk, yazların kısa ve sıcak geçtiği karasal iklimin egemen olduğu bir lokasyondur.

Tablo 1'de arazi çalışmasının gerçekleştirildiği deneme alanının vejetasyon dönemine ait uzun yıllar ortalaması (2000-2021) ile 2022 yıllarındaki yağış, sıcaklık ve nispi nemle ilgili veriler gösterilmiştir.

Tablo 1. Erzurum İli Merkez Bölgesinin Uzun Yıllar (2000-2021) ile 2022 Yılına Ait İklim Verileri*

| Yıllar | Aylar | | | | | Toplam/ Ortalama |
|------------------|------------------------------|---------|--------|---------|------------------------|---------------------|
| | Mayıs [#] | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül ^{&} | |
| | Aylık Toplam Yağış (mm) | | | | | |
| Uzun Yıllar Ort. | 71,50 | 49,40 | 22,30 | 19,40 | 4,20 | 166,80 |
| 2022 | 44,00 | 65,20 | 3,10 | 8,10 | 0,30 | 120,70 |
| | Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) | | | | | |
| Uzun Yıllar Ort. | 9,6 | 13,7 | 17,7 | 15,30 | 12,80 | 13,82 |
| 2022 | 10,87 | 16,70 | 20,48 | 23,30 | 21,66 | 18,60 |
| | Aylık Nisbi Nem (%) | | | | | |
| Uzun Yıllar Ort. | 60,80 | 55,70 | 41,50 | 40,60 | 47,70 | 49,26 |
| 2022 | 60,44 | 60,75 | 48,55 | 39,76 | 38,71 | 49,64 |

*Kaynak: Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, # 13-31 Mayıs tarih aralığını kapsamaktadır. &1-6 Eylül tarih aralığını kapsamaktadır.

Arazi çalışmalarının yürütüldüğü bölgenin iklim verileri ekim ve hasat zamanları göz önüne alarak Mayıs (13-31 Mayıs), Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül (01-06 Eylül) aylarına ilişkin değerleri belirlenmiştir. Bu değerler sonucunda 2022 yılında vejetasyon döneminde toplam yağış 120,70 mm olarak ölçülmüş ve uzun yıllar ortalamasına göre yaklaşık 46,10 mm daha düşük olmuştur. Mayıs ve Haziran aylarında çörek otunun çıkış ve çiçeklenme öncesi döneminde yeterince yağış alınmış fakat Temmuz ayından itibaren kurak bir döneme geçiş olmuştur. Nitekim 2022 yılında elde edilen ortalama sıcaklık verileri (18,60 °C) göstermiştir ki uzun yıllar ortalamasına (13,82 °C) göre oldukça yüksektir. Çörek otu bitkisi gözlemlenerek kritik periyotlarda deneme arazileri sulanarak çörek otu bitkisinin olumsuz etkilenmesinin önüne geçilmiştir. Ek olarak, uzun yıllar ortalaması (%49,26) ve 2022 yılında (%49,64) elde edilen nisbi nem değerleri birbirine paralellik göstermiştir.

Toprak özellikleri

Tablo 2’de araştırmanın gerçekleştirildiği deneme alanından 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sunulmuştur. Analizler Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneme Alanı Topraklarının 2022 yıllarına Ait Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

| Yıl | Blok | Tekstür Sınıfı | pH | Kireç CaCO ₃ (%) | Organik Madde (%) | Toplam Azot (%) | Tuz (%) | Elverişli | |
|-----------------|------|----------------|------|-----------------------------|-------------------|-----------------|---------|---------------------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | | P ₂ O ₅ (kg/da) | K ₂ O (kg/da) |
| 2022 | A | Killi-Tınlı | 7.62 | 0.74 | 1.42 | 0.845 | 0.56 | 8.21 | 171.5 |
| | B | Killi-Tınlı | 7.15 | 0.61 | 1.15 | 0.861 | 0.52 | 8.65 | 125.9 |
| | C | Killi-Tınlı | 7.24 | 0.76 | 1.43 | 0.812 | 0.53 | 8.12 | 156.4 |
| | D | Killi-Tınlı | 7.52 | 0.74 | 1.24 | 0.788 | 0.53 | 8.25 | 128.6 |
| Ortalama | | | 7,38 | 0,71 | 1,31 | 0,827 | 0,54 | 8,31 | 145,60 |

Tablo 2’de görüleceği üzere, deneme toprakları killi-tınlı bir bünyeye sahiptir. Elverişli fosfor (8,31 kg/da) ve toplam azot (%0,827) bakımından fakir, elverişli potasyum (145,60 kg/da) bakımından ise zengindir. Tuzluluk problemi (% 0,54) olmayan ve hafif alkali (pH; 7,38) yapıda olan deneme alanının organik madde (% 1,31) ve kireç miktarı (% 0,71) düşüktür (Klute 1986).

Yöntem

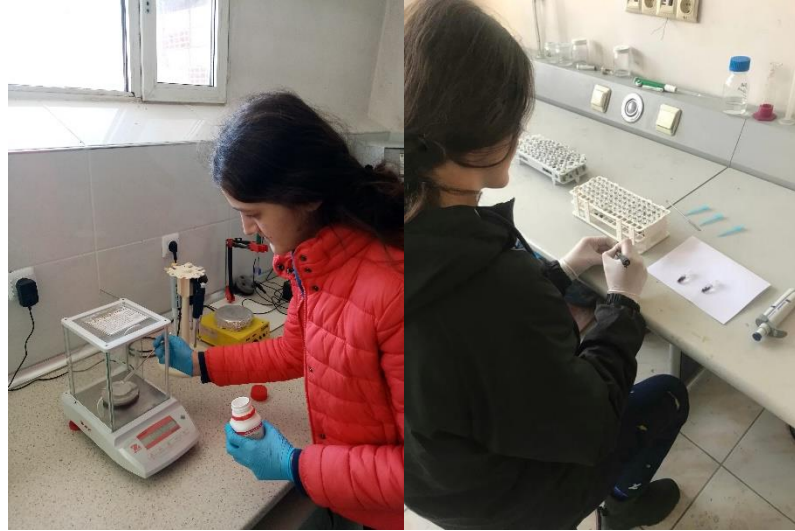
Yürütülen çalışmalara ilişkin ayrıntılar laboratuvar ve arazi çalışmaları şeklinde 2 alt başlık olarak sunulmuştur.

Laboratuvar alışmaları

Araştırmanın laboratuvar aşamasında kullanılan kimyasalların hazırlanması, erek otu tohumlarına uygulaması ve yapılan gözlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Sodyum azid (NaN_3) zeltisinin hazırlanması

Araştırmamızda ilk olarak 300 g erek otu tohumları önce 24 saat soğuk musluk suyunda bekletilmiştir. Sonrasında sterilizasyon için %1,5'luk NaOCl (sodyum hipoklorit) içerisinde 15 dk bekletilmiştir. Bir sonraki adımda 3 kez saf su ile sterilize edilerek durulanmıştır. Sodyum azidin (NaN_3) moleküler kütlesi 65,01 g/mol göz önüne alınarak 1 mM için 0,065 g, 2 mM için 0,130 g, 3 mM için 0,195 g ve 4 mM için 0,260 g NaN_3 tartılmıştır. Her bir derişim için tartılan NaN_3 250 ml saf suda çözdürülerek pH 3 olacak şekilde 1 L'ye tamamlanmış ve stok çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltiler varyasyon kaynağını oluşturan zamanlar doğrultusunda her bir derişim için 1, 2, 3 ve 4 saat süre ile erek otu tohumlarına uygulanmıştır. Akabinde her süre zarfı için kapalı tüpler içerisinde manyetik karıştırıcılara tabi tutulmuştur. Sodyum azid uygulanan tohumlar tüplerden alınarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Her bir uygulama kombinasyonundan 100 adet sağlıklı tohum seçilerek ve kontrol grubu (saf su) oluşturularak çimlenme ile ilgili karakterler üzerine performansları belirlenmiştir.



şekil 2. erek otu tohumlarına kimyasal mutagen hazırlama ve uygulamasından görünüm

Laboratuvar şartlarında yapılan çimlenme ile ilgili gözlemler

Araştırmada incelenen parametrelere ilişkin verilerin elde edilişi aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

Çimlenme oranı (%): Çimlenen tohumlar hergün aynı zamanda sayılmıştır. 1-5 mm ye ulaşan kökçükler çimlenmiş olarak not edilmiş ve deney ortamından alınmıştır (Elkoca 1997). Çimlenme oranı (%) = (Toplam çimlenen tohum sayısı /25) x 100

Çimlenme hızı katsayısı: Aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Maguire 1962).

$CHK = \sum Ni / \sum Ni Ti \times 100$ Ti, araştırmaya başlanan günden itibaren gün sayısı, Ni ise her gün çimlenen tohum sayısı.

Çimlenme hızı indeksi: Aşağıdaki formül esas alınmıştır. $CHI = \sum (Ni) / \sum (Ti)$ Ti, araştırmaya başlanan günden itibaren gün sayısı, Ni ise her gün çimlenen tohum sayısı (Maguire 1962).

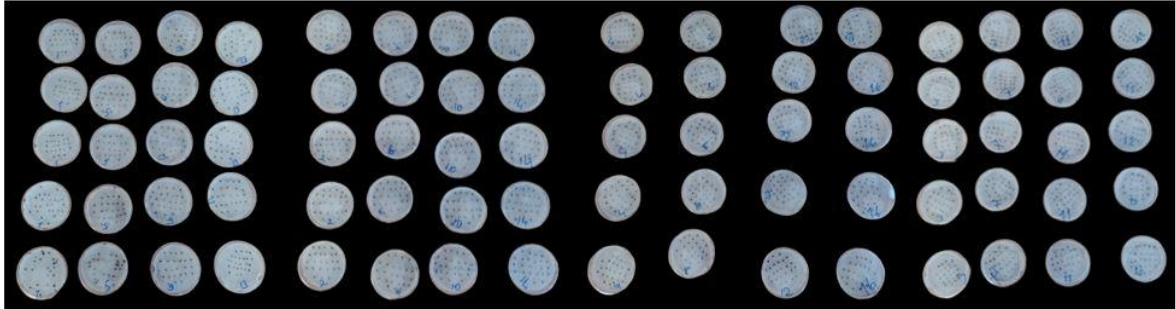
Ortalama çimlenme zamanı (gün): Aşağıda belirtilen formül esas alınarak hesaplanmıştır.

$$OÇZ (\text{gün}) = \sum (fx) / \sum f$$

f ; sayılan gündeki çimlenen tohum,

x; çimlenen tohumların sayımı yapılan gün sayısını ifade etmektedir (Maguire 1962).

Çimlenme gücü indeksi: Aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır $ÇGI = (\text{ortalama sürgün uzunluğu} + \text{ortalama kök uzunluğu}) \times \text{toplam çimlenme yüzdesi}$ (Abdul-Baki and Anderson 1970).



Şekil 3. Çimlenme çalışmasında bir görüntü

Çimlenme ile ilgili karakterleri bakımından en uygun doz ve süre kombinasyonu (3 mM x 2 saat) belirlenerek M₁ tohum eldesi için 12 Mayıs 2022 tarihinde çörek otu tohumlarına uygulanmış ve herhangi bir mutagen uygulanmamış kontrol tohumlukları ile birlikte ertesi günü araziye ekilmek üzere muhafaza edilmiştir.

Arazi çalışmaları

Çalışmanın kurulmasından sonuçlarına kadar aşağıda belirtilen yöntem ve işlemler uygulanmıştır.

Toprak hazırlığı

Deneme alanına sonbaharda derin sürüm ilkbaharda ise yüzlek bir sürüm gerçekleştirilmiştir. Tohum yatağı diskaro ve tapan işlemleri sonucu hazır hale getirilmiştir. Ayrıca toprak analizi için 0-30 cm derinlikten toprak numuneleri alınmış ve analizi yapılmıştır.

Gübreleme

Çalışmanın gerçekleştirileceği alana ekimden hemen önce dekara 6 kg (AS %21) hesabıyla azot, 6 kg (TSP %46) hesabıyla fosforlu gübre uygulanarak diskaro ile toprağa karıştırılmıştır.

Ekim ve bakım

İklim koşullarının ekim için uygun olduğu ve ekimi gerçekleştirilecek arazi toprağının tava gelme durumu göz önüne alınarak 13 Mayıs 2022 tarihinde 20 cm sıra arası mesafesinde ve dekara 2 kg tohumluk kullanılarak el mibzeri (Pocta, Model CP-1 SR-1) ile ekim yapılmıştır (Şekil 4). Kimyasal mutagen uygulanan tohumlar mutant grubu olarak 250 m²'ye (25 x 20 m) mutagen uygulanmamış tohumlar kontrol grubu olarak 50 m²'ye (25 x 2 m) ekimleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan Tablo 3'de vejetasyon süresi boyunca yapılan bakım işlemlerinin (çapalama ve sulama) yapılma zamanları sunulmuştur.



Şekil 4. Parselasyon, gübreleme ve ekim zamanından bir görüntü

Tablo 3. Deneme Süresince Yapılan Bakım İşlemleri ve Yapılma Zamanları

| Bakım İşlemleri | Bakım işlemlerinin yapılma zamanları | |
|-----------------|--------------------------------------|------------|
| | 2022 | |
| Sulama | 1. Sulama | 01.07.2022 |
| | 2. Sulama | 14.07.2022 |
| | 3. Sulama | 28.07.2022 |
| Çapalama | 1. Çapa | 06.06.2022 |
| | 2. Çapa | 20.06.2022 |
| | 3. Çapa | 05.07.2022 |

Hasat ve harman

Hasat işlemine kapsüllerin kahverengileşmeye ve tohumların siyahlaşmaya başladığı dönemde başlanmıştır. Hasatta mutant ekim alanının kenarlarından 1 m'lik, kontrol ekim alanının 0,5 m'lik bölüm kenar tesiri olarak değerlendirilip geriye kalan alandaki bitkiler bir arada hasat edilmiştir. Hasat 02.09.2022-06.09.2022 tarihleri arasında yapılmıştır. Kapsüller üstte kalacak şekilde kurutmaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi tamamlandıktan sonra harman işlemi gerçekleştirilerek tohum eldesi sağlanmıştır. Alınan bu tohumlar mutagen uygulamasından sonra yetiştirilen ilk generasyon oldukları için "M₁" olarak sembolize edilmiştir. Tohumlar bir sonraki açılım olan M₂ generasyonu tohum üretimi için Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tohumluk Deposunda muhafaza altına alınmıştır.

Sonuçların değerlendirilmesi

Çörek otu bitkisinde sodyum azid uygulamasının optimizasyonunu sağlamak amacıyla 4 farklı konsantrasyon (1, 2, 3 ve 4 mM) ve zamanda (1, 2, 3 ve 4 sa) mutagen uygulaması gerçekleştirilmiş ve çimlenme parametreleri üzerinde etkileri belirlenmiştir. Laboratuvar çalışması şansa bağlı tam bloklar deneme planına göre kontrol grubunda eklenerek 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Uygulamalar arasındaki farklılıkların önem düzeylerini belirleyebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. İstatiksel analizler JMP Pro 16 (SAS Institute, Cary, North Carolina) programı ile gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmasında M₁ generasyonunda tarımsal özelliklerin belirlenmesi için oluşturan mutant gruptan 100 adet bitki kontrol grubundan 25 adet bitki seçilerek aşağıda belirtilen ölçüm ve gözlemler gerçekleştirilmiştir. Veriler JMP Pro 16 istatistik programı ile t-test analizine tabi tutulmuş ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile yapılarak farklıların önem düzeyi belirlenmiştir. Tüm gözlem parametreleri arazide önceden tesadüfi olarak seçilen 100 bitki içinden aynı bitki üzerinden yapılmıştır.

Arazi Şartlarında M₁ Generasyonunda Yapılan Gözlemler

Araştırmada incelenen özelliklere ilişkin verilerin elde edilişi aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir. Tüm bitkiler tesadüfi olarak seçilen mutant grubu oluşturan 100 bitki ve kontrol grubunu oluşturan 25 bitki üzerinden tüm parametre ölçümlerinin aynı bitkiden olması kaydıyla hesaplanmıştır.

Bitki boyu: Hasat olgunluğuna gelmiş olan bitkilerden, toprak hizasından bitkinin en uç kısmına kadar olan mesafe, cm cinsinden ölçülerek bitki boyu belirlenmiştir. Mutant grubunu oluşturan 100 bitki ve kontrol grubunu oluşturan 25 bitki üzerinden hesaplanmıştır.

Dal sayısı: Gözlemler sonucu mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin doğrudan ana gövdeye bağlanan dalların adeti alınarak kaydedilmiştir.

İlk dal yüksekliği: Seçilen mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin toprak seviyesi ile ilk dalına kadar olan yükseklikleri ölçülmüştür.

İlk kapsül yüksekliği: Önceden gözlemler sonucu mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin toprak seviyesi ile ilk kapsülüne kadar olan yükseklikleri ölçülüp kaydedilmiştir.

Kapsül çapı: Mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitki içerisinde kumpas yardımı ile ana sapın ucundaki kapsül çapı ölçülmüştür.

Bitkide kapsül sayısı: Önceden gözlemler sonucu mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin kapsülleri sayılarak hesaplanmıştır.

Kapsüldeki tohum sayısı: Önceden gözlemler sonucu mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin kapsül içindeki tohumları sayılarak hesaplanmıştır.

Bin tane ağırlığı: Mutant grubundan 100 bitki ve kontrol grubunda 25 bitkinin tohumları dört tekrarlamalı olarak 0,01 duyarlı hassas terazide 100 adet tohum sayılarak elde edilen değerler 10 ile çarpılarak bin tane ağırlığı kaydedilmiştir.

Bitki başına verim: Hasat edilen bitkilerden tohumlar tartılacak ve elde edilen değerler bitki üzerinden g olarak verimi hesaplanmıştır.



Şekil 5. Çörek otu bitkisinin çıkış zamanından bir görüntü



Şekil 6. Çörek otu bitkisinin çiçeklenme zamanından bir görüntü



Şekil 7. Çörek otu bitkisinin kapsül oluşumundan bir görüntü



Şekil 8. Çörek otu bitkisinin hasat zamanından bir görüntü



Şekil 9. Çörek otu bitkisinin harman ve ölçüm zamanından bir görüntü

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çörek otu (*Nigella sativa* L.) bitkisinde sodyum azid uygulamasının optimizasyonu ve M₁ generasyonunda tarımsal özelliklerin etkisinin araştırıldığı bu çalışma elde edilen sonuçlar laboratuvar ve arazi çalışmaları şeklinde iki alt başlıkta sunulmuştur.

Laboratuvar çalışmaları kimyasal mutajen olarak değerlendirilen sodyum azidin konsantrasyon (1, 2, 3 ve 4 mM) ve zaman (1, 2, 3 ve 4 sa) uygulamalarını oluşturan mutant grubunun ve sodyum azid uygulanmayan kontrol grubunun çimlenme oranı, ortalama çimlenme zamanı, çimlenme hızı indeksi, çimlenme hızı katsayısı ve çimlenme gücü indeksi üzerine etkisi ve mutasyon ıslahı programında kullanılacak mutagen uygulama doz ve süresinin belirlenmesini içermektedir.

Arazi çalışmaları laboratuvar çalışmaları sonucu uygun görülen mutagen uygulama doz ve süresi ile çörek otu tohumlarına uygulanması, araziye ekilmesi ve M₁ generasyonunda tarımsal özelliklerinin belirlenmesini içermektedir.

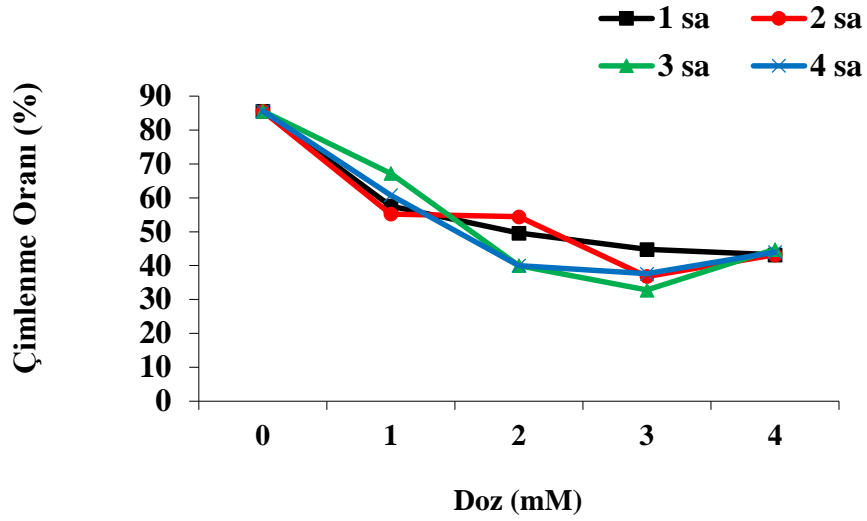
Laboratuvar Çalışmaları

Çimlenme oranı (%)

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarına göre çimlenme oranlarına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 4’de, bunlara ait ortalama değerler ile çoklu karşılaştırma sonuçları ise Tablo 5’ de verilmiştir.

Çimlenme oranı üzerine doz uygulamasının etkisinin çok önemli olduğu ($p<0,01$) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca doz x saat interaksyonu istatistiki olarak $p<0,05$ ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 5’den görüleceği üzere en yüksek çimlenme oranı (%85,60) ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 1 mM (%60,20), 2 mM (46,00), 4 mm (%43,80) ve 3 mM (%38,00) sodyum azid dozları takip etmiştir. Sodyum azid kontrasyonlarının artmasına bağlı olarak çimlenme oranı düşmüş ve kontrol grubu sodyum azid uygulamalarına göre oldukça yüksek çimlenme oranına sahip olmuştur. Nitekim yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre beş farklı ana grup oluşmuş kontrol uygulaması “a” grubunda yer almıştır.



Şekil 10. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme oranı üzerine etkileri

Varyans analizi sonuçlarının (Tablo 4) incelenmesinde görüleceği üzere, uygulanan farklı sodyum azid dozlarının saat uygulamalarına farklı tepki göstermesinden dolayı doz x saat interaksyonu istatistiki olarak %5 ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 10). Uygulamaların kombinasyonu sonucu en yüksek çimlenme oranı 1 mM x 3 sa uygulamasından (%67,20), en düşük çimlenme oranı ise 3 mM x 3 sa uygulamasından (%32,80) elde edilmiştir. Bu iki farklı kombinasyon arasındaki çimlenme oranındaki yaklaşık %51,20 lik düşüş doz x saat interaksyonunun önemli çıkmasına neden olmuştur.

Tablo 4. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının Çörek Otuğunun Çimlenme Parametrelerine Ait Varyans Analiz Sonuçları

| Varyasyon Kaynağı | SD | F Değerleri | | | | |
|-------------------|----|----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Çimlenme Oranı | Ortalama Çimlenme Zamanı | Çimlenme Hızı İndeksi | Çimlenme Hızı Katsayısı | Çimlenme Gücü İndeksi |
| Doz | 4 | 115,82 ** | 13,58 ** | 132,87 ** | 14,62 ** | 119,31 ** |
| Saat | 3 | 0,50 | 0,29 | 0,38 | 0,32 | 7,64 ** |
| Doz x Saat | 12 | 1,94 * | 2,75 ** | 1,91 ** | 2,43 ** | 1,92 ** |
| Hata | 80 | | | | | |
| Toplam | 99 | | | | | |

* İşaretli F değerleri %5, ** işaretli F değerleri ise %1 ihtimal seviyesinde önemlidir.

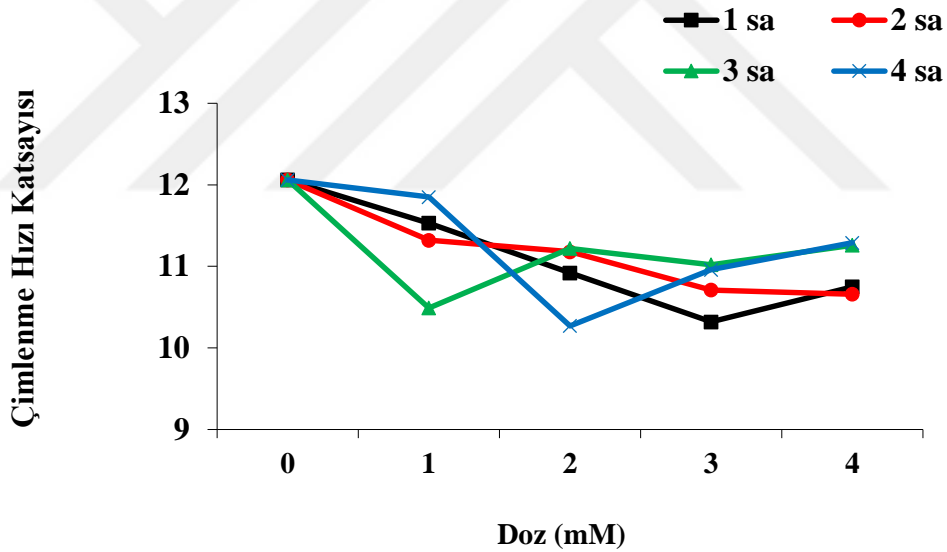
Çimlenme hızı katsayısı

Araştırmamızda materyal olarak kullanılan çörek otu tohumlarının farklı NaN_3 (sodyum azid) konsantrasyon ve zaman uygulamalarının çimlenme hızı katsayısı üzerindeki etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 4’de, elde edilen ortalama değerler ile bu değerlerin çoklu karşılaştırma sonuçları ise Tablo 5’ de gösterilmiştir.

Tablo 4’de sunulan varyans analizi sonuçlarından görüleceği üzere, çimlenme hızı katsayısı üzerine sodyum azid dozlarının etkisi %1 ihtimal seviyesinde önemli olurken saat uygulamaları istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Ayrıca doz x saat interaksyonu çimlenme hızı katsayısı üzerine çok önemli ($p<0.01$) etkide bulunmuştur.

Çimlenme hızı katsayısı, artan sodyum azid kontrasyonlarına göre (1, 2, 3 ve 4 mM) sırasıyla 11,30, 10,90, 10,75, 10,99 değerleri elde edilmiştir. Kontrol uygulamasında bu değer 12,06 olarak tespit edilmiştir. En yüksek çimlenme hızı katsayısı kontrol uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme hızı katsayısı 3 mM sodyum azid dozundan elde edilmiştir. Tüm faktörlerin ortalaması olarak çimlenme hızı katsayısı 11,20 olarak tespit edilmiştir (Tablo 5).

Çimlenme hızı katsayısı yönünden sodyum azid dozlarının saat uygulamalarına göre göstermiş olduğu tepki farklı olmuş ve doz x saat interaksyonu çok önemli ($p<0.01$) çıkmıştır (Tablo 4). Şekil 11 ‘de görüleceği üzere, 1 saat uygulama zamanı 3 mM’a kadar linear bir düşüş sergilerken, diğer uygulama zamanlarında böyle bir durum söz konusu olmamıştır. Tüm uygulamaların ortalaması 11,20 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 11. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme hızı katsayısı üzerine etkileri

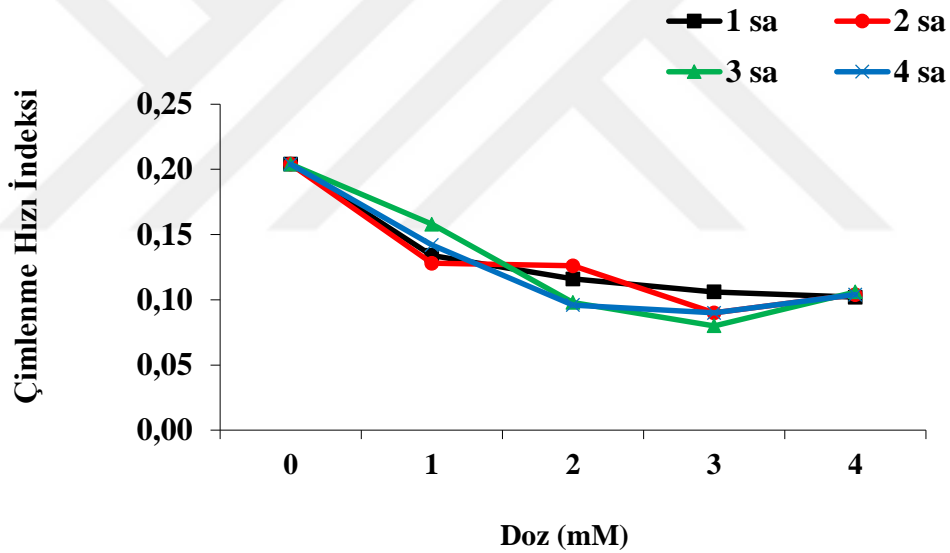
Çimlenme hızı indeksi

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölüm Laboratuvarında gerçekleştirilen farklı sodyum azid konsantrasyonlarının farklı sürelerde çörek otu tohumuna uygulanması sonucu çimlenme hızı indeksine ait ortalama değerler ve çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 5’de, varyans analiz sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4'ün incelenmesinden de görüleceği gibi, çimlenme hızı indeksine dozların ve doz x saat interaksiyonun etkisi çok önemli ($p<0.01$) olurken, saat uygulamalarının etkisi önemsiz olmuştur.

Çimlenme hızı indeksi artan sodyum azid dozu uygulamalarına göre sırasıyla 0,140 (1 mM), 0,109 (2 mM), 0,092 (3 mM) ve 0,104 (4 mM) olarak kontrol uygulamasında ise 0,204 şeklinde tespit edilmiştir. Verilerden görüleceği üzere en yüksek çimlenme hızı indeksi kontrol grubunda en düşük 3 mM sodyum azid doz uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 5).

Araştırmamızda çimlenme hızı indeksi yönünden doz x saat interaksiyonunun çok önemli olduğu saptanmıştır. Şekil 12'de görüleceği üzere 4 mM sodyum azid dozunda saat uygulamaları birbirine yakın değer alırken, 1, 2 ve 3 mM dozlarında saat uygulamaları 4 mM dozunu göre oldukça farklı reaksiyonlar göstermiştir. Bu durum söz konusu interaksiyonun önemli çıkmasına sebep olmuştur.



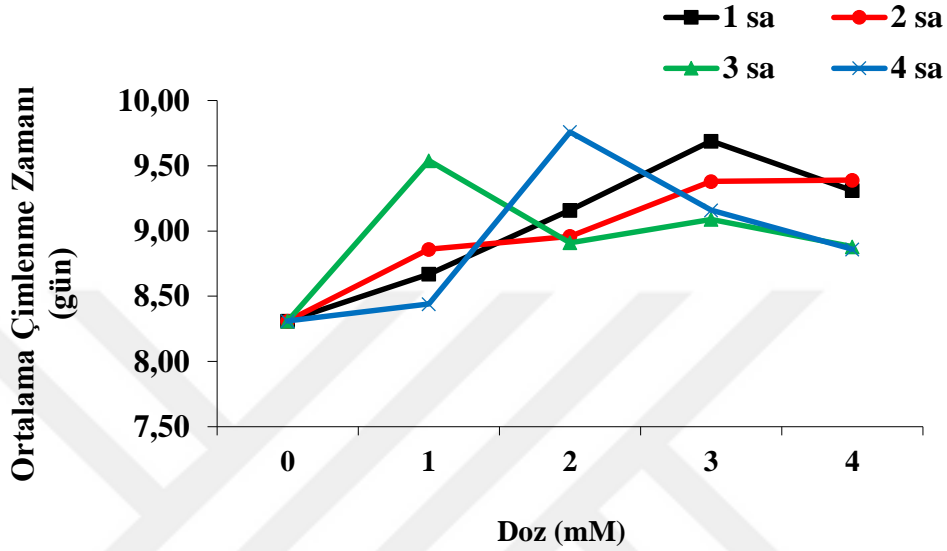
Şekil 12. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme hızı indeksi üzerine etkileri

Ortalama çimlenme zamanı

Farklı sodyum azid dozlarının ve uygulama zamanlarında çörek otu tohumlarının ortalama çimlenme zamanına ait varyans analiz sonuçları Tablo 4'de, bunlara ait ortalama değerler ile çoklu karşılaştırma sonuçları ise Tablo 5' de gösterilmiştir.

Ortalama çimlenme zamanı üzerine varyasyon kaynaklarını oluşturan doz uygulaması ve doz x saat interaksiyonu istatistiki olarak %1 ihtimal düzeyinde çok önemli bulunmuştur. Saat uygulaması ise istatistiki olarak önemsiz olmuştur (Tablo 4).

Farklı sodyum azid uygulamalarına göre ortalama çimlenme zamanı 8,32 ile 9,33 gün arasında değişkenlik göstermiştir. En erken çimlenme kontrol uygulamasında, en geç çimlenme 3 mM sodyum azid dozundan elde edilmiştir. Diğer sodyum azid uygulamalarında ise ortalama çimlenme zamanı 1 mM dozunda 8,88 gün, 2 mM dozunda 9,20 gün ve 4mM dozunda 9,11 gün olarak gözlemlenmiştir. Tüm faktörlerin ortalaması olarak ortalama çimlenme zamanı 8,97 gün tespit edilmiştir (Tablo 5).



Şekil 13. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının ortalama çimlenme zamanı üzerine etkileri

Araştırmamızda doz x saat interaksiyonun çok önemli ($p < 0.01$) çıkmasında (Tablo 4), ortalama çimlenme zamanınının 1 saat uygulamasında en geç 3 mM sodyum azid dozunda, 2 saat uygulamasında en geç 4 mM sodyum azid dozunda, 3 saat uygulamasında en geç 1 mM sodyum azid dozunda ve 4 saat uygulamasında en geç 2 mM sodyum azid dozunda olması farklı bir deyişle her farklı saat uygulaması farklı dozlarda en geç çimlenme zamanları elde etmesi etkili olmuştur (Tablo 5, Şekil 13).

Tablo 5. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının Çörek Otuğunun Çimlenme Parametrelerine Ait Ortalama Değerler

| Doz | Saat | Çimlenme Oranı | Ortalama Çimlenme Zamanı | Çimlenme Hızı İndeksi | Çimlenme Hızı Katsayısı | Çimlenme Gücü İndeksi |
|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 1 | 57,60 | 8,68 | 0,134 | 11,54 | 517,38 |
| | 2 | 55,20 | 8,87 | 0,128 | 11,32 | 412,55 |
| | 3 | 67,20 | 9,55 | 0,158 | 10,49 | 374,76 |
| | 4 | 60,80 | 8,44 | 0,142 | 11,85 | 279,73 |
| | Ortalama | 60,20 b | 8,88 b | 0,140 b | 11,30 b | 396,10 b |
| 2 | 1 | 49,60 | 9,17 | 0,116 | 10,92 | 426,21 |
| | 2 | 54,40 | 8,97 | 0,126 | 11,18 | 348,41 |
| | 3 | 40,00 | 8,91 | 0,098 | 11,23 | 200,75 |
| | 4 | 40,00 | 9,76 | 0,096 | 10,27 | 170,58 |
| | Ortalama | 46,00 c | 9,20 ab | 0,109 c | 10,90 bc | 286,48 c |
| 3 | 1 | 44,80 | 9,69 | 0,106 | 10,33 | 319,73 |
| | 2 | 36,80 | 9,38 | 0,090 | 10,71 | 268,77 |
| | 3 | 32,80 | 9,09 | 0,080 | 11,03 | 143,20 |
| | 4 | 37,60 | 9,16 | 0,090 | 10,96 | 194,17 |
| | Ortalama | 38,00 d | 9,33 a | 0,092 d | 10,75 c | 231,47 c |
| 4 | 1 | 43,20 | 9,31 | 0,102 | 10,76 | 231,79 |
| | 2 | 43,20 | 9,39 | 0,104 | 10,66 | 244,01 |
| | 3 | 44,80 | 8,88 | 0,106 | 11,26 | 299,05 |
| | 4 | 44,00 | 8,87 | 0,104 | 11,29 | 209,14 |
| | Ortalama | 43,80 cd | 9,11 ab | 0,104 cd | 10,99 bc | 245,99 c |
| Kontrol | 85,60 a | 8,32 c | 0,204 a | 12,06 a | 828,96 a | |
| Ortalama Saat | 1 | 56,16 | 9,03 | 0,132 | 11,12 | 464,81 a |
| | 2 | 55,04 | 8,98 | 0,130 | 11,19 | 420,53 ab |
| | 3 | 54,08 | 8,95 | 0,129 | 11,21 | 369,34 bc |
| | 4 | 53,60 | 8,90 | 0,127 | 11,28 | 336,51 c |
| Genel Ortalama | 54,72 | 8,97 | 0,130 | 11,20 | 397,80 | |

Çimlenme gücü indeksi

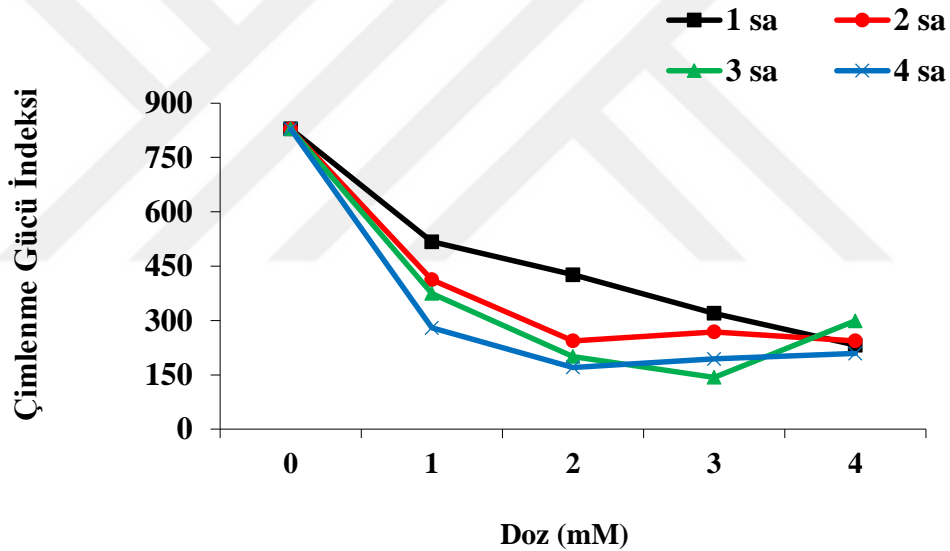
Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarına göre çimlenme gücü indeksine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 4’de, bunlara ait ortalama değerler ile çoklu karşılaştırma sonuçları ise Tablo 5’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde (Tablo 4) çimlenme gücü indeksi üzerine sodyum azid doz ve saat uygulamalarının istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) olduğu görülmektedir. Ayrıca çimlenme gücü indeksi üzerine doz x saat interaksiyonlarının % 1 ihtimal seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Çörek otu tohumlarına uygulanan 1, 2, 3 ve 4 mM sodyum azid dozları ve kontrol uygulamalarında çimlenme gücü indeksi sırasıyla 396,10, 286,48, 231,47, 245,99 ve 828,96

olarak ortaya çıkmıştır. Verilerden görüleceği üzere çimlenme gücü indeksi en yüksek kontrol grubunda elde edilirken en düşük 3 mM dozundan elde edilmiştir. Çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre 3 farklı grup oluşurken kontrol grubu 1. grubu (a), 1 mM sodyum azid dozu 2. grubu (b) ve 2, 3, 4 mM sodyum azid dozu 3. grubu (c) oluşturmuştur. Başka bir yaklaşım ile çörek otu tohumlarına uygulanan 2, 3 ve 4 mM sodyum azid dozları arasında görülen farklılık önemsiz bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4’de görüleceği üzere 1, 2, 3 ve 4 sa sodyum azid uygulamalarının çimlenme gücü indeksi değerleri sırasıyla 464,81, 420,53, 369,34 ve 336,51 olmuş ve bu farklılık istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Artan saat uygulamalarında çimlenme gücü indeksi de linear bir şekilde azalmıştır. Bu doğrultuda en düşük çimlenme gücü indeksi 4 sa uygulamasından elde edilirken en yüksek çimlenme gücü indeksi 1 sa uygulamasında saptanmıştır. Ayrıca bu verilere göre, yapılan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre dört farklı grup oluşmuş ve ortalamalar farklı gruplara dahil olmuştur (Tablo 5).



Şekil 14. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çimlenme gücü indeksi üzerine etkileri

Araştırmamızda, çörek otunda farklı sodyum azid dozlarında tespit edilen çimlenme gücü indeksi saat uygulamalarına göre farklılık göstermiş ve bu farklılık doz x saat interaksiyonunun %1 ihtimal seviyesinde önemli bulunmasına neden olmuştur. Örneğin, 1, 2 ve 3 mM sodyum azid dozunda 1 sa uygulaması diğer saat uygulamalarına göre en yüksek çimlenme gücü indeksine sahipken, 4 mM sodyum azid dozunda 1 sa uygulaması tam tersi bir tepki göstermiş 4 sa uygulaması ile beraber en düşük çimlenme gücü indeksine sahip olmuştur. Ayrıca 3 sa uygulaması 3 mM dozunda en düşük çimlenme gücü indeksine sahip iken 4 mM dozunda en yüksek çimlenme gücü indeksine sahip olmuştur (Tablo 5, Şekil 14).

Arazi Çalışmaları

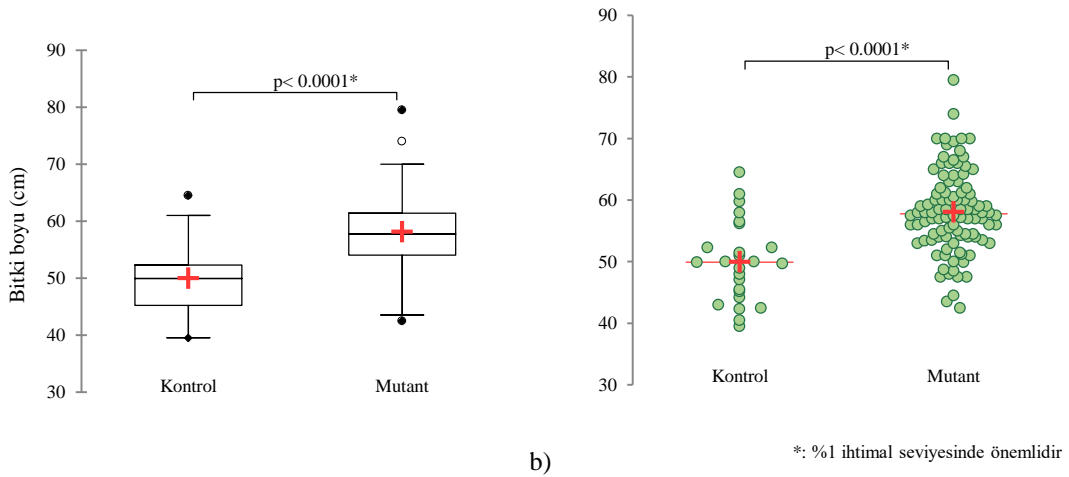
Arazi çalışmalarında uygulanacak mutagen doz ve süresi çimlenme verilerine göre belirlenmiştir. Mutasyon ıslah çalışmalarında, mutagen uygulama dozu ve süresinin tespitinde çimlenme parametrelerinde %50 azalmayı işaret eden süre ve doz kombinasyonu kullanılmaktadır (Chaudhary *et al.* 2021). Çalışmamızda, sodyum azit mutageninin 3 mM konsantrasyonu ve 2 saat uygulama süresi optimum %50 çimlenme değerlerini vermektedir (Tablo 5). Uygun mutagen uygulama kombinasyonu (3 mM x 2 saat) arazi çalışmalarında M₁ generasyonun elde edilmesinde kullanılmıştır. Aşağıda M₁ generasyonunda alınacak tarımsal özellikler ile ilgili bulgular sunulmuştur.

Bitki boyu (cm)

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyon ve zamanlarının M₁ generasyonunda ve kontrol grubunda gözlemlenen ortalama bitki boyu değerleri ve t-test sonuçları Tablo 6'da, iki farklı değişkenin arasındaki ilişkiyi belirlemek için elde edilen serpilme diyagramı ve kutu grafiği Şekil 15'de verilmiştir.

Erzurum ekolojisinde 2021 yılı vejetasyon süresince yetiştirilen kontrol ve mutant çörek otu bitkilerinin bitki boyundaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 6).

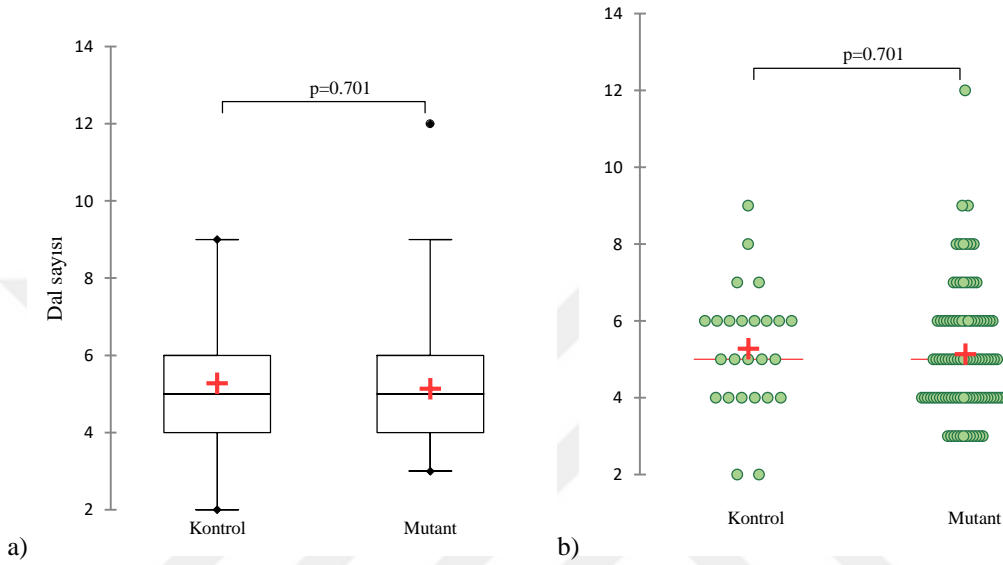
Araştırma sonucunda ortalama bitki boyları kontrol grubunda 49,98 cm, mutant grubunda 58,13 cm olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubunda en kısa bitki boyu 39,5 cm, mutant grubunda 42,5 cm olurken en uzun bitki boyu kontrol grubunda 64,5 cm mutant grubunda ise 79,5 cm olarak kaydedilmiştir. Genel olarak mutant grubu örneklerinde elde edilen bitki boyu değerleri kontrol grubunu yüksek çıkmıştır. Serpilme diyagramından görüleceği üzere mutant grubunda kümelenme daha yoğun bir şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitki boylarına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

Dal sayısı (adet)

Çalışmada bağımsız mutant ve kontrol grubu çörek otu bitkisinin dal sayıları hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla elde edilen değerlerin kutu grafikleri ve model performanslarını değerlendirmek amacıyla hata analizleri için yapılan serpilme diyagramı Şekil 16'da, ortalama değerler ve t-test analizleri Tablo 6'da sunulmuştur.



Şekil 16. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının dal sayılarına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

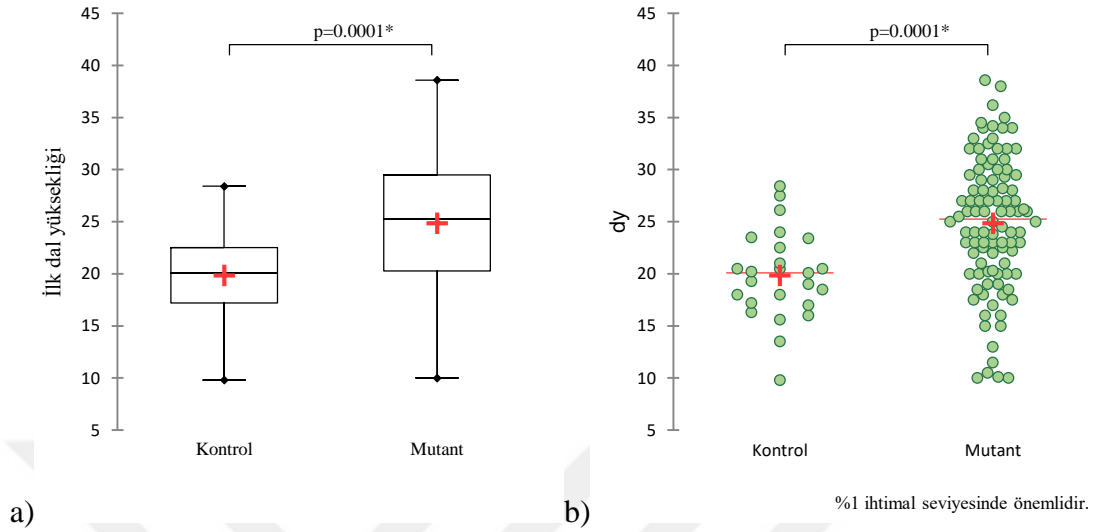
M₁ generasyonunda uygulama ve kontrol bitkilerinin dal sayısı arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Nitekim mutant ve kontrol grubuna ait ortalama dal sayıları sırasıyla 5,14 ve 5,25 adet olmuş ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol ve mutant popülasyonlarının ortalama değerleri incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

İlk dal yüksekliği (cm)

Mutasyon uygulamasının ilk dal yüksekliğine etkisini belirlemek için yapılan çalışmada elde edilen uç ve ortalama değerlerin grafiksel olarak belirleme yöntemlerinden biri olan kutu grafikleri ve serpilme diyagramı Şekil 17'de, ortalama değerler ve t-test analizleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'da görüleceği üzere mutant bitkiler ile kontrol bitkilerinin ilk dal yüksekliği arasındaki farklılık istatistiksel olarak %1 derecesinde önemli bulunmuştur. Şekil 17'de görüleceği üzere ilk dal yüksekliği kontrol grubunda 9,8 cm ile 27,5 cm arasında değişkenlik göstererek ortalama ilk dal yüksekliği 19,8 cm olarak tespit edilmiştir. Mutant grubunda ise en düşük ilk dal yüksekliği 10,0 cm iken en yüksek ilk dal yüksekliği 38,6 cm olarak tespit edilmiş

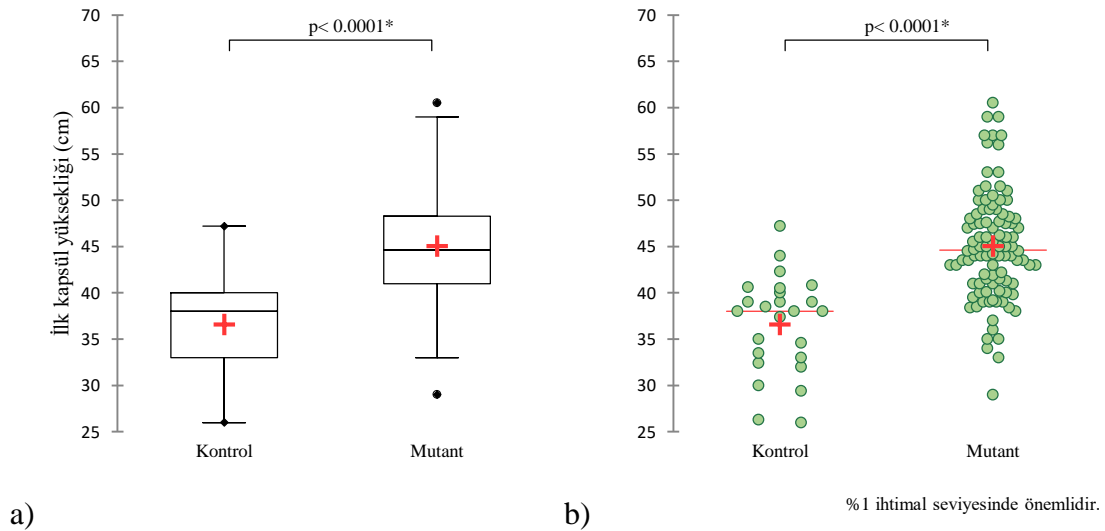
olup ortalama değeri 24,8 cm olarak bulunmuştur. M₁ generasyonunda çörek otu bitkisinin ilk dal yüksekliği kontrol bitkilerine göre daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 17. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının ilk dal yüksekliğine ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

İlk kapsül yüksekliği (cm)

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyon ve zamanlarının M₁ generasyonunda ve kontrol grubunda gözlemlenen ortalama ilk kapsül yüksekliği değerleri ve t-test sonuçları Tablo 6’da, iki farklı değişkenin arasındaki ilişkiyi belirlemek için elde edilen serpilme diyagramı ve kutu grafiği Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının ilk kapsül yüksekliğine ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

Çörek otu bitkisinde mutasyon uygulanmasının ilk kapsül yüksekliğine etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre mutant grubu ve kontrol grubuna arasındaki farklılık önem ($p<0.01$) arz ettiği tespit edilmiştir (Tablo 6). Araştırma sonuçlarına göre kontrol grubunun ilk kapsül yüksekliği 26,2 cm ile 47,2 cm arasında değişkenlik göstermekte olup ilk kapsül yüksekliği ortalaması 36,6 cm olarak bulunmuştur. Mutant grubun da ise en kısa ilk kapsül yüksekliği 29,0 cm iken en uzun 60,5 cm olarak gözlemlenmiştir. Mutant grubunun ortalama ilk kapsül yüksekliği ise 45,1 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 18).

Tablo 6. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının M₁ Generasyonunda Bitki Boyu, Dal Sayısı, İlk Dal Yüksekliği, İlk Kapsül Yüksekliği ve Kapsül Çapına Ait Ortalama Değerleri ve t-Test Analiz Sonuçları

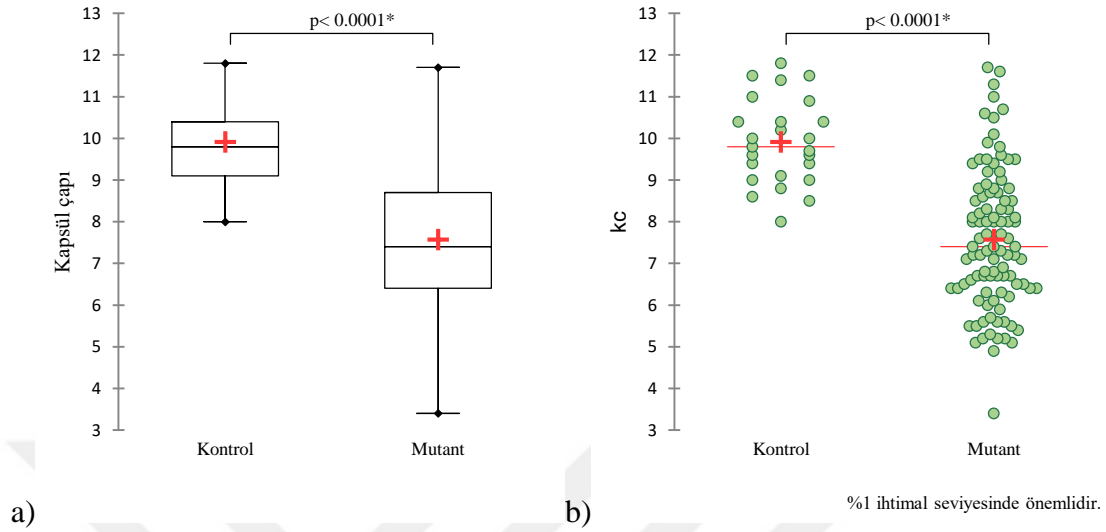
| Varyasyon Kaynağı | Bitki boyu (cm) | Dal sayısı (adet) | İlk dal yüksekliği (cm) | İlk kapsül yüksekliği (cm) | Kapsül çapı (mm) |
|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|
| | Ortalama | | | | |
| Kontrol | 49,98 ± 6,59 b | 5,25 ± 1,62 | 19,86 ± 4,26 b | 36,58 ± 5,28 b | 9,92 ± 1,03 b |
| Mutant | 58,13 ± 6,70 a | 5,14 ± 1,63 | 24,88 ± 6,43 a | 45,06 ± 5,90 a | 7,58 ± 1,67 a |
| t-test | Değerler | | | | |
| Fark | -8,147 | 0,140 | -5,021 | -8,477 | 2,342 |
| t (gözlenen değer) | -5,459 | 0,385 | -3,703 | -6,556 | -6,682 |
| t (kritik değer) | 1,979 | 1,979 | 1,979 | 1,979 | 1,979 |
| Serbestlik derecesi | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 |
| p-değeri (iki uçlu) | < 0,0001 | 0,701 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| alfa | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

Kapsül çapı (mm)

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarına göre Erzurum ekolojik koşullarında M₁ genarasyonunda ve kontrol grubunda gözlemlenen ortalama kapsül çaplarına ilişkin ortalama değerler ve t-test analizi sonuçları Tablo 6'da, bunlara ait kutu grafiği ve serpilme diyagramı Şekil 19'da verilmiştir.

Tablo 6'nın incelenmesinden de görüleceği gibi, mutasyon uygulamasının kapsül çapının çörek otu popülasyonları üzerindeki etkisi ile kontrol grubu ile mutant grubu arasında oluşan farklılığın ($p<0.01$) çok önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubunun ortalama kapsül çapı 9,9 mm olurken bu değer mutant grubunda 7,6 mm olarak tespit edilmiştir. Uç değerlerin incelenmesinde kapsül çapı en düşük kontrol grubunda 8,0 mm iken mutant grubunda 3,4 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek kapsül çapı ise kontrol grubunda 11,8 mm, mutant grubunda ise 11,7 mm tespit edilmiştir (Şekil 19). Kontrol grubu bitkilerinin mutant grubu bitkilerine göre

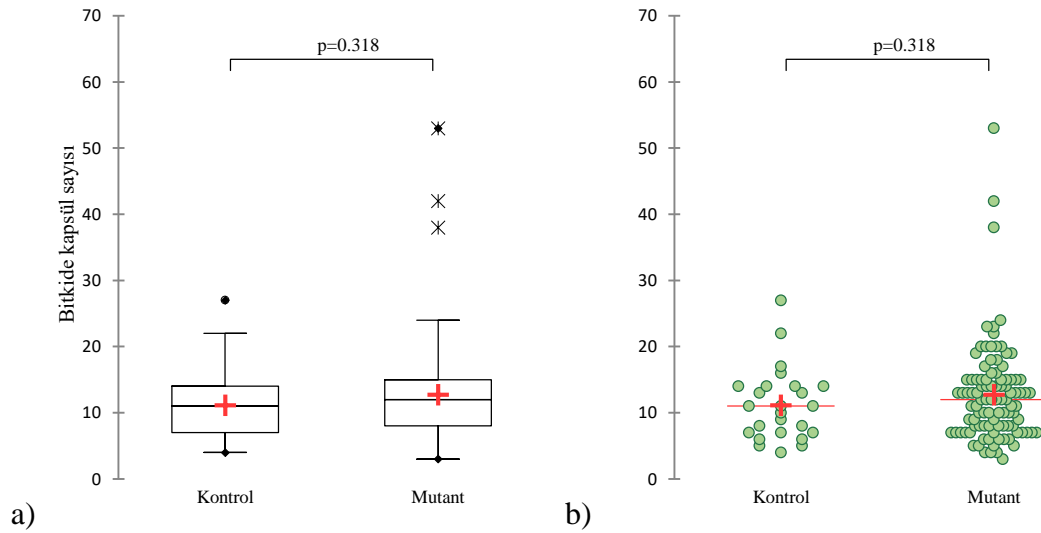
kapsül çapları daha yüksek çıkmış ve mutagen uygulaması çörek otu bitkisinin kapsül çapı değerlerinde azaltıcı bir unsur olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 19. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının kapsül çapına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

Bitkide kapsül sayısı (adet)

Çörek otu bitkisinde mutasyon uygulanmasının bitkide kapsül sayısı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada elde edilen ortama değerler ve t-test analizi sonuçları Tablo 7' de, serpilme diyagramı ve kutu grafiği Şekil 20' de verilmiştir.

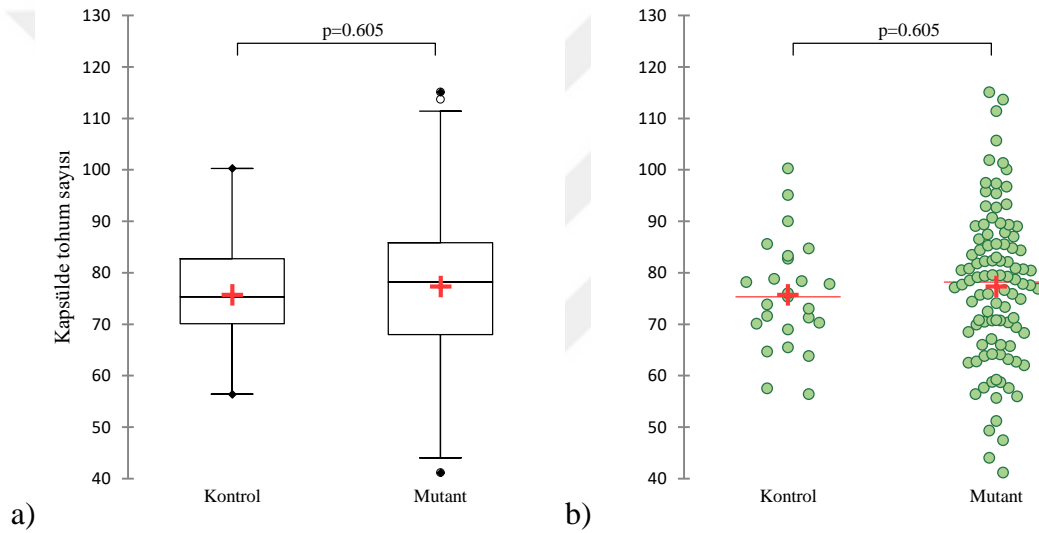


Şekil 20. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitkide kapsül sayısına ait a) kutu grafiği ve b) serpilme diyagramı

Mutagen uygulaması M₁ generasyonunda çörek otu bitkisinde bitkide kapsül sayısı üzerine kontrol grubu ile oluşan farklılıklar istatistiki olarak önemli çıkmamıştır. Kontrol bitkilerinin bitkide kapsül sayısı 11,6 adet iken mutant grubunun bitkide kapsül sayısı 12,8 adettir. En yüksek bitkide kapsül sayısı 53,0 adet mutagen uygulamasında elde edilmiştir.

Kapsülde tohum sayısı

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarına göre M₁ generasyonunda ve kontrol grubunda elde edilen kapsülde tohum sayısına ilişkin ortalama değerler ve t-test analizi sonuçları Tablo 7’de, bunlara ait kare grafiği ve serpilme diyagramı sonuçları ise Şekil 21’ de verilmiştir.



Şekil 21. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının kapsülde tohum sayısına ait a) kutu grafiği ve b)serpilme diyagramı

M₁ generasyonunda uygulama ve kontrol bitkilerinin kapsülde tohum sayısı arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli değildir (Tablo 7). Kontrol bitkilerinin ortalama kapsülde tohum sayısı ortalama 75,7 adet iken, mutantların 77,4 adet olarak bulunmuştur. Mutan grubunda kapsülde tohum sayısı bakımından geniş bir varyasyon gözlemlenmiştir. Nitekim mutant grubunda kapsülde tohum sayısı 42,4 ile 115,1 adet arasında değişim göstermiştir.

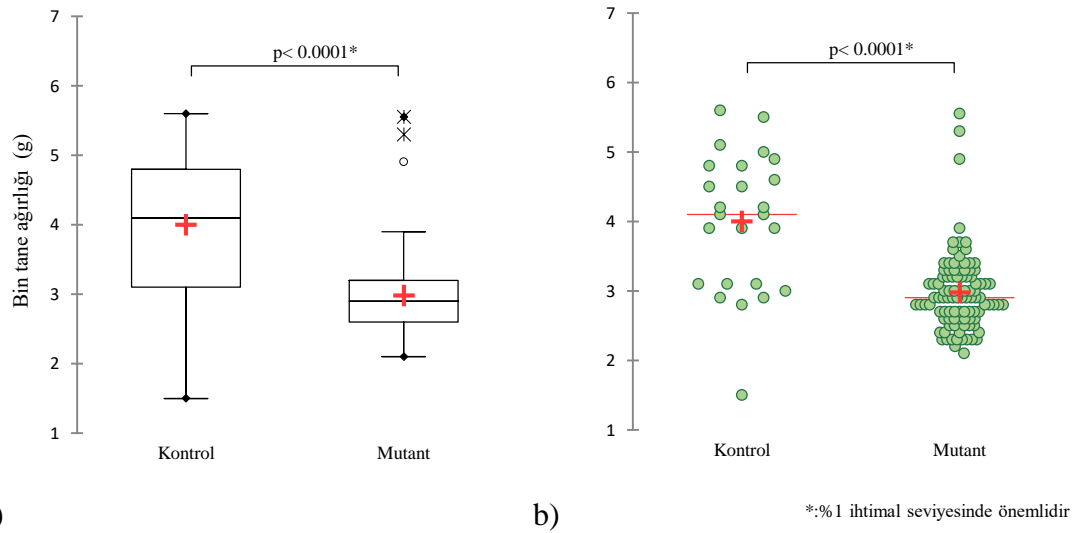
Bin tane ağırlığı (g)

Çörek otu tohumlarına uygulanan farklı sodyum azid konsantrasyon ve zamanlarının M₁ generasyonunda ve kontrol grubunda gözlemlenen ortalama bin tane ağırlığı değerleri ve t-test sonuçları Tablo 7’de, iki farklı değişkenin arasındaki ilişkiyi belirlemek için elde edilen serpilme diyagramı ve kutu grafiği Şekil 22’de verilmiştir.

Tablo 7. Farklı Sodyum Azid Konsantrasyonları ve Zamanlarının M₁ Generasyonunda Bitkide Kapsül Sayısı, Kapsülde Tohum Sayısı, Bin Tane Ağırlığı ve Bitki Başına Verimine Ait Ortalama Değerleri ve t-Test Analiz Sonuçları

| Varyasyon Kaynağı | Bitkide kapsül sayısı (adet) | Kapsülde tohum sayısı (adet) | Bin tane ağırlığı (g) | Bitki başına verim (g) |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Ortalama | | | |
| Kontrol | 11,16 ± 5,46 | 75,728 ± 10,651 | 4,00 ± 0,99 b | 3,29 ± 1,51 |
| Mutant | 12,76 ± 7,49 | 77,358 ± 14,770 | 2,98 ± 0,56 a | 3,27 ± 1,84 |
| t-test | Değerler | | | |
| Fark | -1,600 | -1,630 | 1,022 | 0,023 |
| t (gözlenen değer) | -1,002 | -0,519 | 6,844 | 0,058 |
| t (kritik değer) | 1,979 | 1,979 | 1,979 | 1,979 |
| Serbestlik derecesi | 123 | 123 | 123 | 123 |
| p-değeri (iki uçlu) | 0,318 | 0,605 | < 0,0001 | 0,953 |
| alfa | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

Erzurum ekolojisinde 2022 yılı vejetasyon süresince yetiştirilen kontrol ve mutant çörek otu bitkilerinin bitki boyundaki farklılık istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Tablo 7).



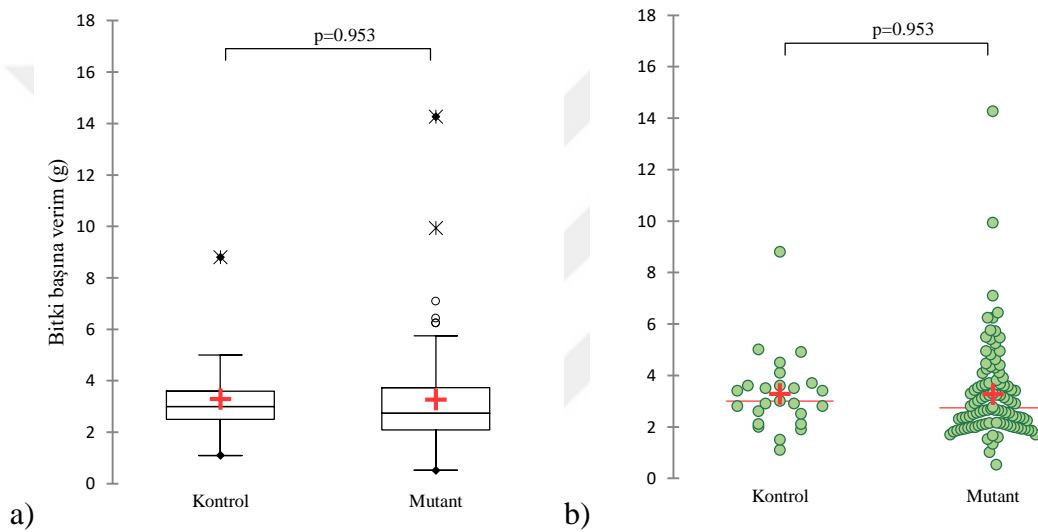
Şekil 22. Kontrol ve mutasyon popülasyonlarının bin tane ağırlığına ait a) kutu grafiği ve b)serpilme diyagramı

Şekil 22’de görüleceği üzere kontrol grubunda en yüksek bin tane ağırlığı 5,6 g en düşük ağırlık ise 1,5 g arasında değişkenlik göstererek ortalama bin tane ağırlığı 4 g olarak bulunmuştur. Mutant grubunda ise en yüksek bin tane ağırlığı 5,5 g, en düşük bin tane ağırlığı 2,1 g olarak değişkenlik göstererek ortalama bin tane ağırlığı 2,9 g olarak bulunmuştur. Kontrol

grubunun bin tane ağırlığı mutant grubu ile kıyaslandığında kontrol grubunun bin tane ağırlığının daha yüksek olduğu belirlenmiş nitekim farklılık istatistik olarak önemli bulunmuştur.

Bitki başına verim (g)

Çalışmada bağımsız mutant ve kontrol grubu çörek otu bitkisinin bitki başına verimi hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla elde edilen değerlerin kutu grafikleri ve model performanslarını değerlendirmek amacıyla hata analizleri için yapılan serpilme diyagramı Şekil 23'de, ortalama değerler ve t-test analiz sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur



Şekil 23. Kontrol ve mutasyon çörek otu popülasyonlarının bitki başına verim ait a) kutu grafiği ve b)serpilme diyagramı

Tablo 7'den görüleceği üzere mutant bitkilerinin bitki başına verim ortalamasının (3,29 g) kontrol bitkilerine (3,27) göre oldukça birbirine yakın değerler aldığı ve geniş bir varyasyonda farklılığın oluşmadığı gözlemlenmiştir. Nitekim mutant ve kontrol grubu arasındaki farklılık istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Ancak mutant grubu içinde geniş bir varyasyondan söz edilebilir, bitki başına verim bakımından en yüksek verim değeri 14,26 g bulunurken en düşük 0,48 g bulunmuştur. Serpilme diyagramının incelenmesi sonucu mutant grubu 0,48 g ile 7,09 g arasında kümeleşirken, kontrol grubu 1,1 g ile 5,0 g arasında kümelenmiştir.

TARTIŞMA

Kimyasal mutagen olarak değerlendirilen sodyum azidin konsantrasyon (1, 2, 3 ve 4 mM) ve zaman (1, 2, 3 ve 4 sa) uygulamalarını oluşturan mutant grubunun ve sodyum azid uygulanmayan kontrol grubunun çimlenme oranı, ortalama çimlenme zamanı, çimlenme hızı indeksi, çimlenme hızı katsayısı ve çimlenme gücü indeksi üzerine etkisi ve elde edilen değerler önceki bölümde verilmiştir.

Çimlenme oranı, ortalama çimlenme zamanı, çimlenme hızı indeksi, çimlenme hızı katsayısı ve çimlenme gücü indeksi değerleri göz önüne alınarak tohumlara uygulanması belirlenen doz süre kombinasyonu 3mM x 2 sa olarak belirlenmiştir. Farklı sodyum azid konsantrasyonları ve zamanlarının çörek otunun çimlenme parametrelerine ait varyans analiz sonuçları göz önüne alındığında doz uygulaması arasındaki farklılıklar tüm varyasyon kaynaklarında %1 ihtimal seviyesinde önemli çıkmıştır. Süre uygulamalarında ise sadece çimlenme gücü indeksi %5 ihtimal seviyesi düzeyinde önemli çıkarken, diğer parametrelerde ortaya çıkan farklılıklar istatistiksel bakımdan önemli bulunmamıştır. Doz x saat etkileşimi çimlenme oranı, ortalama çimlenme zamanı, çimlenme hızı indeksi, çimlenme hızı katsayısı ve çimlenme gücü indeksi bakımından elde edilen farklılıklar önemli olmuştur. Ilbas *et al.* (2005), çalışmamızda olduğu gibi artan doz ve sürelerin kontrol grubuna göre mitotik indeksini azalttığını ve çimlenme oranı bakımından farklılıkların önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Artan sodyum azid konsantrasyonları sonucu çimlenme oranında önemli derecede azalmalara sebep olmuştur. Nitekim Prabha *et al.* (2010) çörek otu bitkisinde sodyum azid uygulamasının çimlenme oranını düşürdüğünü bildirmiştir. Çalışmamıza benzer olarak araştırmacı en yüksek çimlenme oranını kontrol grubu bitkilerinde elde etmiştir. Ek olarak Datta *et al.* (1986), fiziksel mutagen uygulamalarının çörek otu bitkisi üzerine etkisini araştırdığı çalışmada, kontrol grubun çimlenme oranını %94 bulurken dozların artması ile %58'e kadar düşüğünü bildirmiş ve bu sonuç çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir. Öte yandan çalışmamıza benzer olarak diğer kültür bitkilerinde de; arpada (Cheng and Gao 1988), nohutta (Khan *et al.* 2004), susamda (Mensah *et al.* 2007), buğdayda (Srivastava *et al.* 2010), kolzada (Emrani *et al.* 2011), ayçiçeğinde (Mostafa *et al.* 2011), çeltikte (Aurabi *et al.* 2012), mısırdaki (Eze and Dambo 2015) ve börülçede (Raina *et al.* 2022) artan sodyum azid dozları ve süresi ile çimlenme oranı azalmıştır.

Sodyum azid (SA), yüksek oranda nokta mutasyonları meydana getirmektedir (Jander *et al.* 2003). Nokta mutasyonu oluşturma yeteneğine sahip olan sodyum azid, uygulanan

bitkinin birçok gelişimsel, fizyolojik ve metabolik aktivitesini değiştirmektedir (Mensah *et al.* 2007). Sodyum azid uygulaması sonrasında tohumların çimlenme hızında gözlenen düşüşler, nokta mutasyonlarından veya genetik materyaldeki diğer hasarlardan kaynaklanabilmektedir (Vinithashri *et al.* 2020). Nitekim araştırmamızda artan sodyum azid dozlarında ortalama çimlenme zamanı artmış, çimlenme hızı indeksi, çimlenme gücü indeksi ve çimlenme hızı katsayısı azalmıştır. Bu durumun hormonal dengesizlikler (Ananthaswamy *et al.* 1971), oksidatif fosforilasyonu engelleyen sitokrom oksidazın inhibitörleri olan azid anyonlarının etkileri (Kleinhofs and Sander 1975), ATP'nin biyosentezini engellemesi (Cheng and Gao 1988), mitokondriyel zar potansiyelinin değiştirilmesi (Zhang 2000), enzim aktivitelerinin değişmesi (Khan and Goyal 2009) gibi unsurların gerçekleşmesi sonucu ileri geldiği düşünülmektedir.

Mutagenik etkinlik artan sodyum azid dozlarında daha yüksektir, bu olay daha fazla hücrenin mutasyona uğramasına neden olmaktadır ancak belli bir eşik değerinden sonra çimlenme olmamaktadır. Hem mutagenik etkinlik hemde çimlenme parametreleri göz önüne alınarak çörek otu bitkisinde en uygun sodyum azid uygulama doz x süre kombinasyonu 3 mM x 2 sa olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sağlandıktan sonra M₁ tohum elde etmek için araziye ekimleri gerçekleştirilmiş mutant hatların ve kontrol hatlarına kıyasla bazı tarımsal performansları gözlemlenmiştir.

Çameli çörek otu çeşidinin materyal olarak kullanıldığı araştırmamızda çıkış süreleri, çiçeklenme süresi ve vejetasyon süresi tek bitki yerine plantasyon olarak gözlem niteliğinde gerçekleştirilmiştir. 13 Mayıs 2022 yılında ekimi gerçekleştirilen çalışmamızda çıkış süreleri 02.06.2022 (17±2 gün) tarihinde, çiçeklenme süresi 15.07.2022 (63±3 gün) tarihinde gözlemlenmiştir. Hasat ise 02.09.2022 (112 gün) - 06.09.2022 (116 gün) tarihleri arasında yapılmıştır. Daha öncede bölgede Ürüşan (2016) çörek otunda çıkış süresini 17,3-23,0 gün, çiçeklenme süresini 60,7-93,3 gün, yetiştirme süresini 104,0-133,0 gün arasında tespit etmiş araştırmamıza paralel sonuçlar elde etmiştir.

Arazi performansı göz önüne alındığında M₁ tohumlarında bitki boyu, ilk dal yüksekliği, ilk kapsül yüksekliği, kapsül çapı, bin tane ağırlığı bakımından mutant grubu ve kontrol grubuna arasındaki farklılık önemli çıkarken, dal sayısı, bitkide kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı, bitki başına verim bakımından bu farklılıklar önemsiz çıkmıştır.

Değerler göz önüne alındığında kontrol grubu bitkilerinde bitki boyu 58,13 cm, dal sayısı 5,14 adet, ilk dal yüksekliği 24,88 cm, ilk kapsül yüksekliği 45,06 cm, kapsül çapı 7,58 mm, bitkide kapsül sayısı 12,76 adet, kapsülde tohum sayısı 77,4 adet, bin tane ağırlığı 2,98 g, bitki başına verim 3,27 g şeklinde elde edilmiştir. Mutant grubunda bitki boyu 49,98 cm, dal

sayısı 5,25 adet, ilk dal yüksekliği 19,86 cm, ilk kapsül yüksekliği 36,58 cm, kapsül çapı 9,92 mm, bitkide kapsül sayısı 12,16 adet, kapsülde tohum sayısı 75,7 adet, bin tane ağırlığı 4,00 g, bitki başına verim 3,29 g olarak tespit edilmiştir. Erzurum ekolojisinde Ürüsan (2016) bitki boyunun 22,0-47,7 cm, dal sayısının 3,9-6,7 adet, bitkide kapsül sayısının 5,5-19,8 adet, kapsülde tohum sayısının 62,2-117,3 adet ve bin tane ağırlığının 2,5-3,5 g arasında değiştiğini Yıldız (2021) ise bitki boyunun 43,40 cm, dal sayısının 4,13 adet, bitkide kapsül sayısının 8,71 adet, bin tane ağırlığının 3,15 g olduğunu bildirmiştir. M₁ generasyonunda elde ettiğimiz değerler daha önce bölgede çörek otu yetiştiriciliği ile ilgili çalışmalar gerçekleştiren Ürüsan (2016) ve Yıldız (2021)' in elde ettiği sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Çalışmamızda olduğu gibi Çameli çeşidini materyal olarak kullanan Beyzi (2018) bitki boyunu 44,2 cm, bitkide kapsül sayısını 8,7 adet, kapsülde tohum sayısını 91,8 adet ve bin tane ağırlığını 2,6 g; Koşar ve Özel (2018) bitki boyunu 60,13 cm, dal sayısını 3,87 adet, bitkide kapsül sayısını 4,97 adet ve bin tane ağırlığını 2,20 g; İnan (2019) bitki boyunu 24.13 ile 44.93 cm, dal sayısını 2.67 ile 5.30 adet, kapsül sayısını 6,08 ile 11,47 adet, kapsülde tohum sayısını 51,97 ile 66,13 adet, bin tane ağırlığını 2,50 ile 2,64 g ve tohum verimini 31,49 ile 49,11 kg/da arasında; Can (2021) bitki boyunu 30,2 cm, dal sayısını 5,2 adet, bitkide kapsül sayısını 4,5 adet, bin tane ağırlığını 3,0 g ve tohum verimini 66,5 kg/da; Aysabar ve Gedik (2022) bitki boyunu 57,73 cm, ilk dal yüksekliğini 10,97, ilk kapsül yüksekliğini 27,82, dal sayısını 6,53 adet, kapsül sayısını 24,65 adet, kapsüldeki tohum sayısını 104 adet, bin tane ağırlığını 2,59 g ve tohum verimini 132 kg/da ve Güneş ve Tonçer (2022) ise bitki boyunu 58,6 cm, dal sayısını 5,05 adet, bitkide kapsül sayısını 12,6 adet, kapsül çapını 1,09 cm, bitki başına tohum verimini 1,62 g, bin tane ağırlığını 2,68 g olduğunu belirttiği çalışmalarda elde edilen agronomik veriler araştırmamız sonucu elde edilen değerlerle benzer niteliktedir.

Öte yandan Prabha *et al.* (2010), çörek otu bitkisinde M₁ generasyonunda bitki boyu, dal sayısı ve bin tane ağırlığı arasındaki farklılıkların, istatistiki olarak çok önemli olduğunu ve parametreler arasında araştırmamızda olduğu gibi geniş bir varyasyon olduğunu ifade etmişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çörek otu, farmakolojik ve fitokimyasal konuları üzerinde oldukça önem arz eden tıbbi ve aromatik bitkilerden biri olması, üretimi ve işlenmesi ile ilgili olarak kuru tarım münavebesine uygunluğu, yetiştiriciliğinde diğer ürünlerde kullanılan alet ve ekipmanların kullanılabilirliği, pazar arz-talep dengesinin pozitif eğilimde olması ve proses kolaylığı dikkate alındığında bölge ve ülkemiz tarım deseninde yer almasının önemli ve gerekli olduğu söylenebilir. Bölge ekolojisi, çörek otu yetiştiriciliğinde elde edilen veriler göz önüne alındığında herhangi bir dezavantaj oluşturmamıştır. Ülkemizde sadece Çameli adında bir adet tescilli çörek otu bulunmakta olup üretim, dağıtım ve yayımı istenilen düzeyde değildir. Dolayısı ile bu bitkinin yetiştiriciliğini sınırlandıran faktörlere karşı dayanıklı ve istenilen özellikler bakımından üstün çeşitlerin geliştirilmesi önemlidir.

Gelecekte ıslah programları için üstün özelliklere sahip morfolojik mutantlar genetik kaynağı oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, çörek otunda genetik çeşitliliği arttırmak amacıyla tohumlara 3 Mm x 2 saat sodyum azid kombinasyonunun uygulanabileceği kanaatine varılmıştır.

Arazi değerleri söz konusu olduğunda M₁ generasyonunda tam açılım göstermesi beklenilmediğinden sonuçların M₂ değerleri ile tekrar değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Araştırmanın devamında herbisite dayanıklılık, yüksek verim gibi ıslah amacı programları doğrultusunda gen mutasyonlarının resesif olmasından dolayı kalıtım ile ilgili çalışmaların M₂ generasyonunda belirlenmesi hedeflenmektedir. Ve bu değişimlerin kalıcı mı yoksa modifikasyon mu olduğu döl kontrolü ile M₃ generasyonunda tespit edilmesi planlanmaktadır.

Sodyum azidin, çörek otu bitkisinin iyileştirilmesi için varyasyon oluşturma amacıyla kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Bir sonraki çalışmalarda, ıslah programının amacı doğrultusunda kalıtımı ile ilgili çalışma ve projeler yürütülecektir.

KAYNAKÇA

- Adamu, A. K. and Aliyu, H., 2007. Morphological effects of sodium azide on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Science World Journal, 2 (4).
- Ahloowalia, B. S. and Maluszynski, M., 2001. Induced mutations new paradigm in plant breeding. Euphytica, 118, 167-173.
- Ahmad, S., Abbasi, H. W., Shahid, S., Gul, S. and Abbasi, S. W., 2021. Molecular docking, simulation and MM-PBSA studies of (*Nigella sativa* L.) compounds: a computational quest to identify potential natural antiviral for COVID-19 treatment. Journal of Biomolecular Structure and Dynamics, 39 (12), 4225-4233.
- Akgün, I. and Tosun, M., 2004. Agricultural and cytological characteristics of M₁ perennial rye (*Secale montanum* Guss.) as effected by the application of different doses of gamma rays. Pakistan Journal of Biological Sciences, 7 (5), 827-833.
- Ananthaswamy, H. N., Vakil, U. K. and Sreenivasan, A., 1971. Biochemical and physiological changes in gamma-irradiated wheat during germination. Radiation Botany, 11(1), 1-12.
- Aurabi, A. K., Ibrahim, K. M., and Yousif, S. A., 2012. Induction of genetic variation for drought tolerance in two rice cultivars Amber 33 and Amber Baghdad. Iraqi Journal of Biotechnology, 11 (2), 270-281.
- Aydoğan, A., Gürbüz, A., Akan, K., Kon, K.F., Mert, Z. ve Özer, G.Ç., 2016. Mercimek (*Lens culinaris* M.) germplasmında herbisit toleransı için genetik çeşitliliğin belirlenmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (1), 165-170.
- Aysabar, Z. ve Gedik, O., 2022. Kahramanmaraş koşullarında çörek otu (*Nigella sp.*) genotiplerinde farklı sıra arası mesafelerin verim ve kaliteye etkilerinin belirlenmesi. International Journal of Pure and Applied Sciences, 8 (1), 81-90.
- Barata, A. M., Rocha, F., Lopes, V. and Carvalho, A. M., 2016. Conservation and sustainable uses of medicinal and aromatic plants genetic resources on the worldwide for human welfare. Industrial Crops and Products, 88, 8-11.
- Basurra, R. S., Wang, S. M. and Alhoot, M. A., 2021. *Nigella sativa* (Black Seed) as a natural remedy against viruses. J Pure Appl Microbiol, 15 (1), 29-41.
- Benazzouz-Smail, L., Achat, S., Brahmi, F., Bachir-Bey, M., Arab, R., Lorenzo, J. M. and Madani, K., 2023. Biological Properties, Phenolic Profile, and Botanical Aspect of (*Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L.) Seeds: A Comparative Study. Molecules, 28 (2), 571.
- Beyzi, E. 2018. Çörek otu bitkisinin (*Nigella sativa* L.) Kayseri ekolojik koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (14), 245-248.
- Botnick, I., Xue, W., Bar, E., Ibdah, M., Schwartz, A., Joel, D. M. and Lewinsohn, E., 2012. Distribution of primary and specialized metabolites in (*Nigella sativa* L.) seeds, a spice with vast traditional and historical uses. Molecules, 17 (9), 10159-10177.
- Butt, A. S., Nisar, N., Ghani, N., Altaf, I. and Mughal, T. A., 2019. Isolation of thymoquinone from (*Nigella sativa* L. and *Thymus vulgaris* L.) and its anti-proliferative effect on hela cancer cell lines. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 18 (1), 37-42.
- Can, M., 2021. Farklı çörek otu (*Nigella sativa* L.) genotiplerinin kışlık ekim koşullarında verim ve verim öğelerinin araştırılması. Ziraat Mühendisliği, (372), 66-74.

- Chaudhary, L., Sharma, R. and Kumar, M. (2021). Estimation of LD50 and effect of sodium azide on germination and seedling parameters of different cultivars of *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 13(3), 279-285.
- Cheng, X. and Gao, M., 1988. Biological and genetic effects of combined treatments of sodium azide, gamma rays and EMS in barley. *Environmental and experimental botany*, 28 (4), 281-288.
- Datta, A. K., Biswas, A. K. and Sen, S., 1986. Gamma radiation sensitivity in *Nigella sativa* L. *Cytologia*, 51 (3), 609-615.
- Datta, A. K., Saha, A., Bhattacharya, A., Mandal, A., Paul, R. and Sengupta, S., 2012. Black cumin (*Nigella sativa* L.) a review. *Journal of plant development sciences*, 4 (1), 1-43.
- Dobres, M. S., 2008. Barriers to genetically engineered ornamentals: an industry perspective. *Floriculture, ornamental and plant biotechnology*, 5, 1-14.
- Dyulgerov, B. and Dyulgerov, N., 2020. Grain yield and yield related traits of sodium azide induced barley mutant lines. *Journal of Central European Agriculture*, 21 (1), 83-91.
- Elkoca, E., 1997. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.)'de Tuza Dayanıklılık Üzerine Bir Araştırma Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Embuscado, M. E., 2015. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants a mini review. *Journal of functional foods*, 18, 811-819.
- Emrani, S. N., Arzani, A. and Saeidi, G., 2011. Seed viability, germination and seedling growth of canola (*Brassica napus* L.) as influenced by chemical mutagens. *African Journal of Biotechnology*, 10 (59), 12602-12613.
- Eze, J. J. and Dambo, A., 2015. Mutagenic effects of sodium azide on the quality of maize seeds. *Journal of advanced laboratory Research in Biology*, 6 (3), 76-82.
- Farooqi, A. A. and Sreeramu, B. S., 2001. Cultivation of medicinal and aromatic crops. Universities Press.
- Fehr, E., Georg, K. and Arno, R., 1993. "Does Fairness Prevent Market Clearing An Experimental Investigation," *Quarterly Journal of Economics*. 437-460.
- Gasong, B. T., Hartanti, A. W. and Tjandrawinata, R. R., 2017. Antibacterial activity of (*Nigella sativa* L.) seed oil in water emulsion against dental cariogenic bacteria. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8 (7), 8.
- Gaul, H., 1964. Mutations in plant breeding. *Radiation Botany*, 4 (3), 155-232.
- Genç, H. and Özar, A. İ., 1986. Preliminary investigations on the mites found on stored products in Izmir. *Türkiye Bitki Koruma Dergisi*, 10 (3), 175-183.
- Gholamnezhad, Z., Shakeri, F., Saadat, S., Ghorani, V. and Boskabady, M. H., 2019. Clinical and experimental effects of *Nigella sativa* and its constituents on respiratory and allergic disorders. *Avicenna journal of phytomedicine*, 9 (3), 195.
- Gichner, T. and Veleminsky, J., 1977. The very low mutagenic activity of sodium azide in *Arabidopsis thaliana*. *Biologia Plantarum*, 19 (2), 153-155.
- Gruszka, D., Szarejko, I. and Maluszynski, M., 2012. Sodium azide as a mutagen. In *Plant mutation breeding and biotechnology* (pp. 159-166). Wallingford UK: CABI.
- Gupta, G., Iqbal, M. S., Pandey, B. and Srivastava, J. K., 2021. Differential Expression of Thymoquinone and Its Localization in Different Parts of (*Nigella sativa* L.) *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 91, 13-19.

- Güneş, Z. ve Tonçer, Ö., 2022. Mardin ekolojik koşullarında bazı çörek otu (*Nigella sativa* L.) genotiplerinin fenolojik ve agronomik özelliklerine göre sınıflandırılması. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7 (4), 990-1001.
- Hossain, M. S., Sharfaraz, A., Dutta, A., Ahsan, A., Masud, M. A., Ahmed, I. A. and Ming, L. C., 2021. A review of ethnobotany, phytochemistry, antimicrobial pharmacology and toxicology of (*Nigella sativa* L.) *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 143, 112182.
- Ilbas, A. I., Eroglu, Y. and Eroglu, H. E., 2005. Effects of the application of different concentrations of NaN₃ for different times on the morphological and cytogenetic characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47 (9), 1101-1106.
- Iqbal, M. J., Butt, M. S., Qayyum, M. M. N. and Suleria, H. A. R., 2017. Anti-hypercholesterolemic and anti-hyperglycaemic effects of conventional and supercritical extracts of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7 (11), 1014-1022.
- Jander, G., Baerson S.R., Hudak J.A., Gonzalez K.A., Gruys K.J. and Last R.L., 2003. Ethylmethanesulfonate saturation mutagenesis in *Arabidopsis* to determine frequency of herbicide resistance. *Plant Physiology*, 131, 139-146.
- Jeng, T. L., Tseng, T. H., Wang, C. S., Chen, C. L., and Sung, J. M., 2006. Yield and grain uniformity in contrasting rice genotypes suitable for different growth environments. *Field Crops Research*, 99 (1), 59-66.
- Jeng, T. L., Shih, Y. J., Lai, C. C., Wu, M. T. and Sung, J. M., 2010. Anti-oxidative characterisation of NaN₃-induced common bean mutants. *Food chemistry*, 119 (3), 1006-1011.
- Kapoor, K. and Srivastava, A., 2010. Meiotic anomalies in sodium azide induced tetraploid and mixoploid of (*Trigonella foenum-graecum*). *Cytologia*, 75 (4), 409-419.
- Khan, S., Wani, M. R. and Parveen, K., 2004. Induced genetic variability for quantitative traits in (*Vigna radiata* L.) Wilczek. *Pakistan Journal of Botany*, 36 (4), 845-850.
- Khan, S. and Goyal, S., 2009. Improvement of mungbean varieties through induced mutations. *African Journal of Plant Science*, 3 (8), 174-180.
- Kiani, S., Minaei, S. and Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2016). Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(1), 1-9.
- Kirkwood, T. B., 2002. Evolution of ageing. *Mechanisms of ageing and development*, 123 (7), 737-745.
- Kiruki, S., Onek, L. A. and Limo, M., 2006. Azide-based mutagenesis suppresses *Striga hermonthica* seed germination and parasitism on maize varieties. *African Journal of Biotechnology*, 5 (10).
- Kleinhofs, A., Eden, F. C., Chilton, M. D. and Bendich, A. J., 1975. On the question of the integration of exogenous bacterial DNA into plant DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 72 (7), 2748-2752.
- Kleinhofs, W. and Sander, C., 1975. Azide mutagenesis in barley in proceedings of the 3rd international barley genetics symposium (pp. 7-12).
- Knezevic, S. Z. and Cassman, K. G., 2003. Use of herbicide-tolerant crops as a component of an integrated weed management program. *Crop Management*, 2 (1), 1-7.

- Koşar, İ. and Özel, A., 2018. Characterization on variety and populations of black cumin (*Nigella sativa* L.). I. Agricultural properties. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi/Harran Journal of Agricultural and Food Science, 22 (4), 533-543.
- Koch, A.C., Ramgareeb, R.S., Koch, A.C., Ramgareeb S., Rutherford R.S., Snyman, S.J. and Watt, M.P., 2012. An in vitro mutagenesis protocol for the production of sugarcane tolerant to the herbicide imazapyr. In Vitro. Cell Dev Biol. Plant, 48, 417-427.
- Kumar, S., 1988. Recessive monogenic mutation in grain pea (*Pisum sativum*) that causes pyridoxine requirement for growth and seed production. Journal of Biosciences, 13, 415-418.
- Kumar, P. R. R. and Ratnam, S. V., 2010. Mutagenic effectiveness and efficiency in varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by separate and combined treatment with gamma rays and sodium azide. African Journal of Biotechnology, 9 (39), 6517-6521.
- Lee, H., Rustgia, S., Kumara, N., Burkea, I., Yenisha, JP., Gilla, KS., Wettsteina, DV. And Ullricha, SE., 2011. Single nucleotide mutation in the barley acetohydroxy acid synthase (AHAS) gene confers resistance to imidazolinone herbicides
- Li, D., Barclay, I., Jose, K., Stefanova, K. and Appels, R., 2008. A Mutation at the Ala122 position of acetohydroxyacid synthase (AHAS) located on chromosome 6D of wheat: Improved resistance to imidazolinone and a faster assay for marker assisted selection. Mol. Breeding, 22, 217-225.
- Maguire, J. D., 1962. Speed of germination Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. Crop science, 2 (2), 176-177.
- Melnyk, H. I., Stalyus, L. V. and Kozak, T. I., 2015. The perspectives of (*Nigella sativa* L.) growing in the climatic conditions of the Precarpathian Region. The Pharma Innovation, 4 (3), 24.
- İnan, M., 2020. Yarı kurak koşullarda ekim zamanlarının çörekotu (*Nigella sativa* L.) verim ve verim özelliklerine etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7 (1), 32-37.
- Mensah, J. K. and Obadoni, B., 2007. Effects of sodium azide on yield parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). African Journal of Biotechnology, 6 (6).
- Molina-Cano, J. L., Simiand, J. P., Sopena, A., Perez-Vendrell, A. M., Dorsch, S., Rubiales, D. and Jahoor, A., 2003. Mildew-resistant mutants induced in North American two and six rowed malting barley cultivars. Theoretical and Applied Genetics, 107, 1278-1287.
- Mondal, S., Badigannavar, A. M. and Murty, G. S. S., 2008. RAPD markers linked to a rust resistance gene in cultivated groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Euphytica, 159, 233-239.
- Mostafa, G. G., 2011. Effect of Sodium azide on the growth and variability induction in. int. J. Plant Breed. Genet, 5, 76-85.
- Naidu, V. S. G. R. and Ranganath, A. R. G., 2011. Herbicide tolerant crops emerging tool in weed management.
- Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichii, M., Taketa, S. and Arase, S., 2008. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake-deficient mutant *Isi1* of rice. Crop protection, 27 (3-5), 865-868.
- Nguyen, L., Duong, L. T. and Mentreddy, R. S., 2019. The US import demand for spices and herbs by differentiated sources. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 12, 13-20.

- Noor, N. A., Ezz, H. S. A., Faraag, A. R. and Khadrawy, Y. A., 2012. Evaluation of the antiepileptic effect of curcumin and *Nigella sativa* oil in the pilocarpine model of epilepsy in comparison with valproate. *Epilepsy and Behavior*, 24 (2), 199-206.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A. and Usman, M., 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30 (1), 1-16.
- Ozer, H., Coban, F., Sahin, U. and Ors, S., 2020. Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to deficit irrigation in a semi-arid region: growth, yield, quality, and water productivity. *Industrial crops and products*, 144, 112048.
- Paarakh, P. M., 2010. (*Nigella sativa* Linn. A comprehensive review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1 (4), 409-429.
- Prabha, R., Dixit, V. and Chaudhary, B. R., 2010. Sodium azide-induced mutagenesis in fenugreek (*Trigonella foenum - graecum* L.). *Legume Research in International Journal*, 33 (4), 235-241.
- Rachovska, G. and Dimova, D., 2000. Effect of sodium azide and gamma rays on M₁ quantitative characteristics of the productivity and their connection with M₂ mutation changes in winter common wheat. *Rasteniiev'dni Nauki*, 37 (7), 413-419.
- Raina, A., Laskar, R. A., Wani, M. R., Jan, B. L., Ali, S. and Khan, S., 2022. Gamma rays and sodium azide induced genetic variability in high-yielding and biofortified mutant lines in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Walp. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Rani, R., Dahiya, S., Dhingra, D., Dilbaghi, N., Kim, K. H. and Kumar, S., 2018. Improvement of antihyperglycemic activity of nano thymoquinone in rat model of type-2 diabetes. *Chemico-biological interactions*, 295, 119-132.
- Rodriguez, R. and Robertson, D. G., 2000. Nematicidal and herbicidal properties of potassium azide. *Nematropica*, 30, 146-147.
- Roychowdhury, R. and Tah, J., 2011. Chemical mutagenic action on seed germination and related agro metrical traits in M₁ *Dianthus* generation. *Current Botany*, 2 (8), 19-23.
- Saha, A. and Basak, B. B., 2020. Scope of value addition and utilization of residual biomass from medicinal and aromatic plants. *Industrial Crops and Products*, 145, 111979.
- Sasi, A., Dhanavel, D. and Pavadai, P., 2005. Effect of chemical mutagenesis on bhendi (*Abelmoschus esculentus* L.) Moench. *MDU-1. Research On Crops*, 6 (2), 253.
- Shahbazi, E., Safipor, B. and Golkar, P., 2022. Responses of (*Nigella damascena* L. and *Nigella sativa* L.) to drought stress: Yield, fatty acid composition and antioxidant activity. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 0-0.
- Sinha, A. and Lal, J. P., 2007. Effect of mutagens on M₁ parameters and qualitative changes induced in M₂ generation in lentil. *Legume Research in International Journal*, 30 (3), 180-185.
- Skoric, D., Jovic, S., Sakac, Z. and Lecic, N., 2008. Genetic possibilities for altering sunflower oil quality to obtain novel oils. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 86 (4), 215-221.
- Sommer, A. P., Försterling, H. D. and Sommer, K. E., 2021. Tutankhamun's Antimalarial Drug for COVID-19. *Drug Research*, 71 (01), 4-9.
- Srinivasan, K., 2018. Cumin (*Cuminum cyminum*) and black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds: traditional uses, chemical constituents, and nutraceutical effects. *Food quality and safety*, 2 (1), 1-16.

- Suzuki, Y., Sano, Y., Ise, K., Matsukura, U., Aoki, N. and Sato, H., 2008. A rice mutant with enhanced amylose content in endosperm without affecting amylopectin structure. *Breeding Science*, 58(3), 209-215.
- Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K., Shaner, D. L., 2005. Imidazolinone tolerant crops: History, current status and future. *Pest Management Science*. 61, 246–257.
- Tantray, A. Y., Raina, A., Khursheed, S., Amin, R. U. H. U. L. and Khan, S. A. M. I. U. L. L. A. H., 2017. Chemical mutagen affects pollination and locule formation in capsules of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Intl J Agric Sci*, 8(1), 108-117.
- Tsaftaris, A., 1996. The development of herbicide-tolerant transgenic crops. *Field Crops Research*, 45(1-3), 115-123.
- Ürüşan, Z., 2016. Bazı çörek otu (*Nigella sativa* L., *Nigella damascena*) genotiplerinde tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Venegas-Caleron, M., Martínez-Force, E. and Garces, R., 2008. Lipid characterization of a wrinkled sunflower mutant. *Phytochemistry*, 69 (3), 684-691.
- Weldemichael, M. Y., Baryatsion, Y. T., Sbhatu, D. B., Abraha, G. G., Juhar, H. M., Kassa, A. B. and Gebru, H. A., 2023. Treatment of seeds with sodium azide for quantitative and qualitative capsule traits at M2 generation of Fourteen Ethiopian sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, e12912.
- Yıldız, G., 2016. Farklı sıra aralığı ve azot dozlarının çörek otunun (*Nigella sativa* L.) verim ve verim unsurları üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Zhang, B. H., 2000. Regulation of plant growth regulators on cotton somatic embryogenesis and plant regeneration. *Biochemistry*, 39, 1567.

ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|-------------------------------|--|
| Adı Soyadı: | Hivrun TURANLI |
| Doğum tarihi: | |
| Doğum Yeri: | |
| Uyruğu: | |
| Adres: | |
| Tel: | |
| E-mail: | |
| Eğitim | |
| Lise: | Kahta Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi |
| Lisans: | Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi |
| Yüksek lisans: | Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı |
| Yabancı Dil Bilgisi | |
| İngilizce: | Orta |
| Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar | |
| | |
| Tezden Üretilmiş Yayınlar | |
| | |