



T.C.

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**KADMİYUMUN BAZI SERİN İKLİM TAHILLARINDA
ÇİMLENME VE MOLEKÜLER DÜZEYDEKİ ETKİLERİ**

Doktora Tezi

Funda KÜYÜK

Çorum - 2024

**KADMIYUMUN BAZI SERİN İKLİM TAHILLARINDA ÇİMLENME VE
MOLEKÜLER DÜZEYDEKİ ETKİLERİ**

Funda KÜYÜK

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı**

Doktora Tezi

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Özlem ÖZBEK

Çorum-2024

Funda Küyük tarafından hazırlanan “Kadmiyumun Bazı Serin İklim Tahıllarında  imlenme ve Moleküler Düzeydeki Etkileri” adlı tez çalışması 02/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri  yeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İrfan ÖZBERK

Prof. Dr. Özlem ÖZBEK

Prof. Dr. Khalid Mahmood KHAVAR

Dr. Öğr. Üyesi Aslı KARA

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZMEN YAYLACI

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile Funda KÜYÜK' n Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim dalında doktora derecesi alması onanmıştır.

(İmza)

Prof. Dr. Muhammed Asıf YOLDAŐ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Funda KÜYÜK



Kadmiyumun Bazı Serin İklim Tahıllarında Çimlenme ve Moleküler Düzeydeki Etkileri

Funda KÜYÜK

ORCID:000-0003-4907-1902

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Doktora Tezi

Nisan 2024

ÖZET

Bu çalışmada, bazı serin iklim tahıllarının tohumlarının çimlenmesinde 3 farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) uygulanan kadmiyum ağır metal stresinin tohumların çimlenme fizyolojisindeki etkilerinin araştırılması hedeflendi. Bunu belirlemek için kadmiyumun bitkilerin çimlenebilen tohumlarının morfolojik özellikleri ve DNA'ları üzerindeki etkileri analiz edildi. Çalışmada ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.), makarnalık buğday [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. *durum* (Desf.) Mackey], arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi ve atasal buğday türlerinden [*Triticum monococcum* L. ssp. *Monococcum* (Siyez), *Triticum turgidum* L. ssp. *dicoccon* (Schrank) Thell. (Gernik) ve *Triticum spelta* L. (Dinkel)] üçer adet analiz edildi. Çimlenebilen tohumlarda morfolojik özellik olarak kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları kullanıldı. Elde edilen bulgulara göre, tüm molarite ve çeşitlerde çimlenme yüzdelerine göre en yüksek oranlar Golia, Kızıltan 91, Aida ve Dinkel'de gözlemlendi. Stres tolerans indeksi (STİ) değerlerine göre yüksek tolerans gösteren çeşitler Bayraktar, Çıfıklı, Ovidio, Çeşit 1252, İnce 04, Aida ve Gernik olarak öne çıkmaktadır. Morfometrik verilerde gözlenen varyansın iki yönlü ANOVA sonuçlarına göre çalışmada uygulanan dozların etkisinin çok büyük olduğunu ancak çeşitlerin etkisinin dozlara göre daha düşük olmakla beraber etkilerinin büyük olduğunu gösterdi. Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) sonuçlarına göre bitkilerde kadmiyum birikiminin yüzde olarak sürgünlere göre köklerde daha fazla olduğu gözlemlendi. Moleküler analizler için kullanılan 5 İnter Simple Sequence Repeat (ISSR) primeri toplam 92 polimorfik lokus ve toplam 13179 adet bant üretti. ISSR moleküler belirteçleri ile kadmiyumun kontrol grubuna göre deney gruplarının tümünde DNA üzerinde değişikliklere neden olduğu tespit edildi. ISSR PCR verilerine göre hesaplanan genetik uzaklık verilerine göre aritmetik ortalamalı ağırlıksız çift grup yöntemi (UPGMA) kullanılarak oluşturulan dendrogram çalışmada kullanılan buğday ve arpaların filogenetik ilişkilerini açık bir şekilde göstermektedir. Düşük konsantrasyonlarda bile olsa kadmiyumun bir ağır metal olarak insan ve diğer canlıların

sağlığını uzun vadede olumsuz şekilde etkileyebileceğinden besin zincirine katılmasının önüne geçilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gereklidir. Sonuç olarak bitkilerin tohumlarının çimlenme fizyolojileri, kök ve sürgünlerin büyüme ve gelişmesinde kadmiyumun molaritesinin arttıkça ağır metal stresinin de arttığı ve olumsuz yönde etkilediği, çeşitlerin de genotiplerinin ağır metal stresine göre farklı düzeylerde cevap verdiği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Buğday, Arpa, Ağır metal stresi, ISSR, Genetik çeşitlilik.

Bilim Kodu: 20610



Effects of Cadmium on Germination and Molecular Level in Some Cool Climate Cereals

Funda KÜYÜK

ORCID: 000-0003-4907-1902

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Doctor of Philosophy Thesis

April 2024

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the effects of cadmium heavy metal stress applied at 3 different molarity (1 mM, 2 mM and 3 mM) on the germination physiology of the seeds of some cool climate cereals. To determine this, the effects of cadmium on the morphological characteristics and DNA of the germinating seeds of the plants were analyzed. In the study, bread wheat (*Triticum aestivum* L.), durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. *durum* (Desf.) Mackey], barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties, and the wheat landraces [*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum* (Einkorn), *Triticum turgidum* L. ssp. *dicoccon* (Schrank) Thell. (Gernik) and *Triticum spelta* L. (Dinkel)] were analyzed three times each. The number of roots, root, and shoot lengths were used as morphological characteristics in germinable seeds. According to the results, the highest rates in terms of germination percentages in all molarity and varieties were observed in Golia, Kızıltan 91, Aida, and Dinkel varieties. According to the stress tolerance index (STI) values, Bayraktar, Çıfçıklı, Ovidio, Çeşit 1252, İnce 04, Aida and Gernik stand out as with high tolerance. According to the two-way ANOVA results of the variance observed in the morphometric data, it was shown that the effect of the doses applied in the study was very large, but although the effect of the varieties was lower than the doses, their effects were also greater. The atomic absorption spectroscopy (AAS) results displayed that the percentage of cadmium accumulation in plants was higher in the roots than in the shoots. The five Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) primers used for molecular analyzes produced 92 polymorphic loci and 13179 bands. ISSR molecular markers determined the changes on the DNA in all experimental groups compared to the control group. The dendrogram constructed using the unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) based on the genetic distance calculated according to ISSR PCR data clearly displayed

the phylogenetic relationships of wheat and barley used in the study. Since cadmium, as a heavy metal, can negatively affect the health of humans and other living things in the long term, even at low concentrations, necessary precautions should be taken to prevent it from entering the food chain. As a conclusion, it was concluded that as the molarity of cadmium increases, heavy metal stress increases and negatively affects the germination physiology of the seeds of plants, the growth and development of roots and shoots, and that the genotypes of varieties respond to heavy metal stress at different levels.

Key Words: Wheat, Barley, Heavy metal stress, ISSR, Genetic diversity.

Science Code: 20610



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca engin bilgilerinden faydalandığım, desteğini ve emeğini bir an olsun esirgemeyen, sadece eğitimime değil tüm hayatıma ışık tutarak yolumu aydınlatan ve bu yolda her zaman yanımda olan çok kıymetli hocam Prof.Dr. Özlem ÖZBEK'e hoşgörüsü ve her türlü anlayışı için tüm içtenliğimle teşekkürü bir borç bilirim.

Tez İzleme Komitesinde bulunan, tavsiye ve tecrübeleriyle tezime yön vermemde çokça emeği geçen kıymetli hocalarım Prof. Dr. İrfan ÖZBERK ve Dr. Öğr. Üyesi Aslı KARA'ya teşekkür ederim. Tez çalışmamda kullandığım materyallerin tarafıma teminini sağlayan Sn. Ömer Güney, Sn. Nuri NAKİPOğLU ve Doç. Dr. Hasan EKİZ hocama teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarımnda destekleriye hep yanımda olan Uzm. Biyolog Sibel KEREM'e teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman sevgi ve şefkatle yanımda olan, yükümü hafifleten sevgili eşim Mustafa KÜYÜK'e teşekkür ederim. Hayatımın en kıymetlileri, sevgileri ve varlıklarıyla yaşama sevincim olan yavrularım Egemen ve Kıvanç KÜYÜK'e teşekkür ederim. Desteklerini hep yanımda hissettiğim ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Funda KÜYÜK

Bu tez çalışmasına, FEF19001.20.006 numaralı “Kadmiyumun durum buğday (*Triticum turgidum* ssp. durum convar. Mackey.) tohumlarının çimlenmesi ve gelişmekte olan embriyolarının DNA'ları üzerindeki etkilerinin araştırılması” ve FEF19004.23.001 numaralı “Kadmiyumun Serin İklim Tahıllarında Çimlenme Özellikleri Üzerinde ve Moleküler Düzeydeki Etkileri” numaralı projeler kapsamında vermiş oldukları desteklerden dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVII
RESİMLER DİZİNİ.....	XVIII
SİMGE VE KISALTMALAR	XXI
GİRİŞ.....	1

1.BÖLÜM

LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	8
1.1. Buğday ve Arpa Hakkında Genel Bilgiler.....	8
1.1.1 Buğdayın tarihi ve evrimi	8
1.1.2. Arpanın tarihi ve evrimi.....	13
1.1.3. Dünyada yıllara göre buğday ekim alanı	14
1.1.4. Dünyada yıllara göre buğday üretim miktarı	15
1.1.5. Dünyada yıllara göre arpa ekim alanı.....	15
1.1.6. Türkiye’de yıllara göre buğday ekim alanı, üretim ve verim.....	16
1.1.7. Dünyada yıllara göre arpa üretimi.....	17
1.1.8. Türkiye’de yıllara göre arpa ekim alanı üretim ve verim.....	17
1.2. Bitkilerin Çimlenme Özellikleri ve Fizyolojisi	18
1.3. Kadmiyum Ağır Metalinin Genel Özellikleri.....	18
1.3.1. Kadmiyum Ağır Metalinin Bitkilere Taşınma ve Depolanma Biçimi.....	19
1.3.2. Kadmiyumun bitkiler üzerine etkisi	20
1.4. Moleküler Belirteçler	22
1.4.1. Morfolojik belirteçler.....	22

1.4.2. Biyokimyasal belirteçler	22
1.4.3. DNA Belirteçleri.....	23

2.BÖLÜM

MATERYAL METOT	27
2.1. Bitki Materyali	27
2.2. Çimlendirme Hazırlık Aşamaları.....	27
2.2.1. Sterilizasyon ve vernalizasyon	27
2.2.2. Stres uygulamasında kullanılan kadmiyum ($CdCl_2$) çözeltilerinin hazırlanması.....	28
2.2.3. Farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumun çimlenme üzerindeki etkileri ve uygun molaritelerin belirlenmesi.....	28
2.3. Tohumların 1000 Dane Ağırlıklarının Belirlenmesi	29
2.4.Çimlendirme Aşamaları	29
2.4.1. Yüzde çimlenme oranlarının hesaplanması.....	30
2.4.2. Morfolojik özelliklerin morfometrik analiz yöntemleri	31
2.5. Stres Tolerans İndeksi (STİ) Hesaplama Yöntemi	32
2.6. Spektroskopik Analizler	32
2.6.1. Atomik absorpsiyon spektroskopisi analizleri için materyallerin hazırlanması.....	32
2.6. Moleküler Analizler	33
2.6.1. DNA izolasyonu.....	33
2.6.2. Polimeraz zincir reaksiyonlarının (PZR) hazırlanması.....	34
2.6.3. İstatistiksel analizler.....	36
2.6.4. Popülasyon genetiği analizleri.....	36
2.6.5. Genomik kalıp kararlılığı (%)	37

3.BÖLÜM

BULGULAR.....	38
3.1. Morfolojik Veriler	38
3.1.1. Tohumların 1000 dane ağırlıkları.....	38

3.1.2. Çimlenme oranları (%)	38
3.1.3. Mofolojik özelliklerin morfometrik analizleri.....	41
3.1.4. Stres tolerans indeksi (STİ) verileri	44
3.1.5. Atomik absorpsiyon spektroskopisi analizleri	47
3.1.6. Morfometrik verilerin varyans analizi	56
3.1.7. Spearman's korelasyon analizleri	74
3.2. Moleküler Analizler	75
3.2.1. Genetik çeşitlilik verileri	77
3.2.2. Genomik kalıp kararlılığı (%)	84

4. BÖLÜM

TARTIŞMA	88
SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKÇA	99
EKLER	111

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1.1. Ülkeler itibarıyla dünya buğday ekim alanı.....	15
Tablo 1.2. Dünya buğday üretiminde (bin ton) önemli ülkelerin yıllara göre üretimle ilgili istatistiksel verileri.....	15
Tablo 1.3. Dünya arpa ekim alanlarında (bin ha) yıllara göre önemli ülkelerin istatistiksel verileri.....	16
Tablo 1.4. Türkiye’de 2017-2022 yılları arasında ekmeklik, makarnalık ve diğer buğdaylar ile arpa üretimi ile ilgili istatistiksel veriler.....	16
Tablo 1.5. Dünya arpa üretiminde (bin ton) önemli ülkelerin yıllara göre üretimle ilgili istatistiksel verileri.....	17
Tablo 1.6. Türkiye arpa ekim alanı, üretim ve verimle ilgili istatistiksel veriler.....	17
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan buğday ve arpa çeşitleri, kromozom sayıları, genom bilgileri, Latince tür adları ve temin edilen kişi bilgileri.....	27
Tablo 2.2. Moleküler analizlerde kullanılan primer isimleri ve dizi bilgileri.....	34
Tablo 2.3. Örnek bir PCR termal programı.....	35
Tablo 3.1. Analizlerde kullanılan sertifikalı ekmeklik buğday, makarnalık buğday, arpa çeşitleri ve atalık buğday türlerinin 1000 dane ağırlıkları.....	38
Tablo 3.2. Ekmeklik buğdaylarda çimlenen tohum sayısı, yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri.....	39
Tablo 3.3. Makarnalık buğdaylarda çimlenen tohum sayısı, yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri.....	39
Tablo 3.4. Arpalarda çimlenen tohum sayısı, yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri.....	40
Tablo 3.5. Atalık buğday türlerinde çimlenen tohum sayısı, yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri.....	41
Tablo 3.6. Tüm sertifikalı ekmeklik buğday çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri.....	41
Tablo 3.7. Tüm sertifikalı makarnalık buğday çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri.....	42
Tablo 3.8. Tüm arpa çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri.....	43
Tablo 3.9. Tüm atalık buğday türlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri.....	44
Tablo 3.10. Tüm sertifikalı ekmeklik buğday çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeks değerleri	44

Tablo 3.11. Tüm sertifikalı makarnalık buğday çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeks değerleri.....	45
Tablo 3.12. Tüm sertifikalı arpa çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeks değerleri.....	46
Tablo 3.13. Tüm atalık buğday türlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeks değerleri.....	47
Tablo 3.14. Ekmeklik buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	48
Tablo 3.15. Ekmeklik buğdaylarda hidroliz (H ₂ O ₂ :HNO ₃) işleminden sonra AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	49
Tablo 3.16. Makarnalık buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	50
Tablo 3.17. Makarnalık buğdaylarda hidroliz (H ₂ O ₂ +HNO ₃) işleminden sonra AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	51
Tablo 3.18. Arpalarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	52
Tablo 3.19. Arpalarda hidroliz (H ₂ O ₂ + HNO ₃) işleminden sonra AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	53
Tablo 3.20. Atalık buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl ₂ miktarı.....	54
Tablo 3.21. Atalık buğdaylarda hidroliz (H ₂ O ₂ +HNO ₃) işleminden sonra AAS adsorbans sonuçları.....	55
Tablo 3.22. Çimlenme oranlarının çalışmada kullanılan çeşitler, dozlar ve çeşit ile dozun ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA verileri.....	56
Tablo 3.23. Çimlenme oranlarında dozlara göre gözlenen varyansın kaynağının <i>post hoc</i> testi Tukey HSD'ye göre değerleri.....	57
Tablo 3.24. Çeşitlerde kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyuma göre çimlenme oranlarında gözlenen majinal ortalamalar.....	57
Tablo 3.25. Uygulanan dozlara ait bireysel varyans analizine göre ortalama çimlenme değerleri ve oluşan gruplar.....	58
Tablo 3.26. Kök sayısı için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları.....	59
Tablo 3.27. Kök sayısına göre iki yönlü ANOVA testinin Tukey HSD <i>post hoc</i> testi değeri.....	60
Tablo 3.28. Çeşitlerin kök sayısı bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök sayısı değerleri ve oluşan gruplar.....	63
Tablo 3.29. Kök uzunluğu için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları	63

Tablo 3.30. Kök uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD <i>post hoc</i> testi değerleri.....	64
Tablo 3.31. Çeşitlerin kök uzunluğu bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar.....	67
Tablo 3.32. Sürgün uzunluğu için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA verileri.....	68
Tablo 3.33. Sürgün uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD <i>post hoc</i> testi.....	69
Tablo 3.34. Çeşitlerin sürgün uzunluğu bireysel varyans analizlerine göre ortalama sürgün uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar.....	72
Tablo 3.35. Stres tolerans indeksi için çalışmada kullanılan çeşitler ve doz tekerrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları.....	73
Tablo 3.36. Stres tolerans indeks verilerine göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD <i>post hoc</i> testi değerleri.....	73
Tablo 3.37. Dozların STİ bireysel varyans analizlerine göre ortalama STİ değerleri ve oluşan gruplar.....	74
Tablo 3.38. Yaş kök ve sürgünlerin EDTA ile yıkanmış çözeltilerinde, kurutulmuş kök ve sürgünlerin asitle hidrolizi sonucu elde edilen çözeltilerindeki kadmiyum miktarları ile kök ve sürgünlerdeki stres tolerans indeksleri ve morfometrik veriler arasındaki Spearman korelasyon katsayıları.....	75
Tablo 3.39. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinde ISSR analizlerine göre alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri.....	77
Tablo 3.40. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre lokus düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri.....	78
Tablo 3.41. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre popülasyon düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri.....	79
Tablo 3.42. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR moleküler belirteçlerine göre hesaplanan genetik uzaklık verileri.....	81
Tablo 3.43. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin tohumlarına farklı molaritelerde (1 mM, 2 mM ve 3 mM) uygulanan kadmiyumun gelişen embriyo eksenlerinin DNA'ları üzerinde meydana getirdiği	

değişikliklerin ISSR moleküler belirteçlerine göre lokus düzeyinde gösterdikleri genetik çeşitlilik verileri.....82

Tablo 3.44. Kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyumdan sonra gelişen kök ve sürgün DNA'ları üzerinde beş ISSR primeri ile yapılan PCR sonuçlarına göre hesaplanan genomik kararlılık değerleri.....84



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Buğdayın evrimsel soyağacı.....	12
Şekil 1.2. Arpanın orijini.....	14
Şekil 3.1. Kök ve sürgünlerde depolanan CdCl ₂ yüzde (%) oranları.....	55
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan çeşitlerin dozlara göre çimlenme oranlarını gösteren grafik.....	58
Şekil 3.3. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasındaki filogenetik ilişkileri açıklayan ISSR analizlerine göre oluşturulmuş dendrogram.....	81
Şekil 3.4. Ekmeklik buğdaylarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.....	85
Şekil 3.5. Makarnalık buğdaylarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.....	85
Şekil 3.6. Atasal buğday türlerinde molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.....	86
Şekil 3.7. Arpalarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.....	86
Şekil 3.8. Kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyumdan sonra gelişen kök ve sürgün DNA'ları üzerinde beş ISSR primeri ile yapılan PCR sonuçlarına göre hesaplanan genomik kararlılık yüzdelerini gösteren grafik.....	87

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Farlı molaritelerde CdCl ₂ uygulanması sonucunda fide ve kök gelişimleri.....	29
Resim 2.2. Çimlendirme için hazırlanan tohumların petri kaplarına yerleştirilmesi.....	29
Resim 2.3. Manyetik karıştırıcıda tohumların çalkalanması işlemi.....	30
Resim 2.4. Çimlendirme için a) +4 °C'ta vernalizasyon, b) +23 °C'ta inkübasyon aşamalarının görüntüleri.....	30
Resim 2.5. Ekmeklik buğday çeşitlerine ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.....	31
Resim 2.6. Makarnalık buğday çeşitlerine ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.....	31
Resim 2.7. Atasal türlere ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri	31
Resim 2.8. Arpa çeşitlerine ait ölçüm görüntüleri.....	32
Resim 2.9. a. Çeker ocak içinde asit ile hidroliz işlemi için örneklerin hazırlanması b. Su banyosunda hidroliz işlemleri.....	33
Resim 2.10. Genomik DNA agaroz jel görüntüsü.....	34
Resim 2.11. UBC 827 primeri ile Kızıltan 91 örneklerinde gerçekleştirilen PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	35
Resim 3.1. Çeşit 1252 çeşidine ait UBC 817 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	75
Resim 3.2. Emon çeşidine ait UBC 817 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	76
Resim 3.3. Bayraktar çeşidine ait UBC 818 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	76
Resim 3.4. Siyez buğdayına ait UBC 817 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	77
Resim 3.5. UBC 827 ISSR primeri ile Çeşit 1252 makarnalık buğday çeşidinde kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM kadmiyum uygulanan bitkilerin DNA'ları üzerinde yapılan ISSR-PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	83
Resim 3.6. UBC 818 ISSR primeri ile Emon arpa çeşidinde kontrol, 1 mM, 2 mM ve 3 mM kadmiyum uygulanan bitkilerin DNA'ları üzerinde yapılan ISSR-PCR'ın agaroz jel görüntüsü.....	83
Resim Ek-1.1. 1. Protokol vernalizasyon sonrası tohumlara ait görüntü.....	111
Resim Ek-1.2. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 1. gün görüntüsü.....	111
Resim Ek-1.3. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 2. gün görüntüsü.....	111
Resim Ek-1.4. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 3. gün görüntüsü.....	111

Resim Ek-1.5. 2. Protokol 1. Grup, tohumlar dahil tüm ekipmanın steril olmadığı koşullara ait görüntüler.....	112
Resim Ek-1.6. 2. Protokol 2. Grup, tüm ekipmanın steril olup, tohumların steril olmayan çeşme suyu ile yıkandığı koşullar ait görüntü.....	112
Resim Ek-1.7. 3. Protokol 1. Grupta kontrol grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.8. 3. Protokol 1. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.9. 3. Protokol 1. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.10. 3. Protokol 1. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.11. 3. Protokol 2. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.12. 3. Protokol 2. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.13. 3. Protokol 2. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.14. 3. Protokol 2. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	113
Resim Ek-1.15. 3. Protokol 3. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.16. 3. Protokol 3. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.17. 3. Protokol 3. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.18. 3. Protokol 3. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.19. 3. Protokol 4. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.20. 3. Protokol 4. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.21. 3. Protokol 4. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.22. 3. Protokol 4. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	114
Resim Ek-1.23. 4. Protokol 1. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.....	115
Resim Ek-1.24. 4. Protokol 1. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	115
Resim Ek-1.25. 4. Protokol 1. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	115
Resim Ek-1.26. 4. Protokol 1. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	115
Resim Ek-1.27. 4. Protokol 2. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.....	116
Resim Ek-1.28. 4. Protokol 2. Grup 1 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	116
Resim Ek-1.29. 4. Protokol 2. Grup 2 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	116
Resim Ek-1.30. 4. Protokol 2. Grup 3 mM CdCl ₂ grubuna ait görüntü.....	116

Resim Ek-1.31. 4. Protokol 3. Grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait vernalizasyon yapılan tohum
çimlenme görüntüsü.....**116**

Resim Ek-1.32. 4. Protokol 3. Grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait vernalizasyon yapılmayan tohum
çimlenme görüntüsü.....**116**



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
2	Kare
3	Küp
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
C	Selsiyus
Cd	Kadmiyum
CdCl ₂	Kadmiyum Klorür
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
F	Kritik değer
Fe	Demir
Gst	Polüasyonlar arası genetik farklılaşma
h	Genetik çeşitlilik
ha	Hektar
HCl	Hidroklorik asit
Hs	Popülasyon içinde genetik çeşitlilik
Hg	Civa
Ht	Toplam genetik çeşitlilik
HNO ₃	Nitrik Asit
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
N	Azot
NaClO	Sodyum Hipoklorit
Ni	Nikel
L	Litre
ppm	Parts Per Million
LOX	Lipoksidaz
mM	Milimolar
na	Ortalama alel sayısı
ne	Ortalama etkili alel sayısı

Nm	Popülasyonlar arasında gen akışı
p	Sigma faktörü, İstatistiksel önemlilik
Zn	Çinko

Kısaltmalar

AAS	Atomik absorpsiyon spektroskopisi
ABA	Absisik asit
ACP	Asit fosfataz
CdK	Kadmiyum konsantrasyonu
cm	Santimetre
EKYA	Yaş köklerin EDTA ile yıkanma çözeltisindeki kadmiyum miktarı
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EDTA	Etilen diamin tetraasetik asit
ESYA	Yaş sürgünlerin EDTA ile yıkanma çözeltisindeki kadmiyum miktarı
g	Gram
GTS	Genomic Template Stability, genomik kalıp kararlılığı
HÜBTÜAM	Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi
I	Shannon indeksine göre genetik çeşitlilik
ISSR	İnter simple sequence repeat
LS	Levene istatistikleri
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
MÖ	Milattan önce
MYA	Milion years ago
N	Örnek sayısı
OKS	Ortalama kök sayısı
OKU	Ortalama kök uzunluğu
OSU	Ortalama sürgün uzunluğu
PC	Fitoşelatörler

PL	Polimorfik lokus
SEM	Scanning Electron Microscope
SD	Serbestlik derecesi
SKA	Sürgün kuru ağırlık
SKASTI	Sürgün kuru ağırlık stress tolerans indeksi
ssp	Sub species
SSR	Simple Sequence Repeat
SUSTI	Sürgün uzunluğu stress tolerans indeksi
SYA	Sürgün yaş ağırlık
SYASTI	Sürgün yaş ağırlık stress tolerans indeksi
TİGEM	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
YA	Yaş ağırlık
YKKA	Kurutulmuş köklerin asitle hidrolizi çözeltilisindeki kadmiyum miktarı
YSKA	Kurutulmuş sürgünlerin asitle hidrolizi çözeltilisindeki kadmiyum miktarı

GİRİŞ

Tarla bitkileri dünyada ve ülkemizde çok önemli bir yere sahiptir. Buğday bunların başında gelmektedir. Bununla birlikte ekonomik olarak tarla tarımı içerisinde, sosyal ve kültürel yönden de öneme sahip stratejik bir üründür (Özberk ve Özberk, 2009; Baydar, 2012; Atak, 2017).

Tohum çimlenmesi, bitkilerin yaşam döngüsünde önemli bir başlangıç aşamasını temsil eder. Bu aşamada oluşan gelişim bitkinin besin olarak kullanım aşamasına gelene kadar tüm süreç hakkında ön bilgi oluşturmaktadır (Karakurt ve ark., 2010). Tohum çimlenmesi sırasında erken kritik olaylardan biri, tohum rezervlerinin harekete geçmesidir (hidroliz ve translokasyon). Tohum suyla buluştuğunda içindeki hidroliz enzimleri aktifleşir ve endospermdeki besinleri, karbohidratları, proteinleri ve yağları hidrolize ederek besin rezervlerinin harekete geçirir ve bu enerjinin embriyo tarafından kullanılmasını ve büyümesini sağlar. (Bewley ve Black 1978; Mayer ve Poljakoff-Mayber 1982; Bishnoi ve ark. 1993). Metabolik aktivitedeki eş zamanlı artış, kısmen kuru tohumlarda bulunan enzimlerin su alımına bağlıdır (Şener ve Kaya, 2016).

Endüstrileşmenin sonucu olarak ortaya çıkan ağır metal kirliliği canlılar ve çevreleri için önemli tehlikeler oluşturmaktadır. Ağır metaller kolaylıkla besin zincirine katılabilmektedir ve böylece zincirin son halkası olan canlıların vücudunda birikmektedir. Çalışmalar, tohum kabuğunun metallere karşı ana engel olduğu ve radikül (kökcük) tarafından embriyoların ağır metal bulaşını önlediğini göstermiştir (Kuriakose ve Prasad, 2008).

Ağır metaller çeşitli doğal veya dolaylı olarak çevreye yayılıp birikme özelliğine sahiptirler. Doğada kalıcı olmaları, çürümemeleri ve basit bileşiklere dönüşmemelerinden dolayı doğada biyolojik döngülere dâhil olmalarına sebep olmaktadır (Ruschioni ve ark, 2013). Kadmiyum canlılar için gerekli olmayan bir ağır metal türüdür ve önemli derecede çevre kirliliğine neden olur. Özellikle endüstriyel işletmelerin bulunduğu alanlarda metal işlenmesiyle ilgili endüstriyel aktiviteler, çimento fabrikaları, kentsel trafik ve fosfatlı gübre ürünlerinden dolayı kadmiyum kirliliği yaygındır (Sanita di Toppi ve Gabrielli, 1999).

Kadmiyum hücresel düzeyde proteinlerin, yağların ve DNA'nın yapısında yapısal değişimlere neden olur. Örneğin proteinlerin yapısında bulunan sülfidril gruplarına bağlanarak proteinin yapısının bozulmasına ve işlevini kaybetmesine neden olur (Hall, 2002). Bunun yanı sıra kadmiyum, serbest radikallerin oluşmasına ve reaktif oksidatif strese de neden olabilir (Risso-de Faverney ve ark., 1998; Cebeci, 2006).

Kadmiyum (Cd), organizmalar tarafından alınabilen, toksik, esansiyel olmayan bir ağır metaldir. Kadmiyum sadece böbreklere zarar vermekle kalmaz; aynı zamanda mineralizasyonu, D vitamini aktivasyonunu ve kalsiyum alımını engelleyerek osteoporozu yakalanma riskini de artırır. Sigara içenler ve yüksek konsantrasyonlarda Cd'a maruz kalan diğer gruplar dışında Cd hasarı riski her zaman ihmal edilebilir düzeyde kabul edilmiştir. Ancak bu risk yakın zamanda yeniden değerlendirilmiş ve artık Cd'un çok düşük konsantrasyonlarda

bile hasara yol açtığına dair görüşler bulunmaktadır (Jarup ve ark., 1998). Cd'un ana kaynağı, başta tahıllar olmak üzere gıda alımıdır. Bu nedenle gıda üretimine yönelik tahıllarda, özellikle de en sık tüketilen tahıllardan biri olan buğdayda Cd birikiminin azaltılması gerekmektedir (Stolt ve ark., 2003)

Sorrentino ve ark. (2017) kadmiyum (Cd) ve kurşunun (Pb) genotoksik etkisi, ilk kez *Sphagnum palustre* yosununda ISSR moleküler belirteçleri kullanılarak araştırmıştır. Araştırmacılar 12 primer ile toplam 169 tekrarlanabilir bant (lokus) elde etti. Bunlardan on tanesi polimorfizmler vererek (birden fazla alele sahip, yani var/yok) metallerin neden olduğu açık bir genotoksik etkiyi işaret ettiğini gösterdiler. Her iki metal de doza bağlı bir şekilde genom şablonu stabilitesinde bir azalmaya neden olurken, $>10^{-5}$ Cd konsantrasyonu aynı zamanda *Sphagnum palustre*'de genel bir toksik etki oluşturmuş, klorofil bozulmasına ve yosun ölümüne yol açmıştır. Ayrıca, ağır metallerin hücrelere girip girmediğini görmek için SEM-EDX ile yosun dokusuna verilen ağır metallerin akıbetini takip ettiler. İki metalin aynı molarite konsantrasyonları ile muamele edilmiş yosun kültürleri üzerindeki SEM-EDX gözlemleri, Pb'nin çoğunun yosun yüzeyinde parçacıklar halinde çöktüğünü, Cd'un ise parçacıklar halinde toplanmadığını ve yosun yüzeyinde bulunmadığını gösterdiler. Bu bulguların ışığında, Pb'nin muhtemelen Cd'dan daha düşük hücre içi konsantrasyonlarda bile genotoksik etki oluşturduğu sonucuna vardılar.

Yücel (2019) çalışmasında *Lactuca serriola* L., *Silene vulgaris* (Moench) Garcke var. *vulgaris* ve *Lepidium perfoliatum* L. bitkilerine farklı konsantrasyonlarda arsenik, çinko ve kadmiyum ağır metal konsantrasyonlarının tohumlardaki çimlenme oranı, kök ve hipokotil büyümesi üzerindeki etkilerini araştırdı. Sonuçta arseniğin çimlenme, kök ve hipokotil büyümesini engelleyen en toksik metal olduğu gözlemlendi. Kadmiyum ve çinko metallerinin de benzer etki gösterdiğini tespit etti.

Hart ve ark. (1998) durum buğday fidelerinde kadmiyumun bağlanmasını, alımını ve translokasyonunu araştırdılar. Araştırmacılar makarnalık buğdayda aşırı kadmiyum birikiminin fide-kök veya kök-sürgün akış oranları ile ilişkili olmadığı, ancak floem aracılığıyla kadmiyumun tohum tanelerine taşınmasıyla ilişkili olabileceğini rapor ettiler.

Kuriakose ve Prasad (2008) kadmiyum toksisitesinin *Sorghum bicolor* (L.) Moench'un tohum çimlenmesi ve asit fosfatazlar (ACP'ler), proteazlar ve α -amilazlar gibi enzimlerinin hidroliz faaliyetleri üzerine etkilerini araştırdılar. Embriyonik eksenler ve tohumlar tarafından metal alımını ölçtüler ve sorgumun 0,5 mM'a kadar kadmiyumu tolere edebildiğini gözlemladiler. Uygulanan molariteler arasında 3,0 mM'nin üzerindeki konsantrasyonlarda tohum çimlenmesinin olumsuz etkilendiğini ve fide büyümesinin tamamen kesildiğini ifade ettiler. Araştırmacılar sorgumun önemli bir kurak alan bitkisi olduğunu ve bu nedenle onun agro-ekosistemlerindeki kadmiyum varlığına karşı tepkisinin tohum çimlenmesi ve fide büyümesi sırasında kadmiyum kaynaklı fitotoksositeye karşı kritik şekilde araştırılması gerektiğini vurguladılar.

Durum buğdayı, keten, ayçiçeği ve patates gibi bitkiler çok az düzeyde kadmiyum kirliliği olan topraklardan Cd alabilirler ve bu oran az düzeyde olsa bile insanın alabileceği yani tolere edebileceği düzeyin çok üzerindedir (Grant ve ark., 1998). Kanser yapıcı etkisinin yüksek olması (Clemens ve ark., 1999), akciğer ve prostat bezlerinde tümör gelişimini artırıcı etkiye sahip olmasından dolayı çok düşük düzeylerde bile insan sağlığı için tehlikeli olduğu tespit edilmiştir (International Agency of Cancer Research, 1993; Cebeci, 2006).

Yerli ve ark. (2020) derleme makalelerinde ağır metallerin kök uzunluğu üzerindeki olumsuz etkisinin oksidatif hasar sonucunda hücrelerin membran yapılarının bozulması ve kök yüzeyini oluşturan epidermal hücrelerin zarar görmesi sebebiyle bitki kök hücrelerinin bölünme ve çoğalmasının engellenmesinden kaynaklandığını belirttiler.

Amirjani (2012) Cd'un büyüme, oksidatif stres ve antioksidatif enzimler ile erkenci buğday fidelerinin fotosentetik performansı üzerindeki etkilerini, tohum çimlenmesi, fide biyokütlesi, kök uzunluğu ve sürgün boyu, Cd alımı, amilaz aktivitesi ve antioksidatif enzim aktivitelerinin yanı sıra fotosentetik aktiviteler, çözünür protein ve malondialdehit (MDA) konsantrasyonları üzerine etkileri gibi parametreler üzerinden araştırmıştır. Toplam amilolitik, α -amilaz ve β -amilaz aktivitelerinin yüksek Cd konsantrasyonları nedeniyle baskılandığını, MDA içeriğinde ve peroksidaz POD ve süperoksit dismutaz SOD aktivitesinde önemli bir artış gözlemlendiğini, MDA içeriğinin tohum çimlenme sıklığı, biyokütle artışı, kök uzunluğu ve sürgün yüksekliği uzaması ile doğrusal ve pozitif korelasyon gösterdiğini ifade ederken sonuç olarak MDA'nın buğdaydaki Cd toksisitesinin biyolojik bir göstergesi olarak faydalı olabileceğini ifade etmektedir.

Ahmad ve ark. (2012) farklı molaritelerdeki kadmiyum konsantrasyonlarının (0, 5, 20, 50 ve 80 mg L⁻¹) dört buğday çeşidinin (Sehar-06, Fareed-06, İnqlab-91 ve Chakwal-50) tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerindeki etkilerini araştırdılar. Kadmiyumun kök ve sürgünlerin büyümesi üzerinde toksik etkisini 5 mg L⁻¹'de gösterirken, tohum çimlenmesi ve çimlenme enerjisi üzerinde ise 20 mg L⁻¹'de gösterdiğini tespit ettiler. Ayrıca kadmiyum konsantrasyonunun artmasıyla durumun daha da kötüleştiğini belirtmektedirler. Kadmiyumun etkileri olarak 80 mg L⁻¹ Cd uygulamasında kontrole göre kök uzunluğunda (%70,4), sürgün uzunluğunda (%81,2), çimlenme yüzdesinde (%68) ve çimlenme indeksinde (%76,8) şeklinde maksimum azalma olduğunu ve Cv. Sehar-06 çeşidinin Cd ile kirlenmiş topraklarda iyi bir şekilde çimlenebileceği bildirmektedirler.

Shafi ve ark. (2010) tuzluluğun (NaCl) ve kadmiyumun (Cd) tuz toleransı farklı olan farklı buğday çeşitlerinin kök morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırdılar. Cd ve NaCl stresi sürgün ve kök kuru ağırlığını, kök ucu sayısını (yan kökler), toplam kök uzunluğunu, kök ortalama çapını ve toplam kök hacmini engellediğini, tüm çeşitlerin kök morfolojisini olumsuz etkilediğini ve birlikte etkilerinin ise diğerlerinin ayrı ayrı etkilerinden daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Jiang ve ark. (2001) kadmiyum klorürün farklı molaritelerdeki konsantrasyonlarının (10^{-6} – 10^{-2} M) sarımsağın (*Allium sativum* L.) kök, soğan ve sürgün büyümesi üzerindeki etkileri ile sarımsak kökleri, soğanları ve sürgünleri tarafından Cd^{2+} alımını ve birikimini analiz etmişlerdir. Daha düşük konsantrasyonlarda (10^{-6} – 10^{-5} M) kök uzunluğunu indüklerken, daha yüksek konsantrasyonlarda (10^{-3} – 10^{-2} M) sürgünlerin uzamasında azalmaya neden olduğu ve klorozisin gelişmediğini gözlemişlerdir. Sonuç olarak, bitkilerin çiçek soğanlarına ve sürgünlerine çok az miktarda Cd taşıdığı ve bu dokulardaki konsantrasyonların düşük oranlarda gözlendiğini ifade etmişlerdir.

Khan ve ark. (2006) toprakta farklı molaritelerde (0, 25, 50 ve 100 mg Cd kg^{-1}) kadmiyum uygulaması ile beş buğday çeşidinde üç büyüme aşamasındaki büyüme, fotosentez ve verim özelliklerindeki değişimi araştırdılar. Uygulanan en yüksek molaritede (100 mg Cd kg^{-1}) çeşitlerde ve tüm numune dokularında büyüme özelliklerinde maksimum önemli azalmalar olduğunu, en toleranslı ve en duyarlı çeşitler sırasıyla PBW343 ve WH542 olarak tespit edildiğini rapor etmişlerdir.

Bouziani ve ark. (2019) 0 ila 200 $mgL^{-1}Cd^{+2}$ aralığındaki kadmiyum konsantrasyonunun, iki çeşit ekmeklik buğday Anza ve Hiddab'ın çimlenme parametreleri üzerindeki etkilerini analiz ettiler. Sonuçlar çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu, kök ve sürgün kuru ağırlığı ve tolerans indeksindeki Cd miktarındaki artışa bağlı olarak fitotoksitenin, incelenen her iki çeşit için de kontrole göre arttığını, bununla birlikte Anza çeşidiyle karşılaştırıldığında Hiddab çeşidinin daha fazla hassasiyet gösterdiğini tespit ettiler. Kadmiyumun çimlenme aşamasını engelleyici etkisi bitki döngüsünün ileri aşamalarında da devam edebileceği ve fizyolojik yönlerini bozabileceği sonucuna vardılar.

Qiaoa ve ark. (2019) buğdayda Cd toksisitesinin etkisini ve moleküler mekanizmalarını araştırmak için diploid buğdayı (*Triticum urartu*) kullandılar. Cd uygulamasından (10 μM $CdSO_4$) sonra fidelerinin fizyolojik indeksleri, morfolojisi ve gen ekspresyon modellerini değerlendirdiklerinde sürgün ve köklerde prolin ve glutatyon içeriğinde artış, yaprak uçlarında hafif hasar, kök uçlarında ciddi hasar ve kök salgılarında artış olduğunu gözlemlediler. Kyoto Genler ve Genomlar Ansiklopedisi (KEGG) analizi, Cd uygulaması altında zenginleşen yolların "DNA replikasyonu" ve "fenilpropanoid biyosentezi" olduğunu belirttiler. Araştırmacılar diploid buğdayda genom (AA) hexaploid buğdaya (AABBDD) göre daha basit olduğundan bu çalışma ile elde edilen verilerin buğdayda Cd stresi konusunda bilgi sağlayacağını ve Cd toksisitesinin azaltılması ve gıda güvenliğinin korunması için de teorik bir temel sağlayacağı ifade etmişlerdir.

Demirel (2020) çalışmasında 14 siyez buğdayının (*Triticum monococcum* L.) 7 adet ISSR primeri ile genetik ilişkilerini analiz etmiştir. Araştırma sonucunda 68 polimorfik bant elde ederek %97,5'lik polimorfizm oranı bulmuştur. Genetik çeşitlilik (H) değerini 0,38 ile 0,50 arasında ve ortalama 0,45 olarak tespit etmiştir. Polimorfizm bilgi içeriği (PIC) 0,30 ile 0,37 arasında olup, ortalama 0,34 olarak saptamıştır. Ortalama Jaccard benzerlik değerini

hesaplamış ve sonucu 0,45 olarak tespit etmiştir. Dendogram sonucuna göre genotipler iki kümede gruplandığını ve PCoA grafiğinde dört alt kümeye ayrıldığını belirlemiştir. Genetik varyasyonun belirlenmesi ve filogenetik ilişkilerin karakterize edilmesinde ISSR markörlerinden yararlanılabileceği sonucuna varmıştır.

Zommita ve ark. (2023) Bolu ve Kastamonu tarım alanlarında yetiştirilen 48 adet siyez (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) yerel çeşidinde genetik çeşitliliği araştırdılar. Morfolojik özelliklerdeki varyasyonu yaprak ağırlığı (mg), koleoptil uzunluğu (cm), kök sayısı (n), kök uzunluğu (cm), taze kök ağırlığı (mg) ve kuru kök ağırlığı (mg) gibi agro-morfolojik özelliklerdeki kullanarak ANOVA ve temel bileşenler analizi ile incelediler. En yüksek varyasyon katsayısı (%) taze kök ağırlığında (FRW = %52,09), en düşük ise yaprak ağırlığında (LW = %8,9) gözlemlenmiştir. Moleküler karakterizasyonu ISSR primerleri ile analiz ettiler. PopGene sonuçlarına göre ortalama alel sayısı, ortalama etkili alel sayısı ve ortalama genetik çeşitlilik değerleri sırasıyla $n_a = 2$, $n_{ea} = 1,33$ ve $h = 0,13$ olarak hesapladıklarını rapor ettiler. Agro-morfolojik özellikler arasında çimlenme gücü, kök sayısı ve koleoptil uzunluğu güvenilir özellikler olduğunu belirlediler. Sonuçlar, popülasyonlardaki genetik çeşitlilik için morfolojik karakterlerin tek başına kullanılmasının, popülasyonlar arasındaki farklılıkların ve genetik yapılarının belirlenmesinde yeterli olmadığını göstermektedir.

Özbek ve Zencirci (2021) Bolu ve Kastamonu illerinde çiftçi tarlalarından toplanan altı siyez (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) yerel çeşit popülasyonunu ve iki ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) popülasyonunu, 12 basit dizi tekrarları arası (ISSR) primerini kullanarak genetik çeşitlilik açısından karakterize etmişlerdir. ISSR primerlerinin, 238'i (%96,36) polimorfik ve 9'u monomorfik (%3,64) olmak üzere toplam 247 lokus ürettiğini ve ortalama alel sayısı, etkili alel ve genetik çeşitlilik değerlerini sırasıyla 2, 1.3 ve 0.2 olarak gözlediklerini rapor etmişlerdir. Türler göre *Triticum monococcum*'da 233 (%93,93) polimorfik lokus bulunurken, *Triticum aestivum*'da 123 (%49,80) polimorfik lokus bulmuşlardır. Genetik çeşitlilik *T. monococcum*'da $h = 0,20$, *Triticum aestivum*'da ise $h = 0,14$ olarak gözlemlendi. Aritmetik ortalama yöntemi ile ağırlıklandırılmamış çift grup yöntemi kullanılarak genetik uzaklık değerlerine göre oluşturulmuş bir dendrogramda *Triticum aestivum* ve *Triticum monococcum* popülasyonlarının farklı gruplar halinde kümelendiğini gözlemlenmiştir. ISSR belirteçleri, türler içindeki ve arasındaki genetik çeşitliliği ve popülasyon yapısını belirlemede başarılı olduğunu bildirmektedirler. Nesli tükenme riski altında olan *Triticum monococcum*'un genetik kaynak olarak *ex situ* korumayla korunmasının yanı sıra tarlada yetiştiği ortamda koruma yoluyla yerel çiftçiler tarafından yetiştirilmeye de devam edilmesi gerektiğini ve bu sayede dinamik evrim sürecinin devam edeceğini ve mevcut ekolojik koşullarla genetik olarak uyumlu hale geleceğini önermektedirler.

Golea ve ark. (2023) çalışmalarında Romanya'da yetiştirilen 31 buğday çeşidini hem fizyokimyasal hem de ISSR belirteçleri ile genetik çeşitlilik bakımından analiz etmişlerdir. Bunların yirmi beşi *Triticum aestivum* L., ikisi *Triticum monococcum* L. ve dördü *Triticum spelta*

L. buğday gruplarından oluşmaktadır. Elde edilen veriler benzerlik katsayıları dikkate alınarak NTSYSpC yazılımı kullanılarak benzerlik (Jaccard) ve farklılık (Neighbor joining) bakımından analiz etmişlerdir. Jaccard katsayıları 0,53 ile 1 arasında değiştiğini ve bu sonucun tüm buğday çeşitlerinin yüksek genetik çeşitlilik özelliğini yansıttığını rapor etmişlerdir.

Nazarzadeh ve ark (2020) çalışmalarında İran'a ait ekmeklik buğday genotiplerinin genetik çeşitlilik düzeyini RAPD ve ISSR belirteçleri kullanılarak araştırmışlar. 17 RAPD primeri ve 16 ISSR primeri sırasıyla 86 (86/99 = %86,86) ve 56 (56/64= %57,5) polimorfik bant oluşturduğu görülmüş. UPGMA'ya dayalı küme analizi ve NTSYSpC 2.02 yazılımı kullanılarak çizdikleri dendrogramda üç ana küme ortaya çıkmıştır. En yüksek genetik mesafe CD-89-2 ve CD-89-7 genotipleri arasında, minimum genetik mesafe ise CD-89-2 ve CD-89-3 genotipleri arasında bulunmuş. Nei'nin genetik mesafe matrisine göre ortalama etkili bant sayısı, Shannon indeksi ve polimorfizm içeriği sırasıyla 1,381, 0,332 ve % 87,12 idi. Sonuçta araştırmacılar RAPD ve ISSR analizlerinin, *Triticum aestivum* genotipleri arasındaki genetik çeşitliliği ve ilişkileri incelemek için uygun yöntemler olduğunu önermişlerdir.

Etminan ve ark. (2016) çalışmalarında 25 ıslah hattı ve 18 yerel türdeki durum buğdayı germplazmasının mini çekirdekli bir koleksiyonundaki genetik varyasyonu 15 adet ISSR ve 6 adet Start codon targeted (SCoT) moleküler markör kullanılarak değerlendirdi. Yüksek düzeyde polimorfizm gözlemlendi (%98,70 ISSR ve %100 SCoT). Bu belirteçlerin koleksiyondaki genetik çeşitliliğin saptanması için yararlı araçlar olduğunu gösterdi. Moleküler varyans analizi, genetik varyasyonların büyük kısmının (ISSR ve SCoT için sırasıyla %90 ve %93) genotip seti içerisinde meydana geldiğini gösterdi. Genetik parametrelere dayalı olarak ıslah hatları ve yerel çeşitlerin genetik varyasyonunun karşılaştırılmasında kullanılan parametrelerde [etkili alel sayısının (Ne), Nei gen çeşitliliğinin (He) ve Shannon indeksinin (I)] yerel çeşitlerde genetik çeşitliliğin ıslah hatlarından daha yüksek olduğunu gösterdi. Sonuç olarak, durum buğdayı mini çekirdek koleksiyonu arasında, özellikle de yerel çeşitler arasında, gelecekteki ıslah programları için ilginç olabilecek yüksek düzeyde genetik çeşitliliği doğrulandığını gösterdiler.

Guasmi ve ark. (2012) Güney Tunus'tan gelen 80 arpa örneğinin genetik çeşitliliğini belirlemek için rastgele çoğaltılmış polimorfik DNA (RAPD) ve basit dizi tekrarı arası (ISSR) moleküler markörlerini kullanmışlar. ISSR primerleri polimorfizm yüzdesi, bant bilgilendiriciliği (Ib) ve çözme gücü (Rp) açısından farklılıklar göstermiştir. Polimorfizm yüzdesi %66,67 olup, ortalama Ib 0,24 ile 0,39 arasında değişirken, Rp 0,74 ile 1,16 arasında değişmektedir. RAPD analizinde üç primer, tamamı polimorfik olan toplam 17 skorlanabilir bant vermiştir. Üç polimorfik primer, ortalama bant bilgilendiriciliği (AvIb) ve çözme gücü (Rp) açısından çeşitlilik sergilemiş ve sonuç olarak RAPD ve ISSR markör sistemlerinin arpa örnekleri arasındaki genetik çeşitlilik açısından faydalı olduğunu göstermişlerdir.

Schützendübel ve Polle (2002) bitkiler farklı stres faktörlerine karşı farklı tepki mekanizmaları geliştirdiğini rapor ettiler. Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı metallerin kimyasal ve

fiziksel özelliklerine bağlı olarak üç farklı moleküler mekanizmayla tepki verdiği ifade etmişlerdir. Bunlar; (a)otoksidasyon yoluyla reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi, (b)biyomoleküllerdeki temel fonksiyonel grupların bloke edilmesi ve (c)temel metal iyonlarının biyomoleküllerden uzaklaştırılması olarak ifade ettiler.

Wierzbicka ve Obidziniska (1998) çimlenme olayı başladığında metallere karşı ana bariyer olan tohum kabuğunun kökçük tarafından parçalanana kadar embriyoların metalle kontaminasyonunu önlediğini bildirmektedir. Metallerin tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri, diğer bitki organları veya dokularıyla karşılaştırıldığında çok çeşitli anatomik formlara bağlı olarak tohum yapısındaki, özellikle tohum kabuğundaki türler arası farklılıklara bağlı olduğunu savunmuşlardır.

Köleli ve Kantar (2005) tarafından ülkemizde fosforlu gübre üretimi yapan 6 fabrikada üretilen fosforlu gübrelerin ve üretimde kullanılan fosforik asit ve fosfat kayasının ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışmalarının sonucunda elde ettikleri verileri Çin ve Japonya'da yürürlükte olan Gübre Metal Standart Değerleri ile karşılaştırmış, toplam 14 gübrenin 10'unda Cd konsantrasyonunun sınır değer olan 8 mg/kg gübre değerinin oldukça üzerinde (2-5 kat), 2'sinde ise bu değere çok yakın (7,5 mg/kg gübre) olarak bulduklarını rapor etmişlerdir. Türkiye'de fosfatlı gübrelerdeki Cd içeriği ile ilgili bir yasal düzenlemenin olmadığını ifade etmişlerdir. Resmi Gazete'de 23.02.2018 yılında yayımlanan 30341 sayılı Tarımda Kullanılacak Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik ikinci bölüm 3. maddede "Fosfor kaynaklarının kadmiyum içermesi ve fosforlu gübrelerde kadmiyum sınır değerinin bulunmaması nedeniyle herhangi bir fosfor kaynağı eklenerek yapılan organomineral gübrelerde kadmiyum ağır metal olarak değerlendirilmez ve bu tür gübrelerin ağır metal analizlerinde kadmiyuma bakılmaz" ibaresi yer almaktadır. Sonuç olarak günümüzde hala yasal bir düzenleme bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, insan ve hayvan beslenmesinde çok büyük öneme sahip olan serin iklim tahıllarından buğday ve arpa tohumlarının çimlenme, kök ve sürgünlerin büyüme ve gelişmesinde kadmiyumun zararlı etkileri vardır ve bu konuda yapılan yeterli çalışma bulunmamaktadır. "Çalışmada neden kadmiyumun araştırılması tercih edildi?" sorusuna şu şekilde cevap verilebilir: Günümüzde sanayi ve endüstrileşmenin yanı sıra yapılan tarımsal faaliyetlerde toprak analizi yapılmaması ve fosfatlı gübre kullanımının yoğun olması tarım alanlarında kadmiyum kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinin kadmiyum stresine karşı tohumların çimlenme fizyolojisinin, çimlenen tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin morfolojik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi ve DNA'ları üzerinde etkisinin olup olmadığının ISSR moleküler belirteçleriyle araştırılması hedeflendi.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR BİLGİLERİ

1.1. Buğday ve Arpa Hakkında Genel Bilgiler

1.1.1 Buğdayın tarihi ve evrimi

Buğday, yaklaşık 10.000 yıl önce keşfedilen en önemli kültür bitkilerinden biridir ve dünya çapında insan beslenmesinde önemli ve birinci sıradaki besin kaynağı olan bir bitkidir. Paleolitik Çağ'da insanlar yabani hayvanları avlıyor ve beslenmek için yabani bitkilerin yapraklarını, meyvelerini, tohumlarını ve köklerini topluyorlardı. İklim koşulları daha ılıman hale gelmiş ve doğal çevredeki bitki çeşitliliği de artmıştı. Geç Paleolitik ve Erken Neolitik Çağlarda insanlar yiyecek olarak yabani emmer buğdayının tohumlarını toplamaya başladılar ve bir kısmını gelecek yılın ekimine bıraktılar. Bitkiler olgunlaştıktan sonra hasat edildiler veya olgunlaşmadan önce hasat edildiler; çünkü yabani emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) buğdayı, tohumların bağımsız bir şekilde dağılmasını ve tohumların toprağa kendiliğinden gömülmesini sağlayan ve böylece ilkel tarımın ilk biçimine yol açan kırılğan bir başağa sahiptir. Bu, Levanten bölgesinde ortaya çıkan ve daha sonra Bereketli Hilal'e, Avrupa'ya ve Afrika'ya yayılan insan yaşam tarzında büyük bir devrimdi. Avcı-toplayıcı yaşam tarzından yerleşik yaşam tarzına geçişin tarımla başladığı düşünülmektedir.

Diyarbakır Çayönü (MÖ 7000), Konya Çatalhöyük (MÖ 6800-5700) ve Burdur Hacılar (MÖ 6750-6500) arkeolojik kalıntılarında kömürleşmiş buğday taneleri, hayvan boynuzlarına takılan silex ile yapılan biçerdöverler, öğütme işlemlerinde kullanılan taşlar (değirmen taşı benzeri) ve tahıl depolama kuyuları bulunmuştur (Kunter, 2011). Bu bulgular, insanların tahıl tanelerini toplayıp öğüttüklerini ve bunları gıda kaynağı olarak depoladıklarını gösteriyor. Büyük ihtimalle öğütülmüş tahıl unlarını yiyecek olarak tüketiyorlardı ya da ekmek benzeri yiyecekleri kül içinde pişiriyorlardı.

Arkeolojik kalıntılara göre MÖ 4000 yıllarında Babil'de insanlar ekmek pişiriyordu. İlk mayalı hamurun eski Mısırlılar tarafından ekmek yapımında kullanıldığı düşünülüyordu. Hatta mayalı hamurdan yapılan ekmeğin ilginç bir efsanesi bile vardır. Bir zamanlar (MÖ 2600 civarında) Eski Mısır'da kölelere ekmek yapma görevi verilmiş ve bir gün köleler uyuyakalmışlar. Ateş sönmüş; hamur sıcak bir ortama bırakıldığı için mayalanıp ekşi maya haline gelmiş. Ekşi maya pişirildiğinde ekmeğin bazlamaya göre daha yumuşak, daha lezzetli ve daha kolay sindirildiğini fark etmişler. Daha sonra fermantasyonla mayalanan ekmeği pişirmeye başladılar. Bu nedenle fermente ekmeğin Mısır ve İsrail'den yayıldığı düşünülmektedir (Kapucu, 2015). Eski Yunanlılar mayalı ekmek yapmayı Mısırlılardan ve Yahudilerden öğrendiler. MÖ 312 yılında Roma'da hükümetlerin kontrolünde olan 254 fırın vardı ve ekmek standartları (ekmek ağırlığı ve fiyatı gibi) mevcuttu. Türkler; mayalanmayan hamurdan pide, ince yufka ekmek, sac ekmeği ve ince pide ekmeği (lavaş) yapmayı biliyorlardı. Halkın göçebe yaşam tarzına sahip olduğu dönemde bu ekmekler uzun ömürlüydü ve taze kalıyordu. Başlangıçta buğday taşların arasında

öğütölüp suyla emölsifiye ediliyor, daha sonra ısıtılmış taşların özerinde veya küle pişiriliyordu (Özberk, 2022).

Dünya özerinde en fazla tüketilen temel enerji ve protein kaynağı buğdaydır. Bunlar; ekmekten makarnaya, baklavadan atıştırmalık gıda endüstrisine kadar birçok ürünü kapsamakla birlikte çok geniş kullanım yelpazesine sahiptir. Ekmeklik buğdaydan kurabiye ve ekmek gibi pek çok ürünün üretiminde kullanılırken makarnalık buğdaydan makarna, kuskus, bulgur ve ev yapımı makarna gibi ürünlerin yapımında yararlanılıyor. Buğdayın stratejik önemi yüksek, geniş adaptasyon yeteneğine sahip ve dünyada sıra dışı alanlarda başarılı olarak yetiştirilebilmesi nedeniyle önümüzdeki yıllarda da en önemli gıda kaynağı olarak kalacağı düşünölmektedir (Özberk ve Özberk, 2009; Güleç ve ark., 2011; Kızılgeçi, 2014; Özberk ve ark., 2016).

Buğdayın taksonomisi ile ilgili ilk çalışma 1753 yılında (Linnaeus, 1753) yayınlanmıştır. Buğday grubu olarak adlandırılan ve *Aegilops* ve *Triticum* cinsleri *Poaceae* familyasından gelmektedir. *Triticum* cinsi, kromozom sayısına göre diploid ($2n=14$), tetraploid ($2n=28$) ve hekzaploid ($2n=42$) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Tetraploid buğdaylar $2n=28$ kromozom olmak üzere *BBAA* genomuna sahiptir. Hekzaploid buğdaylar $2n = 42$ kromozom *AABBDD* genomlarını içermektedir. Kromozom takımlarının her biri ayrı bir yabani buğday türünden gelmektedir (Goncharov ve ark., 2009; Aktaş ve ark., 2018). Bugday 1913' te Schulz (1913) buğdayları;

- 1) Kaplıca grubu (*AA*) (tek taneliler = monococca = diploidea)
- 2) Gernik grubu (*BBAA*) (iki taneliler = dicoccoidea = tetraploidea = makarnalık buğdaylar grubu)
- 3) Spelta grubu (*AABBDD*) (ekmeklik buğdaylar = hexaploidea) olmak üzere 3'e ayırmış, her gruba kendi içinde 'yabani', 'kavuzlu költür formu' ve 'çıplak taneli költür formu' olarak da üçe ayırmıştır. Daha sonra sitogenetik çalışmalar bu genel doğruyu değiştirmemiş ancak alt sınıflara giren tür sayısı artmıştır (Özberk ve Özberk, 2009).

Buğdayın kökeni hakkında farklı araştırma grupları tarafından öne sürölen birçok teori bulunmaktadır. Solms-Laubach (1899), tüm buğdayların ekiminin Orta Asya'da başladığını ve daha sonra batıya doğru göç ettiğini düşünürken Much (1908), başta buğday ve arpa olmak üzere birçok tahılın Avrupa'da yetiştirildiğini ve orada evcilleştirildiğini öne sürdü (Feldman ve Millet, 2001). Körnicke, Kotschy tarafından 1855 yılında Rashayya'da Hermon Dağı'nın kuzey yamacında, 1873 yılında Viyana Ulusal Müzesi'nde bulunan, iki taneli, kırılğan buğdaylı buğdayın başak parçasını gördü. Körnicke, bu bölgede buğdayın iki taneli yabani atası olduğunu iddia etti. Daha sonra bu bölgede onu bulmak için seferler yaptı ancak başarılı olamadı (Özberk 2021). Aaronsohn 1904 yılında bu bölgeye bir sefer yaptı ancak o da bu buğdayı bulamadı. Aaronsohn 1906'da ikinci bir keşif gezisi yaptı ve İsrail'in Doğu Galilee kentindeki Rosh

Pinna'da tek bir bitki buldu. Bundan sonra Aaronsohn bu yabancı buğdayı İsrail'de Hermon Dağı'nda ve Ürdün, Lübnan ve Suriye'deki diğer bölgelerde gördü (Aaronsohn, 1910). Bu büyük keşiften sonra iki taneli yabancı buğdayın (*Triticum dicoccoides*) kültüre alınan buğdayların çoğunun atası olduğu varsayıldı ve bu, sitogenetik yöntemlerle buğdayın kökeninin ve evriminin araştırılmasına olanak sağladı (Feldman ve Millet, 2001).

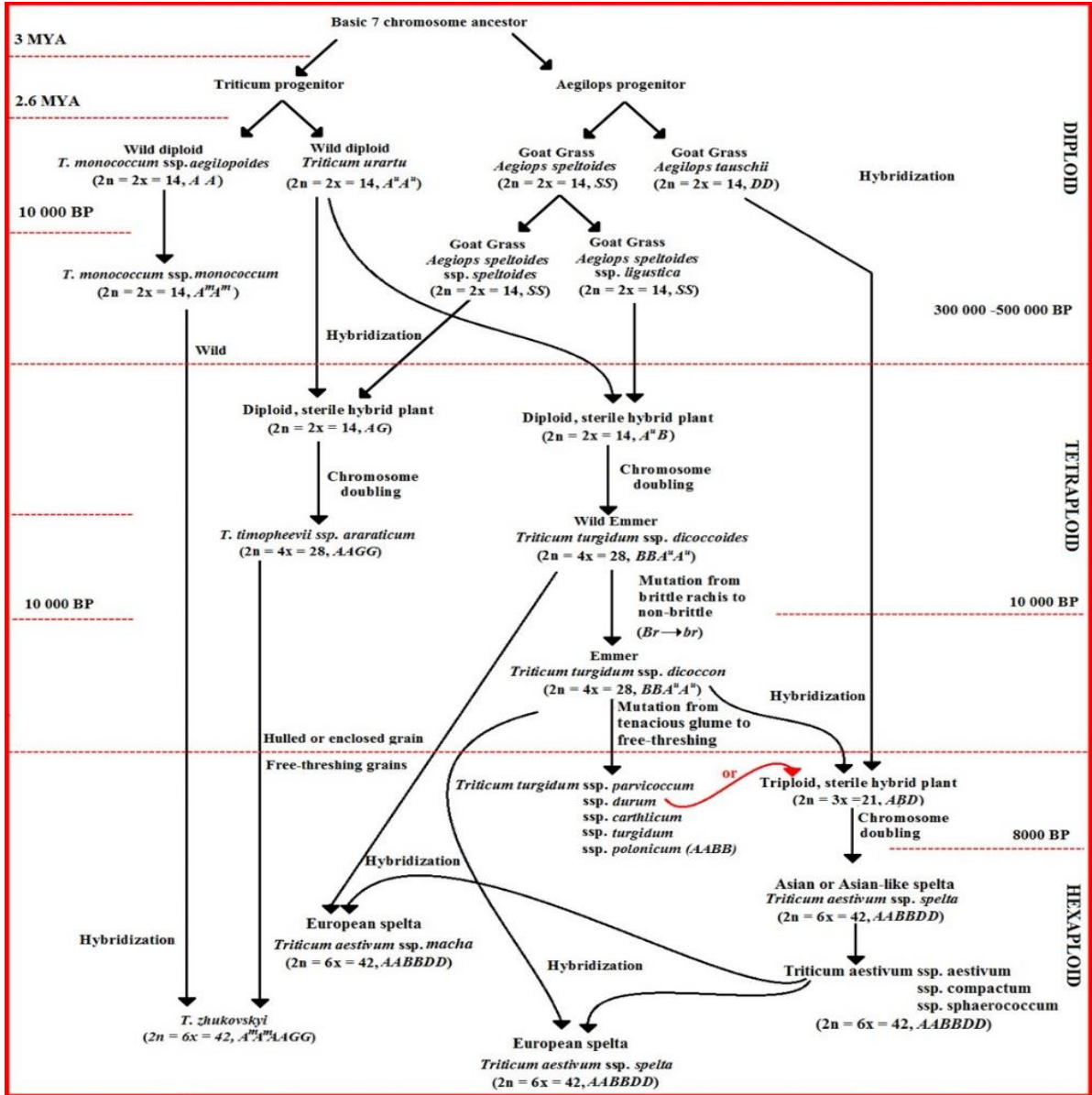
Buğday, 50-70 MYÖ arasında evrimleşen Poaceae (otlar) familyasından 20 milyon yıl önce (MYÖ) ayrılan Pooideae alt familyasına aittir (Peng ve ark., 2011). Triticeae kabilesi atalarından yaklaşık 35 MYÖ civarında ayrılmaya başlamış ve *Triticum* cinsi de atalarından yaklaşık 11 MYÖ civarında ayrılmıştır. *Triticum* ve *Aegilops* taksonları, yaklaşık 3 MYÖ olmak üzere yedi temel kromozom sayısına sahip ortak bir atadan evrimleşmiştir (Gustafson ve ark., 2009; Özbek, 2022).

Bir organizmanın diploid kromozom tamamlayıcısından daha fazlasına sahip olması durumunda, bu duruma poliploidi denir ve bu, buğdayın ve birçok tahıl bitkisinin evriminde temel itici evrimsel güçtür (Stebbins, 1950, 1971). İki tür poliploidi vardır: Farklı genom formüllerine sahip iki tür arasındaki melezleşmeye allopoliploidi denir ve buğdayın evrimi buna güzel bir örnektir. Diğer poliploidi türü, mevcut organizmanın kendi genomunun mayozda tüm kromozomlarının ayrılmaması sonucu genom duplikasyonlarıyla en az üç kopyasına sahip olabileceği tam genom çoğaltmasıdır. Her iki poliploidizasyon türünün bir sonucu olarak ortaya çıkan yeni organizma, homolog kromozomlar arasında çok değerli çiftlere veya otopoliploidide rastgele iki değerli çifte sahip olur (Renny-Byfield ve Wendel, 2014). Poliploidi, poliploid bitki türlerinin genomlarının etkisini tamponlayarak farklı çevre koşullarına uyum sağlamasına katkıda bulunur ve fenotipik farklılık sağlayabilir (Soltis ve ark., 2009).

Triticum cinsinde A genomuna sahip iki yabancı diploid tür vardır: *Triticum monococcum* ssp. *aegilopoides* ($2n = 2x = 14, AA$) ve *Triticum urartu* ($2n = 2x = 14, A^uA^u$), atalarından yaklaşık 2,6 MYA (Şekil 1.1) ayrılmıştır. *Triticum monococcum* ssp. *aegilopoides*'nin kırılğan başak (*Br*) genindeki bir mutasyonun sonucu olarak ortaya çıkan, kırılğan olmayan başaklı (*br*) *Triticum monococcum* ssp. *monococcum* ($2n = 2x = 14, A^mA^m$) hariç tüm bu diploid buğdaylar yabancı tiptir, *Aegilops* cinsinde, sytopsis olarak da adlandırılan altı diploid yabancı buğday bulunmaktadır: *Aegilops tauschii* ($2n = 2x = 14, DD$), *Aegilops bicornis* ($2n = 2x = 14, S^bS^b$), *Aegilops searsii* ($2n = 2x = 14, S^sS^s$), *Aegilops longissimi* ($2n = 2x = 14, S^lS^l$), *Aegilops sharonensis* ($2n = 2x = 14, S^hS^h$) ve *Aegilops speltoides* ($2n = 2x = 14, BB/GG$) (Feldman ve Millet, 2001; Peng ve ark., 2011; Faris, 2014).

Triticum urartu'nun ($2n = 2x = 14, A^uA^u$) sırasıyla *Ae. speltoides* ssp. *speltoides* ($2n = 2x = 14, GG$) ve *Aegilops speltoides* ssp. *ligustica* ($2n = 2x = 14, SS$) ile melezlenmesiyle oluşan ilk tetraploid yabani buğdaylar *Triticum araraticum* ($2n = 4x = 28, A^uA^uGG$) ve *Triticum turgidum* ssp. *dicocoides* ($2n = 4x = 28, BBA^uA^u$), günümüzden yaklaşık 300.000-500.000 yıl önce mevcuttu. Ortaya çıkan melezler, farklı genomların (A ve S/B genom çiftleri, A ve G genom çiftleri) homolog olmayan kromozom çiftlerinin mayoz bölünmelerinde eşleşmediklerinden dolayı büyük ihtimalle kısırıldı. Otopoliploidizasyon yoluyla kromozom ikiye katlama işleminden sonra, yeni verimli yabani emmer buğdayı türleri (*Triticum dicocoides*, $2n = 4x = 28, BBA^uA^u$) ve *Triticum araraticum* ($2n = 4x = 28, A^uA^uGG$) oluştu (Feldman ve Millet, 2001; Faris 2014; Peng ve ark., 2011).

T. dicocum ssp. *dicoccon*'nun ($2n = 4x = 28, BBAA$) sert kavuzunu kontrol eden genlerdeki bir mutasyon olayı, MÖ 7 500-8 000 civarında çıplak tetraploid parvicocum, ssp. *durum* ve ssp. *carthlicum* buğdaylarının evrimine yol açtı. Bereketli Hilal'den dünyanın farklı bölgelerine yayıldıktan sonra *Ae. tauschii*'nin yetiştirme alanına ulaştığında emmer buğdayı (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccon*, $2n = 4x = 28, BBA^uA^u$) ile *Aegilops tauschii* ($2n = 2x = 14, DD$) arasında, kendiliğinden bir melezleşme meydana geldi. Bu hibridizasyon olayı, yaklaşık MÖ 8000'de Asya'da kılçıksız buğday olduğu düşünülen yeni bir buğday türü olan hekzaploid buğdayını (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*, $2n = 6x = 42, AABBDD$) üretti. *Triticum monococum* ssp. *monococum*, başka bir hekzaploid buğday formu olan *Triticum zhukovskyi*'nin ($2n = 6x = 42, A^mA^mAAGG$) A^m genomuna katkıda bulunmuştur; bunun A ve G genomları, *Triticum timophevii*'nin ($2n = 4x = 28, AAGG$) yabani ataları tarafından gelmektedir (Faris, 2014; Feldman ve Millet, 2001; Charme, 2011).



Şekil 1.1. Buğdayın, Faris ve ark. (2014) ve Peng ve ark. (2011)'dan modifiye edilen evrimsel soyağacı (Özbek, 2022)

Diploid buğday türlerinde A, B ve D genomlarından sadece bir tanesi bulunur. Günümüzde yetiştirilen siyez buğdayı diploid olup sadece A genomuna sahiptir. Tetraploid olan *Triticum durum*'da (makarnalık buğday) A ve B genomlarının her ikisi birlikte bulunmaktadır. Bugüne kadar A ve D veya B ve D genomlarını birlikte bulunduran tetraploid buğday türlerine rastlanmamıştır. Hekzaploid olan *Triticum aestivum* L. (ekmeklik buğday) türünde ise A, B ve D genomlarının üçü birlikte bulunmaktadır (Kaya, 2018). Diploid buğdayda genom formülleri *Triticum monococcum* (AA), *Aegilops speltoides* (BB), *Aegilops squarrosa* (DD) şeklinde belirlenmiştir. Tetraploid buğdayların genomu (AABB), Hexaploid buğdayların genomu *T. aestivum* (AABBDD) olarak belirlenmiştir (Kün, 1988; Özbek, 1998; Kesen, 2007; Güleç ve Ark. 2011).

1.1.2. Arpanın tarihi ve evrimi

Triticeae, Poaceae familyasının bir oymağıdır ve yüzlerce akraba türün yanı sıra arpa ve buğdayı da içerir. Poaceae familyası üzerinde yoğun filogenetik çalışmalar yapılmıştır çünkü bunlar ekonomik açıdan önemli çok sayıda tahıl içermektedir ve ağısı bir evrimsel geçmişe sahip oldukları kanıtlanmıştır (Wang ve Sun, 2011). Bitki filogenetiği çalışmaları için önemli model cinslerden biri *Hordeum*'dur çünkü *Hordeum*'un hibridizasyon, poliploidizasyon ve introgresyonu içeren evrimsel geçmişi nedeniyle arpa ekonomik açıdan en önemli tahıllardan biri olarak kabul edilir (Alkhalafi, 2014).

Triticeae'deki *Hordeum* cinsi, temel kromozom sayısı $x=7$ olan 32 tür içerir ve Güney Amerika, Güney Afrika ve kuzey yarımkürede ayrı ayrı dağılmıştır (von Bothmer ve ark., 1995; Blattner, 2006). Morfoloji, türler arası hibritlerde mayotik kromozom eşleşmesi (von Bothmer ve diğerleri, 1986, 1987, 1988), karyotip ve C-bantlama modelleri (Linde-Laursen ve diğerleri, 1992, 1995) ve ayrıca nükleer ve kloroplast DNA dizileri, *Hordeum* türleri arasındaki filogenetik ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılmıştır (Doebly ve ark., 1992; El-Rabey ve diğerleri, 2002; Nishikawa ve diğerleri, 2002; Petersen ve Seberg, 2003; Wang ve Sun, 2011). Kromozom tiplerinin karyotip analizleri ve melezlerin mayotik kromozom eşleştirme çalışmaları (von Bothmer ve ark., 1995; Linde-Laursen ve diğerleri, 1992), *Hordeum* türlerini dört temel genom grubuna sınıflandırmıştır: *H* (*Hordeum bulbosum*; *Hordeum vulgare*), *Xa* (*Hordeum marinum*) ve *Xu* (*Hordeum murinum*) ve *I* (kalan türler). İzoenzim analizi (Jørgensen, 1986), kloroplast DNA'sındaki kısıtlama (restriksiyon) bölgesi varyasyonu (Baum ve Bailey, 1991), tekrarlayan DNA ile kısıtlama fragmanı uzunluğu polimorfizmi (Svitashev ve ark., 1994) ve DNA dizi verileri (Petersen ve Seberg, 2003; Blattner, 2004; Sun ve ark., 2009) dört temel genom grubunu desteklemiştir. En büyük grup, *I* genomlu 14 diploid tür, 7 tetraploid tür, 4 hekzaploid tür ve üç ploidi düzeyinde ($2x$, $4x$, $6x$) mevcut 2 tür içerir. Genom türleri, Orta Asya'dan Amerika kıtasına kadar geniş bir alana dağılmış olmalarına rağmen birçok morfolojik özelliği paylaşır. *Hordeum* diploid türlerinin Güneybatı Asya'dan köken aldığına ve Avrupa ile Orta Asya'ya dağıldığına inanılmaktadır (Blattner, 2006; Alkhalafi, 2014).

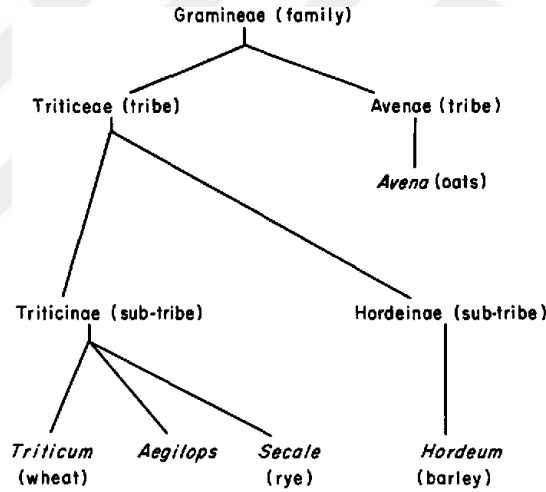
Biriken kanıtlar, *H* ve *Xu* genom gruplarının Batı Asya ve Akdeniz türlerinin monofiletik dalının yanı sıra *Xa* genom grubu ve *I* genom taksonlarındaki Avrasya *H. marinum*'un başka bir monofiletik dalını desteklemektedir (Komatsuda ve ark., 1999; Petersen ve Seberg, 2003; Sun ve ark., 2009). *I* genom grubuna ait *Hordeum* türleri, kloroplast DNA dizi verilerine göre "Yeni Dünya" ve "Eski Dünya" gruplarına ayrılmıştır (Doebly ve ark., 1992; Nishikawa ve ark., 2002).

Çeşitli moleküler filogenetik çalışmalar *Hordeum* cinsine odaklanmıştır (Petersen ve Seberg, 1997; Seberg ve Frederiksen, 2001; Blattner, 2004), ancak *Hordeum*'un filogenisinde hala bir tutarsızlık söz konusudur. Kloroplast ve nükleer veriler arasındaki uyumsuzluk nedeniyle *Hordeum* türleri arasındaki filogenetik ilişkiler henüz tam olarak ortaya çıkarılamamıştır. *Hordeum* türlerinin nükleer genlerinden elde edilen veriler çoğunlukla benzer sonuçlar

verirken (Petersen ve Seberg, 2003; Blattner, 2004, 2006; Kakeda, 2009; Sun ve ark., 2009), kloroplast DNA çalışmaları genel olarak çelişkili sonuçlara yol açmıştır (Doebley ve ark., 1992; Nishikawa ve ark., 2002; Petersen ve Seberg, 2003; Jakob ve Blattner, 2006). Bu tür tutarsızlıkların ardındaki en olası neden, eksik soy sıralamasıdır (Petersen ve Seberg, 2003; Jakob ve Blattner, 2006, Wang ve Sun, 2011; Alkhalafi 2014).

Bereketli Hilal'deki arkeolojik alanlarda bulunan arpa (*Hordeum vulgare*) tanelerinin kalıntıları, arpanın yaklaşık 10.000 yıl önce yabani akrabası olan *Hordeum spontaneum*'dan evcilleştirildiğini gösteren kaynaklar mevcuttur. Arpanın kültüre alınmasının MÖ 8000'lere dayandığı belirtilmiştir (Nesbitt ve Samuel, 1996; Badr ve ark, 2000). Kültürü yapılan arpanın orijininin Orta Doğu'daki Verimli Hilal olduğu bildirilmektedir (Harlan, 1975; Badr ve ark., 2000).

Dünyada ve ülkemizde arpanın en önemli tüketim alanının hayvan yemi ve bira yapımı olduğu kabul edilmektedir. Arpa, dünyada 3. sırada yer alırken Türkiye'de buğdaydan sonra üretilen ikinci önemli tahıldır. Türkiye dünyanın önemli arpa üreticileri arasında yer almaktadır (Karahocagil, 2004; Altan ve ark., 2006).



Şekil 1.2. Arpanın orijini (Bendich & McCarthy, 1970)

1.1.3. Dünyada yıllara göre buğday ekim alanı

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA)'nın istatistiki verilerine göre, dünyada buğday ekim alanı yıllar 2019 ile 2023 yılları arasındaki değişimlerini gösteren veriler Tablo 1.1'de verildi. Listede en yüksek üretim alanı 32.000.000 ha ile Hindistan'da görülürken, Türkiye'de bu alan 7.200.000 ha olarak görülmektedir. Türkiye dünya sıralamasında 11. sırada bulunmaktadır.

Tablo 1.1. Ülkeler itibarıyla dünya buğday ekim alanı (bin ha)

		2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/24
1	Hindistan	29.319	31.357	31.125	30.459	32.000
2	Rusya	27.312	28.683	27.630	29.000	27.500
3	AB	24.362	22.972	24.281	24.345	24.350
4	Çin	23.728	23.380	23.568	23.519	23.600
5	ABD	15.133	14.888	15.032	14.358	15.266
6	Avusturalya	9.863	12.643	12.728	13.045	12.500
7	Kazakistan	11.297	12.057	12.719	12.811	12.500
8	Kanada	9.656	10.018	9.199	10.082	10.600
9	Pakistan	8.678	8.805	9.168	9.000	8.860
10	Ukrayna	7.020	6.847	7.409	5.600	4.300
11	Türkiye	7.000	7.100	7.050	6.800	7.200
12	Diğer	42.006	41.683	42.000	41.918	42.756
	Dünya	215.374	220.433	221.909	220.937	221.432

Kaynak: USDA, (Erişim: 07.08.2023) (Polat, 2023)

1.1.4. Dünyada yıllara göre buğday üretim miktarı

Dünyada buğday üreten ülkeler ve üretim miktarlarının yıllara göre dağılımı Tablo 1.2'de verildi. Tabloya göre 2019 ile 2023 yılları arasında en yüksek buğday üretimleri Çin'de görülürken, Türkiye sıralamada 10. sıradadır. 2023/2024 istatistiklerine göre en yüksek üretim 140.000.000 ton ile Çin'de üretilirken, Türkiye'de 19.500.000 ton buğday üretildi.

Tablo 1.2. Dünyada yıllara göre en yüksek buğday üretimi yapan ülkeler ve üretim miktarları (bin ton)

SN	Ülke	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/23	2023/24
1	Çin	133.590	134.250	136.946	137.723	140.000
2	AB	138.741	125.942	138.244	134.341	138.000
3	Hindistan	103.600	107.860	109.586	104.000	113.500
4	Rusya	73.610	85.354	75.158	92.000	85.000
5	Avusturalya	14.480	33.000	58.659	73.509	64.000
6	ABD	52.581	49.691	44.804	44.902	47.330
7	Kanada	32.670	35.183	22.422	33.824	35.000
8	Pakistan	24.349	24.946	27.464	26.400	28.000
9	Ukrayna	29.171	25.420	33.007	21.500	17.500
10	Türkiye	17.500	18.250	16.000	17.250	19.500
	Diğer	143.193	135.919	781.047	790.198	796.666
	Dünya	763.485	775.815	781.047	790.198	796.666

Kaynak: USDA, 2023 (Polat 2023)

1.1.5. Dünyada yıllara göre arpa ekim alanı

Dünyada yıllara göre arpa ekim alanı verilerindeki değişimler Tablo 1.3'te verildi. Tabloya göre 2019 ile 2023 yılları arasında en yüksek arpa ekili tarım alanları AB'de görülürken, en düşük ekili alanlar ise Arjantin'de görüldü. Türkiye dünya sıralamasında arpa üretiminde 4. sırada yer almaktadır. Tabloya göre 2023 yılı verileri incelendiğinde en yüksek arpa ekili alan 1.028.000 ha ile AB'de belirlenirken, Türkiye'de 3.700.000 ha'lık tarım alanının arpa ekimine ayrıldığı belirlendi.

Tablo 1.3. Dünya arpa ekim alanlarında (bin ha) yıllara göre önemli ülkelerin istatistiksel verileri

SN	Ülke	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23 ¹	2023/24 ²
1	AB	11.161	11.050	10.303	10.417	10.285
2	Rusya	8.403	8.160	7.688	7.750	7.500
3	Avustralya	5.041	5.491	5.095	4.100	4.000
4	Türkiye	3.800	3.800	3.700	3.800	3.700
5	Kanada	2.728	2.809	3.011	2.636	2.700
6	Kazakistan	2.977	2.729	2.157	2.176	2.100
7	Ukrayna	2.782	2.584	2.680	1.950	1.600
8	İran	1.700	1.600	1.700	1.650	1.650
9	Arjantin	1.080	1.010	1.340	1.565	1.400
	Diğer	12.816	12.771	12.141	11.259	11.573
	Dünya	52.488	52.004	49.815	47.303	46.508

Kaynak: USDA, 2023 (Erişim tarihi: 29.08.2023), 1 /Tahmin, 2 /Öngörü (Eğilmez, 2023)

1.1.6. Türkiye’de yıllara göre buğday ekim alanı, üretim ve verim

Türkiye İstatistik Kurumunun web sitesinden alınan istatistik verilerine (TÜİK, 2023) göre 2017 ile 2021 yılları arasında toplam buğday, makarnalık ve diğer buğdaylar ile arpa üretim oranları incelendiğinde üretim miktarlarında azalmalar olduğu görülmektedir (Tablo 1.4). Tabloya göre 2017/2018 sezonunda üretim miktarları sırasıyla 21.500.000, 3.900.000, 17.600.000 ve 7.100.000 ton olarak gözlenirken, 2021/2022 sezonunda üretim miktarlarının azalarak sırasıyla 17.650.000, 3.150.000, 14.500.000 ve 5.750.000 ton şeklinde olduğu gözlemlendi. Buğday grubunda aynı sezonlar arasında ekili alanlar azalırken, arpa grubunda artış göstermektedir. Benzer durum tohumluk ve yemlik kullanımıyla ilgili verilerde de tespit edildi.

Tablo 1.4. Türkiye’de 2017-2022 yılları arasında ekmeklik, makarnalık ve diğer buğdaylar ile arpa üretimi ile ilgili istatistiksel veriler

Ürün	Yılı	Üretim (1000 ton)	Ekilen alan (1000 hektar)	Tohumluk kullanım (1000 ton)	Yemlik kullanım (1000 ton)
Buğday (toplam)	2021/'22	17 650	6 744, 666	1 214,040	2 145,110
	2020/'21	20 500	6 922, 237	1 246,003	2 338,951
	2019/'20	19 000	6 846, 327	1 232,339	2 267,299
	2018/'19	20 000	7 299, 271	1 313,869	2 212,504
	2017/'18	21 500	7 668, 879	1 380,398	2 093,098
Buğday (durum)	2021/'22	3 150	1 201, 369	216,246	0
	2020/'21	4 000	1 258, 057	226,450	257,510
	2019/'20	3 150	1 095, 563	197,201	249,180
	2018/'19	3 500	1 202, 101	216,378	242,873
	2017/'18	3 900	1 236, 912	222,644	229,762
Buğday (diğer)	2021/'22	14 500	5 543, 297	997,793	2 145,110
	2020/'21	16 500	5 664, 180	1 019,552	2 081,441
	2019/'20	15 850	5 750, 764	1 035,138	2 018,119
	2018/'19	16 500	6 097, 170	1 097,491	1 969,631
	2017/'18	17 600	6 431, 967	1 157,754	1 863,336
Arpa	2021/'22	5 750	3 169, 100	633,820	6 946,256
	2020/'21	8 300	3 097, 164	619,433	6 907,865
	2019/'20	7 600	2 869, 072	573,814	6 484,363
	2018/'19	7 000	2 611, 940	522,388	5 956,847
	2017/'18	7 100	2 424, 737	484,947	6 450,948

Kaynak: TÜİK İstatistik veri portalı (31 Mart 2023) (Erişim tarihi: 02.03.2024)

1.1.7. Dünyada yıllara göre arpa üretimi

Dünyada arpa üretiminde önemli payı olan ülkelerde arpa üretiminin yıllara göre değişimi Tablo 1.5'te verildi. Dünyada arpa üretimine en yüksek tarım alanını ayıran AB 2019 ile 2023 yılları arasında arpa üretiminde de ilk sırada yer almaktadır. Ancak Türkiye ekili alan sıralamasında 4. sırada yer alırken arpa üretiminde ise 5. sırada bulunmaktadır. Üretim miktarı olarak 2023 yılı istatistiklerine göre en yüksek üretim 50.400.000 ton ile AB'de gözlenirken 3.859.000 ton ile en düşük üretim ABD'de gözlendi. Türkiye'de üretim oranının 8.200.000 ton olduğu belirlendi.

Tablo 1.5. Dünya arpa üretiminde (bin ton) önemli ülkelerin yıllara göre üretimle ilgili istatistiksel verileri

SN	Ülke	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23 ¹	2023/24 ²
1	AB	55.180	54.234	52.050	51.789	50.400
2	Rusya	19.939	20.629	17.505	21.500	19.600
3	Avustralya	10.127	14.649	14.337	14.100	10.000
4	Kanada	10.383	10.741	6.984	9.987	9.800
5	Türkiye	7.900	8.100	4.500	7.400	8.200
6	Birleşik Krallık	8.048	8.117	6.961	7.385	7.150
7	Ukrayna	9.528	7.947	9.923	6.100	5.700
8	Arjantin	3.615	4.035	5.300	4.500	5.300
9	ABD	3.756	3.719	2.615	3.796	3.859
	Diğer	30.820	29.294	25.220	25.336	25.746
	Dünya	159.296	161.465	145.395	151.893	145.755

Kaynak: USDA, 2023 (Erişim tarihi: 28.08.2023), 1 /Tahmin, 2 /Öngörü (Eğilmez, 2023)

1.1.8. Türkiye'de yıllara göre arpa ekim alanı üretim ve verim

Türkiye'de arpa üretimi ile ilgili olarak 2018 yılı ile 2022 yılları arasında ekili alan, üretim ve verim açısından değerlendirildiğinde oranlarda artış olduğu gözlenmektedir. Ekim alanı 2018 yılında 26.119.000 ha iken 2022 yılında 31.691.000 ha'a yükseldi. Üretim miktarları karşılaştırıldığında ise 2018 yılında 7.000.000 ton arpa üretilirken 2022 yılında artarak 8.500.000 ton üretildi. Aynı yıllara göre verimin de sırasıyla 268 kg/da ve 266 kg/da olduğu tespit edildi. Verilere göre 2023 yılında arpa üretimine ayrılan alan 9200 ha'a yükselirken üretim ve verimle ilgili veriler henüz kayıtlara geçmemiş görünmektedir.

Tablo 1.6. Türkiye arpa ekim alanı, üretim ve verimle ilgili istatistiksel veriler

Yıl	Ekim alanı (bin da)	Üretim (bin ton)	Verim (kg/da)
2018	26.119	7.000	268
2019	28.691	7.600	265
2020	30.972	8.300	268
2021	31.691	5.750	181
2022	31.995	8.500	266
2023	9.200,000		

Kaynak: TÜİK (TMO 31.01.2024) (Erişim tarihi: 02.03.2024)

1.2. Bitkilerin Çimlenme Özellikleri ve Fizyolojisi

Çimlenme ana bitkiden ayrılmış olan tohumda büyüme faaliyetinin başlaması, embriyodan yeni bir bitkinin var olması olayıdır, yani gelişme dönemlerinin ilkidir. Çimlenmenin olabilmesi için tohumda canlılığın bulunması gerekmektedir. Embriyonun kırılmamış, kalkancığıtaki hormonların bozulmamış ve embriyo kısımlarında hastalık ya da zararlılar tarafından zedelenmemiş olması gerekir. Diğer taraftan çimlenme için sıcaklık, su ve nem gibi uygun çevre koşullarının sağlanmış olması gerekir (Özberk ve Özberk, 2009).

Bir bitkinin yaşam döngüsünün en önemli aşamalarından biri olan tohum çimlenmesi, mevcut çevreye oldukça duyarlıdır. Hidrolize edici enzimler, karbonhidratları, proteinleri ve yağları hidrolize ederek besin rezervlerinin harekete geçirilmesinde önemli bir rol oynar. Asit fosfatazlar (ACP'ler), proteazlar ve α -amilazlar gibi hidrolize edici enzimler, endosperimde ayrılmış besini harekete geçirerek tohumun çimlenmesine ve ardından büyümeye yardımcı olur (Kuriakose ve Prasad, 2008).

Absisik asit (ABA) ve giberellik asit (GA), çimlenmeyi düzenleyen başlıca fitohormonlardır. Tohum dormansisini koruyan ABA seviyeleri ve çimlenmeyi başlatan GA seviyeleri ile birbirine antagonistik davranırlar (Finkelstein ve ark., 2008; Graeber ve ark., 2012). Daha önce tohum çimlenmesinde önemli bir rolü olmadığı düşünülen oksin hormonu, dormansiyi yüksek tutmada ABA ile birlikte hareket eder (Shu ve ark., 2016). Başka bir fitohormon olan etilen ise ABA'nın endosperm zayıflaması üzerindeki inhibitör etkisini durdurarak tohum çimlenmesini kolaylaştırır (Linkies ve ark., 2009; Arc ve ark., 2013).

Sert bir tohum kabuğuyla çevrelenen bitki embriyosu, çevresel streslerden iyi bir şekilde korunur (Li ve ark., 2005; Raviv ve ark., 2017). Çimlenme, su alımıyla başlar ve bunu embriyonik genişleme takip eder. Metabolik solunumun eşlik ettiği metabolik reaktivasyon, tohumun emilmesinden hemen sonra oksijen tüketiminde hızlı bir artış ile karakterize edilir. Ayrıca protein sentezi, DNA onarımı ve depolanan rezervlerin yeniden mobilizasyonu, tohumların başarılı bir şekilde çimlenmesinde temel süreçlerdir (Kucera ve ark., 2005).

1.3. Kadmiyum Ağır Metalinin Genel Özellikleri

Ağır metal, yoğunluğu 5 g/cm^3 'den yüksek olan metaller için kullanılan bir tanımdır. Nikel (Ni), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), cıva (Hg) ve krom (Cr) sıklıkla karşılaşılabileceğimiz ağır metallere dendir (Seven ve ark., 2018). Kadmiyum atom ağırlığı 112.41 gr/mol , yoğunluğu 8.7 gr/cm^3 olan bir elementtir. Doğada tek başına bulunmaz ve genellikle çinko ile bileşikler oluşturmasıyla bilinir (Yücel, 2019). Kadmiyum (Cd), periyodik tabloda IIB grubunun elementidir ve atom numarası 48'dir. Özellikle çinko (Zn) ve cıva (Hg) ile grup IIB'nin diğer elementleriyle kimyasal benzerlik gösterir. Kadmiyum doğal jeolojik ortamlarda yaygın olarak Zn ve Hg ile ilişkilidir. Cd (II) iki pozitif değerinde nispeten daha karardır ve doğal su sistemlerinin çoğunda bu halde bulunur (Baes ve Mesmer, 1976). Cd'un amonyak, aminler, halojenür iyonları ve siyanür ile kompleks oluşturma yeteneği geçiş metalleri serisi iyonlarının çoğuyla benzerlik gösterir (Hasan ve ark., 2009).

Kadmiyum günümüzde insan sağlığı açısından ciddi çevresel tehlike oluşturan ağır bir metaldir (Jarup ve Akesson, 2009; Olszowski ve ark., 2012). Kadmiyuma maruz kalmanın ana kaynağı gıdadır, ayrıca sigara içmek de vücut kadmiyum yükünün artmasına neden olan bir diğer önemli faktördür (Klassen ve ark. 2009). Kadmiyumun vücut içine alımı gastrointestinal, solunum ve deri yolu ile olmaktadır (Godt ve ark., 2006). Bitkilerde biriken Cd sonuçta hayvanlar ve insanlar tarafından alınır. Yapılan çalışmalarda zehirli elementlerin topraktan insanlara geçişinin ana yolunun bitkiler olduğunu da gözlemladiler (Ahmad ve ark., 2012).

1.3.1. Kadmiyum Ağır Metalinin Bitkilere Taşınma ve Depolanma Biçimi

Kadmiyum alımı, translyasyonu ve birikme mekanizması; topraktaki artan Cd seviyelerine karşı bitkilerin tepkisi, çeşitli bitki türlerinin artan Cd seviyelerini alma ve taşıma yetenekleri açısından farklılık gösterir. Cd, bitkiler içerisinde metalo-organik kompleksler şeklinde kolayca taşınabilir (Epstein ve Bloom, 2005), ancak alım, translokasyon ve biriktirme mekanizmaları oldukça karmaşıktır. Toprakta Cd'un biyoyararlılığı onun konsantrasyonuna, pH'ına, sıcaklığına, redoks potansiyeline ve diğer elementlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Rizosferin asitlenmesi ve karboksilazın sızması, metal birikimini arttırmanın potansiyel hedefleri olarak kabul edilir (Clemens ve ark., 2002). Bitki kökü tarafından Cd alımının mekanizması genellikle ağır metaller ve benzer kimyasal özellikleri paylaşan çeşitli mineral besin maddeleri arasındaki emilim bölgeleri için rekabeti içerir (Hasan ve ark., 2009).

Cd'un yenilebilir organlara taşınması, bitkiler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Calatdo ve ark.'na (1983) göre soya fasulyesinde biriken Cd'un %98'den fazlası köklerde tutulurken yalnızca %2'si sürgünlere taşınmaktadır. Ayrıca Cd, domates bitkilerinin sürgün ve yapraklarına kolaylıkla taşınmış ancak meyvelerde tespit edilememiştir (Morel ve ark., 1994). Kökler tarafından alındıktan sonra kadmiyum, iletim demetlerinin hücreleri yoluyla sürgünlere aktarılır. Eser metalin hareketi aynı zamanda vasküler dokular tarafından da düzenlenir (Kuppelwieser ve Feller, 1991). Yenilebilir bitki organlarına girmek için Cd'un geçmesi gereken çok sayıda hücre zarı bariyeri vardır ve bu özellikle tohumlar ve tahıllar için geçerlidir (Hasan ve ark., 2009).

Ksilem öz suyundaki sistein ve diğer sülfhidril içeren bileşikler (fitoşelatinler, glutasyon vb.) ve çeşitli organik asitler (sitrat) ve diğer amino asitler, kadmiyumun köklerden sürgünlere taşınmasında önemli olabilir. Mori ve ark. (1991), pirinç fidelerinden toplanan ksilem öz suyunda deoksimuginik ve epihidroksimuginik asit fitometalloforlarının varlığını bildirmiştir. Mori ve ark. (1991) tarafından pirinç bitkilerinin floem öz suyunda bir fitometallofon olan deoksimugineik asit tanımlandı. Fitoşelatinlerin ve fitometalloforların, floem öz suyundaki Cd hareketinde ve Cd'un tohum ve tanelere yüklenmesinde rol oynadığı tahmin edilmektedir. Ayrıca nikotinamin, aynı zamanda tüm yüksek bitkilerin floeminde bir demir taşıyıcısı olarak da işlev görebilir; çünkü nikotinamin, floem kaynaklarından (olgun yapraklar gibi) floem yutaklarına (üreme organları, yeni oluşan kök yaprakları ve büyüme noktaları) kadar bitkilerde demir mobilizasyonu için gereklidir (Scholz, 1989). Turunçgillerin floem öz suyunda fitoşelatinlere benzer çinko bağlayıcı maddeler rapor edilmiştir (Taylor ve ark., 1988).

Organik ligandların (organik asitler, amino asitler, şekerler, peptidler ve proteinler) bolluğu ve floem öz suyunun alkalın pH'ı (pH 7.0-8.0), floemde taşınan Cd²⁺'nin hemen hemen tamamının, Cd taşıyıcıları olması muhtemel olan sülfidril içeren ligandların stabilitesini uygun olan karmaşık koşullarda mevcut olmasını sağlar. Bununla birlikte, floem öz suyunda herhangi bir spesifik Cd kompleksi olduğuna dair doğrudan bir kanıt yoktur ancak bunlar, nikotinamin, metalotiyoneinler, fitoşelatinlerin yanı sıra glutasyon, sistein ve diğer sülfidril içeren moleküller gibi fitometaloforları içerebilir (Hassan ve ark. 2009).

Yüksek derecede toksik metallerle baş etmek veya temel metallerin seviyesini fizyolojik aralıkta tutmak için bitkiler, metal toleransına yönelik çeşitli karmaşık mekanizmalar geliştirmiştir. Bunlar arasında Berry (1986), ağır metallerin alımını ve birikimini kontrol etmeye yarayan ana stratejilerin birikim ve detoksifikasyon olduğunu ileri sürmüştür. Farklı bitki türleri, ticari çeşitler, çeşitler ve ekotiplerin ağır metallerin aşırı konsantrasyonlarına karşı toleransları büyük ölçüde farklılık göstermektedir (Al-Hellal, 1995).

Yüksek bitkiler, algler ve bazı mantarlar, Cd ve diğer metallere yanıt olarak kükürt bakımından zengin peptitler, fitoşelatinler (PC'ler) sentezler. Bu, (γ -glutamilsisteinil)_n-X genel formülüne sahip kısa protein olmayan ağır metal bağlayıcı peptitlerden oluşan bir gruptur; burada n=2-11 ve X, glisin, serin, β -alanin, glutamat veya glutamindir (Grill ve ark. , 1985; Klapheck ve diğerleri, 1994, 1995; Meuwly ve diğerleri, 1995; Rauser, 1995). PC'ler, bitki hücrelerinin sitoplazmasında yapısal olarak mevcut olan PC sentaz enziminin (γ -glutamilsisteinil dipeptidil transpeptidaz, EC2.3.2.15) etkisi yoluyla sentezlenir. Kadmiyum öncelikle PC peptidindeki sistein kalıntılarının tiyol grubuna bağlanır ve Cd-PC kompleksi, birçok bitki enzimi için serbest Cd iyonundan 1000 kat daha az toksiktir (Kneer ve Zenk, 1992). Tütün yapraklarında PC-ağır metal komplekslerinin vakuolde biriktiği rapor edilmiştir (Vögeli-Lange ve Wagner, 1990). Ayrıca yulaf (*Avena sativa*) PC-Cd komplekslerinin tonoplast boyunca taşındığı gösterilmiştir (Salt ve Rauser, 1995). Kök hücrelerde PC-Cd komplekslerinin vakuoler taşınması ksileme radyal Cd taşınmasını ve sürgüne daha fazla taşınmasını geciktirebilir. Ağır metaller bitkiler tarafından alındıktan sonra bitki dokusunda ve hücre bölmelerinde biriktirilir (Prasad, 1995; Stolt ve ark., 2003). Kökün içine giren kadmiyumun büyük bir çoğunluğu vakuollerde tutulur veya PC'lerle kompleksleştirilebilirler. Bu sayede sınırlı miktarda Cd sürgünlere taşınır (Guerinot, 1999). Ağır metal alımında her bitki farklı bir mekanizmaya sahip olabilmekte ve taşıma yolları da bu şekilde farklılık gösterebilmektedir (Prasad, 2018).

1.3.2. Kadmiyumun bitkiler üzerine etkisi

Tarımsal toprakların Cd ile kirlenmesi bitkilerin yaşam boyunca maruz kalmasına sebep olabilir. Bitkiler türlerine bağlı olarak az miktardaki Cd konsantrasyonlarına dayanabilirler fakat yüksek konsantrasyonlarda solunum, su ve besin alımı gibi yaşamsal faaliyetleri etkileyeceğinden bitki gelişimi ve mahsul verimini önemli ölçüde azaltacaktır (Dal Corso ve ark., 2008; Huybrechts ve ark., 2019)

Kadmiyum toleransı bitki türü içinde bile farklılık göstermektedir. *Oryza sativa* (çeltik) üzerinde yapılan bir çalışmada 0,5 mM'a kadar yapılan CdCl₂ uygulamaları kontrol tohumlarına kıyasla artan bir çimlenme oranı göstermiştir (Cheng ve ark., 2008). Kirlenmemiş toprak çözeltisindeki Cd konsantrasyonu 0,04 mM ila 0,32 mM arasında değişir ve 0,32 ila yaklaşık 1 mM aralığındaki konsantrasyonu kirli olarak sınıflandırılmıştır (Sanita di Toppi ve Gobbrielli, 1990; Hasan ve ark., 2009). Her ne kadar Cd genel olarak oldukça toksik bir element olarak kabul edilse ve bitki gelişimi ile büyümesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olsa da (Maksymec, Wojcik ve Krupa, 2007), düşük Cd konsantrasyonunun bitki büyümesi üzerinde olumlu etkisi olduğu topraksız deneylerde pirinç, soya fasulyesi ve arpa gibi bitkilerde de rapor edilmiştir. Farklı konsantrasyon aralıklarına bakılmaksızın, düşük Cd seviyesinin bitki büyümesini uyarması olgusu tekrarlanabilir görünmektedir. Kirlenmemiş toprakların Cd konsantrasyonu genellikle 0,5 mg/kg'ın altındadır ancak toprak içeriğine bağlı olarak 3 mg/kg'a kadar çıkabilmektedir. Düşük konsantrasyonlarda Cd bitkiler için toksik değildir ancak daha yüksek konsantrasyonlarda toksiktir ve karakteristik olarak kök büyümesini ve hücre bölünmesini engeller. Cd bitkiler için gerekli bir besin maddesi değildir ancak kökler tarafından kolayca alınır ve bitkinin farklı kısımlarına taşınır. Bitkilerde metallerin toksik semptomları, biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerdeki değişikliklerle veya büyümenin engellenmesi, verimde azalma, klorozis, özellikle farklı hücre bölümlerinde anatomik, morfolojik ve çeşitli metabolik aktivitelerdeki değişiklikler gibi organ ve bozulmamış bitki tepkileri ile tanınabilir. (Maksymec ve ark., 2007; Amirjani, 2012).

Bitkilerde ağır metale maruz kalma sonucunda serbest oksijen radikalleri (ROS) oluşumu gözlenmiştir. ROS üretimi ile hücrelerden uzaklaştırılması arasındaki denge bozulduğu takdirde oksidatif stres ortaya çıkabilir (Cho ve Seo, 2005). Cd stresi, lipid peroksidasyonu gibi oksidatif hasara neden olabilir ve bunun sonucunda çeşitli bitkilerde antioksidan sisteminde değişiklikler ortaya çıkabilir. Cd stresiyle uyarılan ROS üretimi genellikle antioksidan sistemdeki değişikliklerden kaynaklanıyor olabilir (Ranieri ve diğerleri, 2005). Önceki çalışmalara göre antioksidan enzimlerin Cd'a ve genel olarak metallere karşı gösterdiği tepkiler türler arasında ve farklı dokular arasında farklılık gösterebilmektedir (Tiryakioğlu ve ark., 2006).

Antioksidatif enzimlerin aktiviteleri bitkilerin Cd kaynaklı oksidatif hasarı azaltmak için kullandıkları mekanizmalardan biridir ve bitkilerin strese karşı toleransını artırır. Bu sistemde süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.12.1.1) ilk basamaktır ve O⁻²'yi H₂O₂ ve O₂'ye dönüştürür. İkinci aşamada, askorbat-glutasyon döngüsünün etkisiyle askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) H₂O₂ birikimini katalazın (CAT; EC 1.11.1.6) veya glutasyon peroksidazın (GPX; EC 1.11.1.9) etkisiyle peroksidazlarda azaltır (Amirjani, 2012).

Kadmiyumun Genetik Düzeyde Etkileri

DNA hasarına yanıt olarak hücre döngüsü düzenlemesi hayvanlarda p53'e bağlı olarak bitkilerde p53 ortologu yoktur. Bunun yerine, Supressor of Gamma Response 1(SOG1), p53'ün bitkideki

karşılığı olarak kabul edilir (Huybrechts ve ark., 2019). Şu anda Cd kaynaklı DNA hasarı ve bitkilerde bunun altında yatan mekanizmalar hakkında detaylı bilgi bulunmamaktadır. Ancak birçok çalışma, Cd'a maruz kalmanın birçok bitki türünde DNA hasarına neden olduğunu göstermiştir. Cd'a maruz kalmanın, kuyruklu yıldız tahlili olarak da bilinen tek hücreli jel elektroforezi yoluyla belirlenen kuyruk uzunluğu, kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momenti yüzdesini artırdığı gösterilmiştir (Arya ve ark., 2014; Tkalec ve ark., 2014; Lanier ve ark., 2019)

Bitkilerde kadmiyum DNA sarmalında kırıkların oluşmasına ve kromozomal anomalilere neden olduğu rapor edilmiştir (Arya ve ark., 2014; Silveira ve ark., 2017). RAPD tekniği bitkilerde kadmiyum kaynaklı genotoksisteyi belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Kadmiyum gibi stres faktörlerine maruz kalmanın neden olduğu mutasyonlar primer bağlanma bölgelerinde bir değişikliğe neden olabilmektedir. Bu, yeni bir bağlanma noktasının oluşması veya mevcut bağlanma noktasının ortadan kalkması şeklinde meydana gelmesine ve sonucunda değişmiş bir RAPD profili vermesine neden olmaktadır (Enan, 2006). Bant profilindeki bu değişiklik ile Genomic Template Stability (GTS) hesaplanması mümkün olabilmektedir (Ataeinzar, 1999; Cenkçi ve Doğan, 2015).

1.4. Moleküler Belirteçler

Moleküler belirteçler tarihsel olarak gelişim sıralarına morfolojik, biyokimyasal ve DNA belirteçleri olarak sınıflandırılmaktadırlar.

1.4.1. Morfolojik belirteçler

Bunlar organizmaların fenotipine göre yapılan araştırmalardır. Mendel'in de çalışmalarında kullandığı fenotipik özellikler; bitkilerin çiçek rengi, bitkinin boyunun uzunluğu, tohum rengi ve şekli gibi özelliklerdir. Ancak fenotipik özelliklerin kısıtlı olması ve bazı özelliklerin ise fenotipte görünmemesinden dolayı bu belirteçler çeşitlilik çalışmalarında yeterli bilgi sunmamaktadır. Eğer sadece morfolojik belirteçler kullanarak genetik çeşitlilik ve filogenetik ilişkiler araştırılırsa elde edilen sonuçlar doğru bir sınıflandırma yapmaktan uzak olacaktır, özellikle kardeş (sibling) türler için.

1.4.2. Biyokimyasal belirteçler

Biyokimyasal belirteçler organizmaların yapısında bulunan veya metabolik işlevlerde görevi olan proteinlerdir. Biyokimyasal markerler arasında en yaygın kullanılan belirteçler tahıl grubunda gluten proteinleridir, diğer tüm organizmalarda ise izoenzimlerdir. İzoenzimler bir enzimin işlevleri aynı ancak morfolojik veya elektriksel yük bakımından farklı özelliklere sahip formlarıdır. Organizmalarda bir enzimin en fazla 3-5 farklı formu bulunmaktadır. Bazı enzimler organizmaların farklı gelişim evrelerinde aktif olurken bazı enzimlerin de farklı formları aktif olmaktadır. Bazıları ise gerek duyulduğunda üretilmektedir. İzoenzim çeşitlerindeki sınırlılık genetik çeşitlilik araştırmalarında genetik çeşitlilik düzeyini mevcut olduğundan daha düşük seviyede görüntülenmesine neden olmaktadır. Birbirine çok yakın

türler arasında filogenetik olarak ayırımın da doğru yapılabilmesine olanak sağlamamaktadır. Tüm bu eksikliklere rağmen izoenzimler popülasyon genetiği ve filogenetik çalışmalarında çok yoğun olarak kullanılmışlardır.

Tahıl grubundan buğdaylarda tohum depo proteinleri olarak bilinen gluten proteinleri de genetik çeşitlilik ve filogenetik ilişkilerin araştırılmasında yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Bunların yanı sıra bazı gluten proteinlerinin buğdaylarda ekmek veya makarna yapımında iyi kalite ile ilgili olanları ıslah çalışmalarında da marker olarak kullanılmışlardır. Glutenler de kendi içlerinde gliadin ve glutenin olarak ayrılmaktadır.

1.4.3. DNA Belirteçleri

Virüsler dâhil tüm organizmaların kalıtsal materyali DNA tarafından taşınmaktadır. Her bir türün sahip olduğu genomik DNA'nın büyüklüğü tür içinde sabit olurken türler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Ökaryotik genomlar oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Genom dizisi çıkarılan ökaryot genomlarında tipik olarak görülen yapılar bulunur. Kromozomların uç bölgelerinde telomerik DNA bulunur. Telomerik DNA türlere özgü ardışık şekilde tekrar eden tipik DNA motiflerine sahiptir. Sentromer bölgelerinde sentromerik DNA bulunur. Buradaki dizilerde kinetokor proteinlerine bağlanan özgül dizi tekrarları içerirler. Bu bölgelerin dışında genomda transpozon kökenli tekrar dizileri ve genoma dağılmış kısa dizi tekrarları bulunur. Tipik bir ökaryot genin yapısında kodlayan anlamlı diziler olarak bilinen ekzonlar ve anlamsız dizilerden oluşan intronlar bulunur. Promoter bölgelerinde yine özgül diziler, transkripsiyonun başladığı başlangıç kodonu (AUG) ve transkripsiyonu sonlandıran anlamsız diziler (UAG, UAA ve UGA) yer alır. Bunların yanı sıra henüz sınıflandırılmamış diziler de bulunur. Genomda işlevsel gen bölgelerinde meydana gelen mutasyonlar tamir mekanizmaları tarafından konservatif şekilde tamir edilir. Ancak kodlamayan bölgelerde meydana gelen mutasyonlar göz ardı edilebilmektedir. Bu nedenle de bu tip dizi değişimleri genetik çeşitlilik olarak kabul edilmektedir. DNA belirteçleri geliştirilirken genomların yapısal özellikleri dikkate alınmaktadır. Örneğin bir genetik hastalık teşhisinde kullanılacak belirteçler hastalığa neden olan değişimi tespit etmeye yönelik olarak geliştirilir. Genel olarak bir türün farklı popülasyonlarında genetik çeşitlilik ve genetik farklılaşma gibi parametreler araştırılacaksa tüm genomu tarayan güvenilir belirteçler geliştirilmelidir. Islah çalışmalarında ebeveynlerin ve F1, F2 vb. hatlardaki özelliklerin geçişinin kalıtımı araştırılacaksa özelliğe özgü ve kodominant kalıtım gösteren belirteçler seçilmelidir. Tüm bunlar dikkate alınarak çeşitli DNA belirteçleri geliştirilmiştir.

1.4.3.1. Hibridizasyon bazlı belirteçler

Kısıtlama parçası uzunluğu polimorfizmi (RFLP)

Kısıtlama parçası uzunluğu polimorfizmi yöntemi Botstein ve ark. (1980) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. RFLP belirteçleri kodominant kalıtım gösterdiklerinden homozigot ve heterozigot gibi farklı genotipleri ayırt etmede oldukça bilgilendirici ve güvenilirdir

(Gebhardt ve ark., 1989). Hibridizasyonda kullanılan DNA problemleri her bir tür için kendi genomundaki DNA dizilerinden hazırlanması gerekmektedir. Problemler geliştirilirken dizi bilgisi kullanıldığından hangi kromozom üzerinde veya kromozomların hangi kolu üzerinde bulunduğuna göre de bilgi vermektedirler. PCR'a dayalı DNA belirteçleri geliştirilene kadar popülasyon genetiğinde (Raybould ve ark., 1996) ve genetik çeşitlilik çalışmalarında, filogenetik ilişkilerin araştırılmasında (Jena ve Kochert, 1991) ıslah ve genetik haritaların çıkarılmasında (Bonierbale ve ark., 1988) yoğun şekilde kullanılmıştır. Yöntem tek başına kullanılmamaktadır. RFLP yöntemi Southern blot ve hibridizasyon aşamalarını da içeren oldukça karmaşık, zaman alan, yoğun iş gücü, radyoaktif kullanımı, uzman personel ve teknik ekipmanlar gerektirmektedir. Ayrıca bu yöntemin kullanımında çok miktarda temiz ve kaliteli DNA gerekmektedir. Bu nedenle rutin çalışmalarda çok tercih edilmeyen ama özgül çalışmalarda hâlâ kullanılan bir yöntemdir.

1.4.3.2. PCR'a dayalı moleküler belirteçler

Rastgele çoğaltılmış polimorfik DNA (RAPD)

RAPD Williams ve ark. (1990) tarafından geliştirilmiş ilk moleküler belirteç yöntemidir. Tüm moleküler marker yöntemleri karşılaştırıldığında en basit olanıdır. RAPD markerleri dominant kalıtım gösterirler ve ön dizi bilgisi gerektirmediklerinden tüm genomu tarayarak rastgele çoğaltım yaparlar. Primerler 10 mer' den oluşan oldukça kısa oligonükleotitlerdir, bu nedenle de bağlanma sıcaklıkları düşüktür, her PCR reaksiyonunda sadece bir primer kullanılır ve sonuç olarak her yeni PCR yapıldığında tekrar edilebilirlik oranları düşmektedir. RAPD'ler ön dizi bilgisi gerektirmediğinden bütün türlerde kullanılabilirler. RAPD markerlerinin polimorfizm oranları yüksek, ancak tekrar edilebilirlik oranları diğer moleküler markerlere göre daha düşüktür. Buna rağmen muhtemelen ilk moleküler belirteçler olduklarından popülasyon genetiği ve genetik çeşitlilik çalışmalarında çok yoğun kullanılmışlardır.

Basit dizi tekrarları (SSR) (Simple Sequence Repeats)

Ardışık tekrarlar genellikle di-, tri- veya tetranükleotit birimlerden (1-6 bp) oluşur ve önceleri basit diziler olarak adlandırılırdı. Daha sonra bu sınıf DNA, Tautz (1989) tarafından mikrosatellit olarak adlandırıldı. Parmakizi ve transkriptom analizleri için kullanılan birkaç tekrar örneği birimleri (GATA/GACA), CA, (AT)_n, (GAA)_n, (TCC)_n, (GGAT)_n, (GGCA)_n ve (TTAGGG)_n dizilerini içerir. Mikrosatellitler veya basit dizi tekrarları (SSR) ökaryotik ve prokaryotik genomların kodlamayan bölgelerinde çok miktarda dağılmış olarak bulunur. Bütün SSR'lar insan genomunun %3'ünü kaplar. Genoma geniş bir şekilde dağılmışlardır ve pek çok genle de bağlantılıdır. Farklı bölgelerdeki özgül mikrosatellitlerin önemi tam olarak anlaşılmış değildir. Bununla birlikte kodlayan dizi bölgelerine komşu bazı mikrosatellitlerin çeşitli sekonder DNA yapıları oluşturarak DNA'ya çözülme mekanizması sunarak gen ekspresyonunun düzenlenmesinde önemli rol oynadıklarına inanılmaktadır. SSR'lardaki varyasyon veya polimorfizmin DNA replikasyonu sırasındaki polimeraz kaymasının veya eşit

olmayan parça değişiminin bir sonucu olduğu ileri sürülmektedir (Levinson ve Gutman, 1987). SSR'lar sadece çok yaygın olmakla kalmaz, aynı zamanda ökaryotların genomlarındaki tekrarlayan DNA motiflerinin sayısı açısından da aşırı değişkendir (Vosman ve Arens, 1997; Rallo ve ark., 2000; van der Schoot ve ark., 2000). SSR belirteçleri QTL haritaların çıkarılmasında; genetik çeşitlilik, popülasyon genetiği ve filogenetik ilişkilerin araştırılmasında, ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra STR olarak da bilinen kişiye özgü bazı özel dizi lokusları ya da DNA parmakizi adli vakalarda delil olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle son zamanlarda özellikle adli vakaların çözümünde ve babalık testi davalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Basit dizi arası tekrarları (ISSR) (Inter Simple Sequence Repeats)

ISSR'lar yarı rastgele belirteçlerdir ve birbirine yakın lokasyonlarda bulunan basit dizi tekrarlarının arasında kalan bölgelerin PCR ile çoğaltılmasıdır (Zietkiewicz ve ark., 1994; Tsumara ve ark., 1995; Nagaoka ve Ogihara, 1997). Başka bir ifadeyle, çoğaltılan her bir ISSR bandı iki basit dizi arasındaki sınırlandırılmış diziyeye denk düşmektedir. ISSR'lar ilk defa Meyer ve ark. (1993) tarafından açıklanmıştır. ISSR PCR basit dizi tekrarları ve tekrarlanmayan komşu dizileri birleştirilerek çoğaltımın her döngüde aynı nükleotid konumunda başlatılmasını sağlar (Zietkiewicz ve ark., 1994). Primerler 15-35 mer'lik oldukça uzun ve yüksek bağlanma sıcaklığına sahiptir ve her PCR'da tek primer kullanılır. Analiz edilen genom hakkında ön dizi bilgisi gerektirmediğinden bütün türlerde kullanılabilir, bununla birlikte primer dizileri basit dizi tekrarlarının bir kısmının komplementeri olduklarından genomda bir nevi bilinen bölgeleri çoğaltırlar. ISSR belirteçleri dominant kalıtım gösterir, çok lokusludur ve yüksek düzeyde polimorfizm gösterirler. RAPD ile kıyaslandığında tekrar edilebilirlik ve polimorfizm düzeyi daha yüksektir (Grover ve Sharma, 2016). ISSR PCR klonları agaroz veya poliakrilamid jeller üzerinde ayrıştırılabilir. ISSR belirteçleri genetik çeşitliliğın belirlenmesinde, evrim biyolojisinde, genom haritalarının oluşturulmasında ve filogenetik çalışmalarda birçok tarla bitkilerinde uygulanabilen etkili bir tekniktir (Reddy ve ark., 2002). ISSR belirteçlerinin kullanımı hızlı, uygulanması kolay ve primerleri daha uzun olduklarından güvenilirlikleri fazla olduğu belirtilmektedir (Bornet ve Branchard, 2001). Yeterli bilgi sunan ISSR primerlerini kullanmak düşük bir maliyet, zamandan tasarruf ve genetik analizlerde kolaylık sağlamaktadır.

Buğday (Felsenburg ve ark. 1991; Golenberg, 1988) ve arpa (Abdel-Ghani ve ark. 2004) bitkileri kendi kendine tozlaşan ama nadiren de çapraz tozlaşma (%1 çapraz dölleme görülür) gösteren bitkilerdir. Bu nedenle heterozigotluk görülme oranı çok düşüktür ve ISSR gibi dominant kalıtım gösteren belirteçlerin analizinde daha az sorun yaşanır (Lynch ve Milligan, 1994). Dominant kalıtım gösteren belirteçlerde polimorfik lokuslar iki alelidir, bantlar var ise "1" yok ise "0" olarak kabul edilip skorlanır. PCR gerçekleşmeyen örneklerdeki eksik veri (missing data) olarak "." ile kodlanır.

Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)

AFLP moleküler belirteç yöntemi Zabeau and Vos (1993) tarafından geliştirilmekle beraber yöntemin daha ileri seviyeye taşınmasında rolü olan Vos ve ark. (1995) ve Vos ve Kuiper'in (1997) çalışmalarını da dikkate almak gerekir. Yöntem RAPD yönteminin yüksek polimorfizm ve kolaylığı ile RFLP yönteminin güvenilirliğinin birleştirildiği yeni bir teknik olarak sunulmuştur. AFLP markerleri dominant kalıtım, tüm genomu taradığı için de yüksek düzeyde polimorfizm ve tekrarlanabilir özelliklerini gösterir.



2. BÖLÜM MATERYAL METOT

2.1. Bitki Materyali

Bu çalışmada kullanılan buğday ve arpa çeşitlerinden; Çeşit 1252, Kızıltan 91 ve Ovidio [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. *durum* (Desf.) Mackey], Bayraktar ve Çıfçıklı (*Triticum aestivum* L.), İnce 04 ve Aida (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) özel tohum şirketinden, Golia (*Triticum aestivum* L.), Emon (*Hordeum vulgare* L.) ve Dinkel (*Triticum spelta* L.) Çorum TİGEM çeşitleri tohum bayiiden ve atalık buğday türlerinden Gernik [*Triticum turgidum* L. ssp. *dicoccon* (Schrank) Thell.] ve Siyez (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) Kastamonu İhsangazi İlçe Tarım Müdürlüğü tarafından temin edildi. Çeşitlerle ilgili detaylı bilgiler Tablo 2.1' de verildi.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan buğday ve arpa çeşitleri, kromozom sayıları, genom bilgileri, Latince tür adları ve temin edilen kişi bilgileri

S.N.	Çeşit Adı	Kromozom sayısı	Genom Formülü	Tür adı	Temin Durumu
1	Bayraktar	2n = 6x = 42	AABBDD	<i>Triticum aestivum</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
2	Çıfçıklı	2n = 6x = 42	AABBDD	<i>Triticum aestivum</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
3	Golia	2n = 6x = 42	AABBDD	<i>Triticum aestivum</i> L.	TİGEM Tohum Bayii
4	Çeşit 1252	2n = 4x = 28	BBAA	<i>Triticum durum</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
5	Kızıltan 91	2n = 4x = 28	BBAA	<i>Triticum durum</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
6	Ovidio	2n = 4x = 28	BBAA	<i>Triticum durum</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
7	İnce 04	2n = 2x = 14	II	<i>Hordeum vulgare</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
8	Aida	2n = 2x = 14	II	<i>Hordeum vulgare</i> L.	Özel Sektör Tohum Bayii
9	Emon	2n = 2x = 14	II	<i>Hordeum vulgare</i> L.	TİGEM Tohum Bayii
10	Dinkel	2n = 6x = 42	AABBDD	<i>Triticum spelta</i> L.	TİGEM Tohum Bayii
11	Gernik	2n = 4x = 28	BBAA	<i>Triticum dicoccon</i> L.	İhsangazi İlçe Tarım Müdürlüğü
12	Siyez	2n = 2x = 14	AA	<i>Triticum monococum</i> L.	İhsangazi İlçe Tarım Müdürlüğü

2.2. Çimlendirme Hazırlık Aşamaları

2.2.1. Sterilizasyon ve vernalizasyon

Tohumların çimlenmelerinde küf oluşumunu engellemek, yüzde çimlenme oranlarında doğruya en yakın sonucu elde edebilmek ve kadmiyumun çimlenme üzerine olan etkilerini net bir şekilde gözlemleyebilmek için sterilizasyon üzerinde farklı protokoller denendi. Bu protokoller ait detaylar Ek.1'de verildi.

Tüm sterilizasyon ve vernalizasyon çalışmaları neticesinde bitki gelişim düzeyini kimyasallarla yapılan sterilizasyon uygulamalarının tohumların gelişiminde negatif yönde etkisi olduğu gözlemlendi. Makarnalık ve ekmeçlik buğdaylar ile arpalarda vernalizasyon işlemi sonrasında gelişim ve çimlenme oranında bir fark gözlenmezken atalık buğdaylarda çimlenme oranında %16 ile % 78 arasında fark olduğu gözlemlendi. Bu sebeple atalık buğday türlerine ait tohumların vernalizasyon işlemine tabii tutulmasına karar verildi.

Sonuç olarak tüm şartların steril, tohumların distile su ile yıkandığı 4. Protokolün uygulanmasına karar verildi. Tohum çimlenmelerinin en verimli şekilde olması için atasal türlere 3. grup diğer tohumlarda ise 1 grup protokoller uygulandı.

2.2.2. Stres uygulamasında kullanılan kadmiyum (CdCl₂) çözeltilerinin hazırlanması

Deneylerde kullanılacak kadmiyum Hitit Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden temin edildi (CdCl₂ ma =183,32 g/mol). Ölçüm işlemleri hassas terazi ve cam mezür ile yapılmış olup tam çözünme sağlanması için manyetik karıştırıcı kullanıldı.

Ağır metal çözeltisi aşağıdaki formüle göre hesaplandı.

$$M = \frac{n}{V}$$

(M = Molar konsantrasyon, n = Çözünen maddenin mol sayısı, V = Çözeltinin litresi) 50 mM'lık (% 99) çözelti hazırlama;

$$0,05 M = n / 1000 \text{ ml} \quad n = 9,165 \text{ g}$$

9,165 g kadmiyum tartılarak 1 litre distile suda çözdürüldü. Çözelti 50 mM'lık stok çözelti olarak hazırlandı.

Çalışmalarda kullanılan farklı molariteler (0,5, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 mM) stok çözeltilerin seyreltilmesiyle hazırlandı.

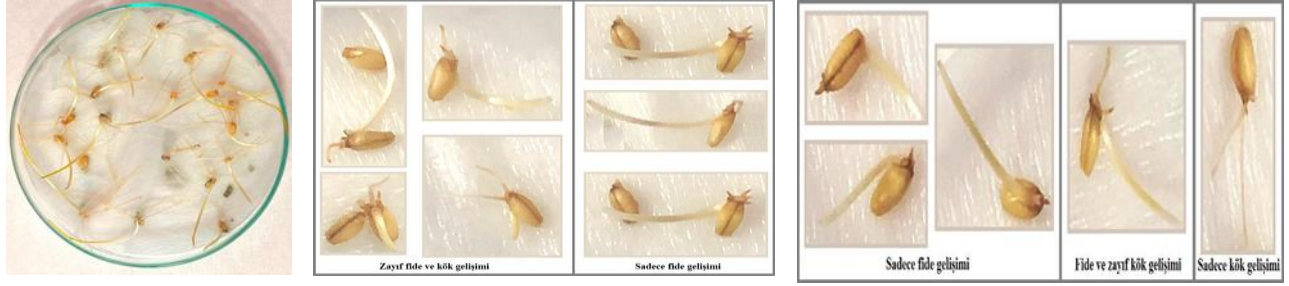
Seyreltme işlemi aşağıdaki formüle göre yapıldı.

$$M_1.V_1 = M_2.V_2$$

(M₁: Maddenin stok çözeltideki derişimi, V₁: Stok çözeltiden alınacak miktar, M₂: Hazırlanmak istenilen derişim, V₂: Hazırlanmak istenilen miktar)

2.2.3. Farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumun çimlenme üzerindeki etkileri ve uygun molaritelerin belirlenmesi

Çalışmada uygulanacak kadmiyum molaritelerinin optimizasyonu için hangi mM konsantrasyonda çimlenmenin tamamen duracağını tespit etmek üzere 0, 5, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 mM'lık çözeltiler bir çeşit üzerinde uygulanarak sonuçlar değerlendirildi. Sonuçlara göre 4, 5 ve 6 mM uygulamalarında çimlenmenin tamamen durduğu gözlemlendi Kuriakose ve Prasad (2008) sorgum üzerinde yaptıkları çalışmada 0,5 mM Cd'a kadar tolere edebildiğini, 3 mM'nin üzerindeki konsantrasyonlarda ise fide büyümesinin tamamen durmasıyla birlikte tohum çimlenmesinin olumsuz yönde etkilendiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada 3 mM'ın üzerindeki molaritelerde çimlenme ve büyüme tamamen durduğu ya da analiz edilebilecek örnek sayısı standardın altında olduğu için bu çalışmada en yüksek kadmiyum konsantrasyonu 3 mM olarak belirlendi.



1 mM CdCl₂ uygulama

3 mM CdCl₂ uygulama

5 mM CdCl₂ uygulama

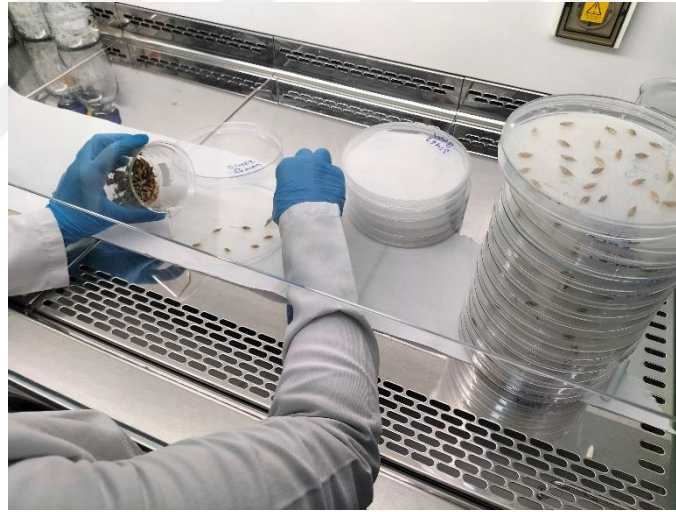
Resim 2.1. Farlı molaritelerde CdCl₂ uygulanması sonucunda fide ve kök gelişimleri

2.3. Tohumların 1000 Dane Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışmaya başlamadan önce mevcut tohumların her bir çeşitten 1000'er adet sayıldı ve 1000 dane ağırlıkları hassas terazi ile gram cinsinden tartıldı ve kaydedildi (Uluöz, 1965) (Tablo 3.1).

2.4. Çimlendirme Aşamaları

Çimlendirme işlemlerinden önce tüm şartların steril olması sağlandı. Çalışmalar biyogüvenlik kabininde gerçekleştirildi (Resim 2.2). Tohumların çimlendirilmesi için 12 cm'lik petri kaplarına iki adet filtre kâğıdı yerleştirilerek çimlenme ortamı oluşturuldu.



Resim 2.2. Çimlendirme için hazırlanan tohumların petri kaplarına yerleştirilmesi

Yapılan deneyler tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kuruldu. Her bir tekerrürde iki petri ve her petride yirmi beş tohum olacak şekilde deney grupları oluşturuldu. Bu sayede her tekerrür grubu elli tohum olmak üzere toplam tekerrür gruplarında yüz elli adet tohum kullanılmış oldu. Tüm tohumlar 400 devirdeki otomatik karıştırıcı üzerinde distile su ile 10 dk. çalkalandı (Resim 2.3).



Resim 2.3. Manyetik karıştırıcıda tohumların çalkalanması işlemi

Kontrol grubu olan petrilere 10 ml distile su, ağır metal uygulanacak petrilere ise 10 ml farklı molaritelerde (1, 2 ve 3 mM) hazırlanmış CdCl_2 çözeltilerinden konuldu. Vernalizasyon işlemi yapılan tohumlar $+4^\circ\text{C}$ 'ta 7 gün bekletildikten sonra $+23^\circ\text{C}$ 'ta 5 gün etüvde inkübasyona bırakıldı (Resim 2.4). Vernalizasyon yapılmayan tohumlar çözeltiler eklendikten sonra direkt etüve konuldu.



Resim 2.4. Çimlendirme için a) $+4^\circ\text{C}$ 'ta vernalizasyon, b) $+23^\circ\text{C}$ 'ta inkübasyon aşamalarının görüntüleri

2.4.1. Yüzde çimlenme oranlarının hesaplanması

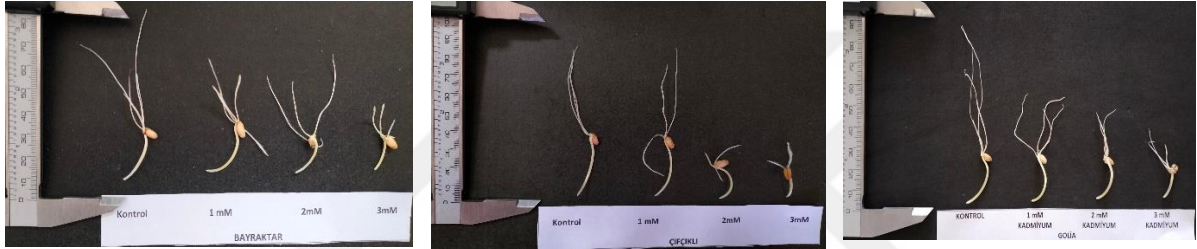
Ağır metal olarak kadmiyum (CaCl_2) bitki örneklerine üç farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) uygulandı ve çimlenmeye bırakıldı. Burada amaç ağır metal olarak kadmiyumun çimlenme fizyolojisi üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu etkiler morfolojik özelliklere göre çimlenen tohumlarda gelişen kök sayısı, kök uzunluğu ve sürgün uzunluklarının ölçülmesiyle değerlendirildi. Çalışmalar üç tekerrürlü yapıldı ve her bir tekerrürden elde edilen sayı ve uzunlukların ortalamaları alınarak deney grubu ve kontrol grubunun verileri olarak kaydedildi.

Yüzde çimlenme oranları hesaplanırken her bir tekerrürdeki (1, 2 ve 3) çimlenen tohumlar sayıldı ve 0,2 cm kökçük oluşumu çimlenmiş olarak kabul edildi. Çimlenme oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Çimlenme Oranı (\%)} = \frac{\text{Çimlenen tohum sayısı}}{\text{Toplam tohum sayısı}} \times 100$$

2.4.2. Morfolojik özelliklerin morfometrik analiz yöntemleri

Ağır metal olarak kadmiyumun buğday ve arpa tohumlarının çimlenme fizyolojisi üzerindeki etkileri morfolojik özelliklerindeki değişimlere göre değerlendirildi. Bunun için kadmiyumun farklı konsantrasyonları uygulandıktan sonra +23°C'ta 5 gün bekletilen tohumların morfolojik özelliklerinin morfometrik ölçümleri yapıldı. Morfolojik ölçümler yapılırken çimlenmeyen tohumlar ayrılarak çimlenen tohumların her biri için morfometrik ölçüm yapıldı. Ölçümlerde kök sayıları adet olarak kök ve sürgün (koleoptil) uzunlukları ise cetvel yardımıyla santimetre (cm) cinsinden ölçülerek fotoğraflandı (Resim 2.5-2.8). Tüm çimlenen tohumlarda rastgele 10 örnek seçilip ortalama ölçümlerin yapılması yerine çimlenen tohumların tamamının ölçülmesinin yüksek özgüllük değerine sahip olduğu ve bu şekilde gerçeğe en yakın sonucu vereceğine karar verildi. Her bir tekerrür grubu kendi içinde tüm ölçümlerin ortalama değerleri hesaplandı.



Bayraktar

Çıfçıklı

Golia

Resim 2.5. Ekmeklik buğday çeşitlerine ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.



Çeşit 1252

Kızıltan 91

Ovidio

Resim 2.6. Makarnalık buğday ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.

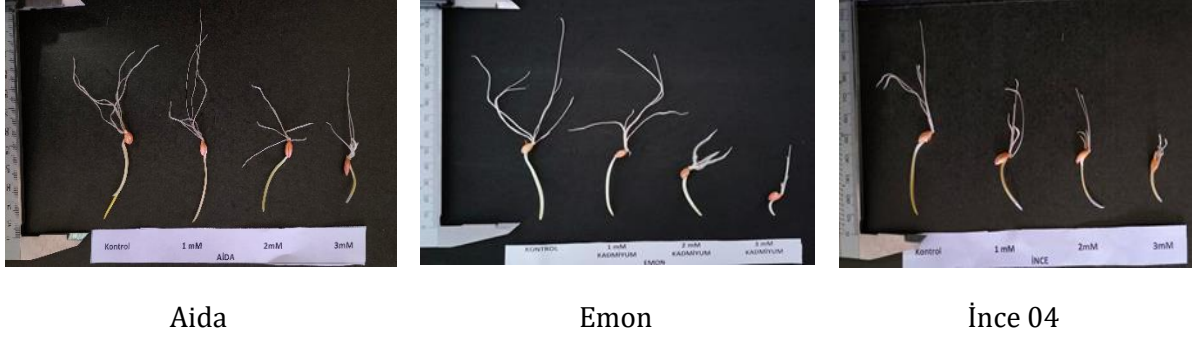


Siyez

Gernik

Dinkel

Resim 2.7. Atasal türlere ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.



Resim 2.8. Arpa çeşitlerine ait morfolojik özelliklerin ölçüm görüntüleri.

2.5. Stres Tolerans İndeksi (STİ) Hesaplama Yöntemi

Stres tolerans indeksi genotiplerin yüksek verim ve stres tolerans potansiyelinin belirlenmesinde yararlı bir araçtır (Wilkins, 1957). Her bir indeks hesaplanırken ağır metal stresi uygulanan morfometrik verileri ile kontrol grubundaki morfometrik veriler oranlanıp yüz ile çarpılması sonucunda elde edilen matematiksel verilerdir ve farklı büyüme parametreleri için stres tolerans endeksleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır (Iqbal ve Rahmati 1992; Amin ve ark., 2014). Bu değer yüz olması herhangi bir değişim olmadığını ifade eder. Yüzün altında olması bu stres faktörü sonucunda negatif yönde etkilendiğini, yüzün üzerinde olması durumunda ise pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir.

$$\text{Kök uzunluğu stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin kök uzunluğu}}{\text{Kontrol bitkisinin kök uzunluğu}} \times 100$$

$$\text{Sürgün uzunluğu stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin sürgün uzunluğu}}{\text{Kontrol bitkisinin sürgün uzunluğu}} \times 100$$

$$\text{Kök yaş ağırlık stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin kök yaş ağırlığı}}{\text{Kontrol bitkisinin kök yaş ağırlığı}} \times 100$$

$$\text{Sürgün yaş ağırlık stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin sürgün yaş ağırlığı}}{\text{Kontrol bitkisinin sürgün yaş ağırlığı}} \times 100$$

$$\text{Kök kuru ağırlık stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin kök kuru ağırlığı}}{\text{Kontrol bitkisinin Kök kuru ağırlığı}} \times 100$$

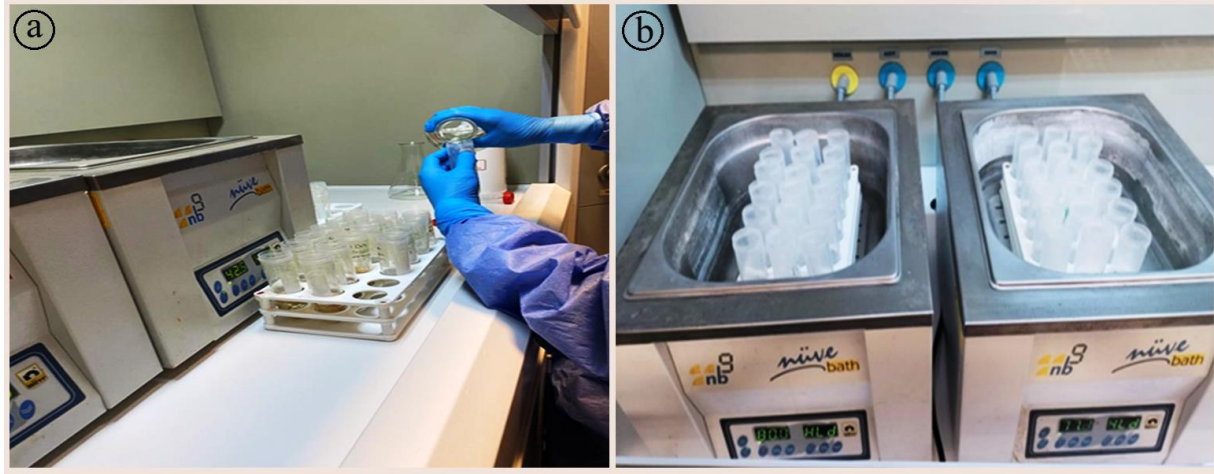
$$\text{Sürgün kuru ağırlık stres tolerans indeksi (\%)} = \frac{\text{Stres bitkisinin kuru ağırlığı}}{\text{Kontrol bitkisinin kuru ağırlığı}} \times 100$$

2.6. Spektroskopik Analizler

2.6.1. Atomik absorpsiyon spektroskopisi analizleri için materyallerin hazırlanması

Kadmiyumun çimlenmeden sonra gelişen kök ve sürgünlerin dış yüzeyinde tutunması (adsorpsiyon) ve aynı organların içinde depolanan miktarlarının (absorpsiyon) ölçülmesi için çimlenmiş tohumların kök ve sürgünleri ayrılarak hassas terazi ile yaş ve kuru ağırlıkları ölçüldü. Adsorbansın ölçülmesi için kök ve sürgünler 10 mM'lık 50 mL EDTA ile 10 dakika çalkalandı, süzüldü ve 50 mL'lik tüplere konuldu. Bu işlem her bir molaritede kök ve sürgünler için

gerçekleştirildi. Bu şekilde yaş örneklerin dış yüzeylerindeki kadmiyum şelatlanarak EDTA'lı çözeltiliye aktarıldı. Daha sonra kuru ağırlık ölçümü ve absorbans analizi için kök ve sürgünler +45°C'ta 7 gün etüvde kurumaya bırakıldı. Tam kuruma gerçekleştikten sonra hassas terazi ile kuru ağırlıkları gram cinsinden tartıldı. Kurutulan örnekler 50 mL'lik tüplerde 1:1 oranında olacak şekilde 15 mL HNO₃: 15 mL H₂O₂ eklenerek çeker ocak içerisinde sıcak su banyosuna konularak hidroliz ya da yakma işlemi gerçekleştirildi (Resim 2.9 a ve b). Asit ile yakma işlemi bitki miktarına göre değişiklik gösterdi. Bitki türleri ve çeşitlerinin kadmiyuma gösterdikleri tepki farklı olduğundan bu bitkilerin kuru ağırlığını oluşturan biyokütlelerinin de farklı olmasına neden oldu. Tam bir şeffaflık sağlanana kadar su banyosunda bekletildi. EDTA'lı çözeltiler ve hidroliz çözeltileri Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezinde (HÜBTUAM) atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) cihazında alevli analiz yöntemi ile çözeltilerin içeriğindeki kadmiyum miktarları tespit edildi. Örneklerin kütle miktarları ağır metal stresine karşı gösterdikleri tepkiden dolayı farklı olduğundan dolayı her bir örnek için 1 g kütleye karşılık gelen kadmiyum miktarları belirlendi.



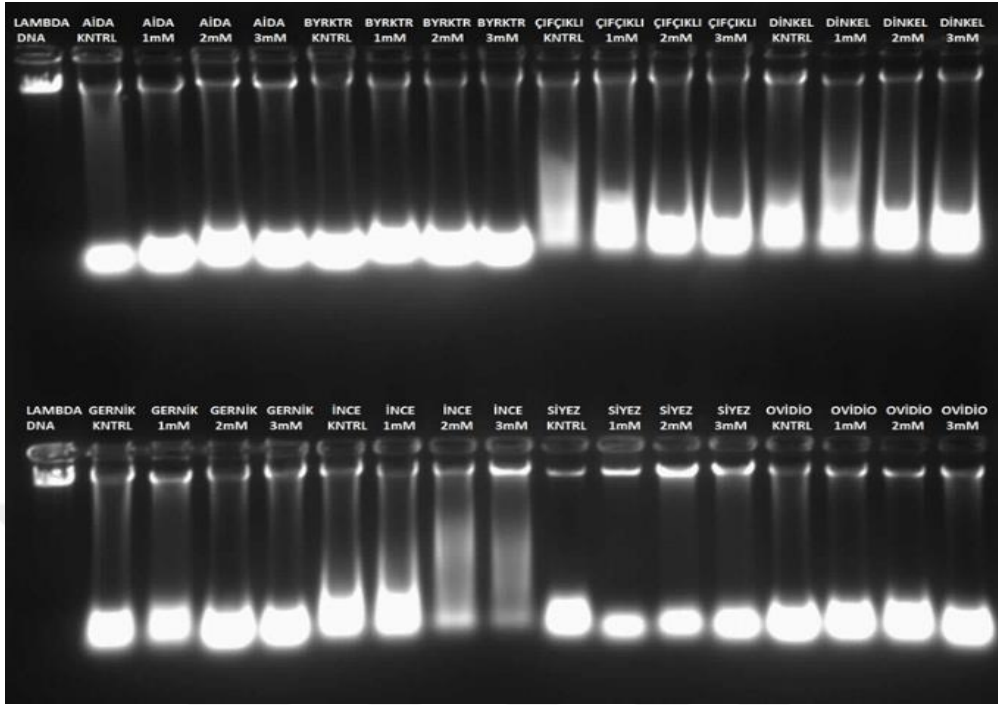
Resim 2.9. a. Çeker ocak içinde asit ile hidroliz işlemi için örneklerin hazırlanması, b. Su banyosunda hidroliz işlemleri.

2.6. Moleküler Analizler

2.6.1. DNA izolasyonu

Her bir çeşit için yüz elli adet tohum örneği distile su ile yıkanarak petri başına 25 adet tohum olacak şekilde yerleştirildi. Kontrol grubuna 10 ml distile su, diğer 3 gruba da 1mM, 2mM ve 3mM'lık CdCl₂ çözeltisinden 10 ml eklenerek +23°C'ta 5 gün etüvde inkübasyona bırakıldı. Çimlenen tohumların kök ve sürgünleri moleküler analizler için her bir pakette 8 ila 10 adet olacak şekilde paketlenildi. Bitki dokuları sıvı azotta öğütüldü ve toz haline gelen örnekler 2mL'lik eppendorf tüplere konuldu. Kidwell ve Osborn'un (1992) protokolü modifiye edilerek DNA izolasyonları yapıldı. İzolasyon sonrasında DNA miktarını tespit edebilmek için Lambda DNA (250 ng/μl) ile % 0,8'lik agaroz jelde 100 V ve 50 mA'de 1 saat 15 dakika yürütüldü (Resim 2.10). Jellerin görüntüleri GEN-BOX SDR (bio-imaging system) görüntüleme sisteminde UV ışığı

kullanılarak görüntülendi. Genomik DNA konsantrasyonları λ DNA'ya göre bu fotoğraflar üzerinde belirlenerek ISSR PCR analizleri için seyreltme işlemi gerçekleştirildi.



Resim 2.10. Genomik DNA agaroz jel görüntüsü

2.6.2. Polimeraz zincir reaksiyonlarının (PZR) hazırlanması

ISSR için Wolfe ve ark. (1998)'nin protokolü modifiye edilerek uygulandı. Moleküler karakterizasyon için örnekler (University of British Columbia) 12 adet ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) primeri tarandı. Aralarında en iyi bant profili gösteren 5 adet primerle devam edilmesine karar verildi ve tüm popülasyonlara uygulandı. Burada popülasyon terimi çeşitlerin kontrol ve kadmiyum uygulanan gruplarını ifade etmektedir.

Tablo 2.2. Moleküler analizlerde kullanılan primer isimleri ve dizi bilgileri.

S.N.	Primer Adı	Primer Dizisi (5'→3')
1	UBC 817	CACACACACACACAA
2	UBC 818	CACACACACACACAG
3	UBC 826	ACACACACACACACC
4	UBC 827	ACACACACACACACG
5	UBC 829	TGTGTGTGTGTGTGC

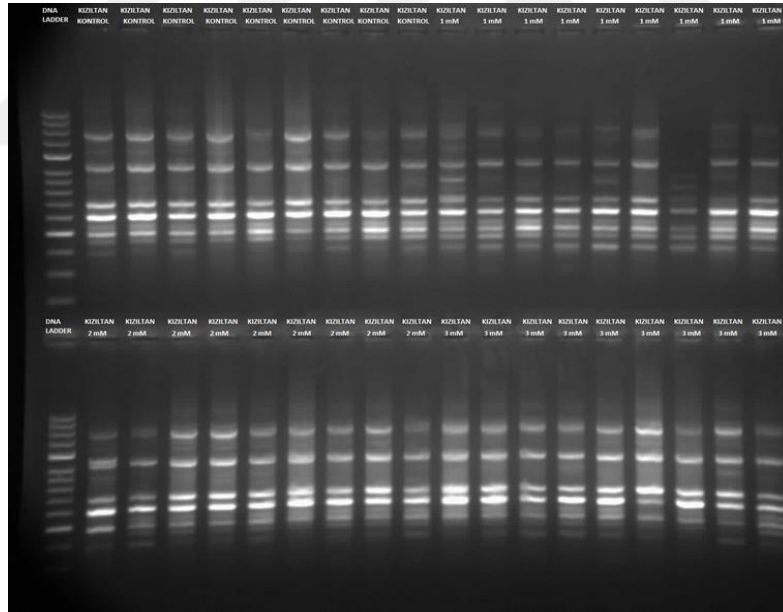
PCR'da 20 μ L'lik bir reaksiyonda son hacimde 1x *Taq* DNA polimeraz buffer [$\text{Na}_2(\text{SO}_4)_2$] (ABT), 2 mM MgCl_2 (25 mM) (ABT), 0,2 mM dNTPs (ABT), 0,2 μ M primer (10 μ M) (UBC), 0,2 U *Taq* DNA polimeraz (5U/ μ L) (ABT) ve DNA (10-50 ng/ μ L) bulunacak şekilde son hacim 20 μ L'ye distile su ile tamamlanarak hazırlandı. PCR analizleri Thermo Electron Thermalcycler marka bir cihazla

gerçekleştirildi. ISSR-PCR analizi işlemlerinde kullanılan termal program her bir primer için ayrı ayrı belirlendi. Kullanılan termal programlardan bir örnek aşağıda verildi;

Tablo 2.3. Örnek bir PCR termal programı.

S.N.	Basamak	Sıcaklık (°C)	Süre	Döngü sayısı
1	Başlangıç denatürasyonu	94	1,5 dk.	1
2	Denatürasyon	94	40 s	
3	Primer bağlanma (annealing)	55	1 dk.	35
4	Sentez (extention)	72	1,5 dk.	
5	Son uzama (final extention)	72	5 dk.	1
6	Saklama	6	∞	

Oluşan PCR ürünleri %1,8' lik agaroz jelde, 50 mA ve 100 V koşullarında 2-2,5 saat elektroforeze tabi tutuldu. Örnekler 100 bp DNA ladder (ABT) ile birlikte yürütüldü (Resim 2.11). Elektroforez işleminden sonra jellerin görüntüleri jel görüntüleme cihazıyla (GEN-BOX SDR Bio-Imaging System) görüntülendi. Değerlendirmeler skorlama işlemi Image Quant (Total Lab) yazılım programı ve fotoğraflar üzerinden birlikte yapılarak ham veriler elde edildi.



Resim 2.11. UBC 827 primeri ile Kızıltan 91 örneklerinde gerçekleştirilen PCR'ın agaroz jel görüntüsü

Daha sonra ham veriler binary veri dosyasına (DAT. dosya formatı) (yani bant varsa 1 yoksa 0 olarak kodlanarak) dönüştürüldü. Bu dosya popülasyon genetiği analizlerinin yapıldığı POPGEN (ver. 1.32) popülasyon genetiği analiz programı ile analiz edildi.

2.6.3. İstatistiksel analizler

Bu çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde çeşitli istatistiksel yöntemler kullanıldı. Öncelikle morfometrik veriler ve atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) analiz verileri gibi elde edilen ham verilerin homojen dağılıp dağılmadıkları SPSS (IBM ver. 15) yazılım programında “*Test of Homogeneity*” yöntemi ile test edildi. Verilerin homojen dağılıma sahip oldukları belirlendikten sonra gözlenen varyansın anlamlı olup olmadığı çalışmada kullanılan tür ve çeşitlere göre, uygulanan 3 farklı kadmiyum molaritesine göre “tek yönlü ANOVA” yöntemi ile analiz edildi. ANOVA sonuçlarına göre *Sigma* değeri $p < 0.05$ olduğu belirlendiğinde varyansın nereden kaynaklandığını açıklamak için Tukey HSD *post hoc* testi uygulandı ve sonuçlar değerlendirildi. Morfometrik veriler ve AAS verileri arasında bir korelasyonun olup olmadığı ise *Spearman's rho* katsayıları hesaplanarak $p < 0.05$ önemlilik düzeyinde olan sonuçlar belirlendi ve değerlendirildi.

Gruplar arası varyansın homojen olduğunun kabul edilebilmesi için *Sigma* (p) değerinin $p > 0,05$ 'ten büyük olması gereklidir. Bu varyansın ön koşuludur, ancak gerçekleşme bile ANOVA yapılabilir. İki hipotez kurulur: $H_0 =$ Varyans önemli değildir, $H_1 =$ Varyans önemlidir. ANOVA sonucunda $p < 0,05$ olduğunda null hipotezi (H_0) reddedilir ve H_1 hipotezi kabul edilir. Bu durumda *post hoc* testine başvurulur. *Post hoc* testleri olarak Tukey, LSD ve Schaffie kullanılabilir. *Post hoc* testleri varyansın nereden kaynaklandığını açıklar.

2.6.4. Popülasyon genetiği analizleri

Bu çalışmada elde edilen binary dosyası POPGEN (ver. 1.32) ile analiz edildi (Yeh ve ark., 2000). Kontrol grubunda elde edilen DNA'lar 5 adet ISSR primeri ile analiz edildi ve jel görüntüleri skorlandı. Bu veriler popülasyon genetiği analizinde kullanıldı. Bu analizlerin yapılmasının amacı sertifikalı, ekmeklik ve makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türleri arasındaki filogenetik ilişkilerinin mevcut durumunu analiz etmek ve karşılaştırmaktır. Buğday ve arpa diploit bitkiler olduklarından veriler diploit olarak kabul edildi. Popülasyon genetiği analizlerinde Alel sayısı (n_a), Etkin Alel Sayısı (n_e), Polimorfik Lokuslar, Genetik Çeşitlilik (h), Shannon İndeksi (I), Genetik Uzaklık (D), F-İstatistikleri ve Gen Akışı (N_m) parametreleri kullanıldı. UPGMA kullanılarak Nei'nin genetik mesafelerine dayalı olarak bir dendrogram oluşturuldu.

Alel Sayısı (n_a): Bir lokusta frekansı sıfır olmayan alellerin sayısını ifade eder.

Etkili Alel Sayısı (n_e): Homozigotluğun karşılıklılığını tahmin eder (Hartl ve Clark 1989, s.125). Başka bir ifadeyle çeşitliliği katkı sağlayan ve frekansları birbirine yakın olan alelleri sayarken düşük frekanslı alelleri katmaz. Gerçek genetik çeşitliliği ifade eder.

Polimorfik Lokuslar: Alel frekanslarına bakılmaksızın polimorfik olan tüm lokusların yüzdesini ifade eder.

Genetik Çeşitlilik (h): Nei'ye (1973) göre genetik çeşitliliği tahmin eder.

Shannon İndeksi (I): Shannon'ın (1949) bilgi indeksini gen çeşitliliğinin bir ölçüsü olarak tahmin eder.

F-İstatistikleri: *F* istatistikleri gruplar (popülasyonlar ve alt popülasyonlar) arasındaki farklılığın uzantısını Nei'ye (1973) göre tahmin etmede kullanılır.

Gen Akışı: G_{ST} veya F_{ST} 'ye göre popülasyonlar arasındaki gen akışını tahmin eder (Slatkin ve Barton 1989). Tahmin, Gruplar veya Çoklu Popülasyonlar için yapılır.

Genetik Uzaklık (*D*): Nei'nin (1972) genetik kimliğini (genetic identity) ve genetik mesafesini (genetic distance) ve Nei'nin (1978) tarafsız genetik kimliğini ve genetik mesafesini tahmin eder. Tahmin, Gruplar veya Çoklu Popülasyonlar için yapılır.

Dendrogram: UPGMA (aritmetik ortalamalı ağırlıklandırılmamış çift grup yöntemi; Sokal ve Michener 1958) kullanarak Nei'nin genetik mesafelerine dayalı bir dendrogram oluşturur. Bu program, Joe Felsenstein tarafından hazırlanan PHYLIP sürüm 3.5c'nin NEIGHBOR programının uyarlanmış halidir. Çizim Gruplar veya Çoklu Popülasyonlar için yürütülür. UPGMA, uzaklık matrisinden filogenetik bir ağaç oluşturmaya yönelik basit bir yaklaşımdır.

2.6.5. Genomik kalıp kararlılığı (%)

Genomik kararlılık (%) Ateizar'a (1999) göre hesaplandı. Hesaplama 5 ISSR primeri ile yapılan PCR sonucu oluşan bant desenleri jel görüntüleme cihazıyla (GEN-BOX SDR Bio-İmaging System) görüntülendi. Değerlendirmeler GeneTools yazılım programı ile yapıldı. Elde edilen veriler her bir primer için hesaplandı. Örneklere ait ISSR profillerinde gözlenen yeni bant oluşumu ve bant kayıpları Resim 3.5 ve Resim 3.6'da verildi.

Yüzde GTS hesaplama formülü şu şekildedir;

$$GTS (\%) = 100 - \left(100 \times \frac{a}{n} \right)$$

Burada "a" ağır metale maruz kalmış yani işlenmiş numunelerdeki polimorfik bant sayısını, "n" ise kontrol numunelerindeki toplam bant sayısını tanımlar (Huybrechts ve ark., 2019). Yapılan çalışmalar neticesinde genotoksik etkinin belirlenmesi RAPD moleküler belirteçlerinin yanı sıra SSR, ISSR ve AFLP tekniği ile belirlenebilmektedir (Li ve ark., 2015; Wang ve ark., 2016; Sorrentino ve ark., 2017).

3. BÖLÜM BULGULAR

3.1. Morfolojik Veriler

3.1.1. Tohumların 1000 dane ağırlıkları

Analizlerde kullanılan tohumların 1000 dane ağırlıkları hassas terazi ile tartıldı ve ağırlıkları gram cinsinden Tablo 3.1' de verildi. En yüksek 1000 dane ağırlığı makarnalık buğday çeşidi Çeşit 1252'de ve en düşük ağırlık ekmeçlik buğday çeşidi Golia'da sırasıyla 51,42 g ve 30,66 g olarak ölçüldü. Arpa çeşitleri ve atalık buğday türlerinde 1000 dane ağırlıkları birbirine yakın miktarlarda gözlenirken genel olarak en düşük ağırlıklar ekmeçlik buğday çeşitlerinde gözlemlendi.

Tablo 3.1. Analizlerde kullanılan sertifikalı ekmeçlik buğday, makarnalık buğday, arpa çeşitleri ve atalık buğday türlerinin 1000 dane ağırlıkları

S.N.	Çeşit Adı	Tür adı	1000 Dane Ağırlığı (g)
1	Bayraktar	<i>Triticum aestivum</i> L.	37,79
2	Çıfçıklı	<i>Triticum aestivum</i> L.	37,08
3	Golia	<i>Triticum aestivum</i> L.	30,66
4	Çeşit 1252	<i>Triticum durum</i> L.	51,42
5	Kızıltan 91	<i>Triticum durum</i> L.	48,22
6	Ovidio	<i>Triticum durum</i> L.	51,12
7	İnce 04	<i>Hordeum vulgare</i> L.	43,6
8	Aida	<i>Hordeum vulgare</i> L.	48,97
9	Emon	<i>Hordeum vulgare</i> L.	43,67
10	Dinkel	<i>Triticum spelta</i> L.	44,88
11	Gernik	<i>Triticum dicoccum</i> L.	44,99
12	Siyez	<i>Triticum monococum</i> L.	42,47

3.1.2. Çimlenme oranları (%)

Ekmeçlik buğday çeşitleri

Ekmeçlik buğday çeşitlerinde üç tekerrürlü çimlenme sonuçlarının ortalama çimlenme yüzde oranları Tablo 3.2'de verildi. Kontrol gruplarına göre en yüksek ve en düşük ortalama çimlenme oranları %95,33 ve %82 olarak sırasıyla Golia ve Bayraktar çeşitlerinde görüldü. Farklı kadmiyum konsantrasyonlarına göre çimlenme oranlarında en düşük %82 olarak Bayraktar çeşidinde gözlemlendi. Çıfçıklı ve Golia çeşitlerinde ise kontrol ve 1 mM kadmiyum uygulamasında çimlenme oranlarında önemli bir düşüş görülmezken, 3 mM uygulamasında çimlenme oranlarında dikkate değer oranlarda düşüş olduğu gözlemlendi.

Tablo 3.2. Ekmeklik buğdaylarda yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri.

Çeşit Adı		Çimlenme oranı (%)			Ortalama (%)
		1.Tekerrür	2.Tekerrür	3.Tekerrür	
Bayraktar	Kontrol	84	80	82	82
	1 mM CdCl ₂	82	72	64	72,67
	2 mM CdCl ₂	78	70	82	76,67
	3 mM CdCl ₂	70	74	58	67,33
Çıfçıklı	Kontrol	80	88	86	84,67
	1 mM CdCl ₂	80	92	82	84,67
	2 mM CdCl ₂	84	60	82	75,33
	3 mM CdCl ₂	80	78	62	73,33
Golia	Kontrol	98	90	98	95,33
	1 mM CdCl ₂	94	90	100	94,67
	2 mM CdCl ₂	90	100	94	94,67
	3 mM CdCl ₂	80	80	84	81,33

Makarnalık buğday çeşitleri

Makarnalık buğday çeşitlerinde üç tekerrürlü çimlenme sonuçlarının ortalama çimlenme yüzde oranları Tablo 3.3'te verildi. Makarnalık buğdaylarda ortalama çimlenme oranlarına bakıldığında kontrol gruplarına göre en yüksek ve en düşük çimlenme oranları %99,33 ve %68,67 olarak sırasıyla Kızıltan 91 ve Ovidio'da tespit edildi. Farklı molaritelerde kadmiyum uygulandığında Çeşit 1252 ve Kızıltan 91 çeşitlerinde çimlenme oranlarında dikkate değer oranlarda düşüşler olduğu gözlenirken Ovidio'da kadmiyum molaritesi arttıkça çimlenme oranlarında büyük farklılıklar gözlenmedi.

Tablo 3.3. Makarnalık buğdaylarda yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri

Çeşit Adı		Çimlenme oranı (%)			Ortalama (%)
		1.Tekerrür	2.Tekerrür	3.Tekerrür	
Ovidio	Kontrol	80	60	66	68,67
	1 mM CdCl ₂	84	90	90	88
	2 mM CdCl ₂	86	94	86	88,67
	3 mM CdCl ₂	82	76	92	83,33
Çeşit 1252	Kontrol	88	94	92	91,33
	1 mM CdCl ₂	88	92	90	90
	2 mM CdCl ₂	70	96	82	82,67
	3 mM CdCl ₂	68	76	76	73,33
Kızıltan 91	Kontrol	100	100	98	99,33
	1 mM CdCl ₂	96	96	98	96,67
	2 mM CdCl ₂	94	92	84	90
	3 mM CdCl ₂	90	88	88	88,67

Arpa çeşitleri

Arpa çeşitlerinde üç tekerrürlü çimlenme sonuçlarının ortalama çimlenme yüzde oranları Tablo 3.4'te verildi. Arpa çeşitlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek ve en düşük ortalama çimlenme oranları %94,67 ve %62,67 olarak sırasıyla Aida ve Emon çeşitlerinde görüldü. Farklı molaritelerde kadmiyum uygulamalarına göre ise İnce 04 ve Aida çeşitlerinde molarite arttıkça çimlenme oranları da artarken, Emon'da ise tam tersi azalma olduğu belirlendi.

Tablo 3.4. Arpalarda yüzde çimlenme oranları ve yüzdelерinin ortalama değeri

Çeşit Adı		Çimlenme oranı (%)			Ortalama (%)
		1.Tekerrür	2.Tekerrür	3.Tekerrür	
İnce 04	Kontrol	76	78	82	78,67
	1 mM CdCl ₂	94	88	92	91,33
	2 mM CdCl ₂	86	90	80	85,33
	3 mM CdCl ₂	86	90	84	86,67
Aida	Kontrol	98	94	92	94,67
	1 mM CdCl ₂	96	92	96	94,67
	2 mM CdCl ₂	98	96	98	97,33
	3 mM CdCl ₂	98	96	94	96
Emon	Kontrol	64	66	58	62,67
	1 mM CdCl ₂	60	58	58	58,67
	2 mM CdCl ₂	62	68	64	64,67
	3 mM CdCl ₂	54	58	54	55,33

Atalık buğday türleri

Atalık buğday türlerinde üç tekerrürlü çimlenme sonuçlarının ortalama çimlenme yüzde oranları Tablo 3.5'te verildi. Atalık buğday türlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek ve en düşük ortalama çimlenme oranları %83,33 ve %53,33 olarak sırasıyla Dinkel ve Gernik buğday türlerinde tespit edildi. Farklı molaritelerde kadmiyum uygulamalarına göre 1 mM uygulamasında Dinkel buğday tohumlarında çimlenme oranının arttığı diğer molaritelerde ise dikkate değer oranda azalma olduğu belirlendi. Gernik buğdayında ise molarite arttıkça ortalama çimlenme oranlarında dikkate değer bir düşüş olduğu ve kadmiyumda en çok etkilenen atasal buğday türü olduğu gözlemlendi. Siyez'de kontrol grubu, 1 mM ve 2 mM uygulamalarında ortalama çimlenme oranları birbirine yakın olarak tespit edilirken 3 mM'da dikkate değer oranda azalma olduğu tespit edildi.

Tablo 3.5. Atalık buğday türlerinde yüzde çimlenme oranları ve yüzdelerinin ortalama değerleri

Çeşit Adı	Çimlenme oranı (%)			Ortalama (%)	
	1.Tekerrür	2.Tekerrür	3.Tekerrür		
Dinkel	Kontrol	90	82	78	83,33
	1 mM CdCl ₂	86	96	96	92,67
	2 mM CdCl ₂	86	62	74	74
	3 mM CdCl ₂	78	82	68	76
Gernik	Kontrol	42	50	68	53,33
	1 mM CdCl ₂	38	32	66	45,33
	2 mM CdCl ₂	32	46	40	39,33
	3 mM CdCl ₂	42	24	20	28,67
Siyez	Kontrol	78	82	88	82,67
	1 mM CdCl ₂	82	88	76	82
	2 mM CdCl ₂	76	82	84	80,67
	3 mM CdCl ₂	76	58	44	59,33

3.1.3. Mofolojik özelliklerin morfometrik analizleri

Ekmeklik buğday çeşitleri

Sertifikalı ekmeklik buğday çeşitlerinde ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile yaş ve kuru ağırlık değerleri ölçüldü ve sonuçlar Tablo 3.6'da verildi. Ekmeklik buğday çeşitlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek ve en düşük ortalama kök sayısı (OKS) 4,56 ve 2,92 olarak sırasıyla Golia ve Çıfçıklı çeşitlerinde sayıldı. Kadmiyum molaritesi arttıkça ortalama kök sayılarında dikkate değer oranlarda azalma olduğu görüldü. Ortalama kök uzunluğuna (OKU) göre en yüksek ve en düşük ortalama uzunluklar 5,08 cm ve 3,76 cm olarak sırasıyla Bayraktar ve Çıfçıklı çeşitlerinde ölçüldü.

Tablo 3.6. Tüm sertifikalı ekmeklik buğday çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri.

Çeşit Adı		OKS (adet)	OKU (cm)	OSU (cm)	KYA (g)	KKA (g)	SYA (g)	SKA (g)
Bayraktar	Kontrol	4,52	5,08	1,85	3,74	0,42	2,16	0,27
	1mM	4,56	3,71	2,06	2,84	0,34	2,49	0,3
	2mM	4,4	3,06	1,48	2,57	0,33	2,01	0,25
	3mM	3,52	1,86	1,12	1,37	0,19	1,52	0,24
Çıfçıklı	Kontrol	2,92	3,76	2,11	2,71	0,27	2,48	0,29
	1mM	2,96	3,12	2,17	2,4	0,29	2,98	0,36
	2mM	2,85	2,28	1,49	1,59	0,21	2,11	0,28
	3mM	2,65	1,75	1,11	1,3	0,15	1,6	0,24
Golia	Kontrol	4,56	4,93	2,83	2,32	0,25	3,12	0,29
	1mM	4,39	2,56	1,61	1,42	0,17	1,95	0,24
	2mM	3,69	1,22	0,91	1,08	0,17	0,92	0,13
	3mM	2,47	0,77	0,7	0,54	0,06	0,68	0,11

Kontrol gruplarında ortalama değerlere göre ortalama sürgün uzunluğu (OSU), kök yağ ağırlığı (KYA), kök kuru ağırlığı (KKA) ve sürgün kuru ağırlığı (SKA) verilerine göre en yüksek değerler 1,85 cm, 3,74 g ve 0,42 g olarak Bayraktar eşidinde gözlenirken ortalama en düşük veriler 2,83 cm, 2,32 g ve 0,25 g olarak Golia eşidinde gözlendi (Tablo 3.6). Sürgün yağ ağırlığında (SYA) ise en yüksek ortalama ağırlık 3,12 g ile Golia eşidinde tespit edilirken en düşük ortalama ağırlık 2,16 g ile Bayraktar eşidinde tespit edildi.

Makarnalık buğday eşitleri

Sertifikalı makarnalık buğday çeşitlerinde ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri ölçüldü ve sonuçlar Tablo 3.7’de verildi. Makarnalık buğday çeşitlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek ortalama kök sayısı 4,81 olarak Ovidio eşidinde sayılırken en düşük 4,03 olarak Kızıltan 91 eşidinde sayıldı. En yüksek ortalama kök uzunluğu 5,37 cm olarak Kızıltan 91 eşidinde belirlenirken, en düşük ortalama 2,46 cm olarak Ovidio’da belirlendi. Kontrol gruplarında ortalama değerlere göre en yüksek ortalama sürgün uzunluğu ve kök yağ ağırlığı 2,05 cm ve 0,29 g olarak Ovidio eşidinde gözlenirken, en düşük ortalama değerler çeşit 1252 çeşidinde gözlendi. Ortalama kök kuru ağırlığı en yüksek 0,29 g olarak Ovidio ve Kızıltan 91 eşitlerinde ölçülürken, en düşük ortalama değer 0,29 g olarak çeşit 1252 çeşidinde ölçüldü. Ortalama sürgün yağ ağırlığı ve sürgün kuru ağırlığı verilerine göre en yüksek değerler 3,43 g ve 0,45 g olarak Ovidio eşidinde tespit edilirken, ortalama en düşük değerler 1,16 cm ve 0,16 g olarak Kızıltan 91 eşidinde gözlendi. Kadmiyum molaritesi arttıkça ortalama morfometrik verilerde dikkate değer oranlarda azalma olduğu görüldü.

Tablo 3.7. Tüm sertifikalı makarnalık buğday çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri

eşit Adı		OKS (adet)	OKU (cm)	OSU (cm)	KYA (g)	KKA (g)	SYA (g)	SKA (g)
Ovidio	Kontrol	4,81	2,46	2,66	2,05	0,29	3,43	0,45
	1mM	4,23	1,81	1,57	2,38	0,4	2,42	0,36
	2mM	3,7	1,4	0,88	2,01	0,35	1,55	0,27
	3mM	3,02	1,16	1,04	1,5	0,27	1,72	0,29
eşit 1252	Kontrol	4,67	4,75	1,53	1,66	0,27	1,35	0,18
	1mM	5,01	3,59	1,85	1,84	0,27	1,41	0,2
	2mM	4,32	2,72	1,08	1,29	0,21	0,93	0,15
	3mM	3,12	2,1	0,9	0,69	0,12	0,68	0,12
Kızıltan 91	Kontrol	4,03	5,37	1,58	1,75	0,29	1,16	0,16
	1mM	3,73	3,4	1,31	1,71	0,28	1,05	0,17
	2mM	4,14	2,84	0,73	1,58	0,27	0,71	0,12
	3mM	3,23	2,06	0,55	0,86	0,11	0,61	0,11

Arpa eşitleri

Sertifikalı arpa çeşitlerinde ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri ölçüldü ve sonuçlar Tablo 3.8’de verildi. Arpa eşitlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek

ortalama kök sayısı (OKS) 5,2 olarak Aida çeşidinde sayılırken en düşük 4,51 olarak Emon çeşidinde sayıldı. En yüksek ortalama kök uzunluğu 6,31 cm olarak İnce 04 çeşidinde belirlenirken en düşük ortalama 4,01 cm olarak Aida'da belirlendi. Kontrol gruplarında ortalama değerlere göre en yüksek ortalama sürgün uzunluğu ve kök yaş ağırlığı 7 cm ve 0,55 g olarak İnce 04 çeşidinde gözlenirken en düşük ortalama değerler 2,62 g ve 0,25 g olarak Emon çeşidinde gözlendi. Ortalama sürgün yaş ağırlığı ve sürgün kuru ağırlığı verilerine göre en yüksek değerler 8,69 g ve 0,85 g olarak Aida çeşidinde tespit edilirken ortalama en düşük değerler 2,72 cm ve 0,26 g olarak Emon çeşidinde gözlendi. Kadmiyum molaritesi arttıkça ortalama morfometrik verilerde dikkate değer oranlarda azalma olduğu görüldü.

Tablo 3.8. Tüm sertifikalı arpa çeşitlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri

Çeşit Adı		OKS (adet)	OKU (cm)	OS (cm)	KYA (g)	KKA (g)	SYA (g)	SKA (g)
İnce 04	Kontrol	4,85	6,31	4,88	7,00	0,55	8,37	0,64
	1mM	4,91	2,76	3,36	4,13	0,38	6,77	0,63
	2mM	4,83	1,86	2,33	2,32	0,27	4,96	0,53
	3mM	4,1	1,2	1,79	1,58	0,21	4,2	0,51
Aida	Kontrol	5,2	4,01	4,37	4,08	0,5	8,69	0,85
	1mM	5,58	2,78	2,64	3,65	0,48	5,7	0,69
	2mM	5,2	1,96	1,52	2,85	0,45	3,77	0,54
	3mM	4,15	1,41	1,01	1,64	0,28	2,38	0,38
Emon	Kontrol	4,51	5,21	2,57	2,62	0,25	2,72	0,26
	1mM	4,52	3,14	2,35	1,57	0,17	2,35	0,24
	2mM	4,5	2,79	1,69	1,17	0,17	1,9	0,22
	3mM	2,74	1,23	1,47	0,35	0,06	1,17	0,15

Atalık buğday türleri

Atalık buğday türlerinde ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri ölçüldü ve sonuçlar Tablo 3.9'da verildi. Atalık buğday türlerinde kontrol gruplarına göre en yüksek ortalama kök sayısı 4,73 olarak Gernik'te sayılırken en düşük 3,34 olarak Dinkel'de sayıldı. En yüksek ve en düşük ortalama kök uzunluğu 9,38 cm ve 6,58 cm olarak sırasıyla Dinkel'de ve Siyez'de belirlenirken, En yüksek ve en düşük ortalama sürgün uzunluğu 4,69 cm ve 6,21 cm olarak sırasıyla Dinkel ve Gernik'te belirlendi. Kontrol gruplarında ortalama değerlere göre en yüksek ortalama kök yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığı sırasıyla 6,81 g ve 0,7 g olarak Dinkel'de gözlenirken en düşük ortalama değerler 4,61 g ve 0,38 g olarak Siyez'de gözlendi. Ortalama sürgün yaş ağırlığı ve sürgün kuru ağırlığı verilerine göre en yüksek değerler sırasıyla 6,7 g ve 0,69 g olarak Dinkel'de tespit edilirken ortalama en düşük değerler 4,43 cm ve 0,41 g olarak Gernik'te gözlendi. Kadmiyum molaritesi arttıkça ortalama morfometrik verilerde dikkate değer oranlarda azalma olduğu görüldü.

Tablo 3.9. Tüm atalık buğday türlerinin ortalama kök sayısı, kök ve sürgün uzunlukları ile ağırlık değerleri

Çeşit Adı		OKS (adet)	OKU (cm)	OS (cm)	KYA (g)	KKA (g)	SYA (g)	SKA (g)
Dinkel	Kontrol	3,34	9,38	4,69	6,81	0,7	6,7	0,69
	1mM	4,28	3,98	2,73	4,16	0,58	3,95	0,47
	2mM	3,95	2,82	1,26	2,06	0,27	1,73	0,23
	3mM	3,71	2,01	0,78	1,8	0,3	1,1	0,18
Gernik	Kontrol	4,73	8,2	6,21	4,83	0,44	4,43	0,41
	1mM	4,56	5,07	4,78	3,27	0,32	3,06	0,3
	2mM	4,57	3,32	3,78	1,83	0,24	2,01	0,38
	3mM	2,57	1,46	2,13	0,65	0,08	0,93	0,15
Siyez	Kontrol	4,58	6,58	6,63	4,61	0,38	6,69	0,64
	1mM	4,44	3,1	4,12	2,19	0,33	4,45	0,51
	2mM	4,15	2,57	2,2	1,54	0,23	2,6	0,32
	3mM	3,82	1,83	2,05	0,87	0,13	1,93	0,28

3.1.4. Stres tolerans indeksi (STİ) verileri

Ekmeklik buğday çeşitleri

Ekmeklik buğday çeşitlerinin farklı morfolojik parametreleri için hesaplanan stres tolerans indeksi (STİ) verileri Tablo 3.10'da verildi. STİ verilerine göre kök ve sürgün uzunlukları (KUSTI ve SUSTI), kök ve sürgün yaş ağırlıkları (KYASTI ve SYASTI), kök ve sürgün kuru ağırlıklarına (KKASTI ve SKASTI) göre kadmiyum molaritesi arttıkça stres toleranslarının azaldığı görülmektedir. Ekmeklik buğday çeşitlerinin STİ verileri karşılaştırıldığında 1 mM uygulamasında en yüksek STİ değerleri SUSTI hariç sırasıyla 82,98, 102,84, 88,56, 20,16, 107,41 ve 124,14 olarak Çıfçıklı çeşidinde görülürken, en düşük veriler 51,93, 56,89, 61,21, 62,5, 68,00 ve 82,76 olarak Golia çeşidinde görüldü.

Tablo 3.10. Tüm sertifikalı ekmeklik buğday çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeksi değerleri

Çeşit Adı	Molarite	KUSTI	SUSTI	KYASTI	SYASTI	KKASTI	SKASTI
Bayraktar	1mM	73,03	111,35	75,94	115,28	80,95	111,11
	2mM	60,24	80,00	68,72	93,06	78,57	92,59
	3mM	36,61	60,54	36,63	70,37	45,24	88,89
Çıfçıklı	1mM	82,98	102,84	88,56	120,16	107,41	124,14
	2mM	60,64	70,62	58,67	85,08	77,78	96,55
	3mM	46,54	52,61	47,97	64,52	55,56	82,76
Golia	1mM	51,93	56,89	61,21	62,5	68,00	82,76
	2mM	24,75	32,16	46,55	29,49	68,00	44,83
	3mM	15,62	24,73	23,28	21,79	24,00	37,93

2 mM uygulamasında SUSTI, KYASTI, KKASTI ve SYASTI için en yüksek STİ değerleri sırasıyla 80,00, 68,72, 78,57 ve 93,06 olarak Bayraktar çeşidinde KUSTI ve SKASTI için sırasıyla 60,64 ve 96,55 olarak Çıfçıklı çeşidinde gözlenirken en düşük değerler sırasıyla 24,75, 32,16, 46,55, 29,49,

68,00 ve 44,83 olarak Golia çeşidinde gözlemlendi. 3 mM uygulamasında kök ile ilgili tüm parametreler (KUSTI, KYASTI, KASTI) için en yüksek değerler sırasıyla 46,54, 47,97 ve 55,56 olarak Çıfçıklı çeşidinde sürgün kısmıyla ilgili tüm parametreler (SUSTI, SYASTI ve SKASTI) için en yüksek değerler 60,54, 70,37 ve 88,89 olarak Bayraktar çeşidinde görüldü. En düşük değerler 15,62, 24,73, 23,28, 21,79, 24,00 ve 37,93 olarak Golia çeşidinde belirlendi. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde Çıfçıklı çeşidi kök ile ilgili parametrelerde Bayraktar çeşidi ise sürgün ile ilgili parametrelerde en yüksek STİ değerlerini gösterdi. Golia tüm parametrelerde ve molaritelerde en düşük STİ değerlerini gösterdi.

Makarnalık buğday çeşitleri

Makarnalık buğday çeşitlerinin farklı morfolojik parametreleri için hesaplanan stres tolerans indeksi (STI) verileri Tablo 3.11'de verildi. KUSTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için 75,58 ve 57,26 olarak Çeşit 1252 çeşidinde, 3 mM için Ovidio çeşidinde görülürken en düşük değerler 63,31, 52,89 ve 38,36 olarak Kızıltan 91 çeşidinde görüldü. SUSTI parametresi için üç molaritede en yüksek STİ değerleri 120,92, 70,59 ve 58,82 Çeşit 1252 olarak çeşidinde hesaplanırken en düşük değerler 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 59,02 ve 33,08 olarak Ovidio çeşidinde, 3 mM için 34,81 Kızıltan 91 çeşidinde hesaplandı. KYASTI parametresi için üç molaritede en yüksek STİ değerleri 116,1, 98,05 ve 73,17 olarak Ovidio çeşidinde tespit edilirken en düşük değerler 1 mM için 97,71 Kızıltan 91 çeşidinde, 2 mM ve 3 mM için sırasıyla 77,71 ve 41,57 Çeşit 1252 çeşidinde tespit edildi. SYASTI parametresi için üç molaritede en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için 104,44 ve 68,89 olarak Çeşit 1252 çeşidinde, 3 mM için 52,59 ile Kızıltan 91 çeşidinde gözlenirken en düşük değerler 70,55, 45,19 ve 50,15 olarak Ovidio çeşidinde gözlemlendi. KASTI parametresi için üç molaritede en yüksek STI değerleri sırasıyla 137,93, 120,69 ve 93,1 olarak Ovidio çeşidinde belirlenirken en düşük değerler 1 mM ve 3 mM için sırasıyla 96,55 ve 37,93 olarak Kızıltan 91 çeşidinde görülürken 2 mM için 77,78 Çeşit 1252 çeşidinde görüldü. SKASTI parametresi için 1 mM ve 2 mM'da en yüksek STİ değerleri sırasıyla 111,11, ve 83,33 olarak Çeşit 1252 çeşidinde, 3 mM'da 68,75 ile Kızıltan 91 çeşidinde tespit edilirken üç molaritede en düşük değerler 80, 60 ve 64,44 olarak Ovidio çeşidinde tespit edildi.

Tablo 3.11. Tüm sertifikalı makarnalık buğday çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeksi değerleri

Çeşit Adı	Molarite	KUSTI	SUSTI	KYASTI	SYASTI	KASTI	SKASTI
Ovidio	1mM	73,58	59,02	116,1	70,55	137,93	80
	2mM	56,91	33,08	98,05	45,19	120,69	60
	3mM	47,15	39,1	73,17	50,15	93,1	64,44
Çeşit 1252	1mM	75,58	120,92	110,84	104,44	100	111,11
	2mM	57,26	70,59	77,71	68,89	77,78	83,33
	3mM	44,21	58,82	41,57	50,37	44,44	66,67
Kızıltan 91	1mM	63,31	82,91	97,71	90,52	96,55	106,25
	2mM	52,89	46,2	90,29	61,21	93,1	75
	3mM	38,36	34,81	49,14	52,59	37,93	68,75

STİ sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde üç molaritede tüm parametrelere göre kökle ilgili parametrelerde en yüksek STİ değerleri Ovidio çeşidinde, sürgünle ilgili parametrelerde ise Çeşit 1252 çeşidinde açıkça görülürken Kızıltan 91 3 mM'da SKASTI ve SYASTI hariç tüm parametrelerde diğer çeşitlere göre daha düşük STİ değerleri göstererek duyarlı çeşit olarak belirlendi.

Arpa çeşitleri

Arpa çeşitlerinin farklı morfolojik parametreleri için hesaplanan stres tolerans indeks (STİ) verileri Tablo 3.12'de verildi. KUSTI parametresi için en yüksek STİ değerler 1 mM ve 3 mM için sırasıyla 69,33 ve 35,16 olarak Aida çeşidinde, 2 mM için 53,55 olarak Emon çeşidinde gözlenirken tüm molariteler için en düşük değerler sırasıyla 43,74, 29,48 ve 19,02 olarak İnce 04 çeşidinde gözlemlendi. SUSTI parametresi için tüm molaritelerde en yüksek STİ değerleri sırasıyla 91,44, 65,76 ve 57,2 olarak Emon çeşidinde belirlenirken en düşük değerler 60,41, 34,78 ve 23,11 Aida çeşidinde belirlendi. KYASTI parametresi için tüm molaritelerde en yüksek STİ değerleri sırasıyla 89,46, 69,85 ve 40,2 olarak Aida çeşidinde tespit edilirken en düşük değerler 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 59 ve 33,14 olarak İnce 04 çeşidinde ve 3 mM için 13,36 Emon çeşidinde tespit edildi. SYASTI parametresi için tüm molaritelerde en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 86,4 ve 69,85 olarak Emon çeşidinde ve 3 mM için 50,18 İnce 04 çeşidinde görülürken üç molaritede en düşük değerler sırasıyla 65,59, 43,38 ve 27,39 olarak Aida çeşidinde görüldü. KKASTI parametresi için tüm molaritelerde en yüksek STİ değerleri sırasıyla 96, 90 ve 56 olarak Aida çeşidinde hesaplanırken en düşük değerler 1 mM ve 3 mM için sırasıyla 68 ve 24 Emon çeşidinde, 2 mM için 49,09 olarak İnce 04 çeşidinde hesaplandı. SKASTI parametresi için 1 mM ve 3 mM için sırasıyla en yüksek STİ değerleri sırasıyla 98,44 ve 79,69 İnce 04 çeşidinde, 2 mM için 84,62 olarak Emon çeşidinde saptanırken tüm molaritelerde en düşük değerler sırasıyla 81,18, 63,53 ve 44,71 Aida çeşidinde saptandı. STİ sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde kök ile ilgili parametrelerde Aida, sürgün ile ilgili parametrelerde Emon yüksek düzeyde STİ değerlerine sahip iken İnce 04 daha düşük STİ verilerine sahip duyarlı çeşit olarak belirlendi.

Tablo 3.12. Tüm sertifikalı arpa çeşitlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeks değerleri

Çeşit Adı	Molarite	KUSTI	SUSTI	KYASTI	SYASTI	KKASTI	SKASTI
İnce 04	1mM	43,74	68,85	59	80,88	69,09	98,44
	2mM	29,48	47,75	33,14	59,26	49,09	82,81
	3mM	19,02	36,68	22,57	50,18	38,18	79,69
Aida	1mM	69,33	60,41	89,46	65,59	96	81,18
	2mM	48,88	34,78	69,85	43,38	90	63,53
	3mM	35,16	23,11	40,2	27,39	56	44,71
Emon	1mM	60,27	91,44	59,92	86,4	68	92,31
	2mM	53,55	65,76	44,66	69,85	68	84,62
	3mM	23,61	57,2	13,36	43,01	24	57,69

Atalık buğday türleri

Atalık buğday türlerinin farklı morfolojik parametreleri için hesaplanan stres tolerans indeksi (STİ) verileri Tablo 3.13'te verildi. KUSTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 61,83 ve 40,49 Gernik'te, 3 mM için 27,81 Siyez'de görülürken 1 mM ve 2 mM için en düşük değerler sırasıyla 42,43 ve 30,06 Dinkel'de ve 3 mM için 17,8 olarak Gernik'te görüldü. SUSTI parametresi için tüm molaritelerde en yüksek STİ değerleri 76,97, 60,87 ve 34,3 Gernik'te hesaplanırken en düşük değerler sırasıyla 58,21, 26,87 ve 16,63 olarak Dinkel'de hesaplandı. KYASTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 67,7 ve 37,89 Gernik'te, 3 mM için 26,43 Dinkel'de saptanırken en düşük değerler 1 mM için sırasıyla 47,51 Siyez'de, 2 mM için 30,25 olarak Dinkel'de, 3 mM için 13,46 olarak Gernik'te saptandı. SYASTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 69,07 ve 45,37 Gernik'te, 3 mM için 28,85 Siyez'de gözlenirken tüm molaritelerde en düşük değerler sırasıyla 58,96, 25,82 ve 16,42 Dinkel'de gözlemlendi. KKASTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 2 mM için sırasıyla 86,84 ve 60,53 Siyez'de, 3 mM için 42,86 Dinkel'de hesaplanırken en düşük değerler 1 mM ve 3 mM için sırasıyla 72,73 ve 18,18 Gernik'te, 2 mM için 38,57 Dinkel'de hesaplandı. SKASTI parametresi için en yüksek STİ değerleri 1 mM ve 3 mM için sırasıyla 79,69 ve 43,75 Siyez'de, 2 mM için 92,68 Gernik'te belirlenirken tüm molaritelerde en düşük değerler sırasıyla 68,12, 33,33 ve 26,09 olarak Dinkel'de belirlendi. STİ sonuçlarına göre atalık türler genel olarak değerlendirildiğinde, 1 mM ve 2 mM uygulamalarında Gernik en yüksek STİ değerlerine sahip iken Dinkel daha düşük STİ değerine sahip duyarlı tür olarak belirlendi.

Tablo 3.13. Tüm atalık buğday türlerinin ölçülen çeşitli karakterler için stres tolerans indeksi değerleri

Çeşit Adı	Molarite	KUSTI	SUSTI	KYASTI	SYASTI	KKASTI	SKASTI
Dinkel	1mM	42,43	58,21	61,09	58,96	82,86	68,12
	2mM	30,06	26,87	30,25	25,82	38,57	33,33
	3mM	21,43	16,63	26,43	16,42	42,86	26,09
Gernik	1mM	61,83	76,97	67,7	69,07	72,73	73,17
	2mM	40,49	60,87	37,89	45,37	54,55	92,68
	3mM	17,8	34,3	13,46	20,99	18,18	36,59
Siyez	1mM	47,11	62,14	47,51	66,52	86,84	79,69
	2mM	39,06	33,18	33,41	38,86	60,53	50
	3mM	27,81	30,92	18,87	28,85	34,21	43,75

3.1.5. Atomik absorpsiyon spektroskopisi analizleri

EDTA ile yıkamayla adsorbans, asit ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}_2$) ile yakma ya da hidroliz işleminde ise kök ve sürgünler tarafından absorbe edilen ya da depolanan ağır metal miktarları tespit edildi. İçerdiği bitki doku miktarları eşit olmadığından sağlıklı bir karşılaştırma yapmak için gram başına düşen ağır metal miktarı hesaplandı. Farklı molaritelerde kadmiyum çözeltilerinin uygulandığı tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin dış yüzeylerine tutunan kadmiyumlar 50 mL'lik EDTA (10 mM) ile yıkanarak AAS analizine gönderildi. AAS analizi sonuçlarına göre ekmeklik buğday, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde kök ve sürgünlerin her ikisinde de kadmiyum molaritesi arttıkça 50 mL EDTA'lı çözelti hacmindeki kadmiyum konsantrasyonu

da artmaktadır. Yaş ağırlıklar değerlendirildiğinde kök ve sürgünlerde ağırlıkların kadmiyum molaritelerine göre ters orantılı olarak azalırken birim kütle (1 g) düşen kadmiyum oranları ise kadmiyum molariteleriyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Kök ve sürgünler karşılaştırıldığında köklerin yüzeyinde sürgünlere göre daha fazla kadmiyum tutunduğu belirlendi.

Farklı molaritelerde kadmiyum çözeltilerinin uygulandığı tohumlardan gelişen kök ve sürgünler kurutulduktan sonra 30 mL asitli çözeltide (15mL HNO₃: 15mL H₂O₂) hidroliz edildi ve hidroliz çözeltileri AAS analizine gönderildi. Bu yöntemle kök ve sürgünlerin içinde depolanan yani absorblanan kadmiyum miktarları belirlendi. AAS analizi sonuçlarına göre ekmeklik buğday, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde kök ve sürgünlerin her ikisinde de kadmiyum molaritesi arttıkça 30 mL asitli çözelti hacmindeki kadmiyum konsantrasyonu da artmaktadır. Yaş ağırlıklar değerlendirildiğinde kök ve sürgünlerde ağırlıkların kadmiyum molaritelerine göre ters orantılı olarak azalırken birim kütle (1 g) düşen kadmiyum oranları ise kadmiyum molariteleriyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Kök ve sürgünler karşılaştırıldığında köklerin içinde sürgünlere göre daha fazla kadmiyum tutunduğu gözlemlendi.

Ekmeklik Buğdaylar

AAS analizi sonuçları, ekmeklik buğdaylarda 50 mL hacimde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin yaş ağırlıkları (YA) ve bu yaş ağırlıklarının birim külesine göre 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.14'te verildi.

Tablo 3.14. Ekmeklik buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl₂ miktarı

Çeşit Adı	Molarite	Organ	CdK (ppm)	YA (g)	1g/CdK (ppm)
Bayraktar	Kontrol	Kök	0,17	3,74	0,05
	1mM	Kök	1,15	2,84	0,41
	2mM	Kök	2,22	2,57	0,87
	3mM	Kök	2,40	1,37	1,75
Çıfçıklı	Kontrol	Kök	0,01	2,71	0,00
	1mM	Kök	1,05	2,40	0,44
	2mM	Kök	1,58	1,59	1,00
	3mM	Kök	1,80	1,30	1,39
Golia	Kontrol	Kök	0,05	2,32	0,02
	1mM	Kök	1,73	1,42	1,22
	2mM	Kök	2,85	1,08	2,63
	3mM	Kök	1,13	0,54	2,10
Bayraktar	Kontrol	Sürgün	0,08	2,16	0,04
	1mM	Sürgün	0,05	2,49	0,02
	2mM	Sürgün	0,17	2,01	0,09
	3mM	Sürgün	0,40	1,52	0,26
Çıfçıklı	Kontrol	Sürgün	0,07	2,48	0,03
	1mM	Sürgün	0,05	2,98	0,02
	2mM	Sürgün	0,12	2,11	0,06
	3mM	Sürgün	0,27	1,60	0,17
Golia	Kontrol	Sürgün	0,05	3,12	0,01
	1mM	Sürgün	0,13	1,95	0,07
	2mM	Sürgün	0,17	0,92	0,18
	3mM	Sürgün	0,45	0,68	0,67

Çeşit bazında değerlendirildiğinde ise Golia çeşidinin kök ve sürgünlerin dış yüzeyinde diğer iki çeşide göre daha fazla kadmiyum tutunduğu ve yaş ağırlıklarının da daha düşük olduğu tespit edildi. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına bakıldığında en düşük oranlar kökte Bayraktar çeşidinde sürgünde ise Çıfçıklı çeşidinde görüldü.

AAS analizi sonuçları, ekmeclik buğdaylarda 30 mL asitli hidroliz çözeltisi hacminde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin kuru ağırlıkları (KA) ve bu kuru ağırlıklarının birim kütesinin 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.15'te verildi. Köklerde en yüksek ve en düşük kadmiyum oranları sırasıyla Golia ve Bayraktar çeşidinde görülürken en yüksek ve en düşük kuru ağırlıklar sırasıyla Bayraktar ve Golia çeşidinde görüldü. Birim kütledeki (1 g) kadmiyum oranlarına bakıldığında köklerde en yüksek ve en düşük oranlar Golia ve Bayraktar çeşitlerinde gözlemlendi. Sürgünlerde en yüksek ve en düşük kadmiyum oranları sırasıyla Golia ve Bayraktar çeşidinde görülürken en yüksek ve en düşük kuru ağırlıklar sırasıyla Çıfçıklı ve Golia çeşitlerinde tespit edildi. Birim kütledeki (1 g) kadmiyum oranlarına bakıldığında sürgünlerde en yüksek ve en düşük oranlar Golia ve Bayraktar çeşitlerinde gözlemlendi.

Tablo 3.15. Ekmeclik buğdaylarda hidroliz (H₂O₂:HNO₃) işleminden sonra AAS absorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl₂ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	KA (g)	1g/CdK (ppm)
Bayraktar	Kontrol	Kök	0,04	0,42	0,10
	1mM	Kök	1,83	0,34	5,38
	2mM	Kök	3,62	0,33	10,98
	3mM	Kök	5,09	0,19	26,80
Çıfçıklı	Kontrol	Kök	0,00	0,27	0,00
	1mM	Kök	2,40	0,29	8,27
	2mM	Kök	3,49	0,21	16,62
	3mM	Kök	4,10	0,15	27,33
Golia	Kontrol	Kök	0,02	0,23	0,09
	1mM	Kök	5,90	0,19	31,07
	2mM	Kök	9,78	0,16	61,14
	3mM	Kök	10,98	0,10	109,81
Bayraktar	Kontrol	Sürgün	0,00	0,27	0,00
	1mM	Sürgün	0,27	0,30	0,92
	2mM	Sürgün	0,60	0,25	2,41
	3mM	Sürgün	1,99	0,24	8,28
Çıfçıklı	Kontrol	Sürgün	0,00	0,29	0,01
	1mM	Sürgün	0,32	0,36	0,89
	2mM	Sürgün	0,81	0,28	2,91
	3mM	Sürgün	1,53	0,24	6,36
Golia	Kontrol	Sürgün	0,00	0,29	0,00
	1mM	Sürgün	1,03	0,24	4,29
	2mM	Sürgün	1,11	0,13	8,55
	3mM	Sürgün	3,60	0,11	32,75

Makarnalık Buğdaylar

AAS analizi sonuçları, makarnalık buğdaylarda 50 mL hacimde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin yaş ağırlıkları (YA) ve bu yaş ağırlıklarının birim kütesine göre 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.16'da verildi. Çeşit bazında değerlendirildiğinde ise Ovidio çeşidinin köklerinin dış yüzeyinde diğer iki çeşide göre daha fazla kadmiyum tutunurken sürgünlerinin dış yüzeyinde daha az kadmiyum tutunduğu ve yaş ağırlıklarının da daha yüksek olduğu tespit edildi. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına bakıldığında en düşük oranlar kökte ve sürgünde Ovidio çeşidinde görüldü.

Tablo 3.16. Makarnalık buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl₂ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	YA (g)	1g/CdK (ppm)
Ovidio	Kontrol	Kök	0,00	2,05	0,00
	1mM	Kök	0,72	2,38	0,30
	2mM	Kök	1,36	2,01	0,68
	3mM	Kök	1,67	1,50	1,11
Çeşit 1252	Kontrol	Kök	0,01	1,66	0,00
	1mM	Kök	0,48	1,84	0,26
	2mM	Kök	0,29	1,29	0,22
	3mM	Kök	1,76	0,69	2,56
Kızıltan 91	Kontrol	Kök	0,00	1,75	0,00
	1mM	Kök	0,19	1,71	0,11
	2mM	Kök	1,03	1,58	0,65
	3mM	Kök	1,21	0,86	1,40
Ovidio	Kontrol	Sürgün	0,00	3,43	0,00
	1mM	Sürgün	0,04	2,42	0,02
	2mM	Sürgün	0,09	1,55	0,06
	3mM	Sürgün	0,20	1,72	0,12
Çeşit 1252	Kontrol	Sürgün	0,03	1,35	0,02
	1mM	Sürgün	0,10	1,41	0,07
	2mM	Sürgün	0,00	0,93	0,00
	3mM	Sürgün	0,24	0,68	0,35
Kızıltan 91	Kontrol	Sürgün	0,00	1,16	0,00
	1mM	Sürgün	0,19	1,05	0,18
	2mM	Sürgün	0,01	0,71	0,02
	3mM	Sürgün	0,18	0,61	0,29

AAS analizi sonuçları, makarnalık buğdaylarda 30 mL asitli hidroliz çözeltisi hacminde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin kuru ağırlıkları (KA) ve bu kuru ağırlıklarının birim kütesinin 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.17'de verildi. Kökte en yüksek kuru ağırlık oranları 1 mM hariç Ovidio çeşidinde belirlenirken Çeşit 1252 ve Kızıltan 91'de 1 mM hariç birbirine yakın oranlar olduğu belirlendi. Birim kütledeki (1g) kadmiyum oranlarına bakıldığında köklerde en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla 3 mM hariç Çeşit 1252

ve 2 mM hariç Ovidio çeşidinde tespit edildi. Birim kütledeki (1g) kadmiyum oranlarına bakıldığında sürgünlerde en düşük kadmiyum oranları 1 mM ve 2 mM'da Çeşit 1252'de 3 mM'da Ovidio'da görüldü. En yüksek değerler ise Kızıltan 91 çeşidinde görüldü.

Tablo 3.17. Makarnalık buğdaylarda hidroliz ($H_2O_2+HNO_3$) işleminden sonra AAS absorbans sonuçları ve gram başına düşen $CdCl_2$ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	KA (g)	1g/CdK (ppm)
Ovidio	Kontrol	Kök	0,00	0,29	0,00
	1mm	Kök	2,03	0,40	5,08
	2mm	Kök	3,24	0,35	9,25
	3mm	Kök	5,11	0,27	18,91
Çeşit 1252	Kontrol	Kök	0,01	0,27	0,02
	1mm	Kök	2,88	0,27	10,68
	2mm	Kök	3,23	0,21	15,37
	3mm	Kök	4,34	0,12	36,13
Kızıltan 91	Kontrol	Kök	0,00	0,29	0,00
	1mm	Kök	2,02	0,80	2,52
	2mm	Kök	3,18	0,23	14,02
	3mm	Kök	4,86	0,11	44,17
Ovidio	Kontrol	Sürgün	0,00	0,45	0,00
	1mm	Sürgün	0,33	0,36	0,93
	2mm	Sürgün	0,45	0,27	1,65
	3mm	Sürgün	1,30	0,29	4,48
Çeşit 1252	Kontrol	Sürgün	0,00	0,18	0,00
	1mm	Sürgün	0,12	0,20	0,61
	2mm	Sürgün	0,15	0,15	1,01
	3mm	Sürgün	1,73	0,12	14,43
Kızıltan 91	Kontrol	Sürgün	0,00	0,16	0,00
	1mm	Sürgün	0,16	0,17	0,94
	2mm	Sürgün	0,22	0,12	1,82
	3mm	Sürgün	1,26	0,11	11,46

Arpa çeşitleri

AAS analizi sonuçları, arpa çeşitlerinde 50 mL hacimde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin yaş ağırlıkları (YA) ve bu yaş ağırlıklarının birim külesine göre 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.18'de verildi. Çeşit bazında değerlendirildiğinde ise İnce 04 çeşidinin köklerinin dış yüzeyinde diğer iki türe göre daha fazla kadmiyum tutunurken sürgünlerin dış yüzeyinde ise Emon çeşidinde daha az kadmiyum tutunduğu belirlendi. Kök ve sürgünlerde yaş ağırlıkları karşılaştırıldığında en yüksek değerler İnce 04 çeşidinde ölçüldü. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına bakıldığında kökte en düşük oranlar Aida çeşidinde görülürken sürgünde Emon çeşidinde görüldü. Sürgünlerde birim hacimde bulunan en yüksek kadmiyum oranları 1 mM'a göre Emon, 2 mM'a göre İnce 04 ve 3 mM'a göre Aida çeşitlerinde belirlenirken

en yüksek ve en düşük sürgün yaş ağırlıkları İnce 04 ve Emon çeşitlerinde ölçüldü. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına göre, sürgünlerde 1 mM ve 2 mM'da İnce 04 ve Aida çeşitlerinde aynı düzeyde gözlenirken 1 mM'da Emon çeşidinde daha yüksek oranda olduğu gözlemlendi. Kadmiyum oranı 3 mM'da en yüksek Aida çeşidinde tespit edilirken en düşük oran İnce 04 çeşidinde tespit edildi.

Tablo 3.18. Arpalarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl₂ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	YA (g)	1g/CdK (ppm)
İnce 04	Kontrol	Kök	0,00	7,00	0,00
	1mM	Kök	1,77	4,13	0,43
	2mM	Kök	2,62	2,32	1,13
	3mM	Kök	2,72	1,58	1,72
Aida	Kontrol	Kök	0,00	4,08	0,00
	1mM	Kök	1,21	3,65	0,33
	2mM	Kök	2,02	2,85	0,71
	3mM	Kök	2,36	1,64	1,44
Emon	Kontrol	Kök	0,00	2,62	0,00
	1mM	Kök	0,39	1,57	0,25
	2mM	Kök	1,21	1,17	1,03
	3mM	Kök	0,89	0,35	2,53
İnce 04	Kontrol	Sürgün	0,00	8,37	0,00
	1mM	Sürgün	0,10	6,77	0,01
	2mM	Sürgün	0,17	4,96	0,04
	3mM	Sürgün	0,23	4,20	0,06
Aida	Kontrol	Sürgün	0,00	8,69	0,00
	1mM	Sürgün	0,05	5,70	0,01
	2mM	Sürgün	0,14	3,77	0,04
	3mM	Sürgün	0,53	2,38	0,22
Emon	Kontrol	Sürgün	0,00	2,72	0,00
	1mM	Sürgün	0,11	2,35	0,05
	2mM	Sürgün	0,06	1,90	0,03
	3mM	Sürgün	0,16	1,17	0,13

AAS analizi sonuçları, arpalarda 30 mL asitli hidroliz çözeltisi hacminde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin kuru ağırlıkları (KA) ve bu kuru ağırlıklarının birim kütesinin 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.19'da verildi. Köklerde birim hacimdeki kadmiyum oranlarına göre en yüksek ve en düşük miktarlar sırasıyla İnce 04 ve Emon çeşitlerinde tespit edilirken en yüksek ve en düşük kuru ağırlıklar Aida ve Emon çeşitlerinde tespit edildi. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına göre kökte en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla Emon ve Aida çeşitlerinde görüldü. Sürgünlerde birim hacimdeki kadmiyum oranlarına göre en yüksek oranlar tüm molaritelerde Emon çeşidinde görülürken en düşük oranlar 1 mM'da Aida, 2 mM ve 3 mM'da İnce 04 çeşidinde belirlendi. Sürgün kuru ağırlıklarına göre 1 mM ve 2 mM'da Aida

çeşidinde, 3 mM'da İnce 04 çeşidinde ölçülürken en düşük kuru ağırlık oranları Emon çeşidinde ölçüldü. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına göre sürgünde en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla Emon ve İnce 04 çeşitlerinde görüldü.

Tablo 3.19. Arpalarda hidroliz ($H_2O_2 + HNO_3$) işleminden sonra AAS absorbans sonuçları ve gram başına düşen $CdCl_2$ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	KA (g)	1g/CdK (ppm)
İnce 04	Kontrol	Kök	0,00	0,55	0,00
	1mM	Kök	7,56	0,38	19,89
	2mM	Kök	6,13	0,27	22,70
	3mM	Kök	7,05	0,21	33,58
Aida	Kontrol	Kök	0,00	0,50	0,00
	1mM	Kök	5,06	0,48	10,54
	2mM	Kök	6,34	0,45	14,09
	3mM	Kök	6,33	0,28	22,61
Emon	Kontrol	Kök	0,00	0,25	0,02
	1mM	Kök	4,83	0,17	28,41
	2mM	Kök	3,09	0,17	18,17
	3mM	Kök	2,87	0,06	47,82
İnce 04	Kontrol	Sürgün	0,00	0,64	0,00
	1mM	Sürgün	0,89	0,63	1,42
	2mM	Sürgün	0,90	0,53	1,69
	3mM	Sürgün	1,31	0,51	2,56
Aida	Kontrol	Sürgün	0,00	0,85	0,00
	1mM	Sürgün	0,45	0,69	0,65
	2mM	Sürgün	1,00	0,54	1,85
	3mM	Sürgün	1,88	0,38	4,96
Emon	Kontrol	Sürgün	0,03	0,26	0,11
	1mM	Sürgün	0,81	0,24	3,36
	2mM	Sürgün	0,53	0,22	2,39
	3mM	Sürgün	1,09	0,15	7,28

Atalık buğday türleri

AAS analizi sonuçları, atalık buğday türlerinde 50 mL hacimde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin yaş ağırlıkları (YA) ve bu yaş ağırlıklarının birim külesine göre 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.20'de verildi. Tür bazında değerlendirildiğinde ise Dinkel'in köklerinin dış yüzeyinde diğer iki türe göre daha fazla kadmiyum tutunurken sürgünlerinin dış yüzeyinde daha az kadmiyum tutunduğu ve her iki organa ait yaş ağırlıklarının da daha yüksek olduğu tespit edildi. Birim kütledeki kadmiyum oranlarına bakıldığında en düşük oranlar Siyez ve Gernik'te görüldü.

Tablo 3.20. Atalık buğdaylarda AAS adsorbans sonuçları ve gram başına düşen CdCl₂ miktarı

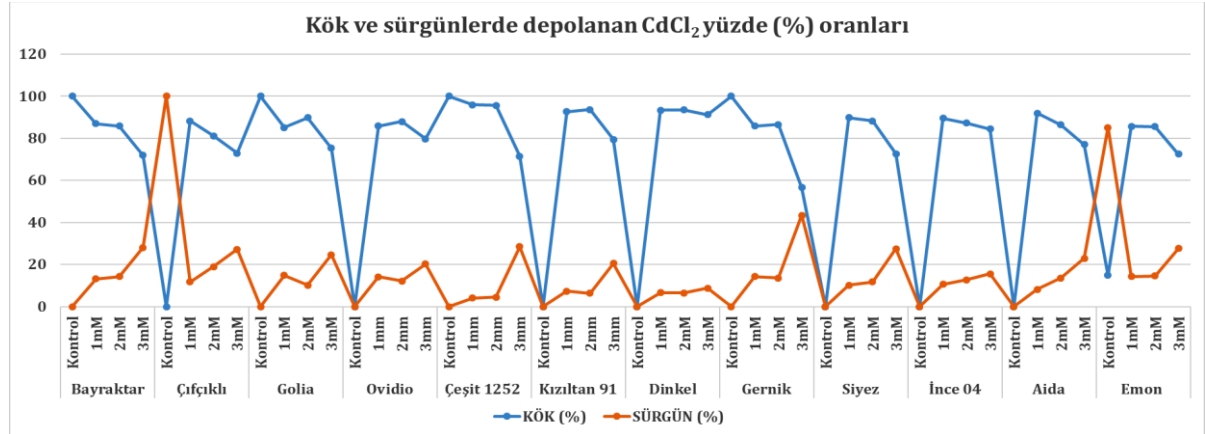
Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	YA (g)	1g/CdK (ppm)
Dinkel	Kontrol	Kök	0,00	6,81	0,00
	1mM	Kök	2,96	4,16	0,71
	2mM	Kök	3,44	2,06	1,67
	3mM	Kök	3,87	1,80	2,15
Gernik	Kontrol	Kök	0,00	4,83	0,00
	1mM	Kök	1,28	3,27	0,39
	2mM	Kök	1,52	1,83	0,83
	3mM	Kök	1,05	0,65	1,62
Siyez	Kontrol	Kök	0,00	4,61	0,00
	1mM	Kök	1,03	2,19	0,47
	2mM	Kök	1,06	1,54	0,69
	3mM	Kök	1,43	0,87	1,65
Dinkel	Kontrol	Sürgün	0,00	6,70	0,00
	1mM	Sürgün	0,06	3,95	0,02
	2mM	Sürgün	0,13	1,73	0,08
	3mM	Sürgün	0,18	1,10	0,17
Gernik	Kontrol	Sürgün	0,00	4,43	0,00
	1mM	Sürgün	0,08	3,06	0,03
	2mM	Sürgün	0,07	2,01	0,03
	3mM	Sürgün	0,29	0,93	0,31
Siyez	Kontrol	Sürgün	0,00	6,69	0,00
	1mM	Sürgün	0,08	4,45	0,02
	2mM	Sürgün	0,13	2,60	0,05
	3mM	Sürgün	0,36	1,93	0,18

AAS analizi sonuçları, atalık buğday türlerinde 30 mL asitli hidroliz çözeltisi hacminde bulunan kadmiyum miktarı (CdK) ile kök ve sürgünlerin kuru ağırlıkları (KA) ve bu kuru ağırlıklarının birim kütlelerinin 1 g'da bulunan kadmiyum miktarları (1g/CdK) Tablo 3.21'de verildi. Tür bazında değerlendirildiğinde köklerde birim hacimde en yüksek kadmiyum oranı Dinkel türünde görülürken Gernik ve Siyez'de farklı molaritelerde düşük oranlarda kadmiyum bulunduğu görüldü. Kökte en yüksek kuru ağırlık oranı Dinkel türünde gözlenirken Gernik ve Siyez'in birbirine yakın oranlarda kuru ağırlığa sahip olduğu gözlemlendi. Birim kütledeki (1 g) kadmiyum oranlarına bakıldığında köklerde en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla Dinkel türünde ve 2 mM hariç Siyez türünde tespit edildi. Sürgünlerde en yüksek ve en düşük kadmiyum oranları sırasıyla Dinkel ve Siyez türlerinde görülürken en yüksek ve en düşük kuru ağırlıklar 2 mM hariç sırasıyla Dinkel ve Gernik türlerinde belirlendi. Sürgünlerde birim kütledeki (1 g) kadmiyum oranlarına bakıldığında en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla Gernik ve 2 mM hariç Siyez türünde gözlemlendi.

Tablo 3.21. Atalık buğdaylarda hidroliz ($H_2O_2+HNO_3$) işleminden sonra AAS absorbans sonuçları ve gram başına düşen $CdCl_2$ miktarı

Çeşit Adı	Molarite		CdK (ppm)	KA (g)	1g/CdK (ppm)
Dinkel	Kontrol	Kök	0,00	0,70	0,00
	1mM	Kök	9,52	0,58	16,41
	2mM	Kök	9,52	0,27	35,24
	3mM	Kök	12,54	0,30	41,81
Gernik	Kontrol	Kök	0,06	0,44	0,13
	1mM	Kök	3,62	0,32	11,30
	2mM	Kök	3,49	0,24	14,53
	3mM	Kök	2,93	0,08	36,59
Siyez	Kontrol	Kök	0,00	0,38	0,00
	1mM	Kök	3,55	0,33	10,75
	2mM	Kök	3,81	0,23	16,56
	3mM	Kök	3,69	0,13	28,38
Dinkel	Kontrol	Sürgün	0,00	0,69	0,00
	1mM	Sürgün	0,68	0,47	1,44
	2mM	Sürgün	0,66	0,23	2,89
	3mM	Sürgün	1,21	0,18	6,73
Gernik	Kontrol	Sürgün	0,00	0,41	0,00
	1mM	Sürgün	0,60	0,30	2,00
	2mM	Sürgün	0,55	0,38	1,44
	3mM	Sürgün	2,25	0,15	14,99
Siyez	Kontrol	Sürgün	0,00	0,64	0,00
	1mM	Sürgün	0,40	0,51	0,79
	2mM	Sürgün	0,51	0,32	1,59
	3mM	Sürgün	1,39	0,28	4,98

Tüm veriler ışığında kök ve sürgünlerde depolanan kadmiyum oranları (%) Şekil 3.1'de verildi.



Şekil 3.1. Kök ve sürgünlerde depolanan $CdCl_2$ yüzde (%) oranları

3.1.6. Morfometrik verilerin varyans analizi

Bu çalışmada analiz edilen buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde çimlenme oranları, kök sayısı, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve stres tolerans indeksleri üzerine kadmiyumun farklı molaritelerinin etkilerinin araştırılmasında iki faktör belirlendi. Birinci faktör kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyum dozları, ikinci faktör ise tesadüfi parseller yöntemine göre üç tekerrürlü yapılan uygulamalardır. Morfolojik özellikler üzerine bu iki faktörün etkileri iki yönlü ANOVA (tekrarlı ölçümler için ANOVA) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildi.

Çimlenme oranları

Çimlenme oranlarında faktörler dozlar (kontrol, 1 mM, 2 mM ve 3 mM) ve çeşitlere göre oluşturuldu. İlk önce gruplardaki homojenliği belirlemek için küresellik testi (Mauchly's Test of Sphericity^a) uygulandı. Bu testin sonucuna göre H_0 hipotezi reddedildiğinden ANOVA tablosunda Greenhouse-Geisser'e göre p değerleri dikkate alındı. Analiz edilen faktörlerin varyansa etki derecelerinin ölçümünü yapan kısmi eta karesinin (KEK) etki derecelerini gösteren aralıkları: 0,01-0,09 arası küçük, 0,09-0,25 arası orta ve 0,25 ve üzeri çok büyük olarak değerlendirilmektedir. İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre çimlenme oranlarındaki varyansın çeşitlere [$F(3,65, 29,20) = 52,96$ $p < 0,05$] ve dozlara [$F(3, 8) = 16,94$ $p < 0,00$] göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu (Tablo 3.22). Çeşitlerin, dozların varyans üzerindeki kısmi etki değerlerinin (KEK) 0,87 ve 0,86 olarak çok büyük olduğu belirlendi. Çeşitler ve dozların ortak kısmi etkilerinin de önemli ve birlikte etki derecelerinin 0,45 olarak çok büyük olduğu gözlemlendi.

Tablo 3.22. Çimlenme oranlarının çalışmada kullanılan çeşitler, dozlar ve çeşit ile dozun ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA verileri (KT: Karelerin toplamı, SD: Serbestlik derecesi, OK: Ortalama kareleri, F : Kritik değer, p : istatistiksel önemlilik derecesi, KEK: Kısmi eta karesi)

Varyans kaynağı	KT	SD	OK	F	p	KEK
Çeşitler	7515,72	3,65	2058,81	52,96	0,00	0,87
Çeşitler * Dozlar	918,00	10,95	83,82	2,16	0,05	0,45
Hata (Çeşitler)	1135,28	29,20	38,87			
Dozlar	555,17	3	185,06	16,94	0,00	0,86
Hata	87,39	8	10,92			

Çimlenme oranlarında çeşitlerin, dozların ve çeşitler ile dozların ortak etkilerinin anlamlı olduğu belirlendikten sonra varyansın nereden kaynaklandığını tespit edebilmek için Tukey HSD *post hoc* testi yapıldı (Tablo 3.23). Testin sonuçlarına göre çimlenme oranlarındaki varyans uygulanan kadmiyum dozlarındaki farklılıktan kaynaklanıyor görünmektedir. Kontrol, 1 mM ve 2 mM dozları ile 3 mM arasındaki farklılıkların $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu belirlendi.

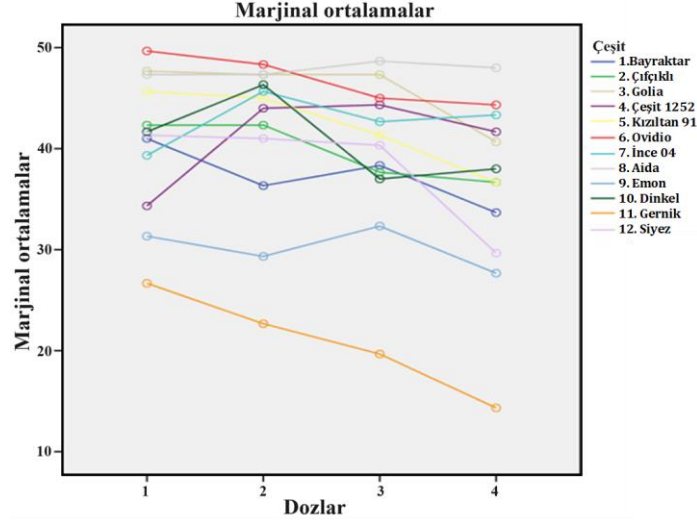
Tablo 3.23. Çimlenme oranlarında dozlara göre gözlenen varyansın kaynağının *post hoc* testi Tukey HSD'ye göre değerleri (OF: Ortalama fark, SE: Standart hata)

(I) DOZLAR	(J) DOZLAR	OF (I-J)	SE	p	95% güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
Kontrol	1 mM	-0,61	0,78	0,86	-3,11	1,88
	2 mM	1,14	0,78	0,50	-1,36	3,63
	3 mM	4,47*	0,78	0,00	1,98	6,97
1 mM	Kontrol	0,61	0,78	0,86	-1,88	3,11
	2 mM	1,75	0,78	0,19	-0,74	4,24
	3 mM	5,08*	0,78	0,00	2,59	7,58
2 mM	Kontrol	-1,14	0,78	0,50	-3,63	1,36
	1 mM	-1,75	0,78	0,19	-4,24	0,74
	3 mM	3,33*	0,78	0,01	0,84	5,83
3 mM	Kontrol	-4,47*	0,78	0,00	-6,97	-1,98
	1 mM	-5,08*	0,78	0,00	-7,58	-2,59
	2 mM	-3,33*	0,78	0,01	-5,83	-0,84

Çeşitlerde kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyuma göre çimlenme oranlarında gözlenen marjinal ortalamalar karşılaştırıldığında ortalamalarda farklılıkların olduğu gözlemlendi. Her bir grupta bulunan çeşitlerin ortalamaları karşılaştırıldığında farklı olan çeşitler şu şekildedir: Kontrol grubunda Çeşit 1252, İnce 04, Emon ve Gernik; 1 mM grubunda Bayraktar, Emon ve Gernik; 2 mM grubunda Bayraktar, Çıfçıklı, Emon, Dinkel ve Gernik; 3 mM grubunda Bayraktar, Çıfçıklı, Kızıltan 91, Emon, Dinkel, Gernik ve Siyez'dir (Tablo 3.24). Emon ve Gernik tüm gruplarda düşük ortalamalarla farklı olarak Şekil 3.2'de de görülmektedir. Ayrıca tüm çeşitlerde ortalamaların kontrol grubundan 3 mM'a doğru azalma eğilimi gösterdiği de belirlendi.

Tablo 3.24. Çeşitlerde kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyuma göre çimlenme oranlarında gözlenen marjinal ortalamalar

Çeşitler	Marjinal ortalamalar			
	Kontrol	1 mM	2 mM	3 mM
Bayraktar	41,00	36,33	38,33	33,67
Çıfçıklı	42,33	42,33	37,67	36,67
Golia	47,67	47,33	47,33	40,67
Çeşit 1252	34,33	44,00	44,33	41,67
Kızıltan 91	45,67	45,00	41,33	36,67
Ovidio	49,67	48,33	45,00	44,33
İnce 04	39,33	45,67	42,67	43,33
Aida	47,33	47,33	48,67	48,00
Emon	31,33	29,33	32,33	27,67
Dinkel	41,67	46,33	37,00	38,00
Gernik	26,67	22,67	19,67	14,33
Siyez	41,33	41,00	40,33	29,67



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan çeşitlerin dozlara göre çimlenme oranlarını gösteren grafik

Çalışmada uygulanan dozların bireysel varyans analizine göre ortalama çimlenme değerlerine göre dozlar iki gruba ayrılmaktadır (Tablo 3.25).

Tablo 3.25. Uygulanan dozlara ait bireysel varyans analizine göre ortalama çimlenme değerleri ve oluşan gruplar

Dozlar	N	Ortalamalar	Gruplar
3 mM	3	36,22	A
2 mM	3	39,56	B
Kontrol	3	40,69	B
1 mM	3	41,31	B

Kök sayısı

Kök sayısı ile ilgili analizlerde faktörler doz (kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM) ve tekerrür (3) sayılarına göre oluşturuldu. İlk önce gruplardaki homojenliği belirlemek için küresellik testi (Mauchly's Test of Sphericity^a) uygulandı. Küresellik testinin sonucuna göre dozlar, dozlar* tekerrür için $p < 0.01$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilip, ANOVA tablosunda Greenhouse-Geisser'e göre p değerleri dikkate alındı. Tekerrür faktörü için küresellik testi $p > 0.05$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edildi ve ANOVA tablosunda küresellik varsayımı (sphericity assumed) değerine göre değerlendirildi. İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre kök sayısındaki varyansın dozlar [$F(2,67, 1571,01) = 52,96$ $p < 0,05$], çeşitler [$F(1, 588) = 19,41$ $p < 0,05$], dozlar*çeşitler ($F = 9,61$ $p < 0,01$), tekerrür-çeşit ($F = 5,42$ $p < 0,01$), doz*tekerrür [$F(5,77, 3390,25) = 2,40$ $p < 0,05$] ve doz*tekerrür*çeşit ($F = 5,03$ $p < 0,01$) gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunurken tekerrür grubu için anlamlı olmadığı bulundu (Tablo 3.26). Anlamlı bulunan grupların kök sayısındaki varyansa tek veya ortak etki değerleri dozlar, çeşitler, dozlar*çeşitler, tekerrür*çeşitler, dozlar*tekerrür ve dozlar*tekerrür*çeşitler için sırasıyla 0,35, 0,27, 0,15, 0,09,

0,00 ve 0,09 olarak tespit edildi. Dozlar, çeşitler ve dozlar*çeşitlerin kısmi etki değerleri büyük olarak kabul edilirken tekerrür*çeşitler ve doz*tekerrür*çeşit etki değerleri küçük olarak kabul edildi. Dozlar*tekerrür için $p<0,05$ olmasına rağmen pratikte etki değeri yok gibi görünmektedir.

Tablo 3.26. Kök sayısı için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları (KT: Karelerin toplamı, SD: Serbestlik derecesi, OK: Ortalama kareleri, F : Kritik değer, Sig: istatistiksel önemlilik derecesi, KEK: Kısmi Eta karesi)

Varyans kaynağı	KT	SD	OK	F	p	KEK
Dozlar	1806,25	2,67	676,05	319,91	0,00	0,35
Dozlar * Çeşitler	596,86	29,39	20,31	9,61	0,00	0,15
Hata (Dozlar)	3319,97	1571,01	2,11			
Tekerrür	1,67	2,00	0,84	0,60	0,55	0,00
Tekerrür * Çeşitler	166,83	21,82	7,65	5,42	0,00	0,09
Hata (Tekerrür)	1645,50	1176,00	1,40			
Dozlar * Tekerrür	20,65	5,77	3,58	2,40	0,03	0,00
Dozlar * Tekerrür * Çeşitler	476,43	63,42	7,51	5,03	0,00	0,09
Hata (Dozlar*Tekerrür)	5065,58	3390,25	1,49			
Çeşitler	4337,50	11	394,32	19,41	0,00	0,27
Hata	11943,25	588	20,31			

Tukey HSD post hoc testi

Kök sayısında gözlenen farklılıklar anlamlı olduğu için Tukey HSD *post hoc* testi yapıldı. Testin sonuçlarına göre çeşitlerin ortalama değerleri arasında farkların olduğu ve bu farkın $p<0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu belirlendi. Bayraktar çeşidi ile Çıfçıklı çeşidi ve Gernik türü arasında Çıfçıklı lehine; Golia çeşidi ile Çıfçıklı, Emon çeşitleri ve Gernik türü arasında Golia lehine; makarnalık buğday çeşitlerinin tümü (Çeşit 1252, Kızıltan 91 ve Ovidio) ile Çıfçıklı, Emon ve Gernik türleri arasında makarnalık çeşitler lehine; İnce 04 çeşidi ile Çıfçıklı, Emon, Dinkel ve Gernik arasında İnce 04 çeşidi lehine; Aida çeşidi ile çalışmada analiz edilen tüm çeşitler arasında Aida çeşidi lehine; atalık buğday türleri Dinkel ve Gernik arasında Dinkel lehine; atalık buğday türü olan Siyez ile Çıfçıklı ve Gernik arasında Siyez lehine anlamlı farklılıklar olduğu tespit edildi (Tablo 3.27).

Tablo 3.27. Kök sayısına göre iki yönlü ANOVA testinin Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güvenilirlik aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Bayraktar	Çıfçıklı	0,92*	0,26	0,02	0,06	1,77
	Golia	-0,32	0,26	0,99	-1,17	0,54
	Çeşit 1252	-0,54	0,26	0,65	-1,39	0,32
	Kızıltan 91	-0,35	0,26	0,97	-1,21	0,5
	Ovidio	-0,01	0,26	1,00	-0,86	0,85
	İnce 04	-0,8	0,26	0,09	-1,65	0,06
	Aida	-1,67*	0,26	0,00	-2,53	-0,82
	Emon	0,72	0,26	0,19	-0,13	1,58
	Dinkel	0,07	0,26	1,00	-0,78	0,93
	Gernik	1,39*	0,26	0,00	0,54	2,25
Siyez	-0,06	0,26	1,00	-0,91	0,8	
Çıfçıklı	Bayraktar	-0,92*	0,26	0,02	-1,77	-0,06
	Golia	-1,23*	0,26	0,00	-2,09	-0,38
	Çeşit 1252	-1,46*	0,26	0,00	-2,31	-0,6
	Kızıltan 91	-1,27*	0,26	0,00	-2,13	-0,42
	Ovidio	-,93*	0,26	0,02	-1,78	-0,07
	İnce 04	-1,72*	0,26	0,00	-2,57	-0,86
	Aida	-2,59*	0,26	0,00	-3,45	-1,74
	Emon	-0,2	0,26	1,00	-1,05	0,66
	Dinkel	-0,85	0,26	0,06	-1,7	0,01
	Gernik	0,48	0,26	0,8	-0,38	1,33
Siyez	-0,98*	0,26	0,01	-1,83	-0,12	
Golia	Bayraktar	0,32	0,26	0,99	-0,54	1,17
	Çıfçıklı	1,23*	0,26	0,00	0,38	2,09
	Çeşit 1252	-0,22	0,26	1,00	-1,08	0,63
	Kızıltan 91	-0,04	0,26	1,00	-0,89	0,82
	Ovidio	0,31	0,26	0,99	-0,55	1,16
	İnce 04	-0,48	0,26	0,79	-1,34	0,37
	Aida	-1,36*	0,26	0,00	-2,21	-0,5
	Emon	1,04*	0,26	0,00	0,18	1,89
	Dinkel	0,39	0,26	0,94	-0,47	1,24
	Gernik	1,71*	0,26	0,00	0,85	2,56
Siyez	0,26	0,26	1,00	-0,6	1,11	
Çeşit 1252	Bayraktar	0,54	0,26	0,65	-0,32	1,39
	Çıfçıklı	1,46*	0,26	0,00	0,6	2,31
	Golia	0,22	0,26	1,00	-0,63	1,08
	Kızıltan 91	0,19	0,26	1,00	-0,67	1,04
	Ovidio	0,53	0,26	0,67	-0,32	1,38
	İnce 04	-0,26	0,26	1,00	-1,11	0,6
	Aida	-1,14*	0,26	0,00	-1,99	-0,28
	Emon	1,26*	0,26	0,00	0,41	2,11
	Dinkel	0,61	0,26	0,44	-0,24	1,47
	Gernik	1,93*	0,26	0,00	1,08	2,79
Siyez	0,48	0,26	0,79	-0,37	1,34	

Tablo 3.27. Kök sayısına göre iki yönlü ANOVA testinin Tukey HSD post hoc testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güvenilirlik aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Kızıltan 91	Bayraktar	0,35	0,26	0,97	-0,5	1,21
	Çıfçıklı	1,27*	0,26	0,00	0,42	2,13
	Golia	0,04	0,26	1,00	-0,82	0,89
	Çeşit 1252	-0,19	0,26	1,00	-1,04	0,67
	Ovidio	0,35	0,26	0,98	-0,51	1,2
	İnce 04	-0,44	0,26	0,87	-1,3	0,41
	Aida	-1,32*	0,26	0,00	-2,17	-0,47
	Emon	1,08*	0,26	0,00	0,22	1,93
	Dinkel	0,43	0,26	0,89	-0,43	1,28
	Gernik	1,75*	0,26	0,00	0,89	2,6
Siyez	0,3	0,26	0,99	-0,56	1,15	
Ovidio	Bayraktar	0,01	0,26	1,00	-0,85	0,86
	Çıfçıklı	0,93*	0,26	0,02	0,07	1,78
	Golia	-0,31	0,26	0,99	-1,16	0,55
	Çeşit 1252	-0,53	0,26	0,67	-1,38	0,32
	Kızıltan 91	-0,35	0,26	0,98	-1,2	0,51
	İnce 04	-0,79	0,26	0,1	-1,64	0,07
	Aida	-1,67*	0,26	0,00	-2,52	-0,81
	Emon	0,73	0,26	0,18	-0,12	1,58
	Dinkel	0,08	0,26	1,00	-0,77	0,94
	Gernik	1,40*	0,26	0,00	0,55	2,26
Siyez	-0,05	0,26	1,00	-0,9	0,81	
İnce 04	Bayraktar	0,8	0,26	0,09	-0,06	1,65
	Çıfçıklı	1,72*	0,26	0,00	0,86	2,57
	Golia	0,48	0,26	0,79	-0,37	1,34
	Çeşit 1252	0,26	0,26	1,00	-0,6	1,11
	Kızıltan 91	0,44	0,26	0,87	-0,41	1,3
	Ovidio	0,79	0,26	0,1	-0,07	1,64
	Aida	-0,88*	0,26	0,04	-1,73	-0,02
	Emon	1,52*	0,26	0,00	0,66	2,37
	Dinkel	,87*	0,26	0,04	0,02	1,72
	Gernik	2,19*	0,26	0,00	1,34	3,04
Siyez	0,74	0,26	0,17	-0,11	1,59	
Aida	Bayraktar	1,67*	0,26	0,00	0,82	2,53
	Çıfçıklı	2,59*	0,26	0,00	1,74	3,45
	Golia	1,36*	0,26	0,00	0,5	2,21
	Çeşit 1252	1,14*	0,26	0,00	0,28	1,99
	Kızıltan 91	1,32*	0,26	0,00	0,47	2,17
	Ovidio	1,67*	0,26	0,00	0,81	2,52
	İnce 04	0,88*	0,26	0,04	0,02	1,73
	Emon	2,40*	0,26	0,00	1,54	3,25
	Dinkel	1,75*	0,26	0,00	0,89	2,6
	Gernik	3,07*	0,26	0,00	2,21	3,92
Siyez	1,62*	0,26	0,00	0,76	2,47	

Tablo 3.27. Kök sayısına göre iki yönlü ANOVA testinin Tukey HSD post hoc testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güvenilirlik aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Emon	Bayraktar	-0,72	0,26	0,19	-1,58	0,13
	Çıfçıklı	0,2	0,26	1,00	-0,66	1,05
	Golia	-1,04*	0,26	0,00	-1,89	-0,18
	Çeşit 1252	-1,26*	0,26	0,00	-2,11	-0,41
	Kızıltan 91	-1,08*	0,26	0	-1,93	-0,22
	Ovidio	-0,73	0,26	0,18	-1,58	0,12
	İnce 04	-1,52*	0,26	0,00	-2,37	-0,66
	Aida	-2,40*	0,26	0,00	-3,25	-1,54
	Dinkel	-0,65	0,26	0,35	-1,5	0,21
	Gernik	0,67	0,26	0,29	-0,18	1,53
Siyez	-0,78	0,26	0,11	-1,63	0,08	
Dinkel	Bayraktar	-0,07	0,26	1,00	-0,93	0,78
	Çıfçıklı	0,85	0,26	0,06	-0,01	1,7
	Golia	-0,39	0,26	0,94	-1,24	0,47
	Çeşit 1252	-0,61	0,26	0,44	-1,47	0,24
	Kızıltan 91	-0,43	0,26	0,89	-1,28	0,43
	Ovidio	-0,08	0,26	1,00	-0,94	0,77
	İnce 04	-0,87*	0,26	0,04	-1,72	-0,02
	Aida	-1,75*	0,26	0,00	-2,6	-0,89
	Emon	0,65	0,26	0,35	-0,21	1,5
	Gernik	1,32*	0,26	0,00	0,47	2,17
Siyez	-0,13	0,26	1,00	-0,98	0,72	
Gernik	Bayraktar	-1,39*	0,26	0,00	-2,25	-0,54
	Çıfçıklı	-0,48	0,26	0,8	-1,33	0,38
	Golia	-1,71*	0,26	0,00	-2,56	-0,85
	Çeşit 1252	-1,93*	0,26	0,00	-2,79	-1,08
	Kızıltan 91	-1,75*	0,26	0,00	-2,6	-0,89
	Ovidio	-1,40*	0,26	0,00	-2,26	-0,55
	İnce 04	-2,19*	0,26	0,00	-3,04	-1,34
	Aida	-3,07*	0,26	0	-3,92	-2,21
	Emon	-0,67	0,26	0,29	-1,53	0,18
	Dinkel	-1,32*	0,26	0,00	-2,17	-0,47
Siyez	-1,45*	0,26	0,00	-2,3	-0,6	
Siyez	Bayraktar	0,06	0,26	1,00	-0,8	0,91
	Çıfçıklı	0,98*	0,26	0,01	0,12	1,83
	Golia	-0,26	0,26	1,00	-1,11	0,6
	Çeşit 1252	-0,48	0,26	0,79	-1,34	0,37
	Kızıltan 91	-0,3	0,26	0,99	-1,15	0,56
	Ovidio	0,05	0,26	1,00	-0,81	0,9
	İnce 04	-0,74	0,26	0,17	-1,59	0,11
	Aida	-1,62*	0,26	0,00	-2,47	-0,76
	Emon	0,78	0,26	0,11	-0,08	1,63
	Dinkel	0,13	0,26	1,00	-0,72	0,98
Gernik	1,45*	0,26	0,00	0,6	2,3	

Çeşitlerin morfolojik özelliklerinden kök sayısının bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök sayısı değerleri ve oluşan gruplar Tablo 3.28’de verildi. Sonuçlara göre çeşitler altı farklı gruba ayrılmaktadır.

Tablo 3.28. Çeşitlerin kök sayısı bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök sayısı değerleri ve oluşan gruplar

Çeşitler	N	Ortalama	Gruplar
Gernik	50	1,80	A
Çıfçıklı	50	2,28	AB
Emon	50	2,48	ABC
Dinkel	50	3,12	BCD
Bayraktar	50	3,12	CDE
Ovidio	50	3,20	CDE
Siyez	50	3,21	CDE
Golia	50	3,25	DE
Kızıltan 91	50	3,51	DE
Çeşit 1252	50	3,55	DE
İnce 04	50	3,74	E
Aida	50	3,99	F

Kök uzunluğu

Kök uzunluğu ile ilgili analizlerde faktörler dozlar (kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM) ve tekerrür (3) şeklinde oluşturuldu. İlk önce gruplardaki homojenliği belirlemek için küresellik testi (Mauchly's Test of Sphericity^a) uygulandı. Küresellik testinin sonucuna göre doz, tekerrür ve doz-tekerrür grupları için $p < 0.05$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilip ANOVA tablosunda p değerleri Greenhouse-Geisser'e göre dikkate alındı. Kök uzunluğundaki varyansın çeşitlere göre anlamlı $F(1, 588) = 14,89$ $p < 0,05$ olduğu tespit edildi. Çeşitlerin varyans üzerindeki etki değerinin 0,22 olarak orta olduğu belirlendi.

Tablo 3.29. Kök uzunluğu için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları (KT: Karelerin toplamı, SD: Serbestlik derecesi, OK: Ortalama kareleri, F : Kritik değer, p : istatistiksel önemlilik derecesi, KEK: Kısmi eta karesi)

Varyans kaynağı	KT	SD	OK	F	p	KEK
Çeşitler	2756,40	11	250,58	14,89	0,00	0,22
Hata	9895,08	588	16,83			
Dozlar	10652,92	1,90	5606,20	1042,28	0,00	0,64
Dozlar * Çeşitler	2293,93	20,90	109,75	20,40	0,00	0,28
Hata (Dozlar)	6009,83	1117,32	5,38			
Tekerrür	1,44	1,97	0,73	0,37	0,69	0,00
Tekerrür * Çeşitler	209,55	21,65	9,68	4,93	0,00	0,08
Hata (Tekerrür)	2273,49	1157,42	1,96			
Dozlar * Tekerrür	37,90	5,19	7,30	3,36	0,00	0,01
Dozlar * Tekerrür * Çeşitler	544,15	57,10	9,53	4,39	0,00	0,08
Hata (Dozlar*Tekerrür)	6631,15	3052,35	2,17			

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre kök uzunluğundaki varyansın dozlar [$F(1,90, 1117,32) = 1042,28$ $p < 0,05$], dozlar*çeşitler ($F = 20,40$ $p < 0,05$), tekerrür*çeşitler ($F = 4,93$ $p < 0,05$),

dozlar*tekerrür [$F(5,19, 3052,35) = 3,36 p<0,05$] ve dozlar*tekerrür*çeşitler ($F = 4,39 p<0,05$) gruplarına göre anlamlı olduğu gözlenirken tekerrür grubu için anlamlı olmadığı gözlemlendi (Tablo 3.29). Anlamlı bulunan grupların kök uzunluğundaki varyansa etki değerlerinin; dozlar, çeşitler ve dozlar*çeşitler ortak kısmi etki değerlerinin sırasıyla 0,64, 0,22 ve 0,28 olarak çok büyük, tekerrür*çeşitler, dozlar*tekerrür ve dozlar*tekerrür*çeşitlerin ortak etki değerlerinin ise sırasıyla 0,08, 0,01 ve 0,08 olarak küçük olduğu tespit edildi.

Tukey HSD post hoc testi

Kök uzunluğunda gözlenen farklılıklar anlamlı bulunduğu için Tukey HSD *post hoc* testi yapıldı. Testin sonuçlarına göre çeşitlerin ortalama değerleri arasında farkların olduğu ve bu farkın $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Tablo 3.30). Bayraktar, Çıfçıklı, İnce 04 ve Aida çeşitleri ile Ovidio çeşidi arasındaki farkların bu çeşitler lehine anlamlı olduğu belirlendi. Çeşit 1252 ile Ovidio ve Emon arasındaki farklar Çeşit 1252 lehine anlamlı bulunurken Siyez ile Ovidio ve Emon arasındaki farklar Siyez lehine anlamlı bulundu. Kızıltan 91 ile Çıfçıklı, Golia, Ovidio, İnce 04, Aida, Gernik ve Siyez arasındaki farkların Kızıltan 91 lehine anlamlı olduğu belirlendi. Dinkel ile Kızıltan 91 hariç diğer tüm çeşitlerin arasındaki farkların Dinkel lehine anlamlı olduğu görüldü.

Tablo 3.30. Kök uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Bayraktar	Çıfçıklı	0,41	0,24	0,85	-0,36	1,19
	Golia	0,4	0,24	0,88	-0,38	1,17
	Çeşit 1252	-0,26	0,24	0,99	-1,04	0,51
	Kızıltan 91	-0,75	0,24	0,07	-1,52	0,03
	Ovidio	1,2542*	0,24	0	0,48	2,03
	İnce 04	0,1	0,24	1	-0,68	0,87
	Aida	0,26	0,24	0,99	-0,52	1,04
	Emon	0,72	0,24	0,1	-0,06	1,5
	Dinkel	-1,1563*	0,24	0	-1,93	-0,38
	Gernik	0,5	0,24	0,62	-0,28	1,27
Siyez	-0,16	0,24	1	-0,94	0,62	
Çıfçıklı	Bayraktar	-0,41	0,24	0,85	-1,19	0,36
	Golia	-0,02	0,24	1	-0,79	0,76
	Çeşit 1252	-0,68	0,24	0,16	-1,46	0,1
	Kızıltan 91	-1,1602*	0,24	0	-1,94	-0,38
	Ovidio	,8407*	0,24	0,02	0,06	1,62
	İnce 04	-0,32	0,24	0,97	-1,09	0,46
	Aida	-0,15	0,24	1	-0,93	0,62
	Emon	0,31	0,24	0,98	-0,47	1,09
	Dinkel	-1,5698*	0,24	0	-2,35	-0,79
	Gernik	0,08	0,24	1	-0,69	0,86
Siyez	-0,57	0,24	0,39	-1,35	0,2	

Tablo 3.30. Kök uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Golia	Bayraktar	-0,4	0,24	0,88	-1,17	0,38
	Çıfçıklı	0,02	0,24	1	-0,76	0,79
	Çeşit 1252	-0,66	0,24	0,18	-1,44	0,11
	Kızıltan 91	-1,1440*	0,24	0	-1,92	-0,37
	Ovidio	,8568*	0,24	0,02	0,08	1,63
	İnce 04	-0,3	0,24	0,98	-1,08	0,48
	Aida	-0,14	0,24	1	-0,91	0,64
	Emon	0,32	0,24	0,97	-0,45	1,1
	Dinkel	-1,5537*	0,24	0	-2,33	-0,78
	Gernik	0,1	0,24	1	-0,68	0,88
Siyez	-0,56	0,24	0,44	-1,33	0,22	
Çeşit 1252	Bayraktar	0,26	0,24	0,99	-0,51	1,04
	Çıfçıklı	0,68	0,24	0,16	-0,1	1,46
	Golia	0,66	0,24	0,18	-0,11	1,44
	Kızıltan 91	-0,48	0,24	0,67	-1,26	0,3
	Ovidio	1,5192*	0,24	0	0,74	2,3
	İnce 04	0,36	0,24	0,93	-0,41	1,14
	Aida	0,53	0,24	0,54	-0,25	1,3
	Emon	,9868*	0,24	0	0,21	1,76
	Dinkel	-0,8913*	0,24	0,01	-1,67	-0,11
	Gernik	0,76	0,24	0,06	-0,02	1,54
Siyez	0,1	0,24	1	-0,67	0,88	
Kızıltan 91	Bayraktar	0,75	0,24	0,07	-0,03	1,52
	Çıfçıklı	1,1602*	0,24	0	0,38	1,94
	Golia	1,1440*	0,24	0	0,37	1,92
	Çeşit 1252	0,48	0,24	0,67	-0,3	1,26
	Ovidio	2,0008*	0,24	0	1,22	2,78
	İnce 04	,8442*	0,24	0,02	0,07	1,62
	Aida	1,0073*	0,24	0	0,23	1,78
	Emon	1,4685*	0,24	0	0,69	2,25
	Dinkel	-0,41	0,24	0,85	-1,19	0,37
	Gernik	1,2435*	0,24	0	0,47	2,02
Siyez	0,59	0,24	0,36	-0,19	1,36	
Ovidio	Bayraktar	-1,2542*	0,24	0	-2,03	-0,48
	Çıfçıklı	-,8407*	0,24	0,02	-1,62	-0,06
	Golia	-,8568*	0,24	0,02	-1,63	-0,08
	Çeşit 1252	-1,5192*	0,24	0	-2,3	-0,74
	Kızıltan 91	-2,0008*	0,24	0	-2,78	-1,22
	İnce 04	-1,1567*	0,24	0	-1,93	-0,38
	Aida	-,9935*	0,24	0	-1,77	-0,22
	Emon	-0,53	0,24	0,52	-1,31	0,24
	Dinkel	-2,4105*	0,24	0	-3,19	-1,63
	Gernik	-0,76	0,24	0,06	-1,53	0,02
Siyez	-1,4147*	0,24	0	-2,19	-0,64	

Tablo 3.30. Kök uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
İnce 04	Bayraktar	-0,1	0,24	1	-0,87	0,68
	Çıfçıklı	0,32	0,24	0,97	-0,46	1,09
	Golia	0,3	0,24	0,98	-0,48	1,08
	Çeşit 1252	-0,36	0,24	0,93	-1,14	0,41
	Kızıltan 91	-,8442*	0,24	0,02	-1,62	-0,07
	Ovidio	1,1567*	0,24	0	0,38	1,93
	Aida	0,16	0,24	1	-0,61	0,94
	Emon	0,62	0,24	0,26	-0,15	1,4
	Dinkel	-1,2538*	0,24	0	-2,03	-0,48
	Gernik	0,4	0,24	0,87	-0,38	1,18
Siyez	-0,26	0,24	1	-1,04	0,52	
Aida	Bayraktar	-0,26	0,24	0,99	-1,04	0,52
	Çıfçıklı	0,15	0,24	1	-0,62	0,93
	Golia	0,14	0,24	1	-0,64	0,91
	Çeşit 1252	-0,53	0,24	0,54	-1,3	0,25
	Kızıltan 91	-1,0073*	0,24	0	-1,78	-0,23
	Ovidio	,9935*	0,24	0	0,22	1,77
	İnce 04	-0,16	0,24	1	-0,94	0,61
	Emon	0,46	0,24	0,73	-0,32	1,24
	Dinkel	-1,4170*	0,24	0	-2,19	-0,64
	Gernik	0,24	0,24	1	-0,54	1,01
Siyez	-0,42	0,24	0,83	-1,2	0,36	
Emon	Bayraktar	-0,72	0,24	0,1	-1,5	0,06
	Çıfçıklı	-0,31	0,24	0,98	-1,09	0,47
	Golia	-0,32	0,24	0,97	-1,1	0,45
	Çeşit 1252	-,9868*	0,24	0	-1,76	-0,21
	Kızıltan 91	-1,4685*	0,24	0	-2,25	-0,69
	Ovidio	0,53	0,24	0,52	-0,24	1,31
	İnce 04	-0,62	0,24	0,26	-1,4	0,15
	Aida	-0,46	0,24	0,73	-1,24	0,32
	Dinkel	-1,8782*	0,24	0	-2,66	-1,1
	Gernik	-0,23	0,24	1	-1	0,55
Siyez	-,8823*	0,24	0,01	-1,66	-0,11	
Dinkel	Bayraktar	1,1563*	0,24	0	0,38	1,93
	Çıfçıklı	1,5698*	0,24	0	0,79	2,35
	Golia	1,5537*	0,24	0	0,78	2,33
	Çeşit 1252	,8913*	0,24	0,01	0,11	1,67
	Kızıltan 91	0,41	0,24	0,85	-0,37	1,19
	Ovidio	2,4105*	0,24	0	1,63	3,19
	İnce 04	1,2538*	0,24	0	0,48	2,03
	Aida	1,4170*	0,24	0	0,64	2,19
	Emon	1,8782*	0,24	0	1,1	2,66
	Gernik	1,6532*	0,24	0	0,88	2,43
Siyez	,9958*	0,24	0	0,22	1,77	

Tablo 3.30. Kök uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Gernik	Bayraktar	-0,5	0,24	0,62	-1,27	0,28
	Çıfçıklı	-0,08	0,24	1	-0,86	0,69
	Golia	-0,1	0,24	1	-0,88	0,68
	Çeşit 1252	-0,76	0,24	0,06	-1,54	0,02
	Kızıltan 91	-1,2435*	0,24	0	-2,02	-0,47
	Ovidio	0,76	0,24	0,06	-0,02	1,53
	İnce 04	-0,4	0,24	0,87	-1,18	0,38
	Aida	-0,24	0,24	1	-1,01	0,54
	Emon	0,23	0,24	1	-0,55	1
	Dinkel	-1,6532*	0,24	0	-2,43	-0,88
Siyez	-0,66	0,24	0,19	-1,43	0,12	
Siyez	Bayraktar	0,16	0,24	1	-0,62	0,94
	Çıfçıklı	0,57	0,24	0,39	-0,2	1,35
	Golia	0,56	0,24	0,44	-0,22	1,33
	Çeşit 1252	-0,1	0,24	1	-0,88	0,67
	Kızıltan 91	-0,59	0,24	0,36	-1,36	0,19
	Ovidio	1,4147*	0,24	0	0,64	2,19
	İnce 04	0,26	0,24	1	-0,52	1,04
	Aida	0,42	0,24	0,83	-0,36	1,2
	Emon	,8823*	0,24	0,01	0,11	1,66
	Dinkel	-,9958*	0,24	0	-1,77	-0,22
Gernik	0,66	0,24	0,19	-0,12	1,43	

Çeşitlerin morfolojik özelliklerinden kök uzunluğunun bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar Tablo 3.31'de verildi. Sonuçlara göre çeşitler beş farklı gruba ayrılmaktadır.

Tablo 3.31. Çeşitlerin kök uzunluğu bireysel varyans analizlerine göre ortalama kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar

Çeşitler	N	Ortalama	Gruplar
Ovidio	50	1,37	A
Emon	50	1,90	AB
Gernik	50	2,13	ABC
Çıfçıklı	50	2,21	BC
Golia	50	2,23	BC
Aida	50	2,36	BC
İnce 04	50	2,53	BC
Bayraktar	50	2,62	BC
Siyez	50	2,79	CD
Çeşit 1252	50	2,89	CD
Kızıltan 91	50	3,37	DE
Dinkel	50	3,78	E

Sürgün uzunluğu

Sürgün uzunlukları ile ilgili analizlerde faktörler dozlar (kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM) ve tekerrür (3) şeklinde oluşturuldu. İlk önce gruplardaki homojenliği belirlemek için küresellik testi (Mauchly's Test of Sphericity^a) uygulandı. Küresellik testinin sonucuna göre doz ve doz-tekerrür grupları için $p < 0.01$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilip ANOVA tablosunda p değerleri Greenhouse-Geisser'e göre dikkate alındı. Tekerrür grubu için $p > 0.01$ olduğundan küresellik varsayımı kabul edildi.

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre kök uzunluğundaki varyansın dozlar [$F(2,26, 1326,90) = 698,85$ $p < 0,05$], çeşitler [$F(1, 588) = 21,05$ $p < 0,05$], dozlar*çeşitler ($F = 24,59$ $p < 0,05$), tekerrür*çeşitler ($F = 21,87$ $p < 0,05$), dozlar*tekerrür [$F(5,19, 3051,84) = 4,93$ $p < 0,05$] ve doz*tekerrür*çeşit ($F = 5,30$ $p < 0,05$) gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenirken tekerrür grubu için anlamlı olmadığı gözlendi (Tablo 3.32). Anlamlı bulunan grupların sürgün uzunluğundaki varyansa etki değerlerinin; dozlar, çeşitler ve dozlar*çeşitler ortak kısmi etki değerlerinin sırasıyla 0,54, 0,28 ve 0,32 olarak çok büyük, tekerrür*çeşitler, dozlar*tekerrür ve dozlar*tekerrür*çeşitler ortak etki değerlerinin ise sırasıyla 0,08, 0,01 ve 0,09 olarak küçük olduğu belirlendi.

Tablo 3.32. Sürgün uzunluğu için çalışmada kullanılan çeşitler, doz ve tekerrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA verileri (KT: Karelerin toplamı, SD: Serbestlik derecesi, OK: Ortalama kareleri, F : Kritik değer, p : istatistiksel önemlilik derecesi, KEK: Kısmi Eta karesi)

Varyans kaynağı	KT	SD	OK	F	p	KEK
Çeşitler	2722,39	11	247,49	21,05	0,00	0,28
Hata	6914,91	588	11,76			
Dozlar	4019,57	2,26	1781,23	698,85	0,00	0,54
Dozlar * Çeşitler	1555,55	24,82	62,67	24,59	0,00	0,32
Hata (Dozlar)	3381,99	1326,90	2,55			
Tekerrür	3,29	2,00	1,65	1,48	0,23	0,00
Tekerrür * Çeşitler	121,22	21,87	5,54	4,96	0,00	0,08
Hata (Tekerrür)	1305,14	1176,00	1,11			
Dozlar* Tekerrür	32,83	5,19	6,33	4,93	0,00	0,01
Dozlar * Tekerrür * Çeşitler	387,59	57,09	6,79	5,30	0,00	0,09
Hata (Dozlar*Tekerrür)	3912,45	3051,84	1,28			

Tukey HSD post hoc testi

Sürgün uzunluğunda gözlenen farklılıklar anlamlı olduğu için Tukey HSD *post hoc* testi uygulandı. Testin sonuçlarına göre çeşitlerin ortalama değerleri arasında farkların olduğu ve bu farkın $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Tablo 3.33). İnce 04 çeşidi ile Aida, Dinkel ve Siyez hariç diğer tüm çeşitler arasındaki farkların İnce 04 lehine anlamlı olduğu gözlenirken Aida çeşidi ile İnce 04, Dinkel, Gernik ve Siyez hariç diğer tüm çeşitler arasındaki

farklılıkların Aida lehine anlamlı olduğu gözlemlendi. Dinkel ve Gernik buğdayları ile Bayraktar, Çeşit 1252, Kızıltan 91, Ovidio ve Emon çeşitleri arasındaki farklılıkların Dinkel ve Gernik lehine anlamlı olduğu tespit edilirken Siyez ile İnce 04 hariç diğer tüm çeşitler arasındaki farklılıkların Siyez lehine anlamlı olduğu tespit edildi.

Tablo 3.33. Sürgün uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Bayraktar	Çıfçıklı	-0,16	0,20	1,00	-0,81	0,49
	Golia	-0,19	0,20	1,00	-0,84	0,46
	Çeşit 1252	0,05	0,20	1,00	-0,60	0,70
	Kızıltan 91	0,23	0,20	0,99	-0,41	0,88
	Ovidio	0,02	0,20	1,00	-0,63	0,67
	İnce 04	-1,3897*	0,20	0,00	-2,04	-0,74
	Aida	-1,0485*	0,20	0,00	-1,70	-0,40
	Emon	0,00	0,20	1,00	-0,65	0,65
	Dinkel	-0,7623*	0,20	0,01	-1,41	-0,11
	Gernik	-0,6872*	0,20	0,03	-1,34	-0,04
Siyez	-1,7360*	0,20	0,00	-2,39	-1,09	
Çıfçıklı	Bayraktar	0,16	0,20	1,00	-0,49	0,81
	Golia	-0,03	0,20	1,00	-0,68	0,62
	Çeşit 1252	0,21	0,20	1,00	-0,44	0,86
	Kızıltan 91	0,39	0,20	0,70	-0,26	1,04
	Ovidio	0,18	0,20	1,00	-0,47	0,83
	İnce 04	-1,2307*	0,20	0,00	-1,88	-0,58
	Aida	-0,8895*	0,20	0,00	-1,54	-0,24
	Emon	0,16	0,20	1,00	-0,49	0,81
	Dinkel	-0,60	0,20	0,10	-1,25	0,05
	Gernik	-0,53	0,20	0,25	-1,18	0,12
Siyez	-1,5770*	0,20	0,00	-2,23	-0,93	
Golia	Bayraktar	0,19	0,20	1,00	-0,46	0,84
	Çıfçıklı	0,03	0,20	1,00	-0,62	0,68
	Çeşit 1252	0,24	0,20	0,99	-0,41	0,89
	Kızıltan 91	0,42	0,20	0,59	-0,23	1,07
	Ovidio	0,21	0,20	1,00	-0,44	0,86
	İnce 04	-1,2007*	0,20	0,00	-1,85	-0,55
	Aida	-0,8595*	0,20	0,00	-1,51	-0,21
	Emon	0,19	0,20	1,00	-0,46	0,84
	Dinkel	-0,57	0,20	0,15	-1,22	0,08
	Gernik	-0,50	0,20	0,33	-1,15	0,15
Siyez	-1,5470*	0,20	0,00	-2,20	-0,90	

Tablo 3.33. Sürgün uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Çeşit 1252	Bayraktar	-0,05	0,20	1,00	-0,70	0,60
	Çıfçıklı	-0,21	0,20	1,00	-0,86	0,44
	Golia	-0,24	0,20	0,99	-0,89	0,41
	Kızıltan 91	0,18	0,20	1,00	-0,47	0,83
	Ovidio	-0,03	0,20	1,00	-0,68	0,62
	İnce 04	-1,4415*	0,20	0,00	-2,09	-0,79
	Aida	-1,1003*	0,20	0,00	-1,75	-0,45
	Emon	-0,05	0,20	1,00	-0,70	0,60
	Dinkel	-,8142*	0,20	0,00	-1,46	-0,16
	Gernik	-,7390*	0,20	0,01	-1,39	-0,09
Siyez	-1,7878*	0,20	0,00	-2,44	-1,14	
Kızıltan 91	Bayraktar	-0,23	0,20	0,99	-0,88	0,41
	Çıfçıklı	-0,39	0,20	0,70	-1,04	0,26
	Golia	-0,42	0,20	0,59	-1,07	0,23
	Çeşit 1252	-0,18	0,20	1,00	-0,83	0,47
	Ovidio	-0,22	0,20	1,00	-0,87	0,43
	İnce 04	-1,6245*	0,20	0,00	-2,27	-0,97
	Aida	-1,2833*	0,20	0,00	-1,93	-0,63
	Emon	-0,24	0,20	0,99	-0,89	0,41
	Dinkel	-,9972*	0,20	0,00	-1,65	-0,35
	Gernik	-,9220*	0,20	0,00	-1,57	-0,27
Siyez	-1,9708*	0,20	0,00	-2,62	-1,32	
Ovidio	Bayraktar	-0,02	0,20	1,00	-0,67	0,63
	Çıfçıklı	-0,18	0,20	1,00	-0,83	0,47
	Golia	-0,21	0,20	1,00	-0,86	0,44
	Çeşit 1252	0,03	0,20	1,00	-0,62	0,68
	Kızıltan 91	0,22	0,20	1,00	-0,43	0,87
	İnce 04	-1,4068*	0,20	0,00	-2,06	-0,76
	Aida	-1,0657*	0,20	0,00	-1,72	-0,42
	Emon	-0,02	0,20	1,00	-0,67	0,63
	Dinkel	-,7795*	0,20	0,01	-1,43	-0,13
	Gernik	-,7043*	0,20	0,02	-1,35	-0,05
Siyez	-1,7532*	0,20	0,00	-2,40	-1,10	
İnce 04	Bayraktar	1,3897*	0,20	0,00	0,74	2,04
	Çıfçıklı	1,2307*	0,20	0,00	0,58	1,88
	Golia	1,2007*	0,20	0,00	0,55	1,85
	Çeşit 1252	1,4415*	0,20	0,00	0,79	2,09
	Kızıltan 91	1,6245*	0,20	0,00	0,97	2,27
	Ovidio	1,4068*	0,20	0,00	0,76	2,06
	Aida	0,34	0,20	0,86	-0,31	0,99
	Emon	1,3872*	0,20	0,00	0,74	2,04
	Dinkel	0,63	0,20	0,07	-0,02	1,28
	Gernik	,7025*	0,20	0,02	0,05	1,35
Siyez	-0,35	0,20	0,84	-1,00	0,30	

Tablo 3.33. Sürgün uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Aida	Bayraktar	1,0485*	0,20	0,00	0,40	1,70
	Çıfçıklı	,8895*	0,20	0,00	0,24	1,54
	Golia	,8595*	0,20	0,00	0,21	1,51
	Çeşit 1252	1,1003*	0,20	0,00	0,45	1,75
	Kızıltan 91	1,2833*	0,20	0,00	0,63	1,93
	Ovidio	1,0657*	0,20	0,00	0,42	1,72
	İnce 04	-0,34	0,20	0,86	-0,99	0,31
	Emon	1,0460*	0,20	0,00	0,40	1,70
	Dinkel	0,29	0,20	0,95	-0,36	0,94
	Gernik	0,36	0,20	0,80	-0,29	1,01
Siyez	-,6875*	0,20	0,03	-1,34	-0,04	
Emon	Bayraktar	0,00	0,20	1,00	-0,65	0,65
	Çıfçıklı	-0,16	0,20	1,00	-0,81	0,49
	Golia	-0,19	0,20	1,00	-0,84	0,46
	Çeşit 1252	0,05	0,20	1,00	-0,60	0,70
	Kızıltan 91	0,24	0,20	0,99	-0,41	0,89
	Ovidio	0,02	0,20	1,00	-0,63	0,67
	İnce 04	-1,3872*	0,20	0,00	-2,04	-0,74
	Aida	-1,0460*	0,20	0,00	-1,70	-0,40
	Dinkel	-,7598*	0,20	0,01	-1,41	-0,11
	Gernik	-,6847*	0,20	0,03	-1,33	-0,04
Siyez	-1,7335*	0,20	0,00	-2,38	-1,08	
Dinkel	Bayraktar	,7623*	0,20	0,01	0,11	1,41
	Çıfçıklı	0,60	0,20	0,10	-0,05	1,25
	Golia	0,57	0,20	0,15	-0,08	1,22
	Çeşit 1252	,8142*	0,20	0,00	0,16	1,46
	Kızıltan 91	,9972*	0,20	0,00	0,35	1,65
	Ovidio	,7795*	0,20	0,01	0,13	1,43
	İnce 04	-0,63	0,20	0,07	-1,28	0,02
	Aida	-0,29	0,20	0,95	-0,94	0,36
	Emon	,7598*	0,20	0,01	0,11	1,41
	Gernik	0,08	0,20	1,00	-0,57	0,72
Siyez	-,9737*	0,20	0,00	-1,62	-0,32	
Gernik	Bayraktar	,6872*	0,20	0,03	0,04	1,34
	Çıfçıklı	0,53	0,20	0,25	-0,12	1,18
	Golia	0,50	0,20	0,33	-0,15	1,15
	Çeşit 1252	,7390*	0,20	0,01	0,09	1,39
	Kızıltan 91	,9220*	0,20	0,00	0,27	1,57
	Ovidio	,7043*	0,20	0,02	0,05	1,35
	İnce 04	-,7025*	0,20	0,02	-1,35	-0,05
	Aida	-0,36	0,20	0,80	-1,01	0,29
	Emon	,6847*	0,20	0,03	0,04	1,33
	Dinkel	-0,08	0,20	1,00	-0,72	0,57
Siyez	-1,0488*	0,20	0,00	-1,70	-0,40	

Tablo 3.33. Sürgün uzunluğuna göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata) (Devamı)

(I) Çeşitler	OF (I-J)	St. h	P	95% Güven aralığı		
				Alt sınır	Üst sınır	
Bayraktar	1,7360*	0,20	0,00	1,09	2,39	
Çıfçıklı	1,5770*	0,20	0,00	0,93	2,23	
Golia	1,5470*	0,20	0,00	0,90	2,20	
Çeşit 1252	1,7878*	0,20	0,00	1,14	2,44	
Kızıltan 91	1,9708*	0,20	0,00	1,32	2,62	
Siyez	Ovidio	1,7532*	0,20	0,00	1,10	2,40
	İnce 04	0,35	0,20	0,84	-0,30	1,00
	Aida	,6875*	0,20	0,03	0,04	1,34
	Emon	1,7335*	0,20	0,00	1,08	2,38
	Dinkel	,9737*	0,20	0,00	0,32	1,62
	Gernik	1,0488*	0,20	0,00	0,40	1,70

Çeşitlerin morfolojik özelliklerinden sürgün uzunluğunun bireysel varyans analizlerine göre ortalama sürgün uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar Tablo 3.34'te verildi. Sonuçlara göre çeşitler beş farklı gruba ayrılmaktadır.

Tablo 3.34. Çeşitlerin sürgün uzunluğu bireysel varyans analizlerine göre ortalama sürgün uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar

Cesitler	N	Ortalama	Gruplar
Kızıltan 91	50	0,99	A
Çeşit 1252	50	1,17	A
Ovidio	50	1,21	A
Bayraktar	50	1,23	A
Emon	50	1,23	A
Çıfçıklı	50	1,38	AB
Golia	50	1,41	AB
Gernik	50	1,91	BC
Dinkel	50	1,99	BCD
Aida	50	2,27	CD
İnce 04	50	2,61	DE
Siyez	50	2,96	E

Stres Tolerans İndeksi (STİ)

Stres tolerans indeksi ile ilgili analizlerde faktörler dozlar (kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM) ve çeşitler şeklinde oluşturuldu. İlk önce gruplardaki homojenliği belirlemek için küresellik testi (Mauchly's Test of Sphericity^a) uygulandı. Küresellik testinin sonucuna göre doz ve doz-molarite grupları için $p < 0.01$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilip ANOVA tablosunda p değerleri Greenhouse-Geisser'e göre dikkate alındı. İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre STİ'deki varyansın

çeşitler [$F(2,51, 37,59) = 13,81$ $p < 0,05$] ve dozlar [$F(2, 15) = 23,35$ $p < 0,05$] için anlamlı olduğu gözlenirken dozlar*çeşitler ($F = 1,01$ $p > 0,05$) gruplarına göre anlamlı olmadığı gözlemlendi (Tablo 3.35). Anlamlı bulunan dozlar ve çeşitlerin STİ'deki varyansa kısmi etki değerlerinin sırasıyla 0,76 ve 0,48 olarak çok büyük oldukları tespit edildi.

Tablo 3.35. Stres tolerans indeksi için çalışmada kullanılan çeşitler ve doz tekrür faktörleri ile bunların ortak etkilerine göre iki yönlü ANOVA sonuçları (KT: Karelerin toplamı, SD: Serbestlik derecesi, OK: Ortalama kareleri, F: Kritik değer, p: istatistiksel önemlilik derecesi, KEK: Kısmi Eta karesi)

Varyans Kaynağı	KT	SD	OK	F	p	KEK
Dozlar	59736,98	2	29868,49	23,35	0,00	0,76
Hata	19188,93	15	1279,26			
Çeşitler	42107,45	2,51	16802,28	13,81	0,00	0,48
Çeşitler * Dozlar	6135,20	5,01	1224,08	1,01	0,43	0,12
Hata (Çeşitler)	45731,41	37,59	1216,56			

Tukey HSD post hoc testi

Stres tolerans indeks verilerinde gözlenen farklılıklar anlamlı olduğu için Tukey HSD *post hoc* testi yapıldı. Testin sonuçlarına göre dozların ortalama değerleri arasında farkların olduğu ve bu farkın $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu belirlendi (Tablo 3.36). STİ'de gözlenen varyansın nereden kaynaklandığı incelendiğinde çalışmada kullanılan üç farklı kadmiyum dozunun (1 mM, 2mM ve 3 mM) ortalama değerlerindeki farklılığın önemli olduğu görüldü. Testin sonuçlarına göre 1 mM ile diğer iki molarite arasındaki farkların önemli ve 1 mM lehine olduğu gözlenirken 2 mM ile 3 mM arasındaki farkın önemli olduğu ve 2 mM lehine olduğu gözlemlendi.

Tablo 3.36. Stres tolerans indeks verilerine göre yapılan iki yönlü ANOVA'nın Tukey HSD *post hoc* testi değerleri (OF: Ortalama farklılık, SE: Standart hata)

(I) Doz	(J) Doz	OF (I-J)	SE	p	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1	2	22,95*	5,96	0,00	7,47	38,44
	3	40,62*	5,96	0,00	25,14	56,10
2	1	-22,95*	5,96	0,00	-38,44	-7,47
	3	17,67*	5,96	0,03	2,18	33,15
3	1	-40,62*	5,96	0,00	-56,10	-25,14
	2	-17,67*	5,96	0,03	-33,15	-2,18

Çeşitlerin stres tolerans indeks verilerinin bireysel varyans analizlerine göre ortalama STİ değerleri ve oluşan gruplar Tablo 3.37'de verildi. Sonuçlara göre dozlar üç farklı gruba ayrılmaktadır.

Tablo 3.37. Dozların STİ bireysel varyans analizlerine göre ortalama STİ değerleri ve oluşan gruplar

Doz	N	Ortalama	Gruplar
3 mM	6	41,17	A
2 mM	6	58,83	B
1 mM	6	81,79	C

3.1.7. Spearman's korelasyon analizleri

EDTA'lı çalkalama ve hidroliz çözeltilerinin AAS analizleri sonucu elde edilen veriler ile farklı molaritelerde kadmiyum uygulanan tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin morfometrik verileri ve bu verilere göre hesaplanan STİ verileri arasında yapılan *Spearman* korelasyon analizlerinin sonuçları Tablo 3.38'de verildi. *Spearman* korelasyon analizleri yaş kök ve sürgünlerin EDTA'lı çözelti ile yıkandıkları çözeltideki ve kuru kök ve sürgünlerin asitle hidroliz edilen çözeltilerindeki birim hacminde ve bu yapıların 1 g kütlesinde bulunan kadmiyum miktarları ile KUSTI, SUSTI, KYASTI, SYASTI, KKASTI, SKASTI, KS, KU ve SU parametreleri arasında yapıldı.

Spearman korelasyon analizlerine göre yaş kökün EDTA ile yıkanma çözeltisindeki kadmiyum miktarı (EKYA) ile tüm parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğu ve $r_s = 0,35$ $p = 0,04 < 0,05$ ile $r_s = 0,71$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği gözlemlendi. Ancak, EKYA'nın birim kütlesine (EKYA 1 g) göre kadmiyum miktarı ile tüm parametreler arasında negatif bir korelasyon olduğu ve $r_s = -0,43$ $p = 0,01 < 0,05$ ile $r_s = -0,81$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği görüldü. Yaş sürgünlerin EDTA ile yıkanan çözeltisindeki kadmiyum miktarı (ESYA) ile KS, KU ve SU parametreleri arasında korelasyon değerleri sırasıyla $r_s = 0,41$ $p = 0,01 < 0,05$, $r_s = 0,34$ $p = 0,00 < 0,05$ ve $r_s = 0,87$ $p = 0,00 < 0,05$ olarak pozitif ilişki olduğunu gösterdi. Buna karşın EDTA'lı çözeltide yıkanan sürgünlerin 1 g kütlelerindeki kadmiyum miktarına göre sürgün yaş ağırlığı ile tüm parametreler arasında negatif bir korelasyon olduğu ve $r_s = -0,48$ $p = 0,08 < 0,05$ ile $r_s = -0,69$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği tespit edildi.

Kurutulmuş köklerin asitle hidrolizi çözeltisindeki kadmiyum miktarı (YKKA) ile SUSTI ve SYASTI dışında tüm parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğu ve $r_s = 0,43$ $p = 0,01 < 0,05$ ile $r_s = 0,61$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği görüldü. Ancak, YKKA'nın birim kütlesine (YKKA 1 g) göre kadmiyum miktarı ile tüm parametreler arasında negatif bir korelasyon olduğu ve $r_s = -0,36$ $p = 0,03 < 0,05$ ile $r_s = -0,74$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği belirlendi. Kurutulmuş sürgünlerin asitle hidrolizi çözeltisindeki kadmiyum miktarı (YSKA) ile KS ve SU arasında pozitif bir ilişki olduğu ve korelasyon değerleri sırasıyla $r_s = 0,37$ $p = 0,03 < 0,05$ ve $r_s = 0,74$ $p = 0,00 < 0,05$ olarak tespit edildi. Buna karşın, YKKA'nın birim kütlesine (YKKA 1 g) göre kadmiyum miktarı ile tüm parametreler arasında negatif bir korelasyon olduğu ve $r_s = -0,55$ $p = 0,00 < 0,05$ ile $r_s = -0,74$ $p = 0,00 < 0,05$ arasında değiştiği gözlemlendi.

Tablo 3.38. Yaş kök ve sürgünlerin EDTA ile yıkanmış çözeltilerinde, kurutulmuş kök ve sürgünlerin asitle hidrolizi sonucu elde edilen çözeltilerindeki kadmiyum miktarları ile kök ve sürgünlerdeki stres tolerans indeksleri ve morfometrik veriler arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

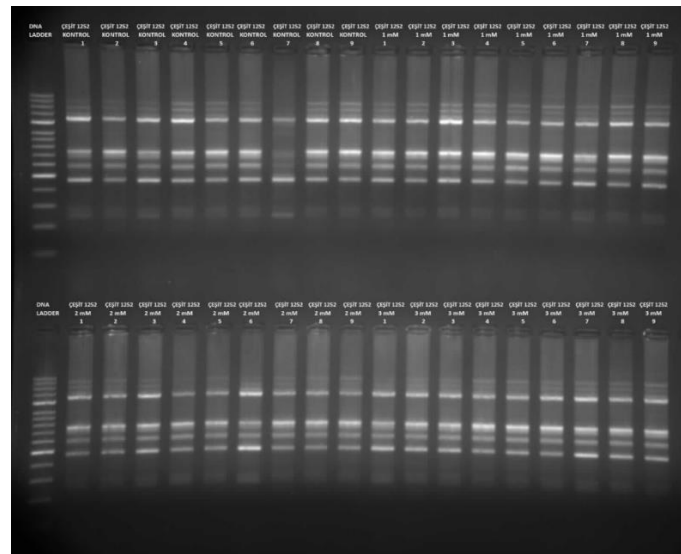
		KUSTI	SUSTI	KYASTI	SYASTI	KKASTI	SKASTI	KS	KU	SU
EKYA	r_s	0,48**	0,35*	0,49**	0,41*	0,63**	0,36*	0,53**	0,63**	0,71**
	p	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
EKYA1g	r_s	-0,81**	-0,67**	-0,77**	-0,68**	-0,78**	-0,61**	-0,43*	-0,72**	-0,57**
	p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
ESYA	r_s	0,26	0,27	0,12	0,29	0,30	0,29	0,41*	0,34*	0,87**
	p	0,13	0,12	0,49	0,08	0,07	0,09	0,01	0,04	0,00
ESYA1g	r_s	-0,56**	-0,49**	-0,51**	-0,48**	-0,59**	-0,46**	-0,47**	-0,61**	-0,69**
	p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
YKKA	r_s	0,43*	0,23	0,51**	0,30	0,61**	0,24	0,57**	0,60**	0,54**
	p	0,01	0,17	0,00	0,07	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
YKKA1g	r_s	-0,74**	-0,55**	-0,69**	-0,59**	-0,75**	-0,53**	-0,36*	-0,63**	-0,49**
	p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
YSKA	r_s	0,12	0,11	0,03	0,13	0,18	0,19	0,37*	0,22	0,74**
	p	0,50	0,54	0,85	0,43	0,28	0,27	0,03	0,20	0,00
YSKA1g	r_s	-0,67**	-0,56**	-0,61**	-0,56**	-0,66**	-0,55**	-0,55**	-0,74**	-0,72**
	p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N		36	36	36	36	36	36	36	36	36

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ önemlilik düzeylerinde

3.2. Moleküler Analizler

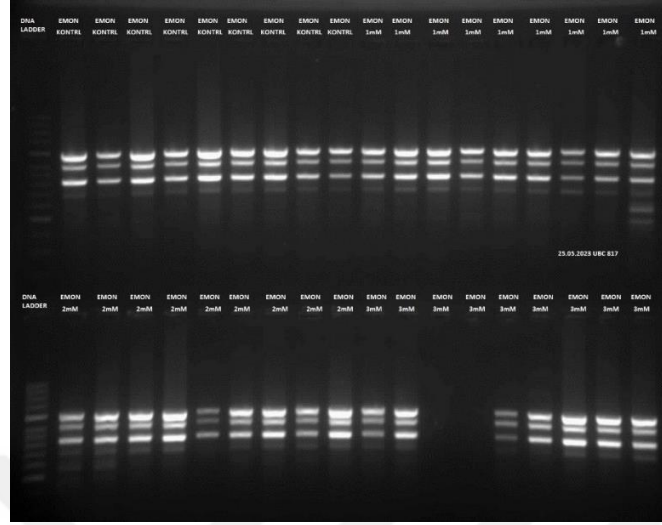
ISSR Moleküler Sonuçları

Makarnalık buğdaylardan Çeşit 1252 çeşidinin UBC 817 primeri ile yapılan PCR'nın jel görüntüsü Resim 3.1'de verildi. Üretilen fragmentlerin en büyüğü 2064,23 bç en küçüğü 233,11 bç olmak üzere toplam 286 adet bant üretildi.



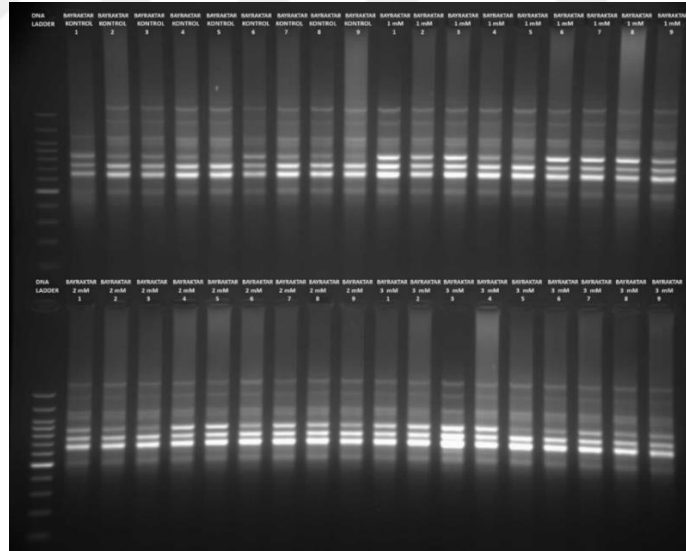
Resim 3.1. Çeşit 1252 çeşidine ait UBC 817 ISSR PCR'in agaroz jel görüntüsü

Arpalardan Emon çeşidinin UBC 817 primeri ile yapılan PCR'ın jel görüntüsü Resim 3.2'de verildi. Üretilen fragmentlerin en büyüğü 1193 bç en küçüğü 533,42 bç olmak üzere toplam 139 adet bant üretildi.



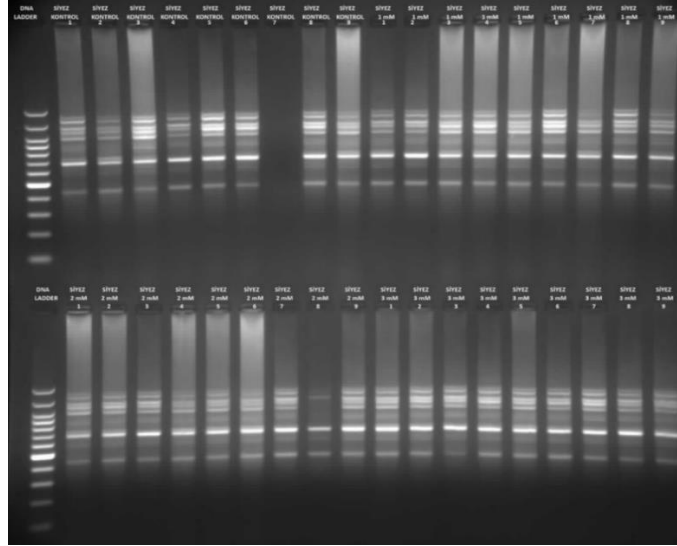
Resim 3.2. Emon çeşidine ait UBC 817 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü

Ekmeklik buğdaylardan Bayraktar çeşidinin UBC 818 primeri ile yapılan PCR'ın jel görüntüsü Resim 3.3'te verildi. Üretilen fragmentlerin en büyüğü 1724,49 bç en küçüğü 500 bç olmak üzere toplam 248 adet bant üretildi.



Resim 3.3. Bayraktar çeşidine ait UBC 818 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü

Siyez buğdayının UBC 817 primeri ile yapılan PCR'ının jel görüntüsü Resim 3.4'te verildi. Üretilen fragmentlerin en büyüğü 1465,77 bç en küçüğü 449,1 bç olmak üzere toplam 250 adet bant üretildi.



Resim 3.4. Siyez buğdayına ait UBC 817 ISSR PCR'ın agaroz jel görüntüsü

3.2.1. Genetik çeşitlilik verileri

ISSR PCR sonuçlarına göre UBC 827 en yüksek lokus sayısı olarak 22 lokus üretirken UBC 829 en düşük lokus sayısı olarak 12 lokus üretti. Primerlerin ürettikleri bant paternleri arasında GeneTools yazılım programları aracılığıyla yapılan analizlere göre en düşük fragment 180,76 bp olarak UBC 827 tarafından üretilirken en büyük fragment 2469,14 bp olarak UBC 829 tarafından üretilti. Primerler tarafında tüm popülasyonlarda üretilen toplam bant sayıları en düşük 1701 UBC 829 tarafından üretilirken en yüksek 3258 ile UBC 817 tarafından üretilti

Tablo 3.39. Sertifikalı ekmeçlik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinde ISSR analizlerine göre alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri

POP	N	na*	ne*	h*	I*	#PL	%PL
Golia	9	1,11	1,08	0,05	0,07	10	10,87%
Bayraktar	9	1,17	1,15	0,08	0,11	16	17,39%
Çıfçıklı	9	1,00	1,00	0,00	0,00	0	0,00%
Çeşit 1252	9	1,13	1,10	0,06	0,08	12	13,04%
Kızıltan 91	9	1,09	1,07	0,04	0,05	8	8,70%
Ovidio	8	1,11	1,09	0,05	0,07	10	10,87%
Dinkel	8	1,08	1,06	0,03	0	7	7,61%
Gernik	9	1,15	1,12	0,07	0,09	14	15,22%
Siyez	9	1,15	1,12	0,07	0,09	14	15,22%
Emon	9	1,15	1,11	0,06	0,09	14	15,22%
Aida	9	1,12	1,09	0,05	0,07	11	11,96%
İnce 04	9	1,12	1,11	0,06	0,08	11	11,96%
Otalama	106	2,00	1,56	0,33	0,50		

Popülasyon düzeyindeki genetik verilere göre en yüksek alel sayısı (na) 1,15 ile Gernik, Siyez türleri ve Emon çeşidinde görülürken en düşük alel sayısı 1 ile Çıfçıklı çeşidinde görüldü (Tablo 3.39). En yüksek etkili alel sayısı (ne) 1,15 ile Bayraktar çeşidinde gözlenirken en düşük etkili alel sayısı 1 ile yine Çıfçıklı çeşidinde gözlemlendi. En yüksek genetik çeşitlilik (h) 0,08 olarak Bayraktar çeşidinde izlenirken 0,07 ile Gernik ve Siyez türleri onu izledi. Çıfçıklı çeşidi genetik çeşitlilik göstermeyen çeşit oldu. Shannon indeksi (I) verilerinin de Nei'nin genetik çeşitlilik (h) verileri ile benzerlik gösterdiği tespit edildi. Analizlere göre en yüksek polimorfik lokus sayısı 14 (%15,22) olarak Gernik ve Siyez türlerinde ve Emon çeşidinde belirlenirken Çıfçıklı çeşidinde polimorfik lokus gözlemlenmedi. Kontrol grubundaki tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin izolasyon sonrası ISSR moleküler belirteçlerine göre lokus düzeyinde gösterdikleri genetik çeşitlilik verileri.

Tüm lokusların tüm popülasyonlara göre ürettikleri ortalama alel sayısı, ortalama etkili alel sayısı, ortalama genetik çeşitlilik Nei'ye göre ve Shannon indeksi verilerine göre sırasıyla 2, 1,56, 0,33 ve 0,5 olarak hesaplandı (Tablo 3.40). Primerlerin popülasyon düzeyinde gösterdikleri genetik çeşitlilik verilerine göre ortalama toplam genetik çeşitlilik (H_t), ortalama popülasyon içinde genetik çeşitlilik (H_s), ortalama genetik farklılaşma (G_{st}) ve ortalama gen akışı (N_m) için sırasıyla 0,33, 0,05, 0,85 ve 0,09 verileri elde edildi (Tablo 3.41).

Tablo 3.40. Sertifikalı ekmeçlik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre lokus düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (% PL) verileri

Lokus	N	na^*	ne^*	h^*	I^*	Lokus	N	na^*	ne^*	h^*	I^*
UBC817-2000	106	2	1,04	0,04	0,10	UBC826-950	105	2	1,96	0,49	0,68
UBC817-1800	106	2	1,81	0,45	0,64	UBC826-900	105	2	1,78	0,44	0,63
UBC817-1600	106	2	1,12	0,11	0,22	UBC826-800	105	2	1,78	0,44	0,63
UBC817-1400	106	2	2,00	0,50	0,69	UBC826-750	105	2	1,96	0,49	0,68
UBC817-1300	106	2	1,75	0,43	0,62	UBC826-700	105	2	1,83	0,45	0,65
UBC817-1200	106	2	1,35	0,26	0,43	UBC826-650	105	2	1,87	0,47	0,66
UBC817-1100	106	2	2,00	0,50	0,69	UBC826-600	105	2	1,40	0,28	0,46
UBC817-1000	106	2	1,49	0,33	0,51	UBC826-500	105	2	1,21	0,18	0,32
UBC817-950	106	2	1,18	0,16	0,29	UBC826-450	105	2	1,98	0,49	0,69
UBC817-900	106	2	1,16	0,14	0,27	UBC826-400	105	2	1,08	0,07	0,16
UBC817-850	106	2	1,61	0,38	0,57	UBC826-350	105	2	1,76	0,43	0,62
UBC817-800	106	2	1,18	0,16	0,29	UBC827-1800	108	2	1,18	0,15	0,29
UBC817-750	106	2	1,81	0,45	0,64	UBC827-1600	108	2	1,46	0,31	0,49
UBC817-700	106	2	1,47	0,32	0,50	UBC827-1500	108	2	1,95	0,49	0,68
UBC817-650	106	2	1,16	0,14	0,27	UBC827-1400	108	2	1,25	0,20	0,35
UBC817-600	106	2	1,81	0,45	0,64	UBC827-1300	108	2	1,95	0,49	0,68
UBC817-550	106	2	1,18	0,16	0,29	UBC827-1200	108	2	1,11	0,10	0,20
UBC817-500	106	2	1,96	0,49	0,68	UBC827-1100	108	2	1,71	0,42	0,61
UBC817-450	106	2	1,87	0,47	0,66	UBC827-1000	108	2	1,53	0,35	0,53
UBC817-250	106	2	2,00	0,50	0,69	UBC827-900	108	2	1,53	0,35	0,53
UBC818-2000	106	2	1,09	0,09	0,18	UBC827-800	108	2	1,96	0,49	0,68
UBC818-1800	106	2	1,96	0,49	0,68	UBC827-750	108	2	1,31	0,23	0,40
UBC818-1700	106	2	1,26	0,21	0,36	UBC827-700	108	2	1,85	0,46	0,65
UBC818-1500	106	2	1,07	0,07	0,15	UBC827-650	108	2	1,18	0,15	0,29
UBC818-1400	106	2	1,47	0,32	0,50	UBC827-600	108	2	1,98	0,49	0,69
UBC818-1300	106	2	1,14	0,12	0,24	UBC827-550	108	2	1,26	0,21	0,36

Tablo 3.40. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre lokus düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri (Devamı)

Lokus	N	na*	ne*	h*	I*	Lokus	N	na*	ne*	h*	I*
UBC818-1100	106	2	1,80	0,44	0,64	UBC827-500	108	2	1,49	0,33	0,51
UBC818-1000	106	2	1,32	0,24	0,41	UBC827-450	108	2	1,52	0,34	0,53
UBC818-900	106	2	1,61	0,38	0,57	UBC827-400	108	2	1,87	0,47	0,66
UBC818-850	106	2	1,95	0,49	0,68	UBC827-350	108	2	1,71	0,42	0,61
UBC818-800	106	2	1,02	0,02	0,06	UBC827-300	108	2	1,18	0,15	0,29
UBC818-750	106	2	2,00	0,50	0,69	UBC827-250	108	2	1,60	0,38	0,56
UBC818-700	106	2	1,01	0,01	0,03	UBC827-150	108	2	1,31	0,24	0,40
UBC818-650	106	2	1,67	0,40	0,59	UBC829-2500	103	2	1,12	0,11	0,22
UBC818-550	106	2	2,00	0,50	0,69	UBC829-1400	103	2	1,96	0,49	0,68
UBC818-500	106	2	1,61	0,38	0,57	UBC829-1300	103	2	1,43	0,30	0,48
UBC818-450	106	2	1,61	0,38	0,57	UBC829-1100	103	2	1,69	0,41	0,60
UBC818-400	106	2	1,18	0,16	0,29	UBC829-1000	103	2	1,83	0,45	0,65
UBC818-350	106	2	1,12	0,11	0,22	UBC829-950	103	2	1,56	0,36	0,54
UBC818-200	106	2	1,09	0,09	0,18	UBC829-800	103	2	1,19	0,16	0,30
UBC826-2000	105	2	1,54	0,35	0,54	UBC829-650	103	2	1,84	0,46	0,65
UBC826-1800	105	2	1,54	0,35	0,54	UBC829-600	103	2	2,00	0,50	0,69
UBC826-1600	105	2	1,19	0,16	0,29	UBC829-500	103	2	1,99	0,50	0,69
UBC826-1500	105	2	1,47	0,32	0,50	UBC829-400	103	2	1,46	0,32	0,50
UBC826-1400	105	2	1,90	0,48	0,67	UBC829-350	103	2	1,98	0,50	0,69
UBC826-1100	105	2	1,92	0,48	0,67	Ortalama	106	2	1,56	0,33	0,50
UBC826-1000	105	2	1,51	0,34	0,52	St. sp.			0,33	0,15	0,19

Tablo 3.41. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre popülasyon düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri

Lokus	N	H _t	H _s	G _{st}	N _m *	Lokus	N	H _t	H _s	G _{st}	N _m *
UBC817-2000	106	0,04	0,03	0,24	1,60	UBC826-950	105	0,48	0,08	0,83	0,10
UBC817-1800	106	0,44	0,07	0,83	0,10	UBC826-900	105	0,44	0,00	1,00	0,00
UBC817-1600	106	0,10	0,04	0,65	0,27	UBC826-800	105	0,43	0,08	0,81	0,11
UBC817-1400	106	0,50	0,11	0,78	0,14	UBC826-750	105	0,49	0,10	0,80	0,12
UBC817-1300	106	0,42	0,07	0,83	0,11	UBC826-700	105	0,45	0,08	0,82	0,11
UBC817-1200	106	0,26	0,08	0,69	0,22	UBC826-650	105	0,47	0,04	0,91	0,05
UBC817-1100	106	0,50	0,06	0,89	0,06	UBC826-600	105	0,28	0,00	1,00	0,00
UBC817-1000	106	0,35	0,04	0,89	0,06	UBC826-500	105	0,17	0,12	0,33	1,03
UBC817-950	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC826-450	105	0,50	0,04	0,92	0,05
UBC817-900	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC826-400	105	0,07	0,04	0,40	0,75
UBC817-850	106	0,38	0,00	1,00	0,00	UBC826-350	105	0,42	0,04	0,91	0,05
UBC817-800	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC827-1800	108	0,15	0,00	1,00	0,00
UBC817-750	106	0,45	0,02	0,96	0,02	UBC827-1600	108	0,31	0,04	0,88	0,07
UBC817-700	106	0,31	0,04	0,88	0,07	UBC827-1500	108	0,49	0,00	1,00	0,00
UBC817-650	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC827-1400	108	0,20	0,04	0,81	0,12
UBC817-600	106	0,44	0,00	1,00	0,00	UBC827-1300	108	0,49	0,00	1,00	0,00
UBC817-550	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC827-1200	108	0,10	0,07	0,32	1,08
UBC817-500	106	0,49	0,00	1,00	0,00	UBC827-1100	108	0,42	0,13	0,68	0,23
UBC817-450	106	0,46	0,04	0,92	0,04	UBC827-1000	108	0,35	0,04	0,89	0,06
UBC817-250	106	0,50	0,00	1,00	0,00	UBC827-900	108	0,35	0,04	0,89	0,06
UBC818-2000	106	0,08	0,04	0,51	0,49	UBC827-800	108	0,49	0,12	0,76	0,15

Tablo 3.41. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR analizlerine göre popülasyon düzeyinde alel sayısı (na), etkili alel sayısı (ne), Nei'ye göre genetik çeşitlilik (h) ve Shannon'a göre genetik çeşitlilik indeksi (I), polimorfik lokus sayısı (PL) ve polimorfik lokus yüzdesi (%PL) verileri (Devamı)

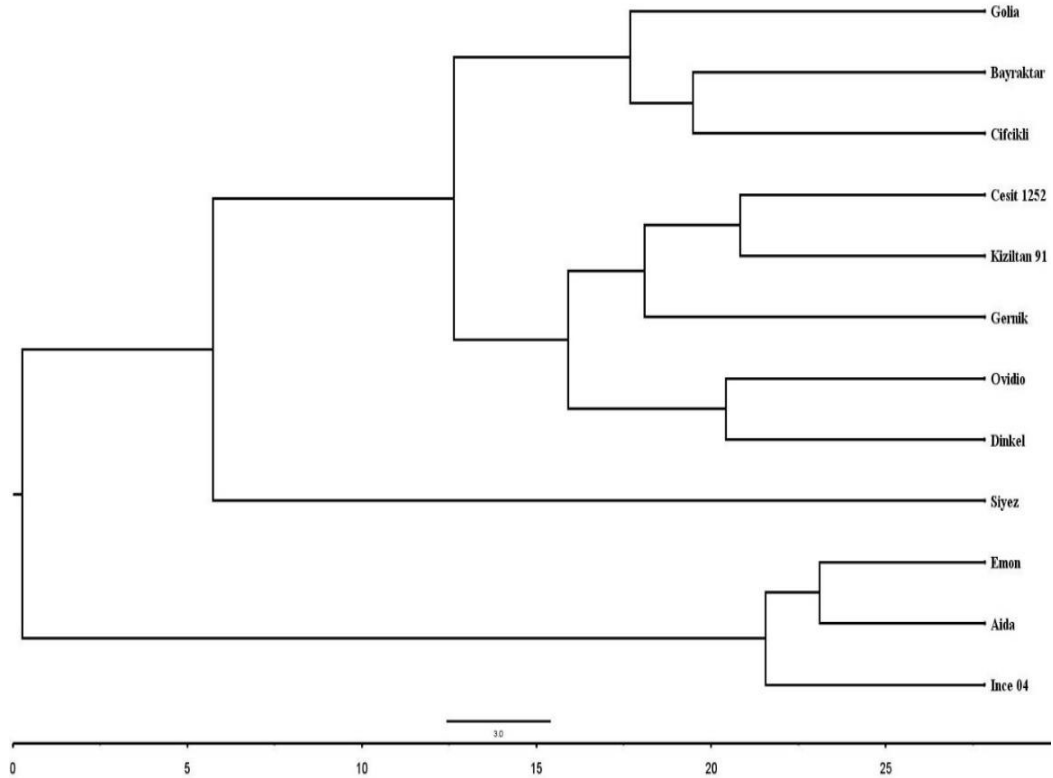
Lokus	N	H_t	H_s	G_{st}	N_m^*	Lokus	N	H_t	H_s	G_{st}	N_m^*
UBC818-1800	106	0,49	0,08	0,84	0,10	UBC827-750	108	0,23	0,15	0,34	0,96
UBC818-1700	106	0,20	0,05	0,76	0,16	UBC827-700	108	0,46	0,12	0,74	0,18
UBC818-1500	106	0,07	0,04	0,40	0,75	UBC827-650	108	0,15	0,00	1,00	0,00
UBC818-1400	106	0,32	0,04	0,88	0,07	UBC827-600	108	0,49	0,14	0,72	0,20
UBC818-1300	106	0,12	0,05	0,56	0,40	UBC827-550	108	0,21	0,04	0,81	0,12
UBC818-1100	106	0,45	0,08	0,83	0,11	UBC827-500	108	0,33	0,04	0,87	0,07
UBC818-1000	106	0,24	0,04	0,85	0,09	UBC827-450	108	0,34	0,06	0,83	0,10
UBC818-900	106	0,38	0,00	1,00	0,00	UBC827-400	108	0,47	0,20	0,57	0,37
UBC818-850	106	0,49	0,03	0,95	0,03	UBC827-350	108	0,42	0,04	0,90	0,06
UBC818-800	106	0,02	0,02	0,12	3,53	UBC827-300	108	0,15	0,00	1,00	0,00
UBC818-750	106	0,50	0,08	0,84	0,09	UBC827-250	108	0,38	0,00	1,00	0,00
UBC818-700	106	0,01	0,01	0,05	8,99	UBC827-150	108	0,24	0,04	0,85	0,09
UBC818-650	106	0,40	0,09	0,78	0,14	UBC829-2500	103	0,10	0,04	0,65	0,27
UBC818-550	106	0,50	0,00	1,00	0,00	UBC829-1400	103	0,48	0,12	0,76	0,16
UBC818-500	106	0,38	0,00	1,00	0,00	UBC829-1300	103	0,30	0,08	0,73	0,18
UBC818-450	106	0,38	0,00	1,00	0,00	UBC829-1100	103	0,40	0,11	0,73	0,19
UBC818-400	106	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC829-1000	103	0,44	0,00	1,00	0,00
UBC818-350	106	0,10	0,04	0,65	0,27	UBC829-950	103	0,35	0,04	0,89	0,06
UBC818-200	106	0,08	0,04	0,51	0,49	UBC829-800	103	0,15	0,00	1,00	0,00
UBC826-2000	105	0,35	0,04	0,89	0,06	UBC829-650	103	0,45	0,08	0,81	0,11
UBC826-1800	105	0,35	0,04	0,89	0,06	UBC829-600	103	0,50	0,20	0,61	0,32
UBC826-1600	105	0,15	0,00	1,00	0,00	UBC829-500	103	0,50	0,04	0,92	0,05
UBC826-1500	105	0,31	0,07	0,76	0,15	UBC829-400	103	0,31	0,03	0,89	0,06
UBC826-1400	105	0,47	0,15	0,68	0,24	UBC829-350	103	0,50	0,12	0,77	0,15
UBC826-1100	105	0,48	0,18	0,61	0,32	Ortalama	106	0,33	0,05	0,85	0,09
UBC826-1000	105	0,33	0,04	0,88	0,07	St. sp.		0,02	0,00		

Bu çalışmada analiz edilen sertifikalı 3 ekmeklik, 3 makarnalık buğday ve 3 arpa çeşidiyle 3 atasal buğday türünün ISSR PCR verilerine göre hesaplanan genetik uzaklık verileri Tablo 3.42 ve UPGMA'ya göre oluşturulan ve filogenetik ilişkilerini gösteren dendrogram Şekil 3.1'de verildi. Genetik uzaklık verilerine göre 0,51 ile 0,63 arasında değişen en yüksek genetik uzaklık verileri İnce 04 çeşidi ile buğday türleri arasında gözlemlendi. Atasal türlerden Siyez ile diğer buğday türleri ve arpa çeşitleri arasında da genetik uzaklıkların yüksek düzeyde olduğu dikkat çekmektedir. En düşük genetik uzaklıklar her bir grubun kendi arasında gözlemlendi.

Filogenetik ilişkileri gösteren dendrograma göre arpa çeşitleri buğdaylara göre dış grup olarak ayrı şekilde grup oluşturdu (Şekil 3.3). Buğdaylar değerlendirildiğinde ekmeklik buğdaylar ayrı bir alt grup oluştururken atasal bir tetraploit tür olan Gernik makarnalık çeşitler olan Çeşit 1252 ve Kızıltan 91 ile birlikte gruplandı. Makarnalık çeşit olan Ovidio atasal bir hekzaploit olan spelt buğday Dinkel ile bir alt grup oluştururken diğer bir atasal diploit tür olan Siyez tüm buğdaylara göre dış alt grubunda tek başına yer aldı. Dendrogramda sonuçlar beklendiği gibi çıkmakla beraber Ovidio ve Dinkel'in birlikte grup oluşturması beklenen bir durum değildi. Burada Ovidio tohum şirketinde temin edildiği için tohum etiketlenmesi sırasında yanlışlık olması ve bir ekmeklik buğday çeşidi olması ihtimalini düşündürmektedir

Tablo 3.42. Sertifikalı ekmeçlik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasında ISSR moleküler belirteçlerine göre hesaplanan genetik uzaklık verileri

pop	Golia	Bayraktar	Çıfçıklı	Çeşit 1252	Kızıltan 91	Ovidio	Dinkel	Gernik	Siyez	Emon	Aida	İnce 04
Golia	****											
Bayraktar	0,19	****										
Çıfçıklı	0,22	0,17	****									
Çeşit 1252	0,30	0,31	0,39	****								
Kızıltan 91	0,35	0,24	0,36	0,14	****							
Ovidio	0,35	0,26	0,40	0,25	0,22	****						
Dinkel	0,26	0,19	0,23	0,27	0,29	0,15	****					
Gernik	0,39	0,25	0,33	0,20	0,20	0,20	0,22	****				
Siyez	0,61	0,36	0,51	0,59	0,47	0,38	0,36	0,29	****			
Emon	0,44	0,51	0,51	0,71	0,60	0,61	0,50	0,51	0,54	****		
Aida	0,44	0,46	0,44	0,69	0,59	0,60	0,46	0,53	0,49	0,10	****	
İnce 04	0,51	0,56	0,57	0,75	0,57	0,63	0,55	0,56	0,61	0,12	0,14	****



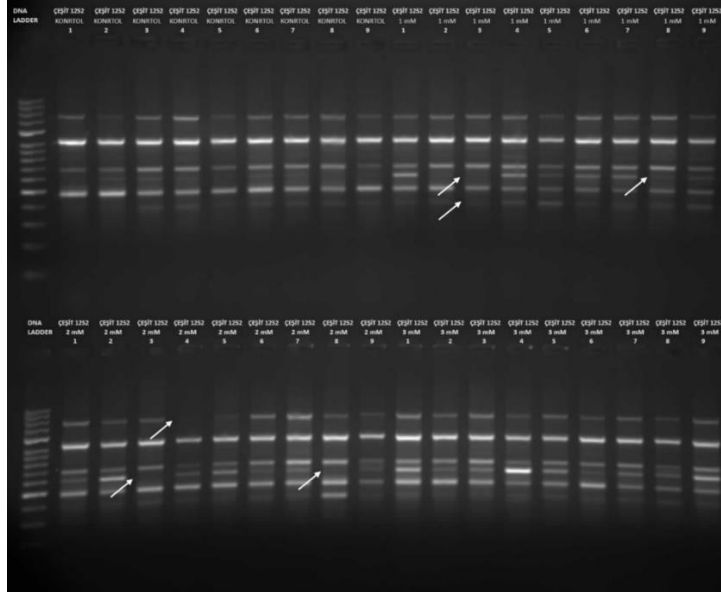
Şekil 3.3. Sertifikalı ekmeçlik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin arasındaki filogenetik ilişkileri açıklayan ISSR analizlerine göre oluşturulmuş dendrogram

Farklı molaritelerde kadmiyum uygulaması sonrasında gelişen sürgün ve köklerin genetik yapılarında herhangi bir değişiklik olup olmadığı ISSR PCR'la analiz edildi ve jel görüntüleri kontrol grubu sonuçları ile karşılaştırıldı. Farklılığı somut verilerle ortaya koymak için her bir molaritede analiz edilen tür ve çeşitler popülasyon gibi kabul edildi ve POPGEN ile analiz edildi. Analizlerde alel sayısı, etkili alel sayısı, Nei'ye göre ve Shannon indeksine göre genetik çeşitlilik verileri kontrol grubu verileri ile Tablo 3.43'te verildi.

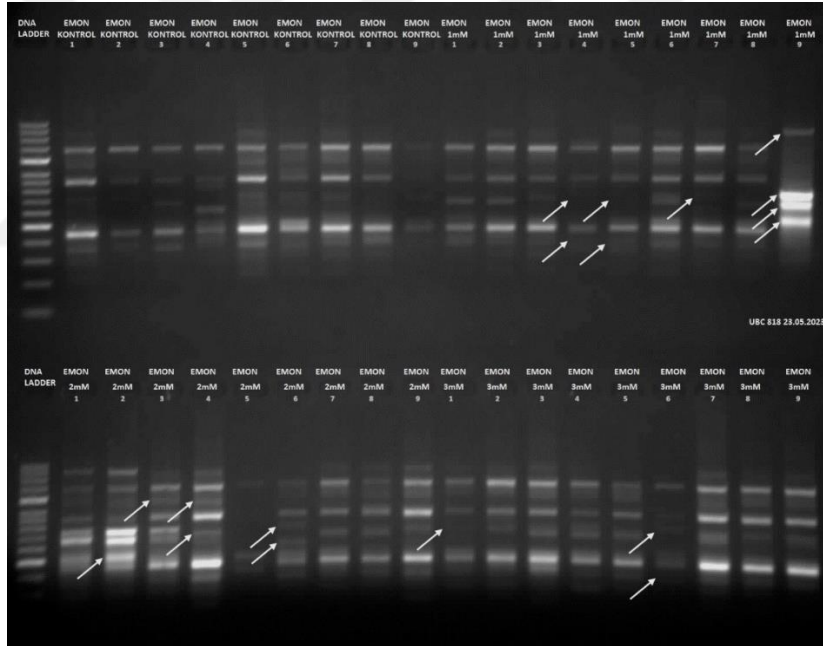
Tablo 3.43. Sertifikalı ekmeklik, makarnalık buğday ve arpa çeşitleri ile atasal buğday türlerinin tohumlarına farklı molaritelerde (1 mM, 2 mM ve 3 mM) uygulanan kadmiyumun gelişen embriyo eksenlerinin DNA'ları üzerinde meydana getirdiği değişikliklerin ISSR moleküler belirteçlerine göre lokus düzeyinde gösterdikleri genetik çeşitlilik verileri

	POP	Golia	Bayraktar	Çıfıklı	Çeşit 1252	Kızıltan 91	Ovidio	Dinkel	Gernik	Siyez	Emon	Aida	İnce 04	Ortalama
	N	9	9	9	9	9	8	8	9	9	9	9	9	106
na*	K	1,11	1,17	1,00	1,13	1,09	1,11	1,08	1,15	1,15	1,15	1,12	1,12	2,00
	1mM	1,11	1,03	1,05	1,15	1,16	1,21	1,05	1,10	1,11	1,18	1,12	1,14	1,99
	2mM	1,09	1,05	1,04	1,16	1,21	1,13	1,02	1,13	1,12	1,22	1,07	1,12	1,99
	3mM	1,09	1,04	1,04	1,13	1,17	1,15	1,03	1,14	1,07	1,17	1,04	1,10	1,98
ne*	K	1,08	1,15	1,00	1,10	1,07	1,09	1,06	1,12	1,12	1,11	1,09	1,11	1,56
	1mM	1,08	1,03	1,05	1,12	1,10	1,17	1,05	1,07	1,09	1,11	1,08	1,12	1,54
	2mM	1,07	1,04	1,02	1,11	1,17	1,1	1,01	1,10	1,10	1,17	1,05	1,10	1,53
	3mM	1,06	1,03	1,04	1,09	1,12	1,12	1,02	1,10	1,05	1,13	1,03	1,07	1,54
h*	K	0,05	0,08	0,00	0,06	0,04	0,05	0,03	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,33
	1mM	0,05	0,01	0,03	0,07	0,06	0,09	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,32
	2mM	0,04	0,02	0,01	0,06	0,09	0,06	0,01	0,05	0,06	0,09	0,03	0,05	0,32
	3mM	0,04	0,02	0,02	0,05	0,07	0,07	0,01	0,06	0,03	0,07	0,02	0,04	0,32
I*	K	0,07	0,11	0,00	0,08	0,05	0,07	0,00	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,50
	1mM	0,07	0,02	0,04	0,09	0,09	0,13	0,04	0,06	0,07	0,10	0,07	0,09	0,49
	2mM	0,05	0,03	0,02	0,09	0,13	0,08	0,01	0,08	0,08	0,13	0,04	0,08	0,48
	3mM	0,05	0,03	0,03	0,07	0,10	0,09	0,02	0,08	0,04	0,10	0,02	0,06	0,49

Alel sayısı verileri kontrol ve kadmiyum uygulanan örneklere göre karşılaştırıldığında aralarında farklılıklar olduğu gözlemlendi. Kontrol gruplarına göre ve molaritelere göre 1 mM, 2 mM ve 3 mM sırasıyla en yüksek alel sayıları 1,21 ile Ovidio çeşidinde, 1,22 ile Emon çeşidinde, 1,17 ile Kızıltan 91 ve Emon çeşitlerinde görüldü. Buna karşın kontrol grubuna göre düşük alel sayıları gözlemlendi. Alel sayısının yüksek olması DNA üzerinde yeni primer bağlanma dizilerinin ortaya çıktığının, düşük alel sayılarının ise mevcut primer bağlanma noktalarında ağır metal stresi sonucu dizi değişim bölgelerinin olduğunun ve primer bağlanma bölgelerinin kaybolduğunun bir göstergesi olabilir (Resim 3.5 ve 3.6).



Resim 3.5. UBC 827 ISSR primeri ile Çeşit 1252 makarnalık buğday çeşidinde kontrol, 1 mM, 2mM ve 3mM kadmiyum uygulanan bitkilerin DNA'ları üzerinde yapılan ISSR-PCR'ın agaroz jel görüntüsü



Resim 3.6. UBC 818 ISSR primeri ile Emon arpa çeşidinde kontrol, 1 mM, 2 mM ve 3 mM kadmiyum uygulanan bitkilerin DNA'ları üzerinde yapılan ISSR-PCR'ın agaroz jel görüntüsü

Kontrol ve deney gruplarındaki etkili alel sayılarına göre ise 1 mM, 2 mM ve 3 mM'da sırasıyla 1,17 ile Ovidio'da, 1,17 ile Kızıltan 91 ve Emon çeşitlerinde, 1,13 ile Emon çeşidinde gözlemlendi.

Nei (1972)'ye göre genetik çeşitlilik verilerinde kontrol deney grupları karşılaştırıldığında 1 mM, 2mM ve 3 mM'da sırasıyla 0,09 ile Ovidio'da, 0,09 ile Kızıltan 91 ve Emon çeşitlerinde, 0,07 ile Kızıltan 91, Ovidio ve Emon çeşitlerinde daha yüksek değerler olduğu belirlendi.

Shannon indeksine göre kontrol ve deney gruplarındaki genetik çeşitlilik karşılaştırıldığında 1 mM, 2 mM ve 3 mM'da sırasıyla 0,13 ile Ovidio'da, 0,13 ile Kızıltan 91 ve Emon çeşitlerinde, 0,10 ile Kızıltan 91 ile Emon çeşitlerinde daha yüksek oranlarda olduğu görüldü

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde farklı molaritede uygulanan kadmiyumun DNA üzerinde meydana getirdiği değişiklikler türlere göre değerlendirildiğinde Kızıltan 91, Ovidio ve Emon çeşitlerinin diğerlerine göre daha duyarlı oldukları dikkat çekmektedir. Molaritelere göre değerlendirildiğinde alel sayısında 1 mM ve 2 mM'da daha yüksek veriler gözlenirken etkili alel sayısına göre 1 mM ve 2 mM'da daha yüksek veriler bulunduğu gözlemlendi. Morfoloji sonuçlarına göre ise 1 mM'da büyümenin etkilenmediği hatta bazı örneklerde teşvik edici olduğu düşünülürken aslında DNA üzerinde etkilerinin bulunması şaşırtan ve dikkat çeken bir durum olarak gözlemlendi.

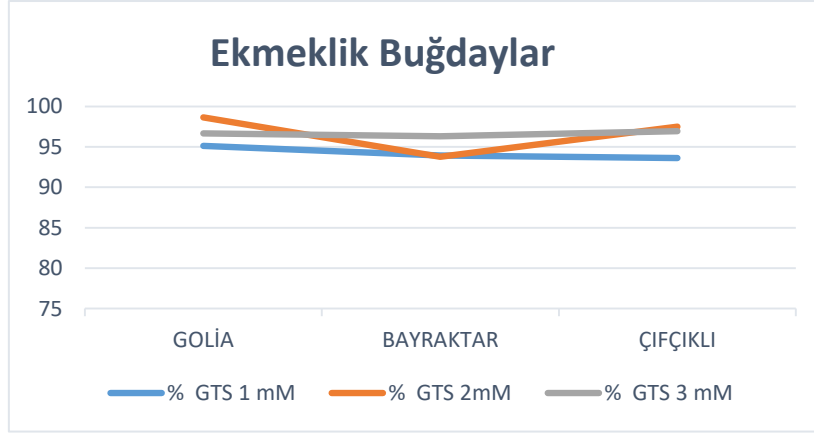
3.2.2. Genomik kalıp kararlılığı (%)

Elde edilen veriler her bir primer için hesaplandı. Sonrasında tüm primerlerin hesaplamalarının ortalaması alınarak Tablo 3.44'teki veriler elde edildi.

Tablo 3.44. Kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyumdan sonra gelişen kök ve sürgün DNA'ları üzerinde beş ISSR primeri ile yapılan PCR sonuçlarına göre hesaplanan genomik kararlılık değerleri (%)

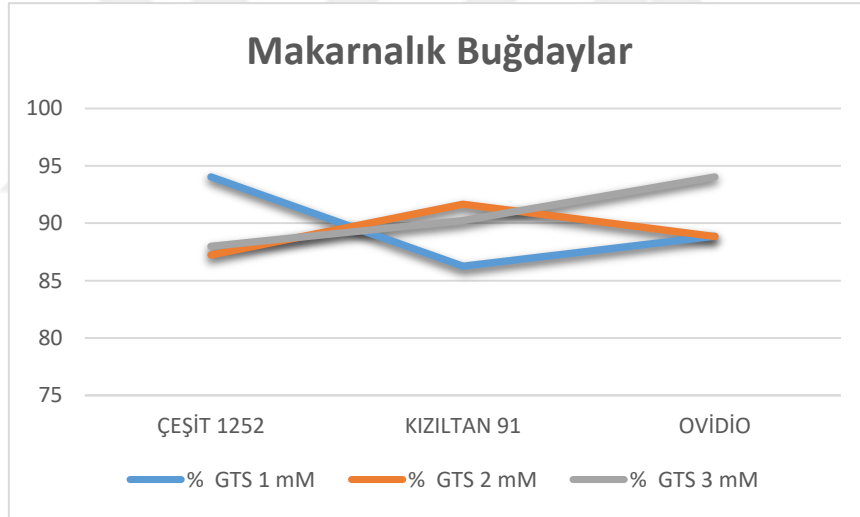
SN	Çeşit adı	% GTS 1 mM	% GTS 2 mM	% GTS 3 mM
1	Golia	95,14	98,65	96,65
2	Bayraktar	93,94	93,79	96,31
3	Çıfçıklı	93,61	97,50	96,94
4	Çeşit 1252	94,04	87,23	87,99
5	Kızıltan 91	86,25	91,66	90,22
6	Ovidio	88,87	88,85	94,04
7	Dinkel	97,37	95,74	97,21
8	Gernik	95,00	88,15	98,63
9	Sıyez	95,45	98,59	97,08
10	Emon	97,85	90,12	94,00
11	Aida	96,57	89,43	90,91
12	İnce 04	94,01	90,76	94,17

Ekmeklik buğday çeşitlerinde molariteye bağlı GTS yüzdelerine bakıldığında 1 mM'lık uygulamada Golia diğer çeşitlere göre daha yüksek değer verirken diğer iki çeşitte aynı oranlar görüldü. 2 mM'lık uygulamada Golia ve Çıfçıklı çeşidinde daha düşük molariteye göre artış gözlenirken Bayraktar'da çok düşük bir oran da olsa azalma görüldü. 3 mM'lık uygulamada Çıfçıklı ve Golia'da azalma gözlenirken Bayraktar çeşidinde artış gözlemlendi (Şekil 3.4).



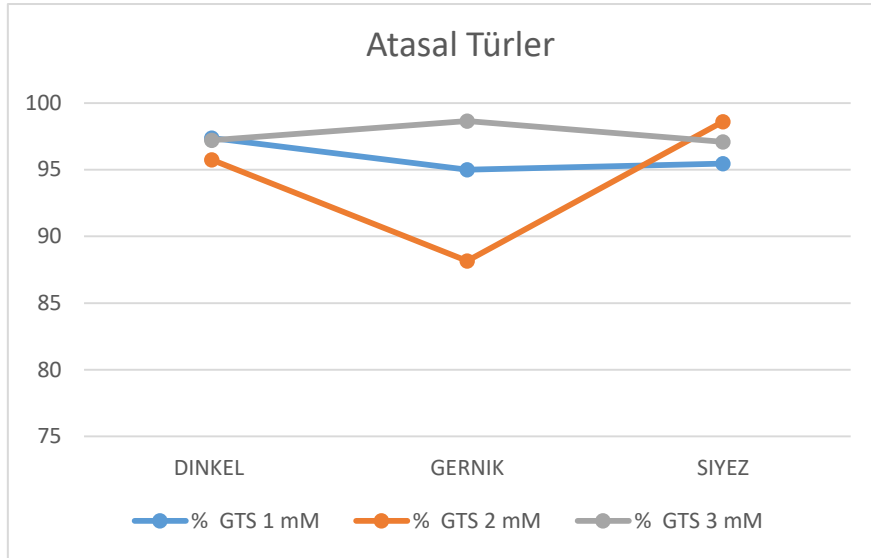
Şekil 3.4. Ekmeklik buğdaylarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.

Makarnalık buğday çeşitlerinde molariteye bağlı GTS yüzdelerine bakıldığında 1 mM'lık uygulamada Çeşit 1252 en yüksek değeri verirken sırasıyla Ovidio ve Kızıltan 91 çeşitleri izledi. 2 mM'lık uygulamada Ovidio çeşidi neredeyse aynı kalırken Çeşit 1252'de azalma, Kızıltan 91'de artış gözlemlendi. 3 mM'lık uygulamada Çeşit 1252 ve Kızıltan 91'de azalma gözlenirken Ovidio çeşidinde artış gözlemlendi (Şekil 3.5).



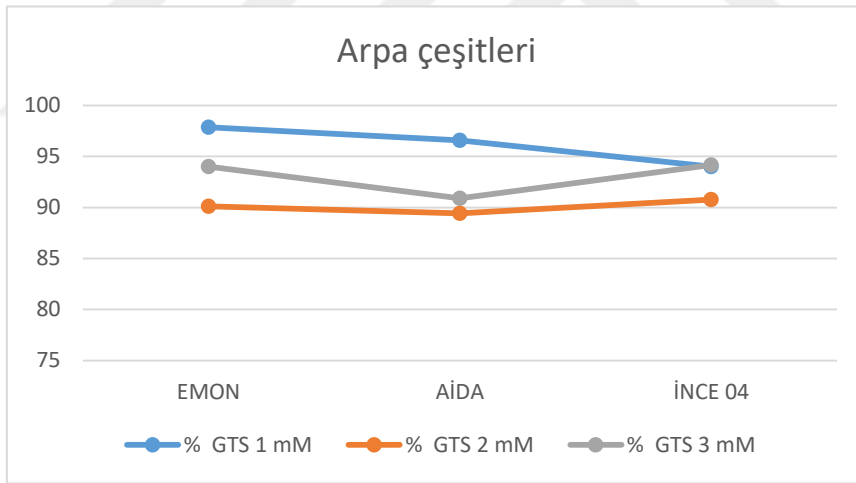
Şekil 3.5. Makarnalık buğdaylarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.

Atasal buğday türlerinde molariteye bağlı GTS yüzdelerine bakıldığında 1 mM'lık uygulamada Dinkel en yüksek değeri verirken sırasıyla Siyez ve Gernik türleri onu izledi. 2 mM'lık uygulamada Siyez'de artış gözlenirken Gernik ve Dinkel türlerinde azalma gözlemlendi. 3 mM'lık uygulamada Siyez'de azalma gözlenirken Dinkel ve Gernik'te artış gözlemlendi (Şekil 3.6).



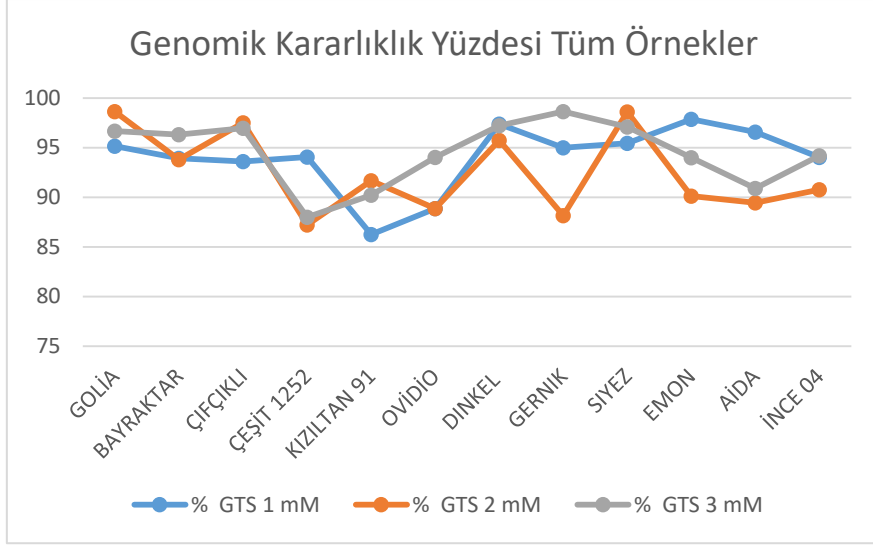
Şekil 3.6. Atasal buğday türlerinde molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.

Arpa çeşitlerinde molariteye bağlı GTS yüzdelerine bakıldığında 1 mM'lık uygulamada Emon en yüksek değeri verirken onu sırasıyla Aida ve İnce 04 çeşitleri izledi. 2 mM'lık uygulamada tüm çeşitlerde azalma gözlemlendi. 3 mM'lık uygulamada 2 mM'lık uygulamaya bakıldığında tüm çeşitlerde artış gözlemlendi (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Arpalarda molaritelere bağlı GTS (%) gösteren grafik.

Tüm örneklerin gösterildiği grafikte (Şekil 3.8) Dinkel ve Siyez'de genomik kararlılık yüzdesinin diğer örneklerle göre oldukça yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Makarnalık buğdaylarda ise genel anlamda düşük seviyeler gözlemlendi. Arpalara bakıldığında 2 mM'lık uygulamada ciddi bir düşüş görülürken 3 mM'lık uygulamanın hepsinde daha yüksek çıkması dikkat çekti. Ekmeklik buğdaylar ise makarnalık buğdaylar ve arpalara göre daha yüksek seviyeler gözlenirken atasal türlerden Dinkel hariç diğer türlere göre daha düşük seviyeler görüldü.



Şekil 3.8. Kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyumdan sonra gelişen kök ve sürgün DNA'ları üzerinde beş ISSR primeri ile yapılan PCR sonuçlarına göre hesaplanan genomik kalıp kararlılığı yüzdelelerini gösteren grafik

4. BÖLÜM TARTIŞMA

Ekmeklik, makarnalık ve atalık buğday türleri ile arpalarda analiz edilen tohumların 1000 dane ağırlıkları karşılaştırıldığında makarnalık buğdayların 44,22 g - 51,42 g değişen aralıkları ile öne çıktıkları görülmektedir. Ekmeklik buğday çeşitlerinin ise en düşük 1000 dane ağırlığına sahip olduğu dikkat çekmektedir. Arpa çeşitleri ve atalık buğdayların 1000 dane ağırlıkları birbirine yakın oranlarda olup makarnalık buğday çeşitlerini takip etmektedir. Çeşit bazında ise öne çıkanlar: Ekmeklik buğdaylarda Bayraktar, makarnalık buğdaylarda Çeşit 1252, arpalarda Aida ve Atasal türlerde Gernik olarak tespit edildi. Bin dane ağırlığı tahıllarda verimi doğrudan ilgilendiren bir parametre olduğu için üretimde diğer parametreler de dikkate alınarak doğru çeşitlerin tercih edilip üretim kapasitesinin artırılması, hem gıda olarak tüketimi hem de ekonomiye katkısı açısından dikkate alınması gereken bir konudur. Bunlara ek olarak dane ağırlığı içeriğindeki protein oranı ile ilişkilidir. Bu nedenle tohumların çimlenmesi aşamasında embriyonun büyüme ve gelişimi için de önemli bir faktördür. Çalışmada analizlerde kullanılan tohumların kontrol grubu ve farklı molaritelerde kadmiyum uygulandığı deney gruplarında çimlenme oranları karşılaştırıldığında sonuçların 1000 dane ağırlıklarına göre farklılık gösterdiği dikkat çekicidir. Ekmeklik buğdaylarda kontrol ve deney grupları dâhil tümünde en yüksek çimlenme oranları Golia çeşidinde görülürken makarnalık buğdaylarda Kızıltan 91 çeşidinde görüldü. Atalık buğdaylarda 2 mM hariç tüm en yüksek çimlenme oranları Dinkel'de tespit edilirken, 2 mM'da en yüksek çimlenme Siyez'de tespit edildi. Arpalardan Aida çeşidinde ise çimlenme oranları daha dikkat çekiciydi. Kontrol ve deney gruplarının tümünde çimlenme oranları %94,67-%97,33 arasında değişmekteydi. Munzuroğlu ve Zengin (2006) yaptıkları çalışmada *Hordeum vulgare* tohumlarının Cd'ye karşı çimlenme oranlarının molarite ve uygulama süresine bağlı azalma olduğunu, yalnızca 9,5 mM CdCl₂ civarında çimlenmenin tamamen durduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada da arpa çeşitlerindeki yüksek çimlenme oranlarının gözlenmesi Zengin'in (2006) çalışması ile uyum görünmektedir.

Çalışmada analiz edilen morfolojik özellikler; ortalama kök sayısı (OKS), ortalama kök uzunluğu (OKU), ortalama sürgün uzunluğu (OSU), kök yaş ağırlık (KYA), kök kuru ağırlık (KKA), sürgün yaş ağırlık (SYA) ve sürgün kuru ağırlık (SKA)'tır. Ölçümü yapılan bu değerler için ekmeklik buğdaylarda kontrol gruplarına göre en yüksek değerler OKU, KYA ve KKA için Bayraktar çeşidinde; OKS, OSU, SYA ve SKA için Golia çeşidinde görüldü. Deney grupları karşılaştırıldığında en yüksek değerler OKS, OKU, KYA ve KKA Bayraktar çeşidinde; SYA ve SKA için 1 ile 2 mM'la OSU Çıfıklı çeşidinde gözlemlendi. Morfolojik özellik gelişimlerine göre ekmeklik buğday çeşitleri karşılaştırıldığında Bayraktar çeşidinin OKS, OKU, KYA ve KKA için tüm kadmiyum molaritelerinde, OSU ve SKA için ise 3 mM'da en az etkilenen çeşit olduğu anlaşılmaktadır. Çıfıklı çeşidi ise SYA ve SKA için tüm kadmiyum molaritelerinde ve OSU için 1 mM ile 2 mM için en yüksek oranlar gösteren çeşit oldu. Golia çeşidi ise kontrol grubu dışında tüm kadmiyum molaritelerinde en düşük oranları gösteren ve kadmiyuma karşı en duyarlı çeşit olduğu görülmektedir. Golia çeşidinde kadmiyum uygulamalarında da çimlenme oranı yüksek iken morfolojik özelliklere göre büyümede geri kalmasının nedeni çimlenme esnasında hidroliz enzimlerinin aktivasyonunun

hızlı olması veya Golia'nın genotipinin bu duruma adaptasyonu hızlı bir şekilde sağlaması ile ilişkili olabilir. Bu çeşidin yüksek genomik kararlılık yüzdesine sahip olması durumun genetik kaynaklı olabilme ihtimalini gösteriyor olabilir. Bayraktar çeşidinin kontrol ve çoğu molaritede yüksek gelişim göstermesi kadmiyumu tolere etme mekanizmaları bakımından varyasyona sahip olması ile ilişkilendirilebilir. Bu mekanizmalar kadmiyumla temas edildiğinde bitki tarafından üretilen fitoşelatinler, antioksidan mekanizmaları, alınan kadmiyumun kök hücrelerinde vakuolde biriktirilmesi Cd iyonlarının sitozolde serbest dolaşımını engeller ve onları sınırlı bir alana zorlar (Sanita di Toppi ve Gabrielli, 1999) veya iletim demetlerine simplastik yolu kullanarak geçmesinden dolayı olabilir. Ayrıca ekmeklik buğdaylar heksaploit türlerdir yani diğer türlere göre daha büyük genoma sahiptirler bu nedenle de *A*, *B* ve *D* genomlarının her biri kadmiyuma karşı tolerans geliştirme konusunda moleküler düzeyde katkı sağlıyor ve bu da onu çevre koşullarına karşı daha hızlı adaptasyon sağlayarak avantajlı hale getiriyor olabilir. Bayraktar ve Çıfçıklı çeşidinin morfolojik özellikleri karşılaştırıldığında Bayraktar'ın kök ile ilgili özelliklerde, Çıfçıklı'nın ise sürgün ile ilgili özelliklerde daha yüksek oranda gelişim gösterdikleri belirlendi. Çeşitlerde gözlenen bu farklılığın nedeni Bayraktar çeşidinde köklerden sürgün kısmına gelmesi ve sürgünlerde gelişiminin daha az olması ile sonuçlanırken Çıfçıklı çeşidinde tam tersi olarak kadmiyum köklerde tutularak sürgünlere daha az oranda iletilmesi köklerde gelişimin azalması ve sürgünlerde gelişimin devam etmesi ile sonuçlanmış olabilir. Ancak, bunun ileri sürülebilmesi için ileri düzeyde moleküler ve fizyolojik mekanizmalarla ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Morfolojik özellikler bakımından makarnalık buğday çeşitleri karşılaştırıldığında Ovidio çeşidi kontrol gruplarında OKU hariç diğer tüm parametrelerde en yüksek gelişme gösterdi. Deney grupları karşılaştırıldığında ise Ovidio çeşidi tüm kadmiyum molaritelerinde KYA, KKA, SYA ve SKA ayrıca 3 mM'da OSU parametreleri için en yüksek performansı sergiledi. Çeşit 1252 1 mM'da OKS, OKU, OSU parametrelerinde, 2 mM'da OKS ve OSU parametrelerinde en yüksek gelişimi gösterdi. Kızıltan 91 ise 3 mM'da OKS ve OKU için ve 3 mM'da OKU için en yüksek gelişimi gösterebildi. Genel olarak değerlendirildiğinde Ovidio kök ve sürgünlerde, yaş ve kuru ağırlıklarda en yüksek verimi gösterirken Çeşit 1252 ve Kızıltan 91 daha düşük verimlilikte kaldılar. Buna karşın Çeşit 1252 ve Kızıltan 91'de OKS, OKU ve OSU parametrelerinde Ovidio'ya göre daha yüksek değerler gösterdiler. Bunun nedeni Çeşit 1252 ve Kızıltan 91 KS, OKU ve OSU için gelişim gösterirken aslında kütle artışından ziyade kök ve sürgünlerde uzamaya eğilim göstermiş olabilirler. Başka bir ifade ile bitkiler uzamaya yatırım yaparken kütle daha az yatırım yapmış olabilir. Ayrıca kadmiyumun protein sentezini de engellediği önceki çalışmalarda da sözü edilmektedir (Foy ve ark., 1978). Diğer tahıl bitkilerinde metalin fitotoksitesisi, protein seviyelerinde bir kayıp şeklinde gözlemlenmiştir (Dubey ve Dwivedi, 1987; Tamas ve ark., 1997). Ayrıca Cd stresi altında yetiştirilen bitkilerde geliştirilen danelerin protein içeriği de daha düşük olmuştur (Salgare ve Acharake, 1992). Hücrede ağırlık bakımından proteinler diğer moleküllere göre daha yüksek ağırlığa sahiptir. Bu nedenle bitkilerde uzunluk artmasına karşın ağırlığın azalması protein eksikliği ile de ilişkilendirilebilir.

Morfolojik özelliklere göre atalık buğday türlerinin gelişimi karşılaştırıldığında sonuçlar ilgi çekiciydi. Kontrol gruplarına karşılaştırıldığında Dinkel, OKU, KYA, KKA, SYA ve SKA için; Gernik OKS ve Siyez OSU için en yüksek düzeyde gelişme kaydettiler. Deney gruplarında gelişme incelendiğinde Dinkel, KKA ve KYA parametrelerinin tüm kadmiyum molaritelerinde ve OKU için 1 mM ve 2 mM'da en yüksek gelişme performansı sergiledi. Gernik ise OSU için tüm kadmiyum molaritelerinde, OKS için 1 mM ve 2 mM'da, OKU için 1mM'da en yüksek gelişmeyi gösterdiler. Siyez SYA için tüm kadmiyum molaritelerinde, OKS için 3 mM ve SKA için 1 mM ile 3 mM'da en yüksek değerleri gösterdiler. Morfolojik özelliklere göre türlerin gelişimleri gözlemlendiğinde Dinkel, kadmiyumu köklerde belli bir orana kadar tolere edebilen mekanizmalara sahip olduğu ancak köklerden iletim demetleri ile sürgünlere iletiyor olabileceğinden köklerdeki gelişimin sürgünlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Gernik, OKS ve OSU için iyi bir performans sergilerken diğer parametrelerde geride kaldığı gözlemlendi. Siyez ise sürgün yaş ve kuru ağırlıklarındaki yüksek değerleri ile dikkat çekiyor. Gernik ve Siyez'de sürgünlerdeki gelişimin köke göre daha iyi olması kadmiyumun daha çok kökte tutulduğunu veya kadmiyum sürgünlerden uzaklaştırıldığı için sürgünlere daha az iletiildiğinden bu türlerin sürgün ile ilgili parametreleri öne çıkıyor olabilir. Atalık buğdaylarda genom ve ploidi düzey farklılıkları da morfolojik özelliklerdeki farklılıkları açıklıyor olabilir. Ayrıca diploit atalık buğdaylarda sürgün yaş ve kuru ağırlıklarının yüksek olması bu türlerin genetik çeşitliliğinin yüksek olmasından dolayı protein sentezinin kadmiyum konsantrasyonundan daha az etkilenmesine neden olan savunma mekanizmalarının göstergesi olarak dikkate alınabilir. Siyez buğdayının basit genoma ($A^m A^m$) sahip olmasından dolayı ağır metal stresinin protein sentezi mekanizmalarının üzerindeki etkilerinin araştırılmasında kullanılmasının diğer karmaşık genomlu buğdaylara ışık tutması için temel bilgiler sağlayabilir. Atalık buğday türlerinde genetik çeşitlilik düzeyi, daha önceki yapılan çalışmalarda da rapor edildiği gibi, kültür formları ve ıslah çeşitlerine göre oldukça yüksektir. Bu da atalık buğday türlerinde görülen bazı parametrelerdeki yüksek performansın nedeni olabilir.

Morfolojik özelliklere göre arpa çeşitlerinin gösterdikleri gelişme performansları karşılaştırıldığında buğdaylara göre farklı idi. Kontrol gruplarına göre karşılaştırıldığında OKU, OSU, KYA ve KKA için İnce 04 çeşidinde OKS, SYA ve SKA için Aida çeşidinde en yüksek gelişme oranları gözlemlendi. Deney gruplarına göre ise İnce 04 tüm kadmiyum molaritelerinde OSU ve SYA için 1 mM'da, KYA için 3 mM'da OKS ve SKA için en yüksek gelişme oranlarını gösterdi. Sürgünle ilgili parametrelerde yüksek performans olması İnce 04 çeşidinde kadmiyumun köklerde sürgünlere göre daha fazla tutulması veya sürgünlerde de strese karşı direnç mekanizmalarının devreye girdiğinin bir göstergesi olabilir. Aida çeşidinin ise hem kök hem de sürgünlerle ilgili yüksek gelişme göstermesi kadmiyumun kök ve sürgünlerden uzaklaştırılmasında kullanılan direnç mekanizmalarının iş birliği içinde çalışarak bitkinin gelişimini sürdürmesine olanak sağlıyor ihtimali göz ardı edilmemelidir. İnce ve Aida farklı parametrelerde kadmiyuma karşı direnç gösteren çeşitler olmasına rağmen Emon genel olarak kadmiyum stresine karşı en duyarlı çeşit olarak ortaya çıkmaktadır. Literatüre göre de arpa çeşitlerinin ağır metal stresine özellikle de kadmiyuma karşı yüksek toleranslı olduğu bildirilmektedir (Munzuroğlu ve Zengin, 2006).

Her ne kadar Cd genel olarak oldukça toksik bir element olarak kabul edilse ve bitki gelişimi ile büyümesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olsa da (Maksymec ve ark., 2007) düşük Cd konsantrasyonunun bitki büyümesi üzerinde olumlu etkisi olduğu topraksız deneylerde pirinç, soya fasulyesi ve arpa gibi bitkilerde de rapor edilmiştir (Amijani, 2012). Buna hormetik etki denilmektedir. Hormesis, düşük dozda toksik maddelerin uyarıcı etkisi olarak tanımlanan bir olgudur (Kendig ve ark., 2010). Hormetik etki, düşük dozda toksik bir maddenin bulunduğu ters U şeklinde iki fazlı bir eğri ile tanımlanır. Maddenin uyarıcı etkisi vardır ancak doz artırıldığında toksik etki ortaya çıkmaya başlar ve sonuçları gözle görünür hale gelir (Malkovski ve ark., 2020). Kadmiyumun düşük molaritelerde tohumlarda çimlenmeyi, kök ve sürgünlerde büyümeyi teşvik ederken yüksek molaritelerde özellikle köklerde büyümeyi engellediği sonucuna varılması hormesis etkisinden kaynaklandığı düşünüldü.

Bu çalışmada önceki çalışmalarda olduğu gibi (Ramos ve ark., 2002;Kendig ve ark., 2010) 1 mM konsantrasyonda kök ve sürgün büyümelerinin teşvik edildiği gözlenmiş olsa da ISSR moleküler belirteçleri ile yapılan GTS (%) hesaplamaları neticesinde Cd'un DNA üzerinde hasara neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle düşük konsantrasyonlarda bile olsa besin zincirine katılmasının engellenmesi gerekmektedir. Bitkilerde depolanan Cd besin zincirinin son halkası olan canlılarda birikir ve onlar için zararlı hale gelir. Cheng ve arkadaşları (2006) zehirli elementlerin topraktan insanlara geçişinin ana yolunun bitkiler olduğunu da rapor etmişlerdir.

Bitkilerdeki metallerin toksik semptomları, biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerdeki veya organlarda değişikliklerle, büyümenin engellenmesi, verimde azalma, klorozis, anatomik, morfolojik ve farklı hücre bölümlerinde çeşitli metabolik aktivitelerdeki özellikle kloroplastlarda değişiklikler gibi bozulmamış bitki tepkileriyle tanımlanabilir (Maksymec ve ark., 2007; Amirjani, 2012). Kadmiyumun çimlenme fizyolojisi üzerine etkileri araştırıldığından önceki çalışmalarda da görüldüğü gibi kadmiyum molaritesi arttıkça kök ve sürgünlerin büyümesinin engellendiğinin gözlenmesi bu çalışmada elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla da uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kadmiyumun kök ve sürgünlerde depolanan miktarları kuru ağırlık üzerinden hesaplandığında tüm çeşitlerde kadmiyumun kökte yüzde oranı olarak çok daha fazla biriktirildiği tespit edildi ve bu sonuçların Cataldo ve ark. (1983) ile uyumlu olduğu görüldü. Kontrol gruplarının bazılarında çok düşük oranlarda kadmiyum tespit edildi. Bu durum, deneyler esnasında yanlışlıkla bir kontaminasyon sonucu ortaya çıkmış olmasından ya da gözlenen oranlar Sanita di Toppi ve Gobbrielli (1990) çalışmalarında da belirttiği gibi kirlenmemiş toprak çözeltisindeki Cd konsantrasyonu 0,04 mM ila 0,32 mM arasında değişeceği ve 0,32 ila yaklaşık 1 mM aralığındaki konsantrasyonun kirli olarak sınıflandırılabilmesini belirterek bu bulaşın topraktan kaynaklı tohumlara geçtiği düşünülebilir. Cd, apoplastik ve/veya simplastik yoldan ksilemin kök sistemine kolayca nüfuz edebilir (Salt Rauser, 1995) ve bitkilerin toprak üstü kısımlarının dokularına ulaşabilir (Yang ve diğerleri, 1998). Bitkilerdeki metal iyonlarının hareketliliğindeki farklılığa rağmen metal içeriği genellikle kökteki toprak üstü dokulara göre daha fazladır (Ramos ve ark., 2002). Çoğu Cd iyonu köklerde tutulur ve sadece küçük miktarları sürgünlere taşınır (Cataldo ve

ark., 1983). Genel olarak bitkilerde Cd konsantrasyonu şu sırayla azalır: Kök > yapraklar > meyveler > tohumlar (Blum, 1997; Sharma ve ark., 2006). Cd'un pirinçte plumula ve radikula büyümesini engellediği (Jun-yu ve ark., 2008) ve *Triticum aestivum*, *Zea mays*, *Sorghum bicolor* ve *Cucumis sativus*'un kök büyümesinin sürgün büyümesinden daha fazla Cd'a duyarlı olduğu bildirilmektedir (An, 2004). Buna karşın çeşitli ağır metalleri toprak üstü organlarında biriktiren fakat bundan etkilenmeyen bitkiler de mevcuttur. Bu tür bitkilere "hiperakümülatör bitkiler" denilmektedir ve fitoremediasyonda ve fitomadencilikte sıklıkla kullanılmaktadır (Doğru ve ark., 2021). Çalışmada kullanılan çeşitlere bakıldığında bunların köklerinde birikimin olduğu ve bu özelliği göstermediği belirlendi. Cd'un CdCl⁺, CdCl₂ ve CdSO₄ gibi inorganik Cd kompleksleri (McLaughlin ve ark., 1996) veya fitometalofor kompleksleri gibi organik kompleksler olarak emilimleri gerçekleşebilir. Cd, yalnızca sülfidril ligand gruplarıyla bağ kurmayı tercih etmez, aynı zamanda N ve O ligand gruplarına da bağlanır. Bu nedenle ksilem öz suyundaki sistein ve diğer sülfhidril içeren bileşikler (fitoşelatinler, glutatyon vb.), çeşitli organik asitler (sitrat) ve diğer amino asitler Cd'un köklerden sürgünlere taşınmasında önemli olabilir.

Farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumdan sonra çimlenen tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin uzunlukları, yaş ve kuru ağırlıklarına göre stres tolerans indeksleri hesaplandı (Iqbal ve Rahmati 1992; Amin ve ark., 2014). Genel olarak değerlendirildiğinde sürgünlerde uzamanın köklere göre daha yüksek düzeyde olduğu ve dolayısıyla da STİ verilerinin de yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar çimlenme oranları ve organların (kök ve sürgün) dokularının içinde depolanmış Cd miktarları ile de uyumluluk göstermektedir. Kök ve sürgünlerde yaş ağırlıklara göre stres tolerans indeks değerleri karşılaştırıldığında ekmeklik buğdaylardan Bayraktar ve Çıfçıklı, makarnalık buğdaylarda kökte Ovidio sürgünde Çeşit 1252, arpalardan kökte Aida sürgünde Emon ve atasal türlerde Siyez ve Gernik'te daha yüksek STİ gözlemlendi. Diğer çeşitlerde ise sürgünlerde yüksek STİ verileri hesaplandı. Dinkel'de daha düşük stres tolerans değerlerini göstermesi hezexploit buğdayların ataları olan diploit ve tetraploit buğdayların sahip oldukları bazı genlerin burada muhtemelen metallere karşı stres toleransı ile ilgili olanların ekmeklik buğdayların evrimsel sürecinde kaybedilmesi veya değişime uğramasından dolayı daha duyarlı hale gelmiş olabilirler. Diğer bir açıklamada Dinkel'de kadmiyumla ilgili savunma mekanizmalarının kadmiyumu engelleme bakımından yetersiz kalmış olabileceği ve kadmiyumun protein sentezi ile ilgili metabolizmaları etkilediği düşünülebilir bu nedenle ihtimalen ağırlıkta azalma olmasına karşın uzun ama cılız sürgünler vermiştir. Muhtemelen Dinkel günümüzde aktif üretilen bir buğday olmadığından evrimsel sürecinde genetik çeşitlilik düzeyinde azalmalar olmuş olabilir. Gernik ve Siyez'in 10.000 yıldır yerel çiftçiler tarafından üretilmeye devam edildiklerinden her ne kadar günümüzde üretimleri azalmış olsa da bu türler hâlâ yüksek genetik çeşitliliğe sahiptirler ve bu çalışmada gözlenen stres toleranslarının temeli de sahip oldukları genetik çeşitliliğe dayanmaktadır, şeklinde açıklanabilir.

Cd konsantrasyonundaki artış maş fasulyesindeki taze kütleyi azaltmıştır (Shen ve ark., 1990). Ayrıca düşük konsantrasyonda Cd ile muamele edildiğinde *Vigna ambacensis*'in kök ve sürgün kütlesinde belirgin bir azalma gözlenmiştir (Al-Yemens, 2001). Sonuçlarda elde ettiğimiz yaş ve kuru ağırlıktaki azalma literatürdeki çalışmalarla uyumlu görünmektedir.

Dış yüzeyinde bulunan ağır metal tespiti için yapılan EDTA'lı yıkama çözeltilerinin AAS analizi sonuçlarına göre birim kütledeki en düşük kadmiyum oranları ekmeklik buğdaylarda kökte Bayraktar çeşidinde, sürgünde Çıfçıklı çeşidinde görüldü. Makarnalık buğdaylarda kökte ve sürgünde Ovidio çeşidinde, atalık buğdaylarda ve arpalarda kökte ve sürgünde farklı molaritelere göre farklı tür ve çeşitlerde görüldü. Asitli hidroliz çözeltilerinin AAS analizi sonuçlarına göre birim kütledeki en düşük kadmiyum oranları ekmeklik buğdaylarda kökte ve sürgünde Bayraktar çeşidinde, makarnalık buğdaylarda farklı molaritelere göre farklı çeşitlerde, atalık buğday türlerinde köklerde ve sürgünlerde 2 mM hariç Siyez türünde, arpalarda Aida ve İnce 04 çeşitlerinde tespit edildi.

Yüksek derecede toksik metallerle baş etmek veya temel metallerin seviyesini fizyolojik aralıkta tutmak için bitkiler, metal toleransına yönelik çeşitli karmaşık mekanizmalar geliştirmiştir. Bunlar arasında Berry'e (1986) göre ağır metallerin alımını ve birikimini kontrol etmeye yarayan ana stratejiler kadmiyumu biriktirme ve detoksifikasyondur. STİ verilerine göre bu çalışmadaki sonuçlar da Cd'un daha çok köklerde biriktirildiği ve sürgünlere translokasyonun daha düşük düzeyde gerçekleştiği yönündedir.

Buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde çimlenme oranlarındaki ANOVA sonuçlarına göre çimlenme oranlarındaki varyansta, dozların ve çeşitlerin etkilerinin istatistiksel olarak aynı oranlarda önemli olduğu ve kısmi eta karesi (KEK) değerlerinin oldukça büyük olduğu görüldü. Çeşitler*dozlar'ın ortak etkisinde $p = 0,05$ olarak sınırdan olmasına rağmen pratikte KEK değerinin oldukça büyük olduğu gözlemlendi. Tukey HSD'ye göre çimlenme oranlarında varyansın dozlara göre nereden kaynaklandığı incelendiğinde ise kontrol, 1 mM, ve 2 mM'da 3 mM'a göre daha iyi çimlenme gösterdiği açıklanmaktadır. Bireysel varyans analizine göre ortalama çimlenme değerlerine göre oluşan gruplar da Tukey HSD sonuçlarını destekliyor gibi görünmektedir. Çeşitlerin kontrol ve üç farklı molaritede uygulanan kadmiyuma göre çimlenme oranlarında gösterdikleri marjinal ortalamalarda Emon çeşidinin ve Gernik'in anlamlı şekilde farklı olduğu grafikte de görülmektedir (Şekil 3.2). Çeşitler ve dozların ayrı ayrı ve birlikte ortak etkilerinin çimlenme oranlarını önemli ölçüde etkilediği de anlaşılmaktadır.

Kök sayısındaki ANOVA sonuçlarına göre dozlar ve çeşitler ile bunların ortak etkilerinin gözlenen varyans üzerinde etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Dozların ve çeşitlerin bireysel KEK değerleri incelendiğinde etki değerlerinin oldukça büyük olduğu gözlenirken birlikte ortak etki değerlerinin ise orta büyüklükte olduğu gözlemlendi. Kök sayısında tekerrürün istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenirken tekerrür*çeşitler ve tekkerrür*dozlar'ın istatistiksel olarak önemli ancak etki değerlerinin küçük olduğu belirlendi. Tukey HSD testleri de çeşitlerin ortalamalarına göre aralarında farklılıklar olduğunu göstermektedir. Çeşitlerin kök sayısı bireysel varyans analizlerinde ortalama kök sayısı değerlerine göre altı gruba ayrıldıkları görülmektedir. Burada Gernik, Çıfçıklı ve Emon çeşitlerinin diğer çeşitlerden ayrıldığı gözlenmektedir. Burada analiz edilen buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde gözlenen varyansa göre köklerin sayısında kadmiyum ağır metalinin

molaritelerinin etkisinin çok büyük olması ve kök sayılarının çoğalmasının da önemli ölçüde etkilendiğinin göstergesi olabilir.

Kök uzunluğundaki ANOVA sonuçlarına göre dozların ve çeşitlerin varyansa etkileri istatistiksel olarak önemli bulunurken tekerrürün etkisi önemli olarak bulunmadı. Buna karşın çeşitler, dozlar*tekerrürün ortak etkileri istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilirken KEK değerlerine göre dozlar ve dozlar*çeşitlerin ortak etkilerinin çok büyük olduğu gözlemlendi. Çeşitlerin ve diğer ortak etki gösteren parametrelerin sırasıyla orta ve düşük olduğu gözlemlendi. Burada analiz edilen buğday ve arpa çeşitleri ile atalık buğday türlerinde gözlenen varyansa göre köklerin büyümesinde kadmiyum ağır metalinin molaritelerinin etkisinin çok büyük olduğu tespit edildi. Köklerin gelişimindeki varyansta ise çeşitlerine göre etkisinin orta düzey olduğu ama bunun da istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi. Ancak dozlar*çeşitlerin ortak etkisi birlikte olduğunda etki derecesi çeşitlerin sadece tek başına gösterdiği etkiden daha büyük olduğu saptandı. Bu sonuçlar köklerin dozlardan çeşitlere göre daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların önceki yapılan çalışmalarla da (Ramos ve ark., 2002; Cataldo ve ark., 1983; Jun-yu ve ark., 2008; An, 2004) uyumlu olduğu görülmektedir.

Sürgün uzunluğunda ANOVA sonuçlarına göre çeşitler, dozlar ve dozlar*çeşitler'in varyans üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemli ve etki değerlerinin de çok büyük olduğu belirlendi. Tekerrürün tek başına etkisinin önemli olmadığı ancak çeşitler ve dozlarla ortak etkileri istatistiksel olarak önemli olsa bile pratikte etki değerlerinin küçük olduğu tespit edildi. Sürgün uzunluğunda varyansın çeşitlere göre farklılık gösterdiğini Tukey HSD tablosu da göstermektedir. Çeşitlerin sürgün uzunluğu bireysel varyans analizlerine göre ortalama sürgün uzunluk değerlerine göre beş farklı gruba ayrılmaktadır. Makarnalık çeşitler, arpa çeşidi olan Emon ve ekmeçlik buğday çeşidi Bayraktar A grubunda yer alırken diğer ekmeçlik buğday çeşitleri Çıfçıklı ve Golia ise Gernik ve Dinkel ile B grubunun ortak elemanları şeklinde görünmektedirler. Siyez ise en yüksek ortalama ile tek başına ayrı bir grup oluşturmaktadır. Sürgün uzunluğunda dozların, dozlar*çeşitlerin ortak etkisinin çeşitlerin tek başına etki derecesine göre büyük olması kadmiyumun molaritesi arttıkça sürgünlerin büyüme ve gelişmesinin önemli ölçüde etkilenmekte olduğunun göstergesidir.

Stres tolerans indeksinde ANOVA sonuçlarına göre dozlar ve çeşitlerin varyans üzerinde etkilerinin istatistiksel olarak önemli ve etki değerlerinin de büyük olduğu görülmektedir. Ancak, çeşitler ve dozların ortak etkilerinin önemli olmadığı belirlendi. Stres toleransı da kadmiyum molaritesinin arttıkça STİ'nin olumsuz yönde etkilendiği Tukey HSD sonuçlarına göre de açıkça görülmektedir. Dozların STİ bireysel varyans analizlerinde ortalama STİ değerlerinde dozların her biri ayrı gruba ayrılmakta ve molarite arttıkça toleransın da etkisi ortalama verilere göre anlaşılmaktadır.

Bu çalışmanın varyans analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde dozların çimlenme oranı, kök sayısı, sürgün uzunluğu ve kök uzunluğunda gözlenen varyansta etkilerinin çok büyük olduğu gözlemlendi. Buna karşın çeşitlerin çimlenme oranları üzerinde dozlar kadar etkisinin olduğu

görülmektedir. Ek olarak çeşitlerin de morfolojik özellikler üzerinde etkileri büyük olmasına karşın oranlarının dozların etkisinden daha düşük olduğu da açıkça görülmektedir.

Morfometrik verilerin tek yönlü ANOVA sonuçlarına göre kök sayısında gözlenen varyansın hem gruplar arasında (BG) hem de grup içinde (WG) önemli ($F = 4,12$, $p = 0,00 < 0,05$) olduğu belirlendi. Farklı kadmiyum molaritelerindeki varyansın EKYA1 ($p = 0,20 < 0,05$), YKKA ($p = 0,11 < 0,05$), YKKA1 ($p = 0,38 < 0,05$) ve YSKA ($p = 0,47 < 0,05$) parametreleri için önemli olduğu görüldü. EDTA'lı yıkama ve hidroliz çözeltilerinin AAS analizi verileri ile farklı molaritelere göre kök ve sürgünlerin morfometrik verileri ve bu verilere göre hesaplanan STİ verileri arasında yapılan *Spearman* korelasyon analizlerinin sonuçlarına göre genel olarak tüm parametreler arasında önemli pozitif veya negatif korelasyonlar olduğu tespit edildi. Sonuç olarak farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumun çimlenen tohumlardan gelişen kök ve sürgünlerin uzunluğu ve kök sayıları üzerinde etkilerinin önemli olduğu tespit edildi. Kadmiyum molaritelerine göre 1 mM uygulandığında büyümeyi teşvik ettiği ancak 3 mM uygulandığında çimlenen tohum sayısında, kök ve sürgünlerin gelişmesinde ciddi oranlarda azalmasına neden olduğu görülmektedir. Arpa çeşitleri arasında Aida tüm molaritelerde yüksek düzeyde çimlenme gösteren çeşit oldu. Aida ağır metal stresine karşı artan bir çimlenme oranı göstermesi, stres tolerans indekslerinin yüksek olması ve buna karşın ağır metal oranının düşük olması sebebiyle öne çıkan bir çeşit olmuştur. Ağır metallerin bitkilerde metale duyarlı gruplar aracılığıyla enzimleri inaktive ederek hücre ölümüne neden olduğu ve onları katalitik olarak inaktif hale getirdiği gösterilmiştir (Van Assche ve Clifsters, 1990). Bu nedenle adaptif bir strateji olarak bitkiler ürettikleri fitoşelatinlerle hücre içine giren metallerle kompleks oluşturarak sitoplazmik toksisiteyi azaltabilir ve tolerans geliştirebilir. Ayrıca fitoşelatin-metal komplekslerinin hücre metabolizma açısından serbest metal iyonlarına göre daha az toksik olması beklenir. Arpalarda gözlenen yüksek tolerans, büyüme ve gelişmenin daha az etkilenmesi Cd ile uyarıldığında hücrelerde üretilen fitoşelatinler veya benzeri moleküllerle de ilişkili olabilir. Bunu iddia edebilmek için arpalarda moleküler mekanizmaların daha ileri düzeyde ve daha fazla örnekle araştırılması gereklidir.

Genel sonuçlara göre, her bir tür veya çeşit içindeki genetik çeşitlilik düzeyi oldukça düşük olmakla birlikte toplam genetik çeşitlilik düzeyinin dikkate alındığında oldukça yüksek düzeyde olduğu gözlemlendi. Bu durum Etminan ve ark. (2016) ile uyumlu bulundu. Buğday ve arpa kendi kendine tozlaşan türler olduğu için genetik çeşitlilik düzeylerinin oldukça düşük olması beklenen bir durumdur. Bununla birlikte, genetik çeşitliliğin düşük olması istenmeyen bir durum olmasına karşın ıslah programlarında üretilen sertifikalı çeşitlerin belirli özellikler doğrultusunda üretiltikleri dikkate alındığında çeşitliliğin gözlenmemesi gen havuzlarındaki kararlı bir durumun da göstergesi olabileceği kanaatine varıldı. Moleküler analizlerde farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumun DNA üzerinde değişimlere neden olduğu görüldü. Bunun ise bant profillerinde kontrol gruplarına göre eksik veya fazla bantlar olduğu ISSR belirteçleri ile tespit edilerek belirlendi. Ek olarak 1 mM'da dahi DNA üzerinde değişimlerin gözlenmesi bu kadar düşük konsantrasyonlarda bile Cd'un ne kadar tehlikeli olduğunun bir göstergesidir. Çimlenme, kök ve sürgünlerde gelişmenin 1 mM'da etkilenmeden devam etmesi uzun vadede tehlikeli

olabilir. Bu çalışmada ISSR moleküler belirteçleri kullanıldı ve muhtemelen bu belirteçlerin çoğalttığı DNA bölgeleri kodlamayan DNA bölgeleridir. Ancak düşük ya da yüksek molaritede olsa bile Cd'a sürekli maruz kalmak kodlayan gen bölgelerinde de mutasyonlara neden olabilir. Kodlayan dizilerdeki değişimlerin sonucu gen ifadelerinde üretilen mutant ürünlerin insan ve diğer canlılar üzerinde neden olabileceği zararlı etkiler de göz ardı edilmemelidir. Özellikle Cd ile kirlenmiş topraklarda tarımın yapılması, tohumların çimlenme evrelerinde sürekli Cd'a maruz kalmaları embriyoların DNA ve protein yapılarında büyük moleküler değişimlere ve mutasyonlara neden olabilir. Gelişen bitkilerin tohum, meyve ve yapraklarında miktarları artabilir ve bu depolanan Cd besin zinciri ile insan ve diğer hayvanlara taşınabilir ve önemli sağlık sorunlarına neden olabilir.

Genomik kalıp kararlılıklarına bakıldığında uygulanan molariteye bağlı çeşitler farklı cevaplar verdi. 3 mM'lık uygulamada atasal türler ve arpalar yüksek bir genomik kalıp kararlılığı gösterdi. Wierzbicka ve Obidziniska (1998) ağır metallere karşı ana bariyer olan tohum kabuğunun, kökçük tarafından parçalanana kadar embriyoların kirlenmesini önlediğini göstermiştir. Metallerin tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri diğer bitki organları veya dokularıyla karşılaştırıldığında çok çeşitli anatomik formlara bağlı olarak tohum yapısındaki, özellikle tohum kabuğundaki türler arası farklılıklara bağlıdır (Kruikose ve Prasad, 2008). Arpalar ve atasal türlerin diğer türlere göre daha kararlı yapıda kalışı, diğer çıplak tanelilere göre kavuzlu yapıda oluşundan kaynaklanıyor olması literatürle uyumlu gözükmektedir. Kavuz yapısı Cd ile temasın zamanlamasını öteleyerek çimlenmenin ilerlemesini, kök ve sürgünlerin gelişimini hızlandırmış olabilir.

Farklı molaritelerde uygulanan Cd stresinin buğday ve arpa bitkilerinin çimlenme yüzde oranlarında, büyüme ve gelişmelerinde meydana getirdiği morfolojik değişimlerin molarite yükseldikçe olumsuz etkilendiği, hatta durma noktasına geldiği görüldü. Bulgular Kruikose ve Prasad (2008) ile uyumlu gözükmektedir. Buğday ve arpa bitkilerinin farklı molaritelerdeki Cd uygulamalarına farklı düzeylerde tepki verdiği ve çeşitliliğe yol açtığı gözlemlendi. Gözlenen çeşitliliğin ANOVA testi sonuçlarına göre hem bitki türü ve çeşidi bakımından hem de farklı molariteler bakımından önemli olduğu sonucuna varıldı. Kontrol ve deney gruplarının morfometrik verilerine göre hesaplanan STİ verilerine göre genel olarak sürgünlerde köklere göre daha yüksek veriler elde edildiği görüldü. Ağır metalin en çok kök kısmını etkilediği sonucu Cataldo ve ark. (1983) ile örtüşmektedir. STİ verilerine göre genel olarak ekmeklik buğdaylardan Çıfçıklı, makarnalık buğdaylardan Ovidio ve Çeşit 1252, arpalarından Aida, atalık buğday türlerinden Gernik ve Siyez'in Cd'a karşı yüksek toleras gösteren tür ve çeşitler olduğu tespit edildi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkiler yaşamın kaynağı olarak yeryüzünde besin ve enerji kaynağını oluşturmaktadırlar. Bitkiler doğaları gereği toprağa bağlı hareketsiz organizmalardır. Günümüzde gelişmiş sanayi ve endüstri işletmelerinin çevreye sıvı veya gaz şeklinde saldıkları kirlilik etkenleri toprağı, havayı ve suları kirletmektedir. Tarımda kullanılan fosfatlı gübrelerin Cd içermesi ve bununla ilgili bir yasal düzenlemenin olmaması da bu durumu arttıran bir etkidir. Tarım arazilerinin de bu kirlilikten etkilendiğı dikkate alınarak bu çalışma kadmiyum ağır metal stresinin serin iklim tahıllarında tohum çimlenme fizyolojisinde ve çimlenebilen tohumlarda morfolojik özellikler üzerindeki etkilerinin araştırılması için yapıldı.

Üç farklı kadmiyum molaritesine göre çimlenme oranlarında ekmeklik buğdaylarda Golia çeşidi, makarnalık buğdaylarda Kızıltan 91, Arpa çeşitlerinde Aida ve atalık buğdaylarda ise Dinkel yüksek çimlenme oranları göstererek öne çıktılar.

Morfolojik özelliklerine göre öne çıkan çeşitleri incelendiğinde ekmeklik buğdaylarda Bayraktar, diğer gruplarda ise genel olarak makarnalıklarda Çeşit 1252, arpalarda İnce 04 ve Aida, atalıklarda ise Dinkel ve Gernik oldu.

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre ise iki faktör dozlar ve tekerrürün morfolojik özelliklerde farklı molaritelerde uygulanan kadmiyumun etkilerinin önemliliğı incelendiğinde bütün özelliklerde dozların etkisinin çeşitlere göre daha büyük olduğu belirlendi. Deneysel uygulamalarda tekerrürün istatistiksel olarak önemli olmadığını gösterdi.

Analizler neticesinde genetik çeşitliliğın belirlenmesi ve filogenetik ilişkilerin karakterize edilmesinde ISSR markörlerinden yararlanılabileceğı sonucu Etminan ve ark. (2016) ile Demirel (2020) çalışmaları ile uyumlu bulundu.

Bu çalışmada 1 mM'daki kadmiyumun büyüme ve çimlenmeyi teşvik ettiğı ancak moleküler analizlerde bitkilerin DNA'larında değışimlere sebep olduğunu gösterdi. Bu durum, düşük oranlarda bile kadmiyumun tehlikeli olabileceğini gösteren önemli ve nicel bir bilgidir. İnsan faaliyetleriyle toprağı ulaşan Cd'un %54-58'inin fosforlu gübrelerden kaynaklanması (Asri ve ark., 2007) sebebiyle ilgili kurumlarca yasal düzenleme olmasının gerektiğı sonucuna varıldı.

Farklı molaritelerde uygulanan Cd stresinin buğday ve arpa bitkilerinin çimlenme yüzde oranlarında, büyüme ve gelişmelerinde meydana getirdiğı morfolojik değışimlerin molarite yükseldikçe olumsuz etkilendiğı, hatta durma noktasına geldiğı tespit edildi.

Sonuç olarak serin iklim tahılları dünyada besin kaynağı olarak ilk sıralarda yer almaktadır. Bu nedenle tarımsal üretimlerde bölgelere, iklime ve toprak yapısına uygun sertifikalı çeşitlerin tercih edilmesi gereklidir. Bu çalışmada kadmiyum stresi altında çimlenme oranları, kök sayısı, kök ve sürgün uzunluğu gibi morfolojik özelliklerde yapılan analizler, moleküler analizler, AAS ve STİ analizlerine göre ekmeklik, makarnalık buğdaylarda ve arpalarda öne çıkan türlerin tarımsal üretimlerinin yapılması önerilmektedir.

Kavuz yapısına sahip olan çeşitler ile olmayanlar arasında belirgin bir fark oluşmamasına karşın bu yapıya sahip olan çeşitlerin ağır metallere karşı bariyer görevi gördüğü bilinmektedir. Bu özellik bakımından atasal türlerdeki genetik çeşitlilik ve yüksek genomik kalıp kararlılık yüzdeleri bu türlerin ıslah çalışmalarında gen kaynağı olarak değerlendirilebilir.



KAYNAKÇA

- Aaronsohn, A. (1910). Agricultural and botanical explorations in Palestine. Bull Plant Ind (U.S. Department of Agriculture, Washington, DC) 180:1-63.
- Abdel-Ghani, A. H., Parzies, H. K., Omary, A., & Geiger, H. H. (2004). Estimating the outcrossing rate of barley landraces and wild barley populations collected from ecologically different regions of Jordan. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 588-595.
- Ahmad, I., Akhtar, M.J., Zahir, Z.A., Jamil, A. (2012). Effect of Cadmium on Seed Germination and Seedling Growth of Four Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars . Pak J Bot, 44(5): 1569-1574.
- Aktaş, H. (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Buğday Genetik Kaynakları Açısından Potansiyeli. <https://docplayer.biz.tr/51741692-Guneydogu-anadolu-bolgesinin-bugday-genetik-kaynaklari-acisindan-potansiyeli.html> (12.06.2020)
- Aktaş, H., Özberk, F., Oral, E., Baloch, F. S., Doğan, S., Kahraman, M., Çiğ, F. (2018). Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinin buğday genetik kaynakları bakımından potansiyeli ve sürdürülebilir olarak korunması. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 7(2), 47-54.
- Altan, A., Yağcı, S., Maskan, M., Göğüş, F. (2006). Arpanın ürün bazında değerlendirilmesi. *Türkiye*, 9, 24-26.
- Amin, H., Arain, B.A., Amin, F., Surhio, M.A. (2014). Analysis of growth response and tolerance index of Glycine max (L.) Merr. under hexavalent chromium stress. *Adv. life sci.*, 1(4) pp: 231-241.
- Amirjani, M. (2012). Effects of cadmium on wheat growth and some physiological factors. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 2(1), 50-58.
- An, Y.J. (2004). Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environ. Pollut.*, 127: 21-26.
- Anonim, (2023). TÜİK TÜİK İstatistik veri portalı (31 Mart 2023) (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>) (Erişim tarihi: 02.03.2024).
- Anonim, (2024). (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>)
- Arc, E., Sechet, J., Corbinau, F., Rajjou, L., Marion-Poll, A. (2013). ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Front. Plant Sci.* 4, 19.
- Arya, S.K. (2014). Mukherjee, A. Sensitivity of Allium cepa and Vicia faba towards cadmium toxicity. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 14, 447-458.
- Arzani, A., & Ashraf, M. (2017). Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health-beneficial food products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 477-488.
- Asri, F. Ö., Sönmez, S., & Çıtak, S. (2007). Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Derim*, 24(1), 32-39.
- Atak, M. (2017). Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 71-88.
- Atienzar, F.A., Conradi, M., Evenden, A.J., Jha AN and Depledge, M.H. (1999). Qualitative assessment of genotoxicity using random amplified polymorphic DNA: comparison of genomic template stability with key fitness parameters in *Daphnia magna* exposed to benzo[a]pyrene. *Environmental Toxicology Chemster*, 18, 2275-2282.

- Baydar, H., 2012. Tarla Bitkileri, [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ocaliskan_/135315/tarla-bitkilerine-giris-h.baydar\(11.05.2020\)](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ocaliskan_/135315/tarla-bitkilerine-giris-h.baydar(11.05.2020))
- Badr, A., Sch, R., Rabey, H. E., Effgen, S., Ibrahim, H. H., Pozzi, C., Salamini, F. (2000). On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular biology and evolution*, 17(4), 499-510.
- Baes Jr, C. F., & Mesmer, R. E. (1976). The Hydrolysis of Cations, 489 Malabar. *Florida: Krieger Publishing Company*.
- Balter, M. (2007). Seeking agriculture's ancient roots. *Science*, 316(5833), 1830-1835.
- Baum, B.R., and Bailey, L.G. (1991). Relationships among native and introduced North American species of *Hordeum*, based on chloroplast DNA restriction site variation. *Canadian Journal of Botany* 69: 2421-2426.
- Bendich, A. J., & McCarthy, B. J. (1970). DNA comparisons among barley, oats, rye, and wheat. *Genetics*, 65(4), 545.
- Berry, W. L. (1986). Plant factors influencing the use of plant analysis as a tool for biogeochemical prospecting. *Mineral exploration: Biological systems and organic matter*, 5, 13-28.
- Bewley, J.D., Black, M. (1978). *Physiology and biochemistry of seeds*, vol I. Development, germination and growth. Springer-Verlag, Berlin, pp 1-306.
- Bishnoi, N.R., Sheroran, I.S., Singh, R. (1993). Effect of cadmium and nickel on mobilization of food reserves and activities of hydrolytic enzymes in germinating pigeon pea seeds. *Biol Plant* 35:583-589.
- Blattner, F.R. (2004). Phylogenetic analysis of *Hordeum* (Poaceae) as inferred by nuclear rDNA ITS sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 33: 289-299.
- Blattner, F.R. (2006). Multiple intercontinental dispersals shaped the distribution area of *Hordeum* (Poaceae). *New Phytologist* 169: 603-614.
- Blattner, F. R. (2009). Progress in phylogenetic analysis and a new infrageneric classification of the barley genus *Hordeum* (Poaceae: Triticeae). *Breeding Science*, 59(5), 471-480.
- Blum, W. H. (1997). Cadmium uptake by higher plants. In *Proceedings of extended abstracts from the Fourth International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements* (pp. 109-110). Berkeley: University of California.
- Bouziani Y., Degaichia H., Benmoussa M. (2019). Effect of cadmium on the germinative parameters of bread wheat. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volume 10 number 2 February 15 - March 31,
- Bonierbale, M.W., Plaisted, R.L., Tanksley SD. (1988). RFLP maps based on a common set of clones reveals models of chromosomal evolution in potato and tomato. *Genetics*, 120, 1095-103.
- Bornet, B. & Branchard, M. (2001). Nonanchored inter-simple sequence repeat (ISSR) markers: Reproducible and specific tools for genome fingerprinting. *Plant Mol Biol Reporter* 19: 209-215.
- Botstein, D., White, R.L., Skolnick, M., Davis, R.W. (1980). Construction of genetic linkage map using restriction fragment length polymorphisms. *Am J Hum Genet*, 32, 314-31.
- Cataldo, D. A., Garland, T. R., & Wildung, R. E. (1983). Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. *Plant physiology*, 73(3), 844-848.

- Cebeci, Ö. (2006). Molecular characterization and expression profiling of Cd-responsive genes in *Triticum durum*. Doktora Tezi, Sabancı Üniversitesi.
- Cenkci, S., Doğan, N. (2015). Random amplified polymorphic DNA as a method to screen metal-tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. Turkish Journal of Botany, 39(5), 747-756.
- Charme, G. (2011). Wheat domestication: Lessons for the future La domestication des blés : leçons pour l'avenir. C R Biologies 334:212–220.
- Cheng, W.D., Zhang, G.P., Yao, H.G., Zhang, H.M. (2008). Genotypic difference of germination and early seedling growth in response to Cd stress and its relation to Cd accumulation. J. Plant Nutr.31, 702–715.
- Cho, U. H., & Seo, N. H. (2005). Oxidative stress in Arabidopsis thaliana exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation Plant Sci, 168(1), 113-120
- Clemens, S., Kim, E.J., Neumann, D., Schroede, J.I. (1999). Tolerance to toxic metals by a gene family or phytochelatase synthases from plants and yeast. EMBO Journal, 18: 3325-3333.
- Clemens, S., Palmgren, M. G., & Krämer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in plant science, 7(7), 309-315
- DalCorso, G., Farinati, S., Maistri, S., Furini, A. (2008) How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression. J. Integr. Plant Biol. 2008, 50, 1268–1280.
- Demirel, F. (2020). Bazı siyez buğdaylarının ISSR Markörleri ile karakterizasyonu. *Journal of Agriculture*, 3(2), 33-39.
- Doebley, J., von Bothmer, R., Larson, S. (1992). Chloroplast DNA variation and the phylogeny of *Hordeum* (Poaceae). American Journal of Botany 79: 576-584.
- Doğru, A., Altundağ, H., & Dündar, Ş. (2021). Bitkilerde Ağır Metal Hiperakümüasyonu ve Fitoremediasyon. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(2), 32-55.
- Dubey, R.S. and Dwivedi, R.S. (1987). Effect of heavy metal on seed germination and seedling growth of soybean. Nat. Acad. Sci. Letters, 10, 121-124.
- Eğilmez, S. (2023). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE), Ürün Raporu Arpa, YAYIN NO: 386 ISBN: 978-625-94245-2-1 (Arpa Ürün Raporu 2023-386 TEPGE.pdf) (Erişim tarihi: 02.03.2024)
- El-Rabey, H.A., Badr, A., Scafer-Pregl, R., Martin, W., Salamini, F. (2002). Speciation and species separation in *Hordeum* L. (Poaceae) resolved by discontinuous molecular markers. Plant Biology 4: 567-575.
- Enan, M.R. (2006). Application of random amplified polymorphic DNA (RAPD) to detect the genotoxic effect of heavy metals. Biotechnol. Appl. Biochem.43, 147–154.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (1953). *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Sinauer.
- Etminan, A., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Ahmadi-Rad, A., Noori, A., Mahdavian, Z., & Moradi, Z. (2016). Applicability of start codon targeted (SCoT) and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers for genetic diversity analysis in durum wheat genotypes. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(6), 1075-1081.

- Faris, R. (2014). Wheat domestication: key to agricultural revolutions past and future. In: Tuberosa et al (eds) Genomics of plant genetic resources. Springer, Dordrecht, p 439.
- Feldman, M., Eitan, M. (2001). The contribution of the discovery of wild emmer to an understanding of wheat evolution and domestication and to wheat improvement. *Isr J Plant Sci* 49:25–36.
- Felsenburg, T., Levy, A. A., Galili, G., Feldman, M. (1991). Polymorphism of high molecular weight glutenins in wild tetraploid wheat: Spatial and temporal variation in a native site”, *Israel Journal of Botany*, 40: 501-508.
- Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., & Steber, C. (2008). Molecular aspects of seed dormancy. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 387-415.
- Foy, C.D., R.L. Chaney and M.G. (1978). White: The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29, 511-566.
- Grant, C.A., Buckle, W.T., Bailey, L.D., Selles, F. (1998). Cadmium accumulation in crops. *Can J Plant Sci* 78: 1-17.
- Gebhardt, C., Ritter, E., Debener, T. et al. (1989). RFLP analysis and linkage mapping in *Solanum tuberosum*. *Theor Appl Genet*, 78, 65–75.
- Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, Groneberg DA (2006) The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J Occup Med Toxicol* 1: 22.
- Golea, C. M., Galan, P. M., Leti, L. I., & Codină, G. G. (2023). Genetic Diversity and Physicochemical Characteristics of Different Wheat Species (*Triticum aestivum* L., *Triticum monococcum* L., *Triticum spelta* L.) Cultivated in Romania. *Applied Sciences*, 13(8), 4992.
- Golenberg, E. M. (1988). Outcrossing rates and their relationship to phenology, *Theor Appl Genet*, 75:937-944
- Goncharov, N. P., Golovnina, K. A., & Kondratenko, E. Y. (2009). Taxonomy and molecular phylogeny of natural and artificial wheat species. *Breeding Science*, 59(5), 492-498.
- Graeber, K. A. I., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G., & Soppe, W. J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, cell & environment*, 35(10), 1769-1786.
- Grill, E., Winnacker, E.L., Zenk, M.H. (1985) Phytochelatins, the principal heavy metal complexing peptides of higher plants. *Science* 230, 674-676.
- Grover, A. & Sharma, P. C. (2016). Development and use of molecular markers: past and present, *Critical Reviews in Biotechnology*, 36:2, 290-302, DOI: 10.3109/07388551.2014.959891 .
- Guerinot, M.L. (2000). The ZIP family of metal transporters. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1465, 190-198.
- Gustafson, P., Raskina, O., Ma X, Nevo, E. (2009). Wheat evolution, domestication, and improvement. In: Carver BF (ed) *Wheat: science and trade*. Wiley, Danvers, pp 5–30.
- Guasmi, F., Elfalleh, W., Hannachi, H., Fères, K., Touil, L., Marzougui, N., & Ferchichi, A. (2012). The use of ISSR and RAPD markers for genetic diversity among south tunisian barley. *International Scholarly Research Notices*, 2012.
- Güleç, E. T., Sönmezoglu, A.Ö., Yıldırım, A., 2010. Makarnalık Buğdaylarda Kalite ve Kaliteyi Etkileyen Faktörler, *Gazi Osman Paşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, Tokat, 27(1), 113-120.
- Hall, J.L. (2002). Cellular mechanism for heavy metal detoxification and tolerance. *J Exp Bot*, 53: 1-11.

- Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., Sullivan, L.A., Kochian, L.V. (1998). Characterization of Cadmium Binding, Uptake, and Translocation in Intact Seedlings of Bread and Durum Wheat Cultivars. *Plant Physiology* Apr, 116 (4): 1413-1420.
- Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2009). Cadmium: toxicity and tolerance in plants. *J Environ Biol*, 30(2), 165-174
- Huybrechts, M., Cuypers, A., Deckers, J., Iven, V., Vandionant, S., Jozefczak, M., & Hendrix, S. (2019). Cadmium and plant development: An agony from seed to seed. *International journal of molecular sciences*, 20(16), 3971.
- Jakob, S.S., and Blattner, F.R. (2006). A chloroplast genealogy of *Hordeum* (Poaceae): Long-term persisting haplotypes, incomplete lineage sorting, regional extinction, and the consequences for phylogenetic inference. *Molecular Biology and Evolution* 23: 1602-1612.
- Jaradat, A. A. (1998). Biodiversity and sustainable agriculture in the Fertile Crescent. *Transformations of Middle Eastern natural environments: Legacies and lessons*, 31-57.
- Jarup L, Akesson A (2009) Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicol Appl Pharmacol* 238: 201–208.
- Jena, K.K., Kochert, G. (1991). Restriction fragment length polymorphism analysis of CCDD genome species of the genus *Oryza* L. *Plant Mol Biol*, 16, 837–9.
- Jiang, W., Liu, D., & Hou, W. (2001). Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.). *Bioresource Technology*, 76(1), 9-13.
- Jørgensen, R.B. (1986). Relationships in the barley genus (*Hordeum*): an electrophoretic examination of proteins. *Hereditas* 104:165-221.
- Kafadar, F.N. (2010). Gaziantep İli ve Çevresinde Atık Su İle Sulanan Bazı Tarımsal Alanlardan Alınan Bitki Örneklerinde Kadmiyum Ve Kurşun Birikimi ile Bu Birikime Bağlı Olarak Oluşan Fizyolojik Ve Biyokimyasal Değişimlerin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi.
- Kakeda, K., Taketa, S., Komatsuda, T. (2009). Molecular phylogeny of the genus *Hordeum* using thioredoxin-like gene sequences. *Breeding Science* 59: 595-601.
- Kapucu, B. (2015). Tanrıdan Gelen Armağan: Ekmek. 31 Mart 2015. Available from <http://www.kolektomani.com/tanridan-gelen-armagan-ekmek/>
- Karahocagil, P., Ege, H. (2004). Arpa. *T.E.A.E-Bakış*, 6(8) 1-4.
- Karakurt, H., Aslantaş, R., & Eşitken, A. (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 115-128.
- Kaya, S. (2015). Yabani arpa popülasyonları ve bazı arpa çeşitlerinin agro-morfolojik ve moleküler karakterizasyonu ile kalite özellikleri ve çinko eksikliğine toleranslarının saptanması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Kendig, E.L., Le, H.H., Belcher, S.M. (2010). Defining hormesis: Evaluation of a complex concentration response phenomenon. *Int. J. Toxicol.* 29, 235–246

- Kidwell K.K., Osborn, T.C. (1992). Simple Plant DNA Isolation Procedures. In: Beckman J., Osborn T.C. Plant Genomes: Methods for Genetic and Physical Mapping. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1-13. doi: 10.1007/978-94-011-2442-3 1.
- Khan, N. A., Ahmad, I., Singh, S., & Nazar, R. (2006). Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. *World J. Agric. Sci*, 2(2), 223-226.
- Klapheck, S., Fliegner, W., & Zimmer, I. (1994). Hydroxymethyl-phytochelatins [[[gamma]-glutamylcysteine) n-serine] are metal-induced peptides of the poaceae. *Plant Physiology*, 104(4), 1325-1332.
- Klassen CD, Liu J, Diwan BA (2009) Metallothionein protection of cadmium toxicity. *Toxicol Appl Pharmacol* 238: 215–220.
- Kneer, R., & Zenk, M. H. (1992). Phytochelatins protect plant enzymes from heavy metal poisoning. *Phytochemistry*, 31(8), 2663-2667.
- Komatsuda, T., Salomon, B., Bryngelsson, T., von Bothmer, R. (1999). Phylogeny in the genus *Hordeum* based on nucleotide sequences closely linked to the *vrsl* locus (row number of spikelets). *Genome* 42: 973-981.
- Köleli, N., & Kantar, Ç. (2005). Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu. *Ekoloji*, 14(55), 1-5.
- Kucera, B., Cohn, M. A., & Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed science research*, 15(4), 281-307.
- Kunter, M. (2011). Ekmeğin Tarihi. *Standart Ekonomik ve Teknik Dergi*. Ağustos 2013:41–45 (in Turkish).
- Kuppelwieser, H., & Feller, U. (1991). Transport of Rb and Sr to the ear in mature, excised shoots of wheat: effects of temperature and stem length on Rb removal from the xylem. *Plant and Soil*, 132, 281-288.
- Kuriakose, S.V., Prasad, M.N.V. (2008). Cadmium stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. *Plant Growth*.
- Kün, E. (1988). Serin İklim Tahılları. A.Ü. Ziraat Fak. Yayın 1032 Ders Kitabı 299, 322s., Ankara.
- Lanier, C., Bernard, F., Dumez, S., Leclercq-Dransart, J., Lemièrre, S., Vandebulcke, F., Nesslany, F., Platel, A., Devred, I., Hayet, A., et al. (2019). Combined toxic effects and DNA damage to two plant species exposed to binary metal mixtures (Cd/Pb). *Ecotox. Environ. Safe*. 167, 278–287.
- Levinson, G., Gutman, G.A. (1987). Slipped-strand mispairing: A major mechanism for DNA sequence evolution. *Mol. Biol. Evol.* 4:203–221.
- Li, W.Q., Khan, M.A., Yamaguchi, S., Kamiya, Y. (2005). Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul.*, 46, 45–50.
- Li, Z.L., Liu, Z.H., Chen, R.J., Li, X.J., Tai, P.D., Gong, Z.Q., Jia, C.Y., Liu, W. (2015). DNA damage and genetic methylation changes caused by Cd in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Environ. Toxicol. Chem.* 34, 2095–2103.
- Linde-Laursen, I., von Bothmer, R., Jacobsen, N. (1992). Relationships in the genus *Hordeum*: Giemsa C-banded karyotypes. *Hereditas* 116: 111-116.

- Linde-Laursen, I., von Bothmer, R., Jacobsen, N. (1995). Karyotype differentiation and evolution in the genus *Hordeum* (Poaceae). In: Brandham PE, Bennett MD, eds. Kew chromosome Conference IV. Kew, UK: Royal Botanic Gardens 233-247.
- Linkies, A., Muller, K., Morris, K., Tureckova, V., Wenk, M., Cadman, C.S.C., Corbineau, F., Strnad, M., Lynn, J.R., Finch-Savage, W.E., et al. (2009) Ethylene interacts with abscisic acid to regulate endosperm rupture during germination: A comparative approach using *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell* 21, 3803–3822.
- Lynch, M., B. Milligan. (1994). Analysis of population-genetic structure using RAPD markers, *Molecular Ecology*, 3: 91-99.
- Maksymiec, W., Wojcik, M., & Krupa, Z. (2007). Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate. *Chemosphere*, 66(3), 421-427
- Mayer, A.M., Poljakoff-Mayber, A. (1982). The germination of seeds. Pergamon Press, Oxford.
- McLaughlin, M. J., Tiller, K. G., Naidu, R., & Stevens, D. P. (1996). The behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Soil Research*, 34(1), 1-54.
- Meuwly, P., Thibault, P., Schwan, A. L., & Rauser, W. E. (1995). Three families of thiol peptides are induced by cadmium in maize. *The Plant Journal*, 7(3), 391-400.
- Moral, R., Palacios, G., Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., & Mataix, J. (1994). Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plant.
- Mori, S., Nishizawa, N., Hayashi, H., Chino, M., Yoshimura, E., & Ishihara, J. (1991). Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency?. In *Iron Nutrition and Interactions in Plants: "Proceedings of the Fifth International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants", 11–17 June 1989, Jerusalem, Israel, 1989* (pp. 175-188). Springer Netherlands.
- Much, M. (1908). Vorgeschichtliche Nähr-Nutzpflanzen Europas, ihr kulturhistorisches Alter und ihre Herkunft. *Mitt Anthropol Ges, Wien*, vol 38 (in German).
- Munzuroglu, O. ve Zengin, F.K. (2006). Effect of cadmium on germination, coleoptile and root growth of barley seeds in the presence of gibberellic acid and kinetin. *J. Environ. Biol.* 27, 671–677.
- Nagaoka, T., Ogihara, Y. (1997). Applicability of inter-simple sequence repeat polymorphisms in wheat for use as DNA markers in comparison to RFLP and RAPD markers. *Theor Appl Genet* 94: 597-602.
- Nazarzadeh, Z., Onori, H., & Akrami, S. (2020). Genetic diversity of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using RAPD and ISSR molecular markers. *Journal of Genetic Resources*, 6(1), 69-76.
- Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *Am Nat* 106:283-292.
- Nei, M. (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc Natl Acad Sci USA* 70:3321-3323.
- Nei, M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89:583-590.

- Nesbitt, M., and SAMUEL, D. (1996). From staple crop to extinction? The Archaeology And History Of The Hulled Wheats. Pp. 41–100 In S. Padulosi, K. Hammer, And J. HELLER, eds. Hulled wheats (Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats). International Plant Genetics Resources Institute, Rome, Italy.
- Nevo, E. (1992). Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. *Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology*, 19-43.
- Nishikawa, T., Salomon, B., Komatsuda, T., von Bothmer, R., Kadowaki, K. (2002). Molecular phylogeny of the genus *Hordeum* using three chloroplast DNA sequences. *Genome* 45: 1157-1166.
- Olszowski, T., Baranowska-Bosiacka, I., Gutowska, I., & Chlubek, D. (2012). Pro-inflammatory properties of cadmium. *Acta Biochimica Polonica*, 59(4).
- Özbek, Ö.(1998). Yerel *Triticum dicoccum* populasyonlarında varyasyonun A-page ve ieo teknikleriyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.
- Özbek, Ö., & Zencirci, N. (2021). Characterization of genetic diversity in cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) landrace populations from Turkey as revealed by ISSR. *Russian Journal of Genetics*, 57(6), 681-689.
- Özbek, Ö. (2022). Domestication and Evolution of Ancient Wheats. In: Zencirci, N., Ulukan, H., Baloch, F.S., Mansoor, S., Rasheed, A. (eds) Ancient Wheats. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07285-7_2
- Özberk, İ., Özberk, F.(2009). Serin İklim Tahılları (Buğday ve Arpa). [https://www.researchgate.net/publication/324413725_Serin_Iklim_Tahillari_Bugday_ve_Arpa_Ders_notlari_Yayin_no_2010-1_\(03.05.2020\)](https://www.researchgate.net/publication/324413725_Serin_Iklim_Tahillari_Bugday_ve_Arpa_Ders_notlari_Yayin_no_2010-1_(03.05.2020)).
- Özberk, İ., Altay, F., Cabi, E., Özkan, H., Atlı, A.(2016). Türkiye'nin Buğday Atlası, Doğal Hayatı Koruma Vakfı, İstanbul, Türkiye.
- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., & Atlı, A.(2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233.
- Özyigit, İ.İ., Abakirova, A., Hocaoğlu A.Ö., Kurmanbekova, G., Chekirov, K., Yalcin, B., Yalcin, İ.E. (2021). Cadmium stress in barley seedlings: Accumulation, growth, anatomy and physiology. *International Journal of Life Sciences and Biotechnolog.* 4(2): p. 204- 223. DOI: 10.38001/ijlsb.833611.
- Peng, J.H., Sun, D., Nevo, E. (2011). Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Mol Breed* 28:281–301.
- Petersen, G., and Seberg, O. (1997). Phylogenetic analysis of the Triticeae (Poaceae) based on *rpoA* sequence data. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 7:217-30.
- Petersen, G., and Seberg, O. (2003). Phylogenetic analyses of the diploid species of *Hordeum* (Poaceae) and a revised classification of the genus. *Systematic Botany* 28: 293-306.
- Polat, K. (2023). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE), Durum ve Tahmin BUĞDAY, YAYIN NO: 384 ISBN: 978-625-94245-0-7 (Buğday Durum Tahmin Raporu 2023-384 TEPGE.pdf) (Erişim tarihi 02.03.2024)
- Press, U., Slatkin, M., Barton, N.H. (1989). A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene flow. *Evolution* 43:1349-1368.

- Qiaoa K., Lianga S., Wanga F., Wanga H., Hub Z., Chai T. (2019). Effects of cadmium toxicity on diploid wheat (*Triticum urartu*) and the molecular mechanism of the cadmium response. *Journal of Hazardous Materials* 374: 1–10
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J. J., & Gárate, A. (2002). Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd–Mn interaction. *Plant science*, 162(5), 761-767.
- Ranieri, A., Castagna, A., Scebba, F., Careri, M., Zagnoni, I., Predieri, G., et al. (2005). Oxidative stress and phytochelatin characterisation in bread wheat exposed to cadmium excess. *Plant Physiol Biochem*, 43(1), 45-54
- Rausser, W. E. (1995). Phytochelatins and related peptides. Structure, biosynthesis, and function. *Plant physiology*, 109(4), 1141
- Raviv, B., Aghajanyan, L., Granot, G., Makover, V., Frenkel, O., Gutterman, Y., Grafi, G. (2017). The dead seed coat functions as a long-term storage for active hydrolytic enzymes. *PLoS ONE* 12, e0181102.
- Raybould, A.F., Goudet, J., Mago, R.J., et al. (1996). Genetic structure of a linear population of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* (sea beet) revealed by isozyme and RFLP analysis. *Heredity*, 76, 111–17.
- Reddy, M.P., Sarla, N. & Siddiq, A. (2002). Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding. *Euphytica* 128: 9–17.
- Renny-Byfield, S., Wendel, J.F. (2014). Doubling down on genomes: polyploidy and crop plants. *Am J Bot* 101(10):1711–1725.
- Ruschioni, S., Riolo, Minuz, R., Stefano, M., Cannella, M., Porrini, C., Isidoro, N. (2013). Biomonitoring with Honeybees of Heavy Metals and Pesticides in Nature Reserves of the Marche Region (Italy). *Biological Trace Element Research*, DOI 10.1007/s12011-013-9732-6.
- Salgare, S. A., & Acharekar, C. (1992). Effect of industrial pollution on growth and content of certain weeds. *J. Nature Conserve*, 4, 1-6.
- Salt, D. E., & Rausser, W. E. (1995). MgATP-dependent transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots. *Plant Physiology*, 107(4), 1293-1301.
- Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. (1999). Response of cadmium in higher plant. *Environ. Expt. Bot.*, 41, 105-130 (1999).
- Sarma, M., Handique, G. K., & Handique, A. K. (2006). Toxic heavy metal stress in paddy: metal accumulation profile and development of a novel stress protein in seed.
- Scholz, G. (1989). Effect of nicotianamine on iron-mobilization in de-rooted tomato seedlings. *Biol. Metals*, 2, 89-91.
- Schützendübel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1351-1365
- Seberg, O., and Frederiksen, S. (2001). A phylogenetic analysis of the monogenomic Triticeae (Poaceae) based on morphology. *Biological Journal of Linnean Society* 136:75-97.
- Seferoğlu, S., Kaptan, M.A. (2020). The Effects of Irrigation Waters With Different Boron Contents on Barley and Wheat Plants, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 57 (1):137-144, DOI: 10.20289/zfdergi.526102.

- Seven, T., Can, B., Darende, B. N. Ve Ocak, S.(2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Silveira, G.L., Lima, M.G.F., dos Reis, G.B.; Palmieri, M.J., Andrade-Vieria, L.F.(2017). Toxic effects of environmental pollutants: Comparative investigation using *Allium cepa* L. and *Lactuca sativa* L. *Chemosphere*, 178, 359–367.
- Shafi, M., Zhang, G., Bakht, J., Khan, M. A., Islam, U. E., Khan, M. D., & Raziuddin, G. Z. (2010). Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *Pak. J. Bot*, 42(4), 2747-2754.
- Shannon, C.E., Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois.
- Shaza, A. (2014). Molecular Phylogeny and Origins of *Hordeum* Polyploid Species. A Thesis Submitted to Saint Mary's University, Halifax, Nova Scotia, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Applied Science.
- Shu, K., Liu, X. D., Xie, Q., & He, Z. H. (2016). Two faces of one seed: hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular plant*, 9(1), 34-45.
- Sokal, R.R. and Michener, C.D. (1958). A Statistical Methods for Evaluating Relationships. University of Kansas Science Bulletin, 38, 1409-1448.
- Solms, L. (1899). Weizen und Tulpe und deren Geschichte. Leipzig.
- Sorrentino, M.C., Capozzi, F., Giordano, S., Spagnuolo, V. (2017). Genotoxic effect of Pb and Cd on in vitro cultures of *Sphagnum palustre*: An evaluation by ISSR markers. *Chemosphere*.181, 208–215.
- Soltis, D.E., Victor, A.A., Leebens-Mack, J., Charles, D.B., Andrew, H.P., Chunfang, Z., et al (2009) Polyploidy and angiosperm diversification. *Am J Bot* 96(1):336–348.
- Sözen, E., Yağdı, K. (2005). Bazı İleri Makarnalık Buğday Hatlarının Tarımsal Özellikleri Üzerine Araştırmalar. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2) : 51 – 57.
- Stebbins, G.L. (1950). Variation and evolution in plants. Columbia University Press, New York.
- Stebbins, G.L. (1971). Chromosomal evolution in higher plants. Addison Wesley, London.
- Stolt, J. P., Sneller, F. E. C., Bryngelsson, T., Lundborg, T., & Schat, H. (2003). Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 49(1), 21-28.
- Sun, G., Pourkheirandish, M., Komatsuda, T. (2009). Molecular evolution and phylogeny of the RPB2 gene in the genus *Hordeum*. *Annals of Botany* 103: 975-983.
- Svitashev, S., Bryngelsson, T., Vershinin, A., Pedersen, C., Sail, T., von Bothmer, R. (1994). Phylegenetic analysis of the genus *Hordeum* using repetitive DNA sequences. *Theoretical and Applied Genetics* 89: 801-810.
- Şener, A., Kaya, M. (2016). Bazı Ayçiçeği (*Heliathus annuus* L.) Çeşitlerinin Çimlenme, Çıkış ve Verimi Üzerine Tohum Uygulamalarının Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2). <https://doi.org/10.19113/sdufbed.53549>.
- Tamás, L., Huttová, J., & Žigová, Z. (1997). Accumulation of stress-proteins in intercellular spaces of barley leaves induced by biotic and abiotic factors. *Biologia plantarum*, 39, 387-394.
- Taylor, K., Albrigo, L.G., Chase, C.D. (1988) Zinc complexation in the phloem of blight affected citrus. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 113, 407-411.

- Tiryakioğlu, M., Eker, S., Ozkutlu, F., Husted, S., & Cakmak, I. (2006). Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *J Trace Elem Med Bio*, 20(3), 181-189
- Tkalec, M., Štefanić, P. P., Cvjetko, P., Šikić, S., Pavlica, M., & Balen, B. (2014). The effects of cadmium-zinc interactions on biochemical responses in tobacco seedlings and adult plants. *Plos one*, 9(1), e87582.
- Tokalak, İ. (2020). Sağlık ve Bilinç Toprakta Başlar, Ataç Yayınları.
- Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü (TMO), Türkiye Buğday Ekiliş-Üretim-Verim ve TMO Alımları, (31.01.2024)(<https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/istatistikler/tablolalar/1bugdayeuva.pdf>) (Erişim tarihi 02.03.2024)
- Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü (TMO) Türkiye Arpa Ekiliş-Üretim-Verim ve TMO Alımları, (31.01.2024) (<https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/istatistikler/tablolalar/2arpaeuva.pdf>) (Erişim tarihi 02.03.2024)
- Tsumura, Y., Ohba, K. Strauss, S.H. (1996). Diversity and inheritance of inter-simple sequence repeat polymorphisms in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugi (*Cryptomeria japonica*). *Theor Appl Genet* 92: 40-45.
- Uluöz, M. (1965). Bugday, Un ve Ekmek Analizleri. Ege Uni. Zir. Fak. Yayınlan, (57).
- Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment*, 13(3), 195-206.
- Van der Schoot, J., Pospiskova, M., Vosman, B. (2000). Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). *Theor. Appl. Genet.* 101: 317-322.
- Vogeli-Lange, R., & Wagner, G. J. (1990). Subcellular localization of cadmium and cadmium-binding peptides in tobacco leaves: implication of a transport function for cadmium-binding peptides. *Plant physiology*, 92(4), 1086-1093.
- Von Bothmer, R., Fink, J., Landstrom, T. (1986). Meiosis in interspecific *Hordeum* hybrids. I. Diploid combinations. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 28: 525-535.
- Von Bothmer, R., Fink, J., Landstrom, T. (1987). Meiosis in interspecific *Hordeum* hybrids. II. Triploid hybrids. *Evolutionary Trends in Plants* 1: 42-50.
- Von Bothmer, R., Fink, J., Landstrom, T. (1988). Meiosis in interspecific *Hordeum* hybrids. IV. Tetraploid (4x X 4x) hybrids. *Genome* 30: 479-485.
- Von bothmer, R., Jacobsen, N., Baden, C., Jorgensen, R.B., Linde-Laursen, I.(1995). An ecogeographical study of the genus *Hordeum*, 2nded., systematic and ecogeographic studies on crop gene pools 7. International plant genetic resources institute, Roma, 929-0432-292.
- Vosman, B., Arens, P. (1997). Molecular characterization of GATA/GACA microsatellite repeats in tomato. *Genome* 40: 25-33.
- Wang, Mahalingan, G., R. ve Knap, H.T., (1998). (C-A) and (GA) anchored simple sequence repeats (ASSRs) generated polymorphism in soybean. *Glycine max* (L.) Merr. *Theor Appl Genet* 96: 1086-1096.
- Wang, H., and Sun, G. (2011). Molecular phylogeny and reticulate origins of several American polyploid *Hordeum* species. *Botany* 89(6): 405-415.

- Wang, H.T., He, L., Song, J., Cui, W.N., Zhang, Y.Z, Jia, C.Y., Francis, D., Rogers, H.J., Sun, L.Z., Tai, P.D. (2016). Cadmium-induced genomic instability in Arabidopsis: Molecular toxicological biomarkers for early diagnosis of cadmium stress. *Chemosphere*.150, 258-265.
- Wierzbicka, M., Obidzinska, J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Sci* 137:155-171
- Wilkins, D. A. (1957). A technique for the measurement of lead tolerance in plants. *Nature*, 180(4575), 37-38.
- Yang Mingjie, Y. M., Lin XianYong, L. X., & Yang XiaoE, Y. X. (1998). Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species.
- Yeh, F.C., Yang, R., Boyle, T.J., et al., (2000). POPGENE. Microsoft Windows-Based Freeware for Population Genetic Analysis: Release 1.32, Edmonton: Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta. http://www.ualberta.ca/~fyeh/popgene_download.html
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, U., Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Doğa Ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yorgancılar, M., Yakışır, E., Erkoyuncu, M. T. (2015). Moleküler Markörlerin Bitki Islahında Kullanımı. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 4(2), 1-12.
- Yücel, E.S. (2019). Arsenik, Çinko Ve Kadmiyumun Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkileri. 19 Mayıs Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Zabeau, M. and Vos, P. (1993) European Patent Application, publication no: EP 0534858.
- Zietkiewicz, E., Rafalski, A., Labuda, D. (1994). Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics* 20: 176-183.
- Zommita, S., Yıldız, G. G., Zencirci, N., Özbek, Ö., et al. (2023). Assessment of genetic diversity based on agromorphological traits and ISSR molecular markers in einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum*) landrace populations from Turkey. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(1), 86-105. <https://doi.org/10.21448/ijsm.1084853>

EKLER

EK-1.

Sterilizasyon ve vernalizasyon işlemleri için protokoller

I. Protokol

- Birinci aşamada tohumlar %70'lik alkolde 5, 10 ve 15 dakika olmak üzere üç farklı zaman aralığında sterilizasyon işlemi yapıldı.
- İkinci aşamada %20'lik sodyum hipoklorit ile 10, 15 ve 20 dakika olmak üzere sterilizasyon işlemi gerçekleştirildi.
- Son aşamada tohumlar çeşme suyu ile üç kez arka arkaya 5 dakika çalkalanarak alkol ve sodyum hipoklorit uzaklaştırıldı.
- Tohumların vernalizasyon aşamasını tamamlaması için tohumlar 5 gün süreyle +4°C'ta bekletildi.
- Tohumlar 5. gün oda sıcaklığına çıkarıldı, oda sıcaklığında 6. ve 7. günün sonunda çimlenen tohumlar üzerinde gözlemler yapıldı. Bu gözlemlerle ilgili bazı görüntüler Resim Ek-1.1-1.4'te verildi.



Resim Ek-1.1. 1. Protokol vernalizasyon sonrası tohumlara ait görüntü

Steril edilen tohumların vernalizasyon için +4 C'ta 5 gün bekletildikten sonraki görüntüleri

Resim Ek-1.2. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 1. gün görüntüsü

Vernalizasyonu tamamlayan tohumlar 5. gün sabahında oda sıcaklığına çıkarıldı.

Resim Ek-1.3. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 2. gün görüntüsü

6. günün sonunda tohumların çimlenme görüntüleri

Resim Ek-1.4. 1. Protokol vernalizasyon sonrası 3. gün görüntüsü

7. günün sonunda tohumların çimlenme görüntüleri

Sonuçlar değerlendirildiğinde aynı konsantrasyonlarda ve farklı sürelerde yapılan sterilizasyon çalışmalarının küflenmeyi engelleyemediği gözlemlendi. Bunun üzerine kullanılan sterilizasyonun kapsamının genişletilmesine karar verildi.

II. Protokol

- Birinci kontrol grubunda hiçbir malzeme tohumlar dahil steril edilmedi (Resim Ek-1.5).
- İkinci kontrol grubunda tüm ekipmanların steril olduğu fakat tohumların steril olmayan su ile yıkandı (Resim Ek-1.6).
- Tohumlar +4°C'ta 6 gün vernalizasyona bırakıldı. 7. gün 25°C'ta etüvde çimlendirildi.



Resim Ek-1.5. 2. Protokol 1. Grup, tohumlar dahil tüm ekipmanın steril olmadığı koşullara ait görüntüler
Tohumlar dahil hiçbir ekipmanın steril olmadığı koşullarda çimlenme oranı yüksek ancak küf üreme oranı yüksek olarak gözlemlendi.



Resim Ek-1.6. 2. Protokol 2. Grup, tüm ekipmanın steril olup, tohumların steril olmayan çeşme suyu ile yıkandığı koşullar ait görüntü

Tüm ekipmanın sterilize edilip sadece tohumlar steril olmayan çeşme suyu ile yıkandığında çimlenme oranının yüksek ve küf üreme oranının en düşük olduğu gözlemlendi.

III. Protokol

Bu protokolde çalışmalar 4 gruba ayrılarak yapıldı:

1. grupta yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde çeşme suyu ile yıkandı ve diğer tüm şartlar steril edildi. 4 alt gruptan 1'i kontrol grubu olmak üzere 3

farklı molaritede (1 mM, 2 mM, 3 mM) CdCl₂ ile muamele edildi (10 mL). Vernalizasyon yapılmadı. 6 gün +24 °C'ta etüvde bekletilen örnekler 6. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.7- Ek-1.10).



Resim Ek-1.7. 3. Protokol 1. grupta kontrol grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 4 adet örnekte hafif küf mevcut, çimlenme düzeyi iyi.



Resim Ek-1.8. 3. Protokol 1. grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 1 tanesinde hafif, 2 tane örnekte ileri düzeyde küflenme mevcut, çimlenme düzeyi iyi.



Resim Ek-1.9. 3. Protokol 1. grup 2 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 4 örnekte küflenme mevcut, çimlenme düzeyi orta.



Resim Ek-1.10. 3. Protokol 1. grup 3 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 5 örnekte küflenme mevcut, çimlenme düzeyi kötü.

2. grup çalışmada yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde %5'lik NaClO (sodyum hipoklorit) ve %70'lik etil alkol ile yıkandı (5 dak.) ve diğer tüm şartlar sterilildi. 4 alt gruptan 1'i kontrol grubu olmak üzere tohumlar 3 farklı molaritede (1mM, 2mM, 3mM) CdCl₂ ile muamele edildi (10 mL). Vernalizasyon yapılmadı. 6 gün +24 °C'ta etüvde bekletilen örnekler 6. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.11- Ek-1.14)



Resim Ek-1.11. 3. Protokol 2. Grup Kontrol grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş. Küflenme yok, çimlenme düzeyi iyi.



Resim Ek-1.12. 3. Protokol 2. Grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 2 adet örnekte hafif küf mevcut, çimlenme düzeyi iyi.



Resim Ek-1.13. 3. Protokol 2. Grup 2 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

3 örnek çimlenmemiş, 1 adet örnekte hafif küf mevcut, çimlenme düzeyi orta.



Resim Ek-1.14. 3. Protokol 2. Grup 3 mM CdCl₂ grubuna ait görüntü

4 örnek çimlenmemiş, 2 adet örnekte hafif küf mevcut, çimlenme düzeyi orta-kötü.

3. grup çalışmada yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde çeşme suyu ile yıkandı. Tüm şartlar steril olarak düzenlendi. 4 alt gruptan 1'i kontrol

grubu olmak üzere tohumlar 3 farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) CdCl₂ ile muamele edildi (10 mL). 6 gün boyunca +4 °C'ta vernalizasyona bırakıldı ve sonrasında etüve konuldu. 6 gün +24 °C'ta etüvede bekletilen örnekler 6. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.15- Ek-1.18)



Resim Ek-1.15. 3.
Protokol 3. Grup
Kontrol grubuna ait
görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş 2'si hafif 3'ü ileri düzeyde olmak üzere 5 örnekte küf mevcut, çimlenme düzeyi iyi.



Resim Ek-1.2.16. 3.
Protokol 3. Grup 1 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

1 örnek çimlenmemiş %80-90 düzeyinde küflenme mevcut, çimlenme düzeyi orta.



Resim Ek-1.17 3.
Protokol 3. Grup 2 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

2 örnek çimlenmemiş, 2 örnekte küflenme mevcut, çimlenme düzeyi orta.



Resim Ek-1.18. 3.
Protokol 3. Grup 3 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

2 örnek çimlenmemiş, 3 örnekte minimal düzeyde çimlenme var 5 örnekte küflenme mevcut, çimlenme düzeyi kötü.

4. grup çalışmada yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde % 5'lik NaClO (sodyum hipoklorit) ve %70'lik etil alkol (5 dk.) uygulandı. Tüm koşullar sterilildi. 4 alt gruptan 1'i kontrol grubu olmak üzere tohumlar 3 farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) CdCl₂ ile muamele edildi (10 mL). Altı gün boyunca +4 °C'ta vernalizasyona bırakıldı ve sonrasında etüve konuldu. 6 gün +24 °C'ta etüvede bekletilen örnekler 6. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.19- Ek-1.22).



Resim Ek-1.19. 3.
Protokol 4. Grup Kontrol
grubuna ait görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş, 2 örnekte



Resim Ek-1..20. 3.
Protokol 4. Grup 1 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

Tüm örnekler çimlenmiş, 3 örnekte



Resim Ek-1.21. 3.
Protokol 4. Grup 2 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

2 örnek çimlenmemiş, 2 örnekte küflenme



Resim Ek-1.22. 3.
Protokol 4. Grup 3 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

7 örnek çimlenmemiş, 2 örnekte küflenme

küflenme mevcut,
çimlenme düzeyi iyi.

küflenme mevcut,
çimlenme düzeyi iyi.

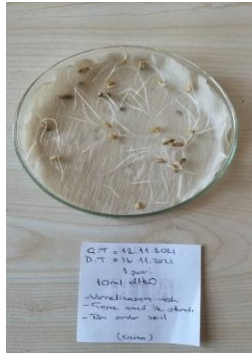
mevcut, çimlenme
düzeyi kötü.

mevcut, çimlenme
düzeyi kötü.

IV. Protokol

Bu protokolde çalışmalar 3 gruba ayrılarak yapıldı:

1. grup çalışmada yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde distile su ile yıkandı ve diğer tüm şartlar steril. 4 alt gruptan 1'i kontrol grubu olmak üzere tohumlar 3 farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) $CdCl_2$ ile muamele edildi (10 mL) ve vernalizasyon yapılmadı. 5 gün +23 °C'ta etüvde bekletilen örnekler 5. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.22- Ek-1.26)



Resim Ek-1.23. 4.
Protokol 1. Grup Kontrol grubuna ait görüntü.

Tüm örnekler çimlenmiş
6 adet örnekte hafif küf
mevcut, çimlenme düzeyi
iyi.



Resim Ek-1.24. 4.
Protokol 1. Grup 1 mM $CdCl_2$ grubuna ait görüntü.

Tüm örnekler çimlenmiş,
3 tanesinde hafif, 6 tane
örnekte ciddi küflenme
mevcut, çimlenme düzeyi
iyi.



Resim Ek-1.25. 4.
Protokol 1. Grup 2 mM $CdCl_2$ grubuna ait görüntü.

2 örnek çimlenmemiş, 4
örnekte küflenme
mevcut, çimlenme
düzeyi kötü.



Resim Ek-1.26 4.
Protokol 1. Grup 3 mM $CdCl_2$ grubuna ait görüntü.

1 örnek çimlenmemiş, 1
örnekte küflenme
mevcut, çimlenme
düzeyi iyi.

2. grup çalışmada yirmi beş adet buğday örneği (Kızıltan 91) yıkama sonrasında son yıkama işleminde %5'lik $NaClO$ ve %70'lik etil alkol uygulandı (5 dk.) ve tüm koşullar steril. 4 alt gruptan 1'i kontrol grubu olmak üzere 3 farklı molaritede (1 mM, 2 mM ve 3 mM) $CdCl_2$ ile muamele edildi (10 mL) ve vernalizasyon yapılmadı. 5 gün +23°C'ta etüvde bekletilen örnekler 5. günün sonunda fotoğraflanarak değerlendirildi (Resim Ek-1.27- Ek-1.30).



Resim Ek-1.27. 4.
Protokol 2. Grup
Kontrol grubuna ait
görüntü

Tüm örnekler
çimlenmiş, küflenme
yok, çimlenme düzeyi
iyi.



Resim Ek-1.28. 4.
Protokol 2. Grup 1 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

1 örnek çimlenmemiş,
küflenme yok, çimlenme
düzeyi iyi.



Resim Ek-1.29. 4.
Protokol 2. Grup 2 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

2 örnek çimlenmemiş,
1adet örnekte hafif küf
mevcut, çimlenme
düzeyi iyi.



Resim Ek-1.30. 4.
Protokol 2. Grup 3 mM
CdCl₂ grubuna ait
görüntü

3 örnek çimlenmemiş,
küflenme yok, çimlenme
düzeyi orta.

3. grup çalışması atasal türler üzerinde yapıldı. Kontrol grubu olan petrilere 10 ml distile su, ağır metal uygulanacak petrilere ise 10 ml farklı molaritelerde (1, 2, 3 mM) hazırlanmış CdCl₂ çözeltilerinden konuldu. Bu işlemde bir grup +4°C'ta 7 gün buzdolabında, sonrasında +23°C'ta 5 gün etüvde bekletilerek tohumlardaki çimlenme oranı ve gelişimi gözlemlendi. Bir diğer grup vernalizasyon işlemi yapılmadan direkt etüve konularak tohumların çimlenme oranı ve gelişimi gözlemlendi.



Resim Ek-1.31. 4. Protokol 3. Grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait vernalizasyon yapılan tohum çimlenme görüntüsü



Resim Ek-1.32. 4. Protokol 3. Grup 1 mM CdCl₂ grubuna ait vernalizasyon yapılmayan tohum çimlenme görüntüsü

