

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

KONYA'DA YETİŞTİRİLEN BAZI EKMEKLİK BUĞDAY ÇEŞİTLERİNİN
ERKEN DÖNEM KURAKLIK STRESİNE DAYANIKLILIK BAKIMINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇELİK

TEMMUZ-2025
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TARLA BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

**KONYA'DA YETİŞTİRİLEN BAZI EKMEKLİK BUĞDAY ÇEŞİTLERİNİN
ERKEN DÖNEM KURAKLIK STRESİNE DAYANIKLILIK BAKIMINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**COMPARE OF SOME BREAD WHEAT CULTIVARS GROWN IN KONYA
FOR THEIR RESISTANCE TO EARLY DROUGHT STRESS**

YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇELİK

TEMMUZ-2025

GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TARLA BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

**KONYA'DA YETİŞTİRİLEN BAZI EKMEKLİK BUĞDAY ÇEŞİTLERİNİN
ERKEN DÖNEM KURAKLIK STRESİNE DAYANIKLILIK BAKIMINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**COMPARE OF SOME BREAD WHEAT CULTIVARS GROWN IN KONYA
FOR THEIR RESISTANCE TO EARLY DROUGHT STRESS**

YÜKSEK LİSANS

Büşra ÇELİK

Danışman: Prof. Dr. Bilge BAHAR

TEMMUZ-2025

GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Konya’da Yetiştirilen Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Erken Dönem Kuraklık Stresine Dayanıklılık Bakımından Karşılaştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

03/07/2025

.....
Büşra ÇELİK

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. “Konya’da Yetiştirilen Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Erken Dönem Kuraklık Stresine Dayanıklılık Bakımından Karşılaştırılması” isimli tez çalışmasını bana öneren ve yüksek lisans sürem boyunca yaptığım çalışmaları özenle takip eden, bilgi birikimi, deneyimi ve hoşgörüsünü esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren, öğrencisi olmaktan ve kendisi ile çalışmaktan onur duyduğum kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Bilge BAHAR’a teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim. Çalışmamın tüm aşamasında bilgi ve birikimlerinden faydalandığım değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Cemalettin BALTACI ve Prof. Dr. Halil YOLCU’ ya teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında her ihtiyacım olduğunda benden yardımını esirgemeyen, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KAYA’ya yakın arkadaşlarım olan Uğur KAYA’ya, Şüheda UZUNAY’a ayrıca Emira KORHAN’a, Betül AKTÜRK’e Muharrem URAL’a Ali DEMİR’e ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bana yüksek lisans tezi çalışmam esnasında da maddi ve manevi destek olan annem Fatma ÇELİK’e, babam Ekrem ÇELİK’e, kardeşlerim Mustafa ÇELİK, Fadime ÇELİK ve Ahmet ÇELİK’e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Büşra ÇELİK
GÜMÜŞHANE - 2025

ÖZET

Yapılan çalışmada, Konya ekolojik koşullarına uyum sağlamış olan 10 kışlık ekmeklik buğday çeşidi, erken dönem kuraklık stresine karşı dayanıklılıkta rolü olduğu düşünülen bazı morfo-fizyolojik özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışma, uygulamalar (su stresli ve su stressiz koşullar) ana parsellere ve çeşitler alt parsellere yerleştirilmek suretiyle, üç tekrarlamalı olarak tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme desenine göre yürütülmüştür. Bu kapsamda, çeşitlerin yaprak alanı, kök uzunluğu, bitki boyu, kök kuru ağırlığı, taç (sürgün) kuru ağırlığı, kök/taç oranı, klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil, klorofil-a/b oranı, karotenoid içeriği, yaprak kül içeriği, membran kararlılığı (MK), yaprak su tutma kapasitesi (YSTK), yaprak oransal su içeriği (YOSİ) ve yaprak sıcaklığı düşüşü (YSD) gibi morfo-fizyolojik özellikleri incelenmiştir.

İncelenen özelliklerden klorofil-a, toplam klorofil, klorofil-a/b oranı, yaprak karotenoid içeriği, MK, YSTK, YOSİ ve YSD bakımından tüm varyasyon kaynakları (uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit interaksyonu) istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Ayrıca yaprak alanı, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve taç kuru ağırlığı gibi özellikler, stresli ve stressiz koşullara göre istatistiksel olarak önemli değişimler göstermiştir. Ayrıca, stresli koşullarda yaprak alanının taç kuru ağırlığı ile, kök/taç oranının YOSİ ile; klorofil içeriklerinin karotenoid, MK ve YOSİ ile; karotenoid içeriğinin YOSİ ile önemli olumlu ilişkileri dikkati çekmektedir. Diğer taraftan, su stresli koşullarda taç kuru ağırlığı; kök/taç oranı, klorofil-a, toplam klorofil ve klorofil-a/b oranı ile önemli olumsuz ilişkiler göstermiştir. Sözü edilen bu morfo-fizyolojik özelliklerin kuraklığa dayanıklılık ıslahında kolaylıkla ve güvenle kullanılabilirliği nedeniyle ıslahçılara önerilmesi mümkündür. Bunun yanında, kullanılan materyal içerisinden Yavuz ve İkonya çeşitlerinin kuraklığa dayanıklı yeni materyallerin geliştirilmesinde gen kaynakları olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik Buğday, Erken Dönem Kuraklık Stresi, Kuraklık, Morfo-Fizyolojik Ölçümler.

SUMMARY

In the study, 10 winter bread wheat cultivars adapted to Konya ecological conditions were compared in terms of some morpho-physiological traits thought to play a role in resistance to early drought stress. The study was carried out in randomized plots with three replications, with treatments (with and without water stress conditions) placed in main plots and cultivars in subplots, according to split plot design. In this context, morpho-physiological traits of the cultivars as leaf area, root length, plant height, root dry weight, crown (shoot) dry weight, root/crown ratio, chlorophyll-a, chlorophyll-b, total chlorophyll, chlorophyll-a/b ratio, carotenoid content, leaf ash content, membrane thermo stability (MTS), leaf water retention capacity (WRC), leaf relative water content (RWC) and leaf temperature depression (LTD) were investigated.

All variation sources (treatments, cultivars and treatment×cultivar interaction) showed statistically significant differences in terms of the investigated traits such as chlorophyll-a, total chlorophyll, chlorophyll-a/b ratio, leaf carotenoid content, MTS, WRC, RWC and LTD. In addition, traits such as leaf area, root length, root dry weight and crown dry weight showed statistically significant changes according to stressed and non-stressed conditions. In addition, significant positive relationships such as leaf area to crown dry weight, root/crown ratio to RWC, chlorophyll contents (CC) to carotenoid content, CC to MTS and CC to RWC and carotenoid content to RWC under water stressed conditions were underline. On the other hand, crown dry weight showed significant negative correlations with root/crown ratio, chlorophyll-a, total chlorophyll and chlorophyll-a/b ratio under water stress. It is possible to recommend these morpho-physiological traits to breeders because they can be easily and safely used in drought resistance breeding. Moreover, it was concluded that Yavuz and İkonya cultivars could be used as genetic sources in the development of new drought-resistant materials.

Key Words: Bread Wheat, Early Drought Stress, Drought, Morpho-Physiological Measurements.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Bitkilerde Kuraklık Stresi ve Etkileri.....	5
1.2.1. Morfolojik, Anatomik ve Hücresel Değişiklikler	6
1.2.2. Bitki Büyümesi ve Verimliliği.....	7
1.2.3. Bitki Büyümesi ve Verimliliği.....	8
1.2.4. Bitki Büyümesi ve Verimliliği.....	8
1.2.5. Protein Sentezi	9
1.2.6. Solunum.....	9
1.2.7. Kuraklık Stresinin Oksidatif Etkileri.....	10
1.3. Kuraklık Direnç Mekanizmaları	11
1.3.1. Ozmotik Ayarlama	12
1.3.2. Antioksidan Savunma Sistemi	13
1.4. Fizyolojik Değişiklikler.....	15
1.4.1. Transpirasyonun Azalması	15
1.4.2. Ozmotik Düzenleme.....	15
1.4.3. Fotosentezin Azalması	15
1.4.4. Stomaların Sınırlanması	16
1.5. Kuraklık Stresinin Moleküler Düzeyde Etkileri	16
1.5.1. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar	17
1.5.1.1. Askorbik asit (Vitamin C)	17
1.5.1.2. Tekoferoller (Vitamin E)	18

1.5.1.3. Karotenoidler	18
1.5.1.4. Gulutasyon	18
1.5.1.5. Fenolik Bileşikler	19
1.5.2. Enzimatik Antioksidanlar	19
1.5.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	19
1.5.2.2. Askorbat peroksidaz (APX)	19
1.5.2.3. Katalaz (CAT)	20
1.6. Önceki Çalışmalar	20
1.7. Çalışmanın Amacı	555
1.8. Çalışmanın Kapsamı	555
2. MATERYAL VE METOT	57
2.1. Materyal	57
2.2. Denemenin Ekimi ve Bakımı	57
2.3. İncelenen Özellikler	58
2.3.1. Yaprak alanı	58
2.3.2. Yaprak Oransal Su İçeriği	59
2.3.3. Yaprak Klorofil (a, b, toplam) ve Karotenoid İçeriği	59
2.3.4. Yaprak Kül İçeriği	60
2.3.5. Membran Kararlılığı	61
2.3.6. Kök ve Taç (sürgün) Kuru Ağırlıkları ve Kök/Taç Oranı	61
2.3.7. Kök Uzunluğu ve Bitki Fide Boyu	62
2.3.8. Yaprak Su Tutma Kapasitesi	63
2.3.9. Yaprak Sıcaklığı Düşüşü	63
2.3.10. Verilerin Değerlendirilmesi	64
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	65
3.1. Yaprak Alanı	65
3.2. Kök Uzunluğu	66
3.3. Bitki (Fide) Boyu	68
3.4. Kök Kuru Ağırlığı	70
3.5. Taç (Sürgün) Kuru Ağırlığı	72
3.6. Kök/Taç Oranı	74
3.7. Klorofil-a İçeriği	75
3.8. Klorofil-b İçeriği	77

3.9. Toplam Klorofil İçeriği	79
3.10. Klorofil-a/b Oranı	80
3.11. Yaprak Karotenoid İçeriği	82
3.12. Yaprak Kl İçeriği.....	84
3.13. Membran Kararlılığı.....	86
3.14. Yaprak Su Tutma Kapasitesi	87
3.15. Yaprak Oransal Su İçeriği	89
3.16. Yaprak Sıcaklığı Düşüşü	91
3.17. İncelenen zellikler Arasındaki İlişkiler.....	93
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR	100
ZGEMİş	

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.	Tahıllar ve Buğday üretim miktarları, 2023/2024 (TÜİK, 2024)	3
Tablo 2.	Bitkilerde stres faktörleri (Kacar ve ark., 2006).....	4
Tablo 3.	Denemede Kullanılan Toprağa İlişkin Analiz Sonuçları	58
Tablo 4.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak en/boy oranlarına ilişkin varyans analiz sonuçları.....	65
Tablo 5.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak en/boy oranlarına ilişkin ortalama değerler	66
Tablo 6.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök uzunluğu değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	67
Tablo 7.	İncelenen ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki kök uzunluğu değerlerine ilişkin ortalama değerler (cm).....	68
Tablo 8.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki bitki (fide) boyuna ilişkin varyans analiz sonuçları	68
Tablo 9.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki bitki boyuna ilişkin ortalama değerler (cm)	69
Tablo 10.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları	70
Tablo 11.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki kök kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler (mg bitki ⁻¹).	71
Tablo 12.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki taç kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları	72
Tablo 13.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki taç kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler (mg).....	73
Tablo 14.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök/taç oranına ilişkin varyans analiz sonuçları	74
Tablo 15.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki taç kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler (mg).....	75
Tablo 16.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-a konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları.....	75
Tablo 17.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-a konsantrasyonuna ilişkin ortalama değerler (mg g ⁻¹ Y.A.)	77
Tablo 18.	İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-b konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları.....	78

Tablo 19. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-b konsantrasyonuna ilişkin ortalama değerler (mg g^{-1} Y.A.)	78
Tablo 20. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki toplam klorofil içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	79
Tablo 21. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki toplam klorofil içeriğine ilişkin ortalama değerler (mg g^{-1} Y.A.)	80
Tablo 22. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil a/b oranına ilişkin varyans analiz sonuçları.....	80
Tablo 23. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil a/b oranına ilişkin ortalama değerler	82
Tablo 24. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök/taç kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları.....	82
Tablo 25. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak karotenoit miktarına ilişkin ortalama değerler (mg g^{-1} YA)	84
Tablo 26. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak kül içeriği ilişkin varyans analiz sonuçları	84
Tablo 27. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak kül içeriği ilişkin ortalama değerler (%).....	85
Tablo 28. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki MTS değerine ilişkin varyans analiz sonuçları	86
Tablo 29. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki MTS değerine ilişkin ortalama değerler (%).....	87
Tablo 30. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki ELWR değerine ilişkin varyans analiz sonuçları	88
Tablo 31. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki ELWR değerine ilişkin ortalama değerler (%).....	89
Tablo 32. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak oransal su içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	89
Tablo 33. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak oransal su içeriğine ilişkin ortalama değerler ..	90
Tablo 34. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak sıcaklığı düşüşüne ilişkin varyans analiz sonuçları	91
Tablo 35. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak sıcaklığı düşüşüne ilişkin varyans analiz sonuçları	92
Tablo 36. Stresli ve stressiz koşullarda, incelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Bereketli (verimli) hilal olarak adlandırılan bölge	2
Şekil 2.	Bitkilerin kuraklık stresi koşullarında fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkileri	6
Şekil 3.	Yaprak alanı için yaprak en ve boy ölçümü.....	58
Şekil 4.	Yaprak klorofil içeriğinin belirlenmesi.....	60
Şekil 5.	Yaprak kül içeriğinin belirlenmesi	60
Şekil 6.	Membran kararlılığı Ölçümü.....	61
Şekil 7.	Bitkilerin kök ve taç ağırlıkları	62
Şekil 8.	Stresli ve stressiz fidelerden örnekler	63

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

APX	: Askorbat Peroksidaz
AO	: Antioksidan
AsA	: Askorbik Asit
ABA	: Absisik asit hormonu
°C	: Santigrat Derece
CAT	: Katalaz
CO ₂	: Karbon dioksit
ELWR	: Kesilmiş yapraklarda su tutma kapasitesi
g	: Gram
Kg	: Kilogram
GA	: Gallik asit
GB	: Glisin betain
GR	: Glutasyon Redüktaz
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
K ⁺	: Potasyum iyonu
Kl-a	: Klorofil-a
Kl-b	: Klorofil-b
Kl-a/b	: Klorofi- a/b
MTS	: Membran Stabilitesi
CMS	: Hücre Membran Stabilitesi
MLE	: Moring oleifera leaf
KM	: Kuru madde
mL	: Mililitre
µL	: Mikrolitre
mg	: Miligram
mM	: Milimolar
mm	: Milimetre
N	: Azot
SNP	: Sodyum Nitroprussid
NaCl	: Sodyum Klorür
nm	: Nanometre
cm ²	: Santimetrekare
cm	: Santimetre

O ⁻²	: Süperoksit
OYSF	: Ortam-Yaprak Sıcaklık Farkı
BTS	: Bitki Topluluk Sıcaklığı
CTD	: Canopy Temperature Depression
EC	: Elektrik İletkenliği
PEG 6000	: Polietilen Glikol 6000
UV	: Ultraviyole
ROT	: Reaktif oksijen türleri
Se	: Selenyum
SOD	: Süperoksit Dismutaz
ET	: Evapotranspirasyon
TK	: Tarla kapasitesi
MPa	: Megapascal
YA	: Yaş ağırlık
µg	: Mikrogram
µmol	: Mikromol
Lux	: Aydınlatma Şiddeti
¹ O ₂	: Tekli Oksijen
AK	: Aikang 58
CS:	: Chinese Spring
YOSİ	: Yaprak Oransal Su İçeriği
ELWR	: Kesilmiş Yaprakta Su tutma Kapasitesi
HYSF	: Hava-Yaprak Sıcaklığı Farkı
RWC	: Bağıl Su İçeriği
ROT	: Reaktif Oksijen Türleri
RuBP	: Ribuloz-1,5-Bifosfat
MK	: Membran Kararlılığı
YSTK	: Yaprak Su Tutma Kapasitesi

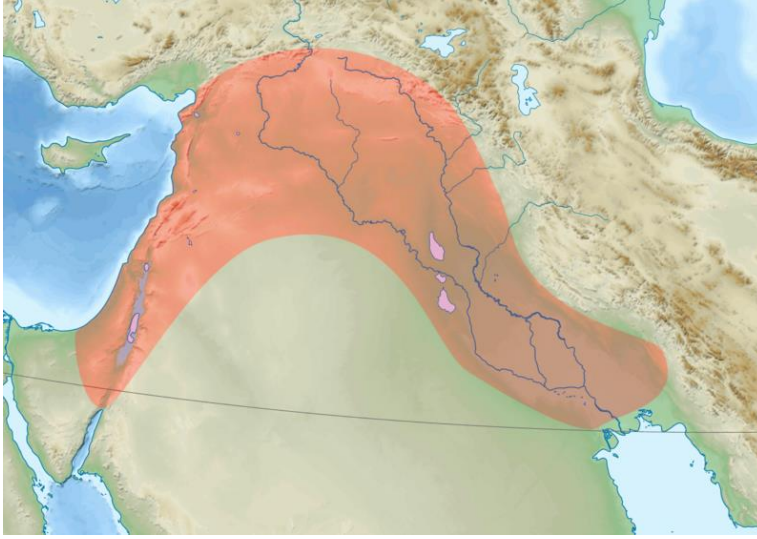
Not : Bu listede yer almayan bazı semboller, metin içerisinde uygun olan yerlerde tanımlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Buğday (*Triticum spp.*), dünyanın en eski ve en önemli tahıl cinslerinden biri olarak, tarımın başlangıcından itibaren insan beslenmesinde kritik bir rol oynamıştır. Buğday, buğdaygiller (*Poaceae*) familyasının bir üyesidir ve temel besin maddeleri ile ekonomik önemi nedeniyle birçok kültürde ana gıda maddesi olarak kabul edilmektedir. Buğday bitkisi yetiştirilmesi bakımından, çevre koşullarına kolay adapte olabilmesi ve kolay muhafaza edilebilmesi sebebiyle dünyada en çok ekimi yapılan tek yıllık otsu bir bitki olup tahıl grubunda yer almaktadır. Buğday bitkisi, genellikle üç temel organı içerir: kök, gövde ve yapraklar. Kök sistemi, bitkinin su ve besin maddelerini emmesini sağlar ve toprağa sağlam bir şekilde tutunmasına yardımcı olur. Gövde, bitkinin yukarıya doğru büyümesini desteklerken, yapraklar fotosentez için gerekli olan ışığı toplar. Buğday bitkisi, genetik olarak diploid, tetraploid veya hexaploid olabilir. Bu genetik çeşitlilik, buğdayın adaptasyon yeteneğini artırır ve farklı iklim ve toprak koşullarında yetişmesine olanak tanır.

Araştırmalara göre günümüzde hala var olan türler (*T. araraticum*, *T. turgidum ssp. dicoccoides*, veya *T. dicocoides* gibi türlerden) en az 12.000 yıl evvel, tarımın ilk başlangıç noktası olan ve 'Bereketli Hilal' olarak adlandırılan Mezopotamya Bölgesinde evcilleştirilmiştir (Şekil 1). Bereketli Hilal bölgesi, insanlık tarihi boyunca tarım devriminin ve yerleşik hayatın başladığı önemli bir bölge olarak kabul edilir. Araştırma ve bulunan kalıntılara göre ilk yetiştirilen buğday Siyez'dir. Bu tür, tarımın başlangıcından itibaren insan beslenmesinde önemli bir rol oynamış ve tarımsal çeşitliliğin kökenlerine dair değerli bilgiler sunmaktadır. Siyez buğdayı, *Triticum monococcum* olarak bilinir ve buğdaygiller (*Poaceae*) familyasının bir üyesidir. Siyez ekmek buğday (*Triticum aestivum*) ve makarnalık buğday (*Triticum durum*) gibi diğer buğday türlerinden ayıran belirgin özellikleri bulunmaktadır. Siyez buğdayının tarihi, Neolitik Çağ'a kadar uzanır ve tarımın erken dönemlerine ait izler taşır. Genetik olarak diploid bir yapıya sahip olup, ekmeklik ve makarnalık türlerden farklı olarak daha az kromozom sayısına sahiptir. Bu durum, siyez buğdayının tarımsal evrimine ve adaptasyon süreçlerine ışık tutmaktadır (Özberk ve ark., 2016).



Şekil 1. Bereketli (verimli) Hilal olarak adlandırılan bölge (URL-1).

Günümüzde 2023-2024'te dünya buğday üretiminin yaklaşık %80'ini Çin, AB, Hindistan, Kuzeybatı Asya, Rusya ve ABD oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA)'nın verilerine göre, dünya buğday ekim alanı yıllar itibarıyla değişim göstermekle beraber 2021-2022 yılında yaklaşık 222 milyon ha alanda buğday üretimi yapıldığı görülmektedir (Tablo 1). Dünya buğday ekim alanında ülke sıralamasında Hindistan, Rusya, AB, Çin ve ABD ilk sıralarda yer almaktadır. Dünya buğday üretiminde ise sıralama ülkelerdeki verim farklılığından dolayı Çin, AB, Hindistan, Rusya ve Avusturalya şeklindedir (Polat, 2023).

Buğday, hem insan beslenmesindeki ekmeği ham maddesi olan un, nişasta, irmik, kepek, kırma, glüten ve rüşeym gibi besinlerin temelini oluşturması hem de ticari alanda büyük faaliyet gösteren makarna, bisküvi, kek, kraker, bulgur ve kahvaltılık tahıl ürünlerinin temelini oluşturması sebebiyle hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz buğday tarımı için oldukça önemli bir konuma sahip olmasına rağmen dünya buğday üretiminde 10. sırada, dünya buğday ihracatında ise 8. sırada yer almaktadır. Tahıl ürünlerinin Türkiye'deki üretim miktarları Tablo 1'de görüleceği üzere 2024 yılında bir önceki yıla göre %7.5 oranında azalarak yaklaşık 39 milyon ton, buğday üretimi %5.5 oranında azalarak 20.8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024).

Tablo 1. Tahıllar ve Buğday üretim miktarları, 2023/2024 (TÜİK, 2024)

Üretim (Ton)					
Tahıllar ve Buğday	Pay (%)		Pay (%)		Değişim (%)
	2023		2024		
Toplam	79 449 572	100.0	75 476 989	100.0	-5.0
Tahıllar	42 198 659	53.1	39 022 509	51.7	-7.5
Buğday	22 000 000	27.7	20 800 000	27.6	-5.5
Tritikale	370 000	0.5	341 000	0.5	-7.8
Karabuğday	2 530	0.0	2 856	0.0	12.9

Konya ili, 780 043 km² olan Türkiye yüzölçümünün %5.24'lik kısmına karşılık gelen (göller dâhil) 40 838 km² yüzölçümü ile ülkenin en geniş arazi varlığına sahip ili olup; 1 882 068 hektar alanda tarım yapılmaktadır. Bunun 684 772 dekarında buğday ekimi yapılmaktadır. Konya'da buğday üretimi 2 239 936 ton olup, bu Türkiye üretiminin %10'una denk gelmektedir. Yıllık yağış miktarı bölgeden bölgeye 250-750 mm arasında değişmektedir. İlin doğu ve kuzeyinde yer alan ve "Konya Ovası" diye adlandırılan geniş alanlarda yağışın 400 mm'nin altında, hatta bazı lokal bölgelerde 300 mm'nin altında seyretmesi kuru tarım sistemini mecbur kılmıştır. Diğer bir ifadeyle "tahm-nadas" münavebesi bu alanların en yaygın tarım sistemidir. Özellikle son yıllarda devlet yatırımı ve çiftçilerimizin kişisel ve ortak girişimleri sonucu ilimizde sulamaya açılan alanlarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Konya ilinde 609 299 ha (DSİ 4. ve 18. Bölge Müdürlükleri verilerine göre) alanda sulu tarım yapılmaktadır (URL-2).

Üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilmesi için buğdayın kalitesi oldukça önemlidir. Kaliteli bir buğday için buğdayın çeşidi, ekildiği toprak yapısı, ekim zamanı, tohum kalitesi, gübreleme, sulama, buğday zararlıları gibi faktörlerin yanında yağış miktarı ve sıcaklık gibi iklim faktörleri buğday için hayati önem arz etmektedir. Buğdayın büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkileyen stres faktörleri biyotik (canlı) ve abiyotik (cansız) olmak üzere ikiye ayrılır (Kacar ve ark., 2006).

Tablo 2. Bitkilerde stres faktörleri (Kacar ve ark., 2006)

Abiyotik Faktörler		Biyotik Faktörler
Fiziksel	Kimyasal	
Kuraklık	Hava kirliliği	Hastalık etmenleri
Tuzluluk	Bitki besin elementleri	Yabani bitkiler
Yüksek veya düşük sıcaklık	Pestisitler	Böcekler
Radyasyon	Toksinler	Mikroorganizmalar
Bitki besin maddeleri	Tuzlar	Hayvanlar
Yapraklarda kıvrılma	Toprak pH'ı	
Su baskını		
Rüzgar		
Kar		

Kuraklık, gelecekte bitkilerin büyüme, verimlilik ve kalitesini ciddi şekilde etkileyecek önemli bir abiyotik faktördür. İklim değişikliğinin etkileri doğrultusunda, kuraklığın bitkiler üzerindeki önemi giderek artış göstermektedir. Genotipe bağlı olarak farklı şiddetlerde ortaya çıkan kuraklıktan etkilenme derecesi o genotipin stres altında geliştirdiği metabolik değişimlere, yani fizyolojik ve biyokimyasal tepkilere bağlıdır (Kayabaşı, 2011). İç Anadolu Bölgesi'nin 2024 yılı sonbahar yağış toplamı 60.2 mm, uzun yıllar ortalaması 83.2 mm ve 2023 yılı sonbahar yağış toplamı ise 96.9 mm'dir. Uzun yıllar ortalamasına göre %28, 2023 yılına göre ise %38 azalma kaydedilmiştir (Anonim, 2025a). Bu bölgede bulunan Konya ilinin yıllık toplam yağış miktarı 327.6 mm olup (Anonim, 2025b); yıllık toplam yağış miktarı 400 mm'nin altında olan bölgeler, kurak bölge olarak bilinmektedir. Kuraklığın artması demek, daha az yağış, daha çok güneş, sıcak hava dalgalarının daha uzun süreli ve şiddetli geçmesi, daha fazla zararlı üremesi, susuzluk ve kıtlık yaşanması, daha sık ve uzun süreli orman yangınları anlamına gelir. Bu nedenlerden dolayı, günümüzde iklim değişikliği toplumların en az kalkınma, açlık, sağlık kadar dünyanın üzerinde durması gereken çevre sorunlarının başında gelmektedir. Artan nüfusumuz ile beraber, küresel iklim değişimi sonucu daha kurak bir iklime sahip olacağımız göz önüne alındığında; 2050 yılında Türkiye'de bir yılda kişi başına düşen su miktarı 700 ile 1 910 metreküp arasında olacaktır (Kadıoğlu, 2008).

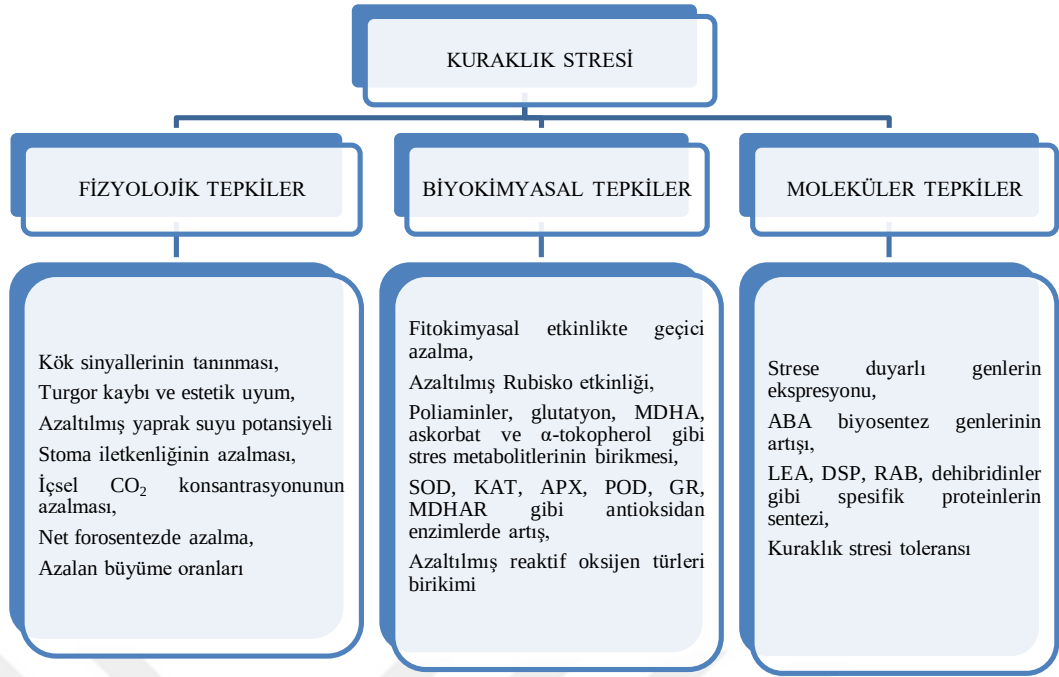
1.2. Bitkilerde Kuraklık Stresi ve Etkileri

Kuraklık stresi, bitkinin su ihtiyacının yeterince karşılanamadığı (örneğin, düşük yağış veya yetersiz sulama nedeniyle) ve bunun sonucunda büyüme, fotosentez hızı,

stomal iletkenlik gibi normal fizyolojik işlevlerinin olumsuz etkilendiği durumlarda meydana gelir (Anjum ve ark., 2011). Başka bir ifadeyle, bitki yapraklarından gerçekleşen su kaybı kökler tarafından alınan sudan fazla olduğunda, bu durum kuraklık stresine yol açar. Su alımı ile su kaybı arasındaki bu dengesizlik, toprak su potansiyelinin köklerin su potansiyelinden daha düşük olmasıyla turgor basıncının normal işlevlerini sürdüremediği koşullarda ortaya çıkar (Lisar ve ark., 2012). Su mevcudiyetine göre kuraklık stresi; su kıtlığı ve su kaybı (kuruma) olarak ikiye ayrılabilir. Su kıtlığı, bağlı su içeriği (RWC) yaklaşık %70 olduğu hafif su kaybı yaşayan bitkilerde, stomaların kapanmasına bağlı olarak gaz değişimindeki kısıtlamalarla tanımlanırken; su kaybı ise fotosentezin durması, metabolik bozukluklar ve sonuçta bitkinin ölümüne yol açacak şekilde hücresel yapının ve enzimatik reaksiyonların bozulmasına neden olabilir (Kage ve ark., 2004; Jaleel ve ark., 2008).

Kuraklık stresi, bitki hücrelerinde su potansiyeli ve turgor basıncını düşürerek, sitozol ve hücre dışı matristeki çözünen maddelerin konsantrasyonunu artırır. Bu durum hücre büyümesini yavaşlatarak büyümenin engellenmesine ve üreme başarısızlığına neden olur. Bunun sonucunda, absisik asit (ABA) ve prolin gibi uyum sağlayıcı osmolitlerin birikimi gözlenir. Bu evrede, reaktif oksijen türlerinin (ROT) aşırı üretimi, kuraklığın bitkiye olan zararını daha da artırır. Kuraklık stresi, yalnızca bitkideki su ilişkilerini bozmakla kalmaz; aynı zamanda su içeriğini, turgoru ve toplam su miktarını azaltarak stomaların kapanmasını etkiler, gaz değişimini kısıtlar, terlemeyi azaltır, karbon asimilasyonunu (fotosentez) durdurur ve besin-mineral alım ve taşınmasını engeller (Şekil 2).

Bitkilerde kuraklık stresine yanıt olarak belirli protein ve mRNA'ların sentezlenmesi, bu stresin bir başka önemli sonucudur. Kuraklık koşullarında hücre genişlemesi yavaşlar veya durur, bu da bitki büyümesinin azalmasına yol açar. Ancak, kuraklık stresi hücre bölünmesinden ziyade hücre genişlemesini daha fazla etkiler. Kuraklık altındaki bitki gelişimi; fotosentez, solunum, translokasyon, iyon alımı, karbonhidratlar, besin metabolizması ve hormon dengelerindeki değişikliklerden önemli ölçüde etkilenir (Siddiqui ve ark., 2015).



Şekil 2. Bitkilerin kuraklık stresi koşullarında fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkileri (Reddy ve ark., 2004)

1.2.1. Morfolojik, Anatomik ve Hücresel Değişiklikler

Bitki türlerinin çoğunda su stresi, yaprak anatomisi ve hücresel yapıdaki değişikliklerle ilişkilidir. Bu değişiklikler arasında yaprak yüzey alanının azalması, stoma sayısında düşüş; yaprak hücre duvarlarının kalınlaşması, yaprak yüzeyinin kütinleşmesi, iletken sistemin zayıf gelişimi, büyük damar sayısının artışı, sukkulent ve kserofit bitkilerde stomaların daha derine gömülmesi, tahıllarda tüp yaprak oluşumu ve erken yaşlanmanın teşvik edilmesi gibi morfolojik adaptasyonlar yer alır (Rahman ve Hasegawa, 2012). Başka bir çalışmada, su kısıtlamasının olmadığı taban koşullarda, su kısıtlamasının bulunduğu kurak koşullara göre daha yüksek stoma sayısı içerdiği saptanmış olup; bu durumun, stresli çalışmalarda bayrak yaprak alanının daralmasına bağlı olarak stomaların epidermiste daha yoğun bir dizilim göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Bahar, 2004).

Kuraklık stresi altında, bitkilerin su tasarrufu sağlamak ve çevresel değişikliklere uyum kapasitelerini artırmak amacıyla yaprak büyümesini, toplam yaprak alanını ve yaprak sayısını azalttığı gözlenmiştir. Kuraklık stresi ile toplam yaprak alanı azalmakta ve dolayısıyla fotosentez yavaşlamaktadır. Ayrıca, yaprak yüzeyinde kutikula adı verilen ince, yağlı bir tabaka geliştirir ve yaprakların üzeri sık tüylerle kaplanır. Kutikula ve tüylerin varlığı, bitkiyi güneş ışınlarının olumsuz etkilerinden korumakla birlikte, transpirasyonu azaltarak su kaybını kontrol altına alır. Transpirasyon, bitkilerde suyun yapraklar ve diğer dokular aracılığıyla buharlaşması ve atmosfer ortamına geçiş sürecidir

ve bu süreç, bitkilerin su dengesini koruması açısından kritik bir öneme sahiptir. Kuraklık stresi altında fotosentezin duraklaması; fotosentezin stomalar tarafından kontrolü ve stomalar dışındaki faktörlerce kontrolü olarak iki şekilde olur (Özcan, 2020).

Hücrede su kaybı, osmotik dengenin bozulmasına yol açar ve bu durum, hücrenin iç yapılarının işlevselliğini etkiler. Su kaybıyla birlikte hücre membranında bozulmalar meydana gelebilir. Hücre membranı, fosfolipid çift tabakasından meydana gelir. Bu yapı, fosfolipidlerin hidrofilik (su çekici) baş kısımları ile hidrofobik (su itici) kuyruk kısımlarının etkileşimi ile şekillenir. Su kaybı meydana geldiğinde, hücre içindeki su seviyesinin azalması, fosfolipidlerin birbirine daha yakın bir konuma gelmesine sebep olur. Su kaybı, hücre membranının akışkanlığını azaltabilir. Akışkanlık, membranın esnekliğini ve geçirgenliğini belirleyen önemli bir özelliktir. Membranın daha kompakt bir hale gelmesi, bazı proteinlerin hareketliliğini etkileyerek hücresel işlevlerin bozulmasına yol açabilecek potansiyel sonuçlar doğurabilir (Aslantaş ve ark., 2010).

Kuraklık stres koşulları altında, bitki kökleri topraktaki su kaynaklarına ulaşmak amacıyla daha derinlere doğru uzanır. Su stresi yaşayan bitkilerin kökleri, bitkinin genel yapısına oranla daha uzun olabilir. Bu süreçte bitki, büyüme evresini hızlandırarak olgunlaşma çabası içindedir (Özer ve Sade, 1995).

1.2.2. Bitki Büyümesi ve Verimliliği

Bitkilerde su potansiyelinin azalması, özellikle turgor kaybına bağlı olarak hücre bölünme hızını düşürerek bitki büyümesi ve üretkenliğini olumsuz etkiler (Kiani ve ark., 2007). Kuraklık stresi altında, bitkinin farklı organları değişen derecelerde tepki gösterse de tüm organlardaki fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin baskılanması; biyomolekül konsantrasyonlarında, büyüme hızında ve dolayısıyla bitkilerin biyokütlesinde azalmaya yol açar (Esmailpour ve ark., 2015). Kuraklık koşullarında bitkilerin çimlenme ve büyüme aşamaları, solunumun, ATP üretiminin ve elektron taşınımının engellenmesiyle ciddi oranda etkilenir. Bitki büyümesi, kök ve sürgün sistemleri arasındaki işlevsel dengenin sağlanması, meristematik hücre bölünmesi, hücre uzaması ve farklılaşma süreçleriyle gerçekleşen hacim, boyut ya da ağırlık artışının bir sonucudur. Turgor basıncının düşmesi nedeniyle hücre büyümesi, kuraklık koşullarına en duyarlı fizyolojik süreçlerden biridir. Şiddetli kuraklık koşullarında, yüksek bitkilerde hücre uzaması, ksilemden uzayan hücrelere doğru olan su akışının kesilmesiyle durabilir (Nonami, 1998). Mitozu bozarak hücre uzama ve genişlemesini engelleyen kuraklık, bitkinin büyüme ve verim özelliklerini azaltır (Hussain ve ark., 2019).

1.2.3. Bitki Büyümesi ve Verimliliği

Azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) gibi inorganik besin elementleri, bitki büyümesi ve biyokütle üretimi için kritik öneme sahiptir (Ashraf M., 2004). Bitkilerin besin ve mineral alımı, çözünmeleri ve hareket edebilmeleri için suya ihtiyaç duyar. Kuraklık stresi toprak suyu mevcudiyetini azaltarak, besinlerin difüzyon hızını düşürür ve bitki tarafından alımlarını engeller. Özellikle kalsiyum, hücre zarının bütünlüğü için önemli olup, kuraklık stresi altında Ca^{+2} içeriğinde azalma yaşanır; örneğin, mısır fidelerinde yapraklarda %50'ye varan düşüş görülürken köklerde daha yüksek seviyelerde bulunur (Nayyar ve Walia, 2003). Potasyum ise su dengesi, stoma hareketi ve kuraklık direnci için kritik olup, K^{+} eksikliği kuraklık stresine karşı direnci düşürür (McWilliams, 2003). Azot metabolizmasındaki bozulmalar da bitki performansını olumsuz etkileyerek nitrat alımında ve nitrat redüktaz aktivitesinde azalmaya neden olur (Ashraf ve Iram, 2005).

1.2.4. Bitki Büyümesi ve Verimliliği

Kuraklık stresi, bitkilerde su içeriğinin azalması, yaprak su potansiyelinin düşmesi ve turgor kaybıyla kendini gösterir. Bu koşullar, stomaların kapanmasına ve hücre büyümesinde azalmaya yol açar. Şiddetli su stresi, fotosentezin durmasına, metabolik bozulmalara ve sonuç olarak bitkinin ölümüne neden olabilir (Jaleel ve ark 2008). Bitkiler, su kaybını en aza indirmek amacıyla stomalarını kapalı tutma eğilimindedir; ancak bu, gaz değişimini kısıtlayarak fotosentetik verimliliğin düşmesine sebep olur (Flexas ve ark., 2004). Fotosentez, bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli olan şekerlerin sentezlenmesinde tek kaynaktır (Chaves ve ark., 2009). Kuraklık koşullarında süperoksit ve hidroksil radikalleri gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretilmesi, fotosentetik yapının hasar görmesine yol açabilir (Kuru, 2017).

Yapraklarda karbon metabolizmasında önemli bir rol oynayan Rubisco, Calvin döngüsünde karboksilaz ve fotorespirasyonda oksijenaz olarak görev yapmaktadır. Araştırmalar, kuraklık stresi sırasında ribuloz 1,5-bifosfat (RuBP) ve Rubisco protein seviyelerindeki düşüşün, enzimin aktivitesinin azalmasına yol açtığını ve bu durumun kuraklığa maruz kalan bitkilerde fotosentetik CO_2 asimilasyonunu engelleyerek büyüme ve verimde azalmaya neden olduğunu göstermektedir (Flexas ve Medrano, 2002). Ayrıca, kuraklık stresi fotosentez sırasında hem döngüsel hem de döngüsel olmayan elektron taşıma süreçlerini olumsuz etkiler. Elektron taşıma hızındaki azalma, fotofosforilasyon sürecini olumsuz yönde etkileyerek ATP sentezini ve $NADP^{+}$ 'ın indirgenmesini azaltır. Su eksikliği, ATPaz inhibisyonuna neden olarak kloroplastlardaki ATP seviyelerinin

düşmesine sebep de olur. Tüm bu etmenler, su stresi altında fotoasimilasyonun yoğunluğunu ve fotosentetik sistemin stabilitesini olumsuz bir şekilde etkiler (Büyük ve ark., 2012).

1.2.5. Protein Sentezi

Kuraklık koşulları, bitki proteinlerinde hem nicel hem de nitel değişikliklere yol açar. Genel olarak, kuraklık sırasında protein seviyeleri, genellikle baskılanmış sentez nedeniyle belirgin bir şekilde azalır. Kuraklık stresi, gen ekspresyonunu etkileyerek proteinlerin ve mRNA'ların sentezini değiştirir. Bu strese yanıt olarak, başlıca dehidrinler, proteazlar, çeşitli osmoprotektanların biyosentezine katkıda bulunan enzimler ve detoksifikasyon enzimleri (SOD, KAT, APX, POD, GR) sentezlenir. Ayrıca, sinyal iletimi ve gen ekspresyonunun düzenlenmesinde rol oynayan protein faktörleri, örneğin protein kinazlar ve transkripsiyon faktörleri da üretim aşamasındadır. Bu stres tepkisi proteinlerinin çoğu, su stresi altında olan fidelerde ve birçok yüksek bitkinin tohum üretimi ile embriyo olgunlaşması sürecinde biriken dehidrin benzeri proteinlerdir. Bu proteinler, makromoleküler stabilizasyon için gerekli olan hidrofobik etkileşimleri sağlamak üzere yüksek derecede korunmuş bir etki alanına sahiptir (Bray, 1993).

1.2.6. Solunum

Solunum, bitkilerin büyümesini ve verimini olumsuz etkileyen ciddi su eksikliğinden etkilenen bir başka önemli fizyolojik süreçtir. Kuraklık stresi koşullarında, yaprak genişlemedeki azalma, fotosentetik mekanizmalardaki bozulmalar, erken yaprak yaşlanması, protein yapılarına yönelik değişiklikler, kloroplast pigmentlerinin ve lipidlerinin oksidasyonu gibi faktörler, bitkilerin gaz değişim parametrelerini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Bu süreçler, su stresinin bitki sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini artırarak genel büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkilemektedir (Muhammad ve ark., 2023).

Fotosentezin yanı sıra, bitkilerin tüm organları tarafından sürekli olarak gerçekleştirilen gaz değişim süreçleri, bitkilerin büyümesi ve hayatta kalmaları için gerekli olan solunum faaliyetlerini sağlar. Solunum yoluyla kaybedilen karbonhidrat miktarı, bitkinin genel metabolik etkinliğini belirleyen önemli bir faktördür. Solunum hızı genellikle kullanılan solunum ürünlerine bağlı olarak ayarlanır. Stres koşulları altında ATP, NADH ve Krebs döngüsüne ait bileşenlerin seviyelerinin düşmesi, bitkilerde solunum hızının azalmasına neden olur; bu durum bitkinin büyüme ve hayatta kalma yeteneklerini olumsuz yönde etkiler (Millar ve ark., 2010).

1.2.7. Kuraklık Stresinin Oksidatif Etkileri

Bitkilerdeki oksidatif stres, çeşitli çevresel stres koşulları altında aşırı miktarda üretilen reaktif oksijen türlerinin (ROT) varlığını kapsar. Bu türler arasında tekil oksijen ($^1\text{O}_2$), süperoksit radikali ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($\text{OH}^{\cdot}$) bulunmaktadır. Reaktif oksijen türleri, hücrelerdeki makromoleküllerle, örneğin, membranlar, proteinler, lipidler, karbonhidratlar ve nükleik asitlerle etkileşime girerek hücresel metabolizmayı olumsuz yönde etkiler ve kuraklık stresi koşullarında hücresel hasar meydana getirir (Smirnoff, 1993).

Kuraklık, ışığın emilimi ile kullanımı arasında dengesizlik oluşturarak yapraklardaki fotosentez sürecini olumsuz etkiler. Bu durum, elektronların üretimi ve tüketimi arasında da bir uyumsuzluk yaratır. Fotosentetik sistemde aşırı ışık enerjisinin birikmesi, reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna yol açar. ROT üretimi, hücrelerdeki işlevsel ve yapısal makromoleküllerin denatürasyonuna neden olarak, DNA bozulması, amino asitlerin, proteinlerin ve fotosentetik pigmentlerin oksidasyonu, ayrıca lipid peroksidasyonu gibi zararlı etkilere yol açabilir. Stres altında ROT üretiminin artışı lipidlerin peroksidasyonuna, proteinlerin oksidasyonuna, nükleik asit hasarına ve enzim inhibisyonuna neden olur (Yanık ve ark., 2018).

Suyun sınırlı olduğu koşullarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin başlıca kaynağının kloroplastlarda gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri olduğu düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlandığında, bitkiler genellikle stomalarını kapatarak su kaybını önlemeye çalışır; bu durum, fotosentez için gerekli olan karbondioksitin (CO_2) alımını kısıtlayarak ışık verimliliğini azaltır. Sonuç olarak, fotosentezdeki elektron akseptörü NADP^+ miktarı azalır ve ferrodoksin, NADP^+ yerine oksijeni indirgemeye yönelir. Bu durum, PS I'deki elektronların oksijene transferi sonucu reaktif süperoksit radikallerinin ($\text{O}_2^{\cdot-}$) üretimiyle sonuçlanır (Mehler reaksiyonu). Oluşan reaktif oksijen türleri, hücresel makromoleküllerle doğrudan veya dolaylı olarak etkileşime girerek oksidatif stres meydana getirebilir (Mehler, 1951; Mittler, 2002).

Birçok bitki türünde kuraklık stresi altında artan süperoksit ($\text{O}_2^{\cdot-}$) üretim hızı, lipid peroksidasyonuna ve yağ asidi doymunluğuna yol açarak membranların bütününe zarar verebilir (Sgherri ve ark., 1996).

1.3. Kuraklık Direnç Mekanizmaları

Bitkiler, kuraklık koşullarına uyum sağlamak amacıyla çeşitli fizyolojik, biyokimyasal, anatomik ve morfolojik değişiklikler gösterirler. Kuraklığa bitkilerin verdiği tepkiler, oldukça karmaşık bir süreç olup, zararlı ve adaptif değişiklikleri içermektedir. Bu karmaşıklık, bitki türleri, çeşitliliği, topraktaki su tüketiminin dinamikleri, su eksikliğinin süresi ve yoğunluğu, atmosferden gelen su talebindeki değişiklikler, çevresel koşullar ve bitkinin gelişim aşaması gibi birçok faktörden kaynaklanmaktadır.

Kurak bölgelerde, karasal bitkiler, şiddetli su stresine direnmek için çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Kapalı tohumlu bitkilerde, su eksikliğini önlemenin en yaygın yolu çimlenme zamanlamasının kontrolüdür. Örneğin, kaktüsler su depolamak amacıyla doku modifikasyonlarına sahipken, Eucalyptus türlerinin kökleri mevcut su kaynaklarına ulaşmak için toprağın derinliklerine inebilir. Bu örnekler, yaprak ve gövde gibi vejetatif organlardaki değişiklikleri de içeren su kaybını önleme stratejilerini göstermektedir (Sgherri ve ark., 2002).

Kuraklık koşullarında bitkiler, üretkenliğini artırmak için organlarının ve hücrelerinin morfolojisini, fizyolojisini ve metabolizmasını optimize eder. Su stresine tepkiler, stresin yoğunluğu, süresi, bitki türü ve gelişim aşamasına bağlı olarak farklı organizasyon düzeylerinde önemli ölçüde değişiklik gösterir. Bitkiler, stres kaynaklı kayıpları en aza indirmek için belirli morfolojik ve fizyolojik değişiklikler gerçekleştirir ve bu türler arasında, hatta türler içinde önemli bir esneklik gözlenmektedir. Kuraklık altında yaygın bir olgu olarak azalan biyokütle, bitki organlarının farklı etkilenme şekilleri nedeniyle değişiklik gösterir (Shen ve ark., 2012).

Bitkilerin stres direncini iki ana gruba ayırmak mümkündür: stres toleransı ve stresten kaçınma. Kuraklıktan kaçınma, bitkinin kuraklık koşulları altında yüksek bir su durumunu veya hücrel hidrasyonu sürdürebilme yeteneğidir (Blum A., 2005). Bu mekanizma, bitkilerin ya topraktan daha fazla su emerek ya da terlemeyi azaltarak gerçekleşir (Blum A, 2005). Kuraklıktan kaçınma genellikle azalan stomal iletkenlik, küçülen yaprak alanı, yaygın kök sistemlerinin gelişimi ve kök/gövde oranlarının artışı gibi morfolojik değişikliklerle sağlanır (Lei ve ark., 2006). Artan stomal ve kütiküler direnç, daha küçük stomalar, daha az yaprak alanı ve yaprak kıvrılması gibi özellikler, stres koşullarında su tasarrufu yapmak amacıyla terlemeyi en aza indirmek için önemli kuraklıktan kaçınma stratejileridir (Sinclair ve Muchow, 2001; Wang ve Yamauchi, 2006; Sağlam ve ark., 2014). Ancak, azalan yaprak alanı ve bitki boyu, sınırlı su kullanımı için

avantaj sağlasa da aynı zamanda bitkilerinin ürün verimliliğinin düşmesine neden olabilir (Sinclair ve Muchow, 2001).

Diğer taraftan, kuraklık toleransı, bitkinin düşük doku suyu potansiyellerinde bile normal işlevlerini sürdürebilmesini sağlayan dokuya özgü fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarla elde edilen bir kararlılık durumudur. Kuraklık koşullarına dayanıklı bitkiler, dehidrasyon sürecinde su ilişkisi, biyokimyasal ve fizyolojik süreçler, zar yapısı ve hücre altı organellerin yapısında önemli değişiklikler yaşar. Bu bitkiler, suyu daha verimli kullanmak için stomaların kapanması, dokuların kısmen yaşlanması, yaprak büyümesinin azalması, su depolama organlarının gelişimi ve kök uzunluğu ile yoğunluğunun artması gibi stratejileri benimserler (Özer ve Sade, 1995).

Kuraklık stresine yönelik bitkilerin erken tepkileri, genellikle hayatta kalma süresini uzatmaya yardımcı olur. Bitkinin kuraklığa uyum sağlaması, kuraklık koşullarında işleyişini iyileştiren bazı yeni metabolitlerin birikimi ile gözlenir. Bitkiler, ozmotik ayarlama gibi belirli fizyolojik aktivitelerle şiddetli dehidrasyona dayanabilirler (Luo, 2010). Suya verilen tepkilerin temel yönleri, homeostazın korunması (iyonik denge ve ozmotik ayarlama), antioksidan savunma sisteminin yanı sıra fitohormonların dinamik değişikliklerini içerir (Verslues ve ark., 2006).

1.3.1. Osmotik Ayarlama

Kurak ortamlarda su kıtlığı, bitkilerin doku su durumunu ve turgorunu azaltarak büyüme ve üretkenliklerini olumsuz etkiler (Kiani ve ark., 2007). Bu koşullar altında, bitkiler osmotik ayarlama veya osmoregülasyon olarak adlandırılan bir mekanizma ile organik ve inorganik çözücüler biriktirerek kuraklığın zararlı etkilerini hücresel düzeyde en aza indirmeye çalışırlar (Blum, 2005). Osmotik ayarlama, yaprak turgorunun korunmasına yardımcı olarak stoma iletkenliğini artırır, böylece verimli CO₂ alımını destekler (Kiani ve ark., 2007) ve köklerin su alma kapasitesini artırır (Chimenti ve ark., 2002). Düşük moleküler ağırlığa sahip çözünen maddeler olan ozmoprotektanlar, homeostazı düzenleyerek turgor basıncını korumaya yardımcı olmanın yanı sıra hücresel enzimleri ve makromolekülleri reaktif oksijen türlerinin (ROT) zararlarından korurlar (Farooq ve ark., 2009). Kuraklık koşullarında, serbest prolin, serbest amino asitler ve glisin-betain gibi uyumlu çözücülerin birikimi, bitkilerin fizyolojik tepkileri arasında yer alır (Farooq ve ark., 2009).

Prolin, su stresine maruz kalan bitkilerde özellikle genç yapraklarda önemli bir uyumlu çözüdür olup; yüksek seviyelerde bulunması, bitkilerin düşük su potansiyellerini korumasına olanak tanır. Bu amino asit, osmoregülasyonun yanı sıra osmotik strese karşı

koruma sağlayan bir madde olarak da değerlendirilebilir (Sankar ve ark., 2008). Prolin, hücreselin ozmotik potansiyelini koruma ve şiddetli dehidrasyondan korunma konularında kritik bir rol oynar. Yüksek prolin seviyeleri, kuraklığın olumsuz etkileriyle başa çıkma yeteneğini artırır ve ROT'un hücelere verdiği zararı azaltır; bu nedenle, prolin seviyesinin yüksekliği, bitkilerin kuraklığa dayanıklılığı ile doğrudan ilişkilidir (Anjum ve ark., 2011). Diğer amino asitlere kıyasla, prolin su eksikliği koşullarında daha yüksek konsantrasyonlarda birikir (Zhang ve ark., 2009) ve hücrel redoks potansiyelinin tamponlanmasında önemli bir rol oynar (Kaur ve Asthir, 2015). Glisin-betainin (GB) osmoregölasyondaki işlevinin yanı sıra fotosentetik maddenin işlevsel proteinlerini, enzimlerini ve lipidlerini koruduğu ve tilakoid zarlarındaki elektron akışını sürdürdüğü gösterilmiştir (Xing ve Rajashekar, 1999). Bu nedenle, yapraklarda antioksidan enzimlerin artan aktivitesi ile birlikte çeşitli organik ve inorganik çözücülerini biriktirerek gerçekleştirilen ozmotik ayarlama, kuraklığa duyarlı bitkilerin zorunlu fizyolojik adaptasyonları arasında yer alır (Lei ve ark., 2006). Bu adaptasyonlar, bitkilerin kuraklık koşullarına daha dayanıklı hale gelmelerine ve bu süreçte zarar görmelerini en aza indirmelerine olanak tanır. Ayrıca, birçok çalışma, ozmotik uyum ile bitki büyümesi ve verimi arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Guóth ve ark., 2010).

1.3.2. Antioksidan Savunma Sistemi

Kuraklık koşullarında sınırlı su kaynağı, reaktif oksijen türlerinin (ROT) aşırı üretimini teşvik ederek oksidatif stresi artırır. Bu durum, stomaların kapanmasıyla birlikte azalan CO₂ akışına ve dolayısıyla enzim ve fotosentez etkinliğinin düşmesine yol açar. Sonuç olarak, O^{2•-}, H₂O₂, OH[•] ve ¹O₂ gibi çeşitli ROT'lar oluşur (Lawlor ve Cornic, 2002). Bitkiler, oksidatif stresin neden olduğu zararlı etkileri en aza indirmek ve metabolik aktivitelerini sürdürmek için hem enzimatik hem de enzimatik olmayan savunma mekanizmalarını devreye alırlar (Horvath ve ark., 2007). Enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (KAT), peroksidaz (POD), glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) bulunurken, enzimatik olmayan antioksidanlar arasında askorbik asit, α-tokoferol, indirgenmiş glutatyon, β-karoten, poliaminler, salisilatlar, prolin ve glisin-betain (GB) gibi uyumlu çözücüler yer alır. Bu bileşikler, kuraklık stresi altında bitkilerde oksidatif zararlara karşı korunma sağlamak amacıyla üretimlerini artırır (Scandalios, 2005).

ROT üretimi ile antioksidan enzim aktiviteleri arasındaki denge, oksidatif sinyalleşmenin gelişimi ve hasarın oluşup oluşmayacağını belirler (Møller ve ark., 2007). Enzimatik olmayan antioksidanlar, oksidatif stres altında fotosentetik membranların

bütünlüğünü korumak amacıyla iş birliği içinde çalışırlar. Enzimatik bileşenler, doğrudan ROT'u temizlemek veya enzimatik olmayan bir antioksidan üretmek suretiyle etkili olurlar. Bitki hücrelerinde $O^{2\cdot-}$ ve H_2O_2 'nin etkin bir şekilde yok edilmesi, antioksidanların uyumlu etkilerini gerektirir. $O^{2\cdot-}$, kloroplast, mitokondri, sitoplazma ve peroksizomda SOD tarafından H_2O_2 'ye dönüştürülebilir. Bunun ardından, POD, SOD tarafından katalize edilen $O^{2\cdot-}$ dismutasyonundan elde edilen H_2O_2 'nin temizlenmesinde kritik bir rol oynar. Katalaz (KAT), mitokondri ve mikrocisimlerde H_2O_2 'yi ortadan kaldıran ana enzimdir (Shigeoka ve ark., 2002) ve böylece oksidatif stresin olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olur. Peroksizomlarda yer alan KAT, stres koşulları altında H_2O_2 'nin ayrıştırılmasında vazgeçilmez bir bileşen olarak kabul edilir.

Antioksidan enzim aktivitelerinin yüksek seviyelerde tutulması, bitkilerin oksidatif hasara karşı direnç kapasitesini artırarak kuraklık stresi etkilerini azaltabilir (Sharma ve Dubey, 2005). Bu enzimlerin, reaktif oksijen türlerini etkili bir şekilde temizleme ve dolayısıyla bu türlerin zararlı etkilerini azaltma potansiyeli, bitkilerin kuraklık koşullarına karşı direncinin önemli bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Özellikle süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz gibi antioksidan enzimler, bitki hücrelerinde aşırı ROT birikimini kontrol altına alarak hücrel dengeyi sağlar. Bu enzimlerin aktivite düzeyleri, kuraklık stresinin yoğunluğu ile ilişkilidir; zira bu enzimlerin yüksek seviyelerde bulunması, bitkilerin stres altında daha iyi işlev göstermesini destekler. Örneğin, kuraklık koşulları sırasında, hücrel su kaybı ve turgor kaybı gibi stres faktörlerine karşı bu enzimlerin artırılmış aktiviteleri, fotosentetik mekanizmaların ve genel metabolizmanın korunmasına yardımcı olur. Bu durum, hem hücre içindeki biyolojik süreçlerin devamlılığını sağlarken hem de bitkilerin kuraklığa adaptasyon yeteneğini artırır. Böylece, antioksidan enzimlerin işlevselliği, bitkilerin çevresel stres koşullarına karşı dayanıklılığını pekiştiren temel unsurlardan biri haline gelir (Kireççi, 2018).

1.4. Fizyolojik Değişiklikler

1.4.1. Transpirasyonun Azalması

Su stresi koşullarında, bitkilerin stomaları kapanma eğilimi gösterir ve bu durum, transpirasyon oranında bir azalmaya yol açar. Su stresinin etkisi altında, stomaların kapanmasına katkıda bulunan mekanizmalar, absisik asit (ABA) hormonunun birikimi, potasyum (K) iyonu seviyeleri ve bekçi hücrelerinin turgor basınçları ile ilgili faktörleri içermektedir. Su stresi yaşayan bitkilerde, stoma hücrelerindeki ABA konsantrasyonu artış göstermekte, bu da suda çözünmeyen nişasta birikimine ve potasyum iyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Bazı genler kuraklık stresine oldukça hızlı cevap verirken; diğerleri ABA birikiminden sonra, yavaş olarak teşvik edilmektedir. Sonuç olarak, osmotik basıncı düşen stoma hücreleri, turgor basıncını kaybederek kapanma sürecine girmektedir (Kalefetoğlu, 2005).

1.4.2. Osmotik Düzenleme

Su stresi altında kalan bitkiler, hücre turgorlarını sürdürebilmek amacıyla içerdikleri bazı organik çözeltileri biriktirerek osmotik potansiyellerini dengelemeye çalışırlar. Bu durumda, çözünür karbonhidratların artışı önemli bir rol oynamaktadır. Bu maddeler arasında şekerler (glikoz, sukroz gibi), aminoasitler (prolin gibi), malat ve diğer düşük molekül ağırlıklı bileşenler yer alır. Bu bileşenlerin birikimi, hücrelerin osmotik basıncını artırarak daha fazla su tutmalarını sağlar. Kuraklık stresine cevap olarak oluşturulan osmotik düzenleme, osmolitlerin sentezinde görev alan spesifik enzimler (prolin-5- karboksilat sentetaz, prolin-5-karboksilat redüktaz, betain aldehid dehidrogenaz, kolin monooksidaz gibi) ile sağlanmaktadır (Kalefetoğlu, 2005).

1.4.3. Fotosentezin Azalması

Su stresi, fotosentez süreçlerini doğrudan (stomaların kapanması ve kloroplastların işlevselliği) ve dolaylı yollarla (metabolik değişiklikler ve oksidatif stres) etkileyerek bitkilerin enerji üretim potansiyelini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Fotosentez sürecinde, kloroplastlar bitki hücrelerinde bulunan ve ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren organeller olarak görev yapar. Fotosentez, ışık bağımlı reaksiyonlar ile ışık bağımsız reaksiyonları (Calvin döngüsü) içeren bir biyokimyasal süreçtir. Bu süreçlerde kritik rol oynayan enzimler, ATP ve NADPH üretimini destekler ve karbon dioksidi organik moleküllere dönüştürür. Örneğin, ribuloz bifosfat karboksilaz/oksijenaz (RuBisCO) enzimi, karbon dioksidin ribuloz bifosfat ile karboksilasyonunu katalize eder. Enzimlerin

etkinliğindeki azalma, karbon fiksasyonunun verimliliğini düşürür ve dolayısıyla organik bileşiklerin sentezini kısıtlar. Kloroplastlardaki bu biyokimyasal bileşenlerin etkinliğindeki düşüş, bitkinin fotosentetik kapasitelerini ve genel metabolik verimliliğini de etkiler (Kutlu, 2010).

1.4.4. Stomaların Sınırlanması

Kuraklık sırasında bitkilerin stomalarını kapatmalarına neden olan iki temel etken, hidrolik sinyaller (yaprak su potansiyeli, hücre turgoru) ve kimyasal sinyaller (absisik asit)'dir (Kalefetoğlu, 2005). Su noksanlığı döneminde, stoma bekçi hücrelerinin turgor kaybının bir sonucu olarak stomalar kapanmakta ve buharlaşma azalmaktadır (Öztürk ve Akşen, 1996). Stomalar, yaprakların alt ve üst epidermislerinde bulunan ve gazların (karbondioksit ve oksijen) değişimi ile su buharlaşmasını düzenleyen yapılar olduğundan, onların açılıp kapanması bitkilerin hayatta kalması için kritik öneme sahiptir. Stoma hücreleri, suyun ve iyonların girişini kontrol eden bir mekanizmaya sahiptir. Bu mekanizma stomalardaki turgor basıncı ve hormonal kontrolle sağlanır:

- *Turgor Basıncı:* Stoma hücrelerinin su alarak genişlemesi sonucunda stomaların açılmasına olanak tanır. Su kaybı meydana geldiğinde, hücre içindeki su miktarının azalmasıyla birlikte özel hücreler büzülür ve bu durum stomaların kapanmasına yol açar
- *Hormonal Kontrol:* Kuraklık stresine uğrayan bitkilerde stoma hücrelerinde ABA miktarı artmakta, bunun sonucu olarak suda çözünmeyen nişasta oluşmakta ve K iyonu azalmaktadır (Kutlu, 2010).

1.5. Kuraklık Stresinin Moleküler Düzeyde Etkileri

Su stresi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine zemin hazırlayarak oksidatif stresin seviyelerini artırır. ROS miktarındaki bu artış sonuçta hücre membranlarında hasar, hücre içi proteinlerin yapı ve fonksiyonlarında bozulma ve DNA'da yapısal hasar meydana getirerek hücre zedelenmesine yol açar (Özcan ve ark., 2015). Biyolojik membranlarda meydana gelen peroksidasyon membran akışkanlığında bozulma, membran potansiyelinde azalma, membranların H^+ ve diğer iyonlara karşı geçirgenliğinde artışa yol açarak membranların bozulmasına ve organel içeriğinin sitoplazmaya salınmasına sebep olur (Özcan ve ark., 2015). Hücre içindeki protein yapıları, oksidasyon süreçlerine maruz kaldıklarında yan zincirlerinde (prolin, arginin, lizin ve treonin gibi) karbonil gruplarının oluşumunu tetikler. Protein karbonil bileşenleri, α -amidasyon yolları ve glutamil yan zincirlerinin oksidasyonu neticesinde proteinlerin parçalanması ile de

meydana gelebilir. Bunun yanı sıra, protein yan zincirleri üzerindeki sistein, histidin ve lizin kalıntıları, lipid peroksidasyonu sonucu oluşan aldehitler örneğin, malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenal (HNE)), indirgeyici şekerler tarafından oluşturulan karbonil bileşikler (ketoaminler ve ketoaldehitler) ve proteinlerin lizin kalıntıları oksidasyon ürünleri (glükasyon ve glükoksidasyon) ile meydana gelen ikincil reaksiyonlar sonucunda da karbonil grupları oluşturabilir. Sonuç olarak hücre hasarı veya hücre ölümü meydana gelir. Bitkiler, oksidatif strese karşı çeşitli adaptif mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalar arasında, reaktif oksijen türlerini dengelemeyi amaçlayan antioksidan savunma mekanizmaları öne çıkmaktadır. Bitkiler, reaktif oksijen türlerinin seviyelerini düzenlemek amacıyla abscisic acid (ABA) ve süperoksid dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz ile katalaz gibi çeşitli enzimleri sentezleme sürecine girerler. Yüksek ABA asimilasyonuna sahip genotipler, daha iyi su kullanım etkinliğine ve daha düşük stomal geçirgenliğe de sahip olmuşlardır (Öztürk ve Akten, 1996). Bu enzimler, reaktif oksijen türlerinin daha az reaktif formlara dönüşümünde önemli işlevler üstlenmektedir. ROS, DNA ile etkileşime girerek DNA'nın yapısal bütünlüğüne zarar verir ve genetik mutasyonlara yol açabilir. Kuraklık stresıyla artan RNase enzim aktivitesi, nükleik asit parçalanmasına neden olduğu gibi, ribozomları tutan messenger RNA'yı da tahrip ederek poliribozom içeriğini azaltır (Kutlu, 2010).

1.5.1. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar

1.5.1.1. Askorbik asit (Vitamin C)

Askorbik asit, bitkilerde serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini nötralize ederek hücresel hasarı önler ve böylece oksidatif stresle başa çıkmalarına yardımcı olur. Ayrıca, bitkilerde kolajen ve lignin gibi önemli yapısal proteinlerin sentezinde rol oynar ve kloroplastlar ile diğer hücresel organellerin stabilizasyonunu destekler. Fotosentez sürecinde, özellikle ışık bağımlı reaksiyonlarda, askorbik asit, reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini azaltarak fotosentetik verimliliği artırır. Bu şekilde, bitkilerin çeşitli çevresel stres faktörleriyle etkili bir şekilde başa çıkmalarına katkıda bulunur (Pavet ve ark., 2005).

1.5.1.2. Tekoferoller (Vitamin E)

Tokoferoller, bitkilerde lipofilik yapıda olan ve serbest radikaller ile reaktif oksijen türlerinin etkilerini nötralize eden etkili antioksidanlardır. Bu özellikleri, hücre zarlarını oksidatif stres ve lipid peroksidasyonundan koruyarak bitkilerin yaşlanma ve çevresel stres koşullarına karşı dirençlerini artırır. Ayrıca, tokoferoller bitki hücre zarlarındaki lipidlerin oksidatif hasarını engelleyerek zarların bütünlüğünü ve fonksiyonelliğini muhafaza eder. Fotosentez sürecinde, kloroplastlarda meydana gelen reaktif oksijen türlerini nötralize ederek fotosentetik verimliliği artırır (Kavukçu, 2016).

1.5.1.3. Karotenoidler

Karotenoidler, serbest radikalleri ve reaktif oksijen türlerini etkili bir şekilde nötralize eden lipofilik antioksidanlar olarak işlev görürler. Su stresi koşullarında, bu antioksidan özellikler, hücresel oksidatif hasarı azaltarak lipitler, proteinler ve DNA gibi biyomoleküllerin oksidatif bozulmasını önlemeye yardımcı olur. Karotenoidler, lipidlerin oksidatif hasarını engelleyerek hücre zarlarının yapısal bütünlüğünü korur ve böylece hücresel stabiliteyi destekler (Havaux, 1998).

1.5.1.4. Glutatasyon

Glutatyon, indirgenmiş form (GSH) ve okside form (GSSG) olmak üzere iki temel formda bulunur. Su stresi altında, hücrelerde artan oksidatif stres, GSH'nin okside olmasına ve GSSG'nin birikmesine neden olur. Bu durumda, glutatyon redüktaz enzimi, GSSG'yi indirgenmiş GSH'ye geri dönüştürerek hücresel redoks dengesinin sürdürülmesine ve oksidatif stresin yönetilmesine katkıda bulunur (Foyer ve Noctor, 2011).

1.5.1.5. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, yüksek antioksidan kapasiteleri ile bilinir. Su stresi koşullarında, serbest radikaller ve reaktif oksijen türlerinin üretimi artış gösterir. Fenolik bileşikler, bu reaktif oksijen türlerini etkili bir şekilde nötralize ederek, hücrel oksidatif hasarı azaltır. Bu süreç, özellikle lipidler, proteinler ve DNA gibi hücrel bileşenlerin oksidatif hasarını önleyici bir rol oynar. Yapılan çalışmalarda; farklı çevresel faktörler ve stres koşulları altında fenilopropanoid metabolizmasında ve fenolik bileşik miktarlarında artış meydana geldiği gözlenmiştir (Büyük ve ark., 2012).

1.5.2. Enzimatik Antioksidanlar

1.5.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

SOD'lar olağanüstü katalitik etkinlikte çalışan metalloproteinlerdir (Büyük ve ark., 2012). Bitkilerde su stresi ile ilişkili oksidatif hasarın yönetiminde hayati bir antioksidan enzimdir. Bu enzim, süperoksit anyon radikallerini (O_2^-) oksijen (O_2) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) dönüştürür. Su stresi durumunda, bitkilerde serbest radikallerin üretimi artar ve süperoksit radikalleri bu artışta önemli bir rol oynar. SOD, bu reaktif oksijen türlerini etkili bir şekilde nötralize ederek hücrel oksidatif hasarı azaltır. Süperoksit radikallerini hidrojen peroksit dönüştürerek, SOD, hidrojen peroksitin birikimini kontrol eder. Daha sonra, hidrojen peroksit, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi diğer antioksidan enzimler tarafından detoksifiye edilir. Bu süreç, hücrel oksidatif dengenin korunmasına ve stres yanıtlarının etkin bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur (Dhanda ve ark., 2004).

1.5.2.2. Askorbat peroksidaz (APX)

Askorbat peroksidaz (APX), hidrojen peroksidi (H_2O_2) askorbat (vitamin C) kullanarak su (H_2O) ve dehidroaskorbat (DHA) şeklinde indirgeme reaksiyonunu katalize eder. Bu mekanizma, hidrojen peroksitin bitki hücrelerinde birikmesini önleyerek, bu bileşenin oksidatif zararlı etkilerini nötralize eder. Su stresi koşullarında, hidrojen peroksitin seviyeleri artış gösterir ve APX, bu bileşenin etkili bir şekilde detoksifiye edilmesinde önemli bir rol oynar. APX'nin indirgendiği dehidroaskorbat, hücrel ortamda yeniden indirgenerek aktif askorbata dönüşür, böylece antioksidan kapasitenin devamlılığını sağlar (Şahin ve Torun, 2024).

1.5.2.3. Katalaz (CAT)

Katalaz, hidrojen peroksidi (H_2O_2) suya (H_2O) ve oksijene (O_2) dönüştüren bir enzim olarak kritik bir rol oynar. Su stresi koşullarında, hidrojen peroksidin seviyeleri yükselir ve bu durum, hücrel bileşenlerde oksidatif hasarın ortaya çıkmasına neden olabilir. Katalaz, süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi diğer antioksidan enzimlerle birlikte çalışarak, bitkilerde oksidatif stresle başa çıkma konusunda kapsamlı bir antioksidan savunma mekanizması oluşturur (Aras ve ark., 2012). Blum ve Ebercon, sorgum için geliştirilen kuraklık ve sıcaklık toleransı testlerini buğdaya uyarladıkları çalışmada, buğday yapraklarının kuraklık toleransını, %40 PEG çözeltisi ile su stresine tabi tutulan yaprak disklerinde elektriksel iletkenlik ölçümleriyle değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, kuraklık toleransının bitkinin gelişim süresiyle azaldığını ve en iyi ayrımın, geç büyüme aşamasında elde edildiğini belirtmişlerdir (Blum ve Ebercon, 1981).

1.6. Önceki Çalışmalar

Monneveux ve Nemmar (1986), 1980'de 10 makarnalık, 1981'de 7 makarnalık ve 25 ekmeklik, 1983'de 6 makarnalık ve 19 ekmeklik buğday çeşidi ile tarla denemeleri yapmışlardır. Araştırmacılar yaprak prolin içeriğinin genel olarak yağışla ters, günlük en yüksek sıcaklıkla doğru orantılı olduğunu; ayrıca en yüksek prolin içeriğinin terleme direnciyle ters ilişkili olduğunu ve bu ilişkinin ekmeklik buğdayda daha güçlü olduğunu belirlemişlerdir. Kurak koşullarda en yüksek prolin makarnalık buğday çeşitlerinde prolin birikimi daha yüksek seviyelere ulaşmıştır ($350 \mu g g^{-1} YA$). Ekmeklik buğday çeşitleri yüksek ($205-280 \mu g g^{-1} YA$), düşük ($103-138 \mu g g^{-1} YA$) ve orta ($150-187 \mu g g^{-1} YA$) prolin biriktirenler olarak gruplandırılmıştır. Kuraklığa dayanıklı olduğu bilinen ve en yüksek prolin içeriğine sahip çeşitler arasında Bezostaya, Mahon Demias, Siete Cerros, Mexicano, INIA66 ve Arz (ekmeklik) ile Mohamed Ben Bachir, Polonicum, Oued Zenati ve Bidi 17 (makarnalık) yer almıştır. Çalışma sonunda kuraklığa dayanıklı ebeveynlerin seçiminde prolin birikiminin bir kriter olarak kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Monneveux ve Nemmar, 1986).

Öztürk ve Akten (1996) tarafından yapılan çalışmada, kurak koşullar altında buğday gelişimini ve verimliliğini etkileyen mekanizmalar incelenmiştir. Araştırma, kuraklıktan kaçma, kuraklıktan korunma ve kuraklığa tolerans olmak üzere üç ana başlık altında ele alınmıştır. Kuraklık stresinin buğdayın gelişme dönemine bağlı olarak, birim alandaki fertil başak sayısı, başaktaki başakçık sayısı ve başakçıkta oluşan çiçek sayısı

gibi faktörler üzerinde olumsuz etkiler yaratarak birim alandaki tane sayısını azalttığı bildirilmiştir (Öztürk ve Akten, 1996).

Heerden ve Villiers (1996), Güney Afrika'nın Batı Kap ilinde yetiştirilen ekmeklik buğday çeşitlerinde kuraklık stresi ve kuraklık toleransının bir göstergesi olarak prolin birikimini incelemişlerdir. Bu amaçla, bilinen kuraklık toleransına sahip iki çeşit (Gamtoos ve SST 66) ve kuraklık toleransı bilinmeyen iki çeşit (Nçiçeklenme ve SST 44) kullanmışlardır. Araştırmacılar kuraklık stresini, çiçeklenme öncesi ve çiçeklenme sırasında oluşturmuşlardır. Deneyleri, sıcaklık kontrollü bir cam serada gerçekleştirmişlerdir. Bitkiler ilk iki hafta boyunca otomatik olarak sulanmış ve daha sonra Hoagland besin çözeltisiyle gübrenmiştir. Yaprak disklerinde ozmotik stresin teşviki için kullanılan fideler ise büyüme odalarında yetiştirilmiştir. Tüm bitkilerdeki prolin birikimi, çiçeklenme öncesi dönemde belirgin genotipik farklılıklar göstermiştir. Gamtoos ve SST 44 çeşitleri, kuraklık stresinin ilk gününde prolin birikiminde en yüksek yüzdelik artışı göstermiştir. Gamtoos'ta %3537, SST 44'te ise %8126 oranında artış gözlenmiştir. Nçiçeklenme ve SST 66 çeşitlerinde ise prolin birikimi daha geç başlamış, Nçiçeklenme 5. günde %1123, SST 66 ise 3. günde %2380 oranında artış göstermiştir. Tüm stres dönemi boyunca, SST 44 çeşidi 6. günde %12641 ile en yüksek prolin birikimini gösterirken, SST 66 çeşidi 3. günde %2380 ile en düşük artışı göstermiştir. Gamtoos çeşidi 4. günde %10387 prolin biriktiren, SST 44 çeşidi 6. günde %9034 prolin biriktirmiştir. Gamtoos çeşidi için prolin birikimi ile kuraklığa tolerans arasında olumlu bir ilişki bulunmuştur. Yaprak disklerindeki prolin birikim modelleri ise bütün bitkilerle elde edilen sonuçlarla ilişki göstermemiştir (Heerden ve Villiers, 1996).

Sairam ve ark. (1997) bu çalışmada, nem ve/veya sıcaklık stresine duyarlılıkları farklı olan üç ekmeklik buğday genotipi (HD 2285, DL 153-2 ve Raj 3077) ile bir deney yürütülerek, antioksidan sistemin stres toleransına etkisi çiçeklenme aşamasında incelemiştir. Deneyde hem kuraklık stresi hem de sıcaklık stresi tüm genotiplerde glutatyon redüktaz ve peroksidaz enzimlerinin aktivitesini artırırken, membran stabilitesini, klorofil içeriğini ve klorofil stabilite indeksini azalttığı belirtilmiştir. Kuraklık stresi altında DL 153-2 genotipi en yüksek membran stabilite indeksi (%80), klorofil içeriği (2.22 mg g^{-1}), klorofil stabilite indeksi (%86.10), glutatyon redüktaz ve peroksidaz aktivitesini göstermiştir. Yüksek sıcaklık koşulları altında ise HD 2285 ve DL 153-2 genotipleri daha yüksek membran stabilitesi (HD 2285: %80, DL 153-2: %45), klorofil içeriği (HD 2285: 2.26 mg g^{-1} , DL 153-2: 2.06 mg g^{-1}) ve klorofil stabilite indeksi (HD 2285: %79.95, DL 153-2: %80.01) ile glutatyon redüktaz ve peroksidaz aktiviteleri sergilemişlerdir. Hem kuraklığa hem de sıcaklık stresine duyarlı olan Raj 3077 genotipi

ise en düşük membran stabilitesini, klorofil içeriğini (1.78 mg g^{-1}) ve klorofil stabilite indeksini (%58.08) göstermiş ve yüksek sıcaklıkların yanı sıra kuraklık koşulları altında da en düşük glutatyon redüktaz ($0.15 \text{ A}_{417} \text{ mg protein}^{-1} \text{ min}^{-1}$) ve peroksidaz aktivitesine ($0.18 \text{ A}_{470} \text{ mg protein}^{-1} \text{ min}^{-1}$) sahip olduğunu belirtmiştir (Sairam ve ark., 1997).

Dhanda ve arkadaşları (2004), 30 ekmeklik buğday genotipi ile yürüttükleri çalışmada su stresi koşullarının bitkisel özellikler üzerindeki etkilerini ve genotipler arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, genotipler arasında önemli farklılık gözlenirken, su stresi koşullarında bu değişkenliğin azaldığı tespit edilmiştir. Analizler, yaprak ozmotik membran stabilitesinin (%44.68) öne çıktığını; kök/sürgün oranı ve kök uzunluğunun ise diğer özelliklerle ilişkileri açısından ikinci sırada önem taşıdığını ortaya koymuştur. Tohum canlılık endeksi (SVI) ve bileşenleri (çimlenme yüzdesi (%63.3), kök (%53.8) ve sürgün uzunluğu (%63.9)) su stres altında önemli ölçüde azalmıştır. En büyük azalma (%85.8) SVI'de görülmüştür. Ancak, kök/sürgün uzunluğu oranı ozmotik stres altında %40 artış göstermiştir. Kök/sürgün uzunluğu oranının normal koşullar altında diğer özelliklerle zayıf ilişkiler göstermesinin, kuraklık stresi altında bitkinin kök bölgesinin önemli bir rol oynadığının göstergesi olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, yaprak segmentlerinin ozmotik membran kararlılığının, PEG-6000 kaynaklı su stresi altında önemli bir özellik olarak görüldüğü belirtilmiştir ve bu özelliğin kök uzunluğu ve kök/sürgün uzunluğu oranı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Dhanda ve ark., 2004).

Li ve ark. (2004), azot (N) ve su eksikliği koşullarında atmosferik CO_2 artışının bitki büyümesi ve buharlaşma üzerindeki etkilerini yazlık ekmeklik buğday olan Dingxi çeşidini kullanarak incelemiştir. Çalışmada, iki CO_2 konsantrasyonu, beş N gübre seviyesi ve iki sulama durumu (iyi sulanmış ve su stresi) uygulanmıştır. CO_2 artışı, terlemedeki azalmanın, yeterli N ve su ile sağlanan daha yüksek yaprak alanı nedeniyle artan evapotranspirasyonu dengelediğini göstermiştir. Azaltılmış N ve su koşullarında ise CO_2 'i zenginleştirmenin, yaprak büyümesi ve evapotranspirasyon üzerinde sınırlı etkisi olduğu belirlenmiştir (Li ve ark., 2004).

Yadav ve ark. (2004), ekmeklik buğdayın abiyotik stres tolerans mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla, PEG-6000 ile teşvik edilen osmotik stres altında altı farklı genotipin (üç tolerant, üç duyarlı) prolin sentez dinamiklerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Çalışmada kontrollü ortamda -4.0 ile -12.0 bar aralığında su potansiyel gradyanı oluşturulmuştur. Fide gelişiminin 72, 96 ve 120. saatlerinde, prolin birikim düzeyleri izlenmiştir. Hipertonik koşullarda (-12.0 bar) prolin konsantrasyonu, kontrol grubuna göre 4.2 kat artış göstermiştir. Tolerant K78 genotipinde 120. saatte ölçülen $18.7 \mu\text{mol g}^{-1}$

¹ değeri, duyarlı genotiplerden (KK8804: 5.3 $\mu\text{mol g}^{-1}$) istatistiksel olarak önemli farklılık sergilemiştir. Prolin birikim hızı, stres şiddeti ve süresiyle doğru orantılı bir ilişki göstermiştir. Araştırmacılar, serbest prolin birikiminin buğday fidelerinde kuraklığa dayanıklılık için bir ıslah kriteri olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur (Yadav ve ark., 2004).

Kalefetoğlu ve Ekmekçi (2005), bu çalışmada bitkiler için önemli bir çevresel stres faktörü olan kuraklık stresinin, bitkilerde metabolik, mekanik ve oksidatif birçok değişikliğe yol açtığını vurgulamaktadır. Kuraklığın etkisi, stresin yoğunluğuna, süresine, diğer stres türleri ile olan etkileşimlerine, maruz kalan bitkinin genotipine ve gelişim aşamasına bağlı olarak, bitkilerin kısıtlı çevresel koşullara adaptasyonunu sağlayan çeşitli fizyolojik (stoma kapanması, kök gelişimi, yaprak küçülmesi gibi), biyokimyasal (antioksidan, osmolit, ABA üretimi gibi) ve moleküler (gen ifadesi, sinyal yolları, epigenetik değişiklikler) yanıtları tetiklemektedir. Bu çerçevede, kuraklık stresine dayanıklılık gösteren bitki türlerinin tanımlanması, bu tolerans mekanizmalarının anlaşılması, kuraklığa dayanıklı bitkisel gen kaynaklarının korunması ve aktarılmasına yönelik araştırmaların önemi bildirmiştir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Song ve ark. (2005), Zimai 1 ekmeçlik buğday çeşidinde, abiyotik stres faktörlerinin (tuzluluk, su kısıtı ve yüksek sıcaklık) çimlenme fizyolojisi ve prolin birikimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tuzluluk ve su stresi artan iyonik stres (-0.2 MPa'ya kadar) çimlenme başarısını %42 oranında azaltırken, prolin konsantrasyonunda 1.8 kat artışa neden olmuştur. En iyi çimlenme (%78) ve protein üretimi 25°C'lik ideal sıcaklıkta gözlemlenmiştir. 30°C üzerindeki sıcaklıklarda fide biyokütlesinde %17'lik bir azalma tespit ettiklerini belirtmişlerdir. P5CS ve OAT enzimleri aktiviteleri düşük su potansiyelinde en yüksek seviyeye ulaşmasına rağmen, sıcaklık artışıyla birlikte azalma göstermiştir. 33°C veya hipertonic (-0.8 MPa) ön işlemlerin tetiklediği çapraz tolerans mekanizmasının, prolin metabolik yollarıyla doğrudan bir ilişkisi olmadığı belirlenmiştir. Prolin birikimi, -0,8 MPa'nın altındaki su potansiyelinde yavaş gerçekleştiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, stresin 4. günündeki prolin birikiminin ne hasar belirteci ne de direnç parametresi olarak kullanılamayacağını ortaya koymuştur. 33°C'de ön işlemde sonra çimlenen tohumlarda prolin seviyesinin düşmesi, hücre zarı hasarı nedeniyle prolinin ortama sızmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Song ve ark., 2005).

Khan ve ark. (2009), buğday genotiplerinin tuz toleransında prolin, K/Na oranı ve klorofil içeriklerinin etkilerini belirlemek amacıyla hidroponik çalışmalar yürütmüşlerdir. Tohumlar önce normal koşullarda, ardından yüksek tuzlulukta yetiştirilmiştir. Bitkiler,

1/4 oranında Hoagland çözeltisiyle sulanarak, 1.5 dS m⁻¹ ve 12.0 dS m⁻¹ tuzluluk seviyelerine ulaştırılmıştır. Bu çalışmada, tuzluluğun buğday genotipleri üzerinde sodyum (Na) içeriğini artırdığı gözlemlenmiştir. Bakhtawar (2.81 mg g⁻¹) ve V-7012 (2.74 mg g⁻¹) genotipleri en yüksek yaprak Na konsantrasyonuna sahipken, Lu-26, Sarsabz ve KTDH-22 daha düşük sodyum birikimi ile tuzluluğa karşı daha toleranslı bulunmuştur. Na'nın toksik etkileri ve onun K ile rekabeti dolayısıyla yüksek Na konsantrasyonu, K alımını olumsuz etkilemektedir. Tuzluluk altında buğday genotiplerinde K içeriği azalmakta ve K/Na oranı önemli bir kriter olarak belirlenmiştir. Lu-26s (1.05) en yüksek K/Na içeriğine sahip olan çeşittir. Ayrıca, klorofil içeriğinde azalma gözlenirken, prolin gibi ozmolitleme maddelerinin birikimi bu genotiplerde arttığı görülmüştür. Normal şartlarda; en yüksek prolin (4.93 µmol g⁻¹) ve klorofil (0.08 mg g⁻¹) içeriğine sahip olan Sarsabz çeşitidir. Kurak şartlarda da sırasıyla Sarsabz (22.77 µmol g⁻¹), Lu-26s (19.37 µmol g⁻¹) ve KTDH-22 (18.31 µmol g⁻¹) genotipleri, diğerlerinden daha yüksek prolin birikimi gösterirken, en yüksek klorofil içeriği Sarsabz (2.56 mg g⁻¹) ve Lu-26s (2.43 mg g⁻¹) tarafından korunmuş, ardından KTDH-22 gelmiştir. Yüksek prolin, K/Na oranı ve klorofil içeren genotiplerden daha yüksek verim alındığı; böylece, Lu-26s, Sarsabz ve KTDH genotiplerinin tuza karşı daha toleranslı oldukları bildirilmiştir (Khan ve ark., 2009).

Ciuca ve Petcu (2009) bu çalışmada, buğday ıslah programlarında kuraklık toleransının önemli bir ölçütü olarak kabul edilen membran stabilitesi ile kromozom 7A üzerindeki bazı SSR markörleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Wmc9, wmc596, wmc603 ve barc108 SSR markörlerinin su stresi sonrası hücre membran stabilitesi ile zayıf, ancak kuraklığa dayanıklı bireylerin seçiminde önemli bir ilişki içinde olduğu belirtilmiştir. İzvor ve Jiana ebeveynleri arasında membran stabilitesi bakımından önemli farklılıklar gözlenmiş ve bu melezlemeden elde edilen DH hatlarında %39.3 ile %90.2 arasında değişkenlik tespit edilmiştir. Xbarc108, Xbarc121, Xwmc9, Xwmc596, Xwmc603 ve Xgwm260 SSR primerleri arasında belirgin polimorfizm belirlenirken, bazı primerler polimorfizm göstermemiştir. Membran stabilitesi için yapılan varyans analizi, bazı lokusların önemli etkileri olduğunu gösterirken, bazılarında herhangi bir etki tespit edilmemiştir. İzvor ailelini taşıyan DH hatları, Jiana ailelini taşıyanlara göre daha az membran hasarı ve daha iyi stabilite sergilediğini belirtmişlerdir. Qgene programı ile yapılan analizler, membran stabilitesi için belirli QTL'lerin (kantitatif özellik lokusu) varlığını göstermektedir. Sonuç olarak, SSR markörlerinin su stresi sonrası hücre membran stabilitesi ile zayıf, ancak önemli ilişkili olduğu belirlenmiştir (Ciuca ve Petcu, 2009).

Keyvan (2010) bu çalışmada, ekmeklik buğday çeşitlerinin (Chamran, Marvdasht ve Shahriar) verim ve bazı fizyolojik özellikleri üzerindeki kuraklık stresinin etkilerini incelemiştir. Araştırmayı, 2007 ve 2008 yıllarında İran'ın Kermanshah kentinde, tarla koşullarında yürütmüştür. Deneme, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme deseninde, üç tekrarlamalı olarak düzenlenmiş; ana parsellerde üç farklı dönemde stres uygulaması sapa kalkma, gebeleşme ve tane dolumu başlangıcında ile alt parsellerde ise üç farklı çeşit yer almıştır. Sonuçlar, kuraklık stresinin artmasıyla birlikte buğday çeşitlerinde nispi su içeriği ve toplam klorofil içeriğinde azalma, prolin içeriğinde ise artış olduğunu göstermiştir. Charman çeşidi en yüksek prolin miktarı (17 mg g^{-1}) ve klorofil içeriği (%9) en az azalmayı gösterirken; Shahryar çeşidi en düşük prolin miktarı (13.8 mg g^{-1}) ve klorofil içeriğinde (%7) en fazla azalmayı göstermiştir. Chamran (%72) çeşidi, en yüksek bağıl su içeriğine sahip olurken, Shahryar (%68) çeşidi en düşük bağıl su içeriğine sahip olmuştur. Araştırmacı, çözünür karbonhidrat içeriğiyle ilgili belirgin bir eğilim gözlenmediğini bildirmiştir. Farklı buğday çeşitlerinin kuraklık stresine farklı tepkiler verdiği ve Chamran çeşidinin nispi su içeriği ve klorofil içeriğini daha iyi koruyarak kuraklığa karşı daha toleranslı bir tepki gösterdiği bildirilmiştir (Keyvan, 2010).

Yıldırım ve Bahar (2010), dört buğday genotipi ve altı F_2 yarı diallel melez döllerinin verim ve agronomik özellikleri üzerinde sıcaklık ve tuz stresinin etkilerini incelemiştir. 2002-2003 yetiştirme mevsiminde gerçekleştirdikleri çalışmada, ebeveyn çeşitler olarak 'Chil's', 'Genç 99', 'Seri 82' ve '84ÇZT04' kullanılmış; tuz stresi toprakta 4 g kg^{-1} NaCl uygulanarak sağlanmıştır. Sonuçlar, tuz stresi altında tane veriminde %12.6'lık bir azalma olduğunu ve biyolojik verimdeki azalmanın tane verimindeki azalmadan daha fazla olduğunu göstermiştir. Chil's ve Seri 82, stressiz ve tuz stresi koşullarında yüksek verim sergileyerek, Chil's'in tuza dayanıklılığını ortaya koymuştur. Chil's, tuz stresinde tane verimi için yüksek genel uyuma yeteneği etkisine sahipken, 84ÇZT04 en hassas çeşit olarak belirlenmiştir (Yıldırım ve Bahar, 2010).

Johari-Pireivatlou (2010), 2008 yılında Mugan bölgesinde çiçeklenme sonrası kuraklık stresinin buğdayda prolin birikimi ve verim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, dört ekmeklik buğday çeşidi (N-82-9, N-83-5, N-84-12, N-85-20) iki sulama rejimi altında (iyi sulanmış ve çiçeklenme sonrası kuraklık) değerlendirilmiştir. Bulgular, normal koşullarda prolin içeriği $5.03 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak belirlenmişken; su stresi koşullarında prolin içeriği $20.60 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Normal koşullarda toplam çözünür şeker (TSS) seviyesi 60 iken stres koşullarında 180 olarak artış göstermiştir. Tohum ile saman veriminde yaklaşık %25 azalma yaşandığını göstermiştir (Johari-Pireivatlou, 2010).

Bahar ve Yıldırım (2010), bazı yazlık ekmeklik buğday genotiplerini yağışa dayalı kuraklık tolerans etkinliği (DTE) ve kuraklık duyarlılık indeksi (DSI) parametrelerini kullanarak kuraklığa katlanmalarını değerlendirmiştir. Çalışma, 2002-2003 yetiştirme mevsiminde yüksek, 2003-2004 yetiştirme mevsiminde düşük yağış koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bulgular, DTE (%65-%98) ve DSI (0.077-1.761) değerleri bakımından genotipler arasında farklılık göstermiştir. Yüksek DTE ve düşük DSI değerlerine sahip genotipler kuraklığa dayanıklı, düşük DTE ve yüksek DSI değerleri olanlar ise kuraklığa duyarlı olarak belirlenmiştir (Bahar ve Yıldırım, 2010).

Akhkha ve ark. (2011), dört ekmeklik buğday genotipinin (Al-gaimi, Sindy-1, Sindy-2, Hab-ahmar) su stresine adaptasyon stratejilerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Kontrollü koşullarda yürütülen deneyde, genotiplerin fotosentetik kapasite, solunum dinamikleri ve osmolit sentez mekanizmaları üzerindeki stres etkilerini incelemiştir. Çalışma bulgularına göre, Al-gaimi genotipinin fotosentez hızında belirgin bir düşüş olmaksızın strese adapte olduğu, buna karşılık Hab-ahmar'da karanlık solunum oranının %27 artış gösterdiği tespit edilmiştir. Biyokimyasal analizler, stres altında prolin birikiminin tolerant genotiplerde (Al-gaimi: $15.8 \mu\text{mol g}^{-1}$) duyarlılara (Hab-ahmar: $4.2 \mu\text{mol g}^{-1}$) kıyasla 3.7 kat daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. ABA konsantrasyonundaki artışın ise genotipler arasında lineer bir korelasyon göstermediği, Al-gaimi'de sinyal molekülünün homeostatik kontrolle dengelendiği gözlenmiştir. Araştırmacılar, su stresi toleransının multigenik bir özellik olduğunu ve biyokimyasal parametrelerin fenotipik seçimde kritik rol oynadığını belirtmişlerdir (Akhkha ve ark., 2011).

Ahmed ve Hasan (2011) bu çalışmada, 20 buğday genotipinin yüksek sıcaklık stresine tepkisini incelemiştir. Tohumlar plastik saksılarda çimlendirilmiş ve sekiz gün boyunca büyüme kabinlerinde (25°C , 16 saat fotoperiyot, $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu ve %90 bağıl nem) büyütülmüştür. Fideler, normal koşullar altında (25°C) ve yüksek sıcaklık stresi altında (35°C) 48 saat boyunca tutulmuştur. Fideler membran hasarı ve prolin içeriği ölçülerek, genotiplerin sıcaklık toleransları belirlenmiştir. %50'den az membran hasarı gösteren genotipler ısıya dayanıklı (HT), %50'den fazla membran hasarı gösterenler ise sıcaklığa duyarlı (HS) olarak sınıflandırılmıştır. Yüksek sıcaklıkta (35°C) HT genotipleri, ($1.953 \mu\text{mol g}^{-1}$) prolin üretirken, HS genotipleri daha az ($1.535 \mu\text{mol g}^{-1}$) prolin üretmiştir. Düşük sıcaklıkta (25°C) HT genotipleri ($0.902 \mu\text{mol g}^{-1}$) prolin üretirken, HS genotipleri ($0.880 \mu\text{mol g}^{-1}$) prolin üretmiştir. 35°C 'deki fide prolin içeriği ile membran hasarı arasında olumsuz bir ilişki ($r=-0.619^{**}$) bulunduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, yüksek sıcaklık stresine maruz bırakılan buğday fidelerinde prolin içeriği

ve membran hasarı arasındaki ilişkinin, sıcaklık toleransı taramasında kullanılabileceği bildirilmiştir (Ahmed ve Hasan, 2011).

Kayabaşı (2011), A3935 soya çeşidinde kuraklık stresinin etkilerini ve prolin birikiminin rolünü 6, 9, 12, 15 ve 18 günlük kuraklık uygulamaları ile incelemiştir. Çalışmada, prolin birikiminin bitkiler için koruyucu bir mekanizma olarak işlev gördüğü ve kuraklık stresi ile prolin düzeyleri arasında olumlu bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Araştırmada, kurak koşullarda klorofil değeri $78.6 \mu\text{g mg}^{-1}$, MDA miktarı $70 \mu\text{g mg}^{-1}$, prolin miktarı $11.86 \mu\text{g mg}^{-1}$ iken normal koşullarda klorofil değeri $124.8 \mu\text{g mg}^{-1}$, MDA miktarı $46 \mu\text{g mg}^{-1}$, prolin miktarı $4.34 \mu\text{g mg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma ile soya bitkilerinin kuraklık stresine farklı düzeylerde yanıt verdiği ortaya konmuştur (Kayabaşı, 2011).

Yang ve ark. (2011), iki ekmeklik buğday çeşidin (Xihan ve Ningchun) kurşun ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) stresi altında antioksidan tepkileri ve prolin metabolizmalarını araştırmışlardır. Tohumlar yüzey sterilizasyonuna tabi tutulduktan sonra çimlendirilmiş ve kuvars kumu içeren saksılara ekilerek damıtma su ile sulanmıştır. Kuraklığa dayanıklı Xihan çeşidinin yapraklarındaki yapısal H_2O_2 süpürücü enzim aktiviteleri ve prolin içeriği, kuraklığa duyarlı Ningchun çeşidinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek kurşun konsantrasyonu her iki çeşitte de klorofil içeriğini azaltmış, ancak Ningchun çeşidi kurşun toksisitesine Xihan çeşidinden daha duyarlı olduğunu bulmuşlardır. Daha yüksek antioksidan enzim aktiviteleri ve önemli prolin birikimi, iki buğday çeşidine kurşun toksisitesine karşı koruma sağlayarak MDA içeriğinin değişmemesini sağladığını belirtmişlerdir. Enzim aktivitelerinin analizi, kurşun stresine oluşan prolin birikiminin Xihan fidelerinde ortinin aminotransferaz (OAT) ve glutamil kinaz (GK) aktivitelerinin ve Ningchun yapraklarında GK aktivitesinin artmasından kaynaklandığını göstermiştir. Bu nedenle, kurşun stresine maruz bırakılan iki buğday çeşidinde prolin düzeylerinin artması, prolin metabolizmasının farklı mekanizmasıyla alakalı olduğunu bildirmişlerdir (Yang ve ark., 2011).

Geravandi ve ark. (2011) bu çalışmada, bazı fizyolojik özelliklerin kuraklığa dayanıklı ekmeklik buğday genotiplerini belirlemedeki rolünü araştırmışlardır. Çalışmada, hücre zarı stabilitesi (CMS), prolin konsantrasyonu (PC), RWC, klorofil a/b oranı (Chl a/b), bağıl klorofil içeriği (RCC), ELWR ve bağıl su kaybı (RWL) gibi fizyolojik özelliklerin STI ile ilişkilerini incelemişlerdir. Deneyi, 2006-2007 yetiştirme mevsiminde, İran'ın Kermanshah kentindeki Razi Üniversitesi Ziraat Fakültesi uygulama alanında, iki farklı su ortamında (sulanan ve yağmurla beslenen) üç tekrarlamalı olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yürütmüştür. ELWR, RWL ve CMS'nin kuraklık

toleransı için buğday genotiplerinin seçiminde güvenilir göstergeler olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. STI ile ELWR arasında önemli olumlu ilişki, RWL ile STI arasında olumsuz ilişki ve CMS ile STI arasında önemli olumlu ilişki bulunmuştur. Bu durum ile kuraklığa dayanıklı genotiplerin daha yüksek ELWR ve CMS'ye ve daha düşük RWL'ye sahip olduğu öne sürülmüştür. PC ve RWC'nin de kuraklık toleransı ile ilişkili olduğu ancak bu ilişkinin daha az belirgin olduğu belirlenmiştir. RCC ve Chl a/b oranının ise kuraklık toleransı için güvenilir göstergeler olmadığı ortaya konmuştur. Diğer özelliklerin, kuraklığa dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği öne sürülmektedir (Geravandi ve ark., 2011).

Lonbani ve Arzani (2011) bu çalışmada, tritikalede terminal kuraklık stresine karşı genotipik tepkileri değerlendirmiş ve bu tepkileri morfo-fizyolojik özellikler kullanarak ekmeklik ve makarnalık buğday ile karşılaştırmıştır. Çalışmada, beş tritikale çeşidi ('Zoro', 'Moreno', 'Lasko', 'Prego' ve 'Alamos 83'), bir ekmeklik buğday çeşidi ('Roshan') ve bir makarnalık buğday çeşidi ('Osta-Gata') kullanılmıştır. Deneyler, her biri üç tekrarlamalı olacak şekilde hem kuraklık stresi hem de kontrol (iyi sulanmış) koşulları altında yürütülmüştür. Değerlendirilen morfo-fizyolojik özellikler arasında klorofil içeriği, RWC, ELWR, su kaybı oranı (RWL), başlangıç su içeriği (IWC), yaprak alanı, yaprak açısı, stoma sayısı, polen canlılığı, kılçık kuru ağırlığı ve kılçık uzunluğu bulunmaktadır. Zoro (%87), Prego (%85), Roshan (%77), ve Osta-Gata (%80), çeşitleri kuraklık stresi altında ELWR'lerini önemli ölçüde artırmıştır. RWL, kuraklık stresi altında ortalama %15.4 azalırken ELWR %3.89 artmıştır. Klorofil a (4.91 mg g^{-1}), klorofil b (17.35 mg g^{-1}) ve klorofil a+b (11.25 mg g^{-1}) ortalamaları artmış ve klorofil a/b (-14.95 mg g^{-1}) oranı ortalaması Lasko çeşidinde kuraklık nedeniyle azaldığını belirtmiştir ancak bu eğilim diğer genotiplerde tutarlı bir şekilde gözlenmediğini belirtmiştir. Triticale genotipleri arasında 'Lasko' ve 'Moreno' kuraklığa en dayanıklı, 'Prego' ise en duyarlı genotip olarak belirlenmiştir. (Lonbani ve Arzani, 2011).

Sayed ve ark. (2012), arpadaki PC ve yaprak solgunluğu (WS) özelliklerinin genetik kalıtımını inceleyerek, bu özelliklerle ilişkili QTL belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, ebeveynler Scarlett ve ISR42-8'in kuraklık stresi ve kontrol koşulları altında PC ve WS için önemli varyasyon gösterdiği belirlenmiştir. Scarlett çeşidi kuraklık stresi altında PC bakımından belirgin bir artış gösterirken; ISR42-8 daha az bir artış göstermiştir. S42 popülasyonunda, PC için, uygulamalar yıllar ve uygulama $\times$ yıl interaksyonu arasında önemli varyasyon bulunmuştur. WS için ise uygulama $\times$ yıl interaksyonu hariç, uygulamalar ve yıllar önemli varyasyonlar göstermiştir. 301 BC₂DH hatları arasında PC'nin kalıtım derecesi düşük bulunurken, WS için yüksek kalıtsallık (h^2

= 0.75) gözlenmiştir. QTL analizi sonucunda, PC için 3H, 4H, 5H ve 6H kromozomlarında dört QTL bölgesi belirlenmiştir. En güçlü etkiye sahip QTL olan QPC.S42.5H, 5H kromozomunda tespit edilmiş ve bu QTL'nin PC'de %54'lük bir artıştan sorumlu olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu çalışma ile arpadaki PC ve WS'nin genetik kalıtımına dair yeni bilgiler sunan bir QTL haritası ortaya koymuşlardır. Yüksek prolin birikiminin sadece Scarlett'in kuraklık hassasiyetini tanımladığı, ancak kuraklık toleransında yüksek prolin içeriğinin öneminin kuraklıktan sonraki toparlanma sürecindeki faydasıyla ilişkili olabileceği öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca, Scarlett gibi kuraklığa duyarlı genotiplerin çoğunun, erken yaprak yaşlanması (solgunluk) ve yaprak ölümü nedeniyle prolin rezervlerini verimli bir şekilde kullanamadığını, bunun da kuraklık koşullarında prolinin azalmasına neden olduğunu; bu eksiğin giderilmesi için, doğal adaptasyonu tamamlamak için ISR42-8 genotipi gibi kuraklığın iyileşme döneminde prolin metabolizmasını kolaylaştırabilecek yavaş yaşlanan yapraklara sahip (düşük solgunluklu) QTL alellerini taşıyan genotiplere ihtiyaç duyulduğunu bildirmiştir (Sayed ve ark., 2012).

Büyük ve ark. (2012), bitkilerin yaşam süreçleri boyunca çeşitli stres faktörleriyle karşılaştığını ve bu streslerin olumsuz etkilerini azaltmak için geliştirdikleri moleküler savunma mekanizmalarının tam olarak anlaşılmadığını belirtmektedir. Çalışmada, bu mekanizmaların üç temel unsura dayandığı ifade edilmektedir: makromoleküllerin ve iyonların dengesinin sağlanması, koruyucu bileşiklerin sentezlenmesi ve reaktif oksijen türlerinin bertaraf edilmesi. Ayrıca, bitkilerin stres koşullarına yanıt olarak düşük moleküler ağırlıklı çözücülerin, osmoregülasyon sağlayan bileşenlerin, ısı şok proteinlerinin ve geç embriyogenez proteinlerinin sentezini artırdığı vurgulanmıştır (Büyük ve ark., 2012).

Bahar ve ark. (2013), buğday bitkisinin çeşitli gelişim evrelerinde klorofil içeriği ile tarımsal özellikler arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışmayı, 2009-2010 yetiştirme mevsiminde altı farklı ticari ekmeklik buğday çeşidi (Colfiorito, Özkan, Dariel, Nurkent, Pehlivan, Sagittario) ve dört farklı ekmeklik buğday hattı ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, klorofil içeriği ile verim ve hasat indeksi arasında çiçeklenme döneminde olumsuz, dane dolumu aşamasında ise olumlu bir ilişki tespit edilmiştir. Bu çalışma ile klorofil içeriğinin bitki verimliliği üzerindeki etkisinin tek başına belirleyici olmadığı, özellikle dane dolum dönemindeki klorofil kaybının kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır (Bahar ve ark., 2013).

Saeedipour (2013) yaptığı bu çalışmada, terminal kuraklığa duyarlı ve dayanıklı iki buğday çeşidi (Marvdasht ve Zagros) kullanılarak, çiçeklenme döneminden olgunluğa

kadar iyi sulanmış ve su stresi altında saksılarda yetiştirilen bitkilerde, bitki bünyesindeki absisik asit (ABA) ve prolin içeriklerinin verime etkilerini incelemiştir. Su stresi, her iki çeşidin ABA içeriğinde belirgin bir artışa neden olmuş; ancak dayanıklı çeşitteki ABA konsantrasyonunun mutlak değeri, hassas çeşitlerden daha fazla bulunmuştur. Su stresinin, kuraklığa dayanıklı çeşidin yaprak prolin içeriğini yükselterek, su stresinin zararlı etkisini hafiflettiği; buna karşın, kuraklığa duyarlı çeşitte tane gelişiminin sonunda prolin seviyelerinde hafif bir artış gözlenmiştir. Hem ABA'nın hem de prolinin koruyucu etkisinin, su eksikliği koşullarında daha yüksek tane verimi gösteren Zagros çeşidinde daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Saeedipour, 2013).

Saeidi ve ark. (2014), gerçekleştirdikleri araştırmada, kuraklık stresinin ve ardından uygulanan sulamanın, antioksidan enzim faaliyetleri, klorofil düzeyleri, prolin konsantrasyonları ve RWC üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. RWC, kuraklık stresi altında belirgin şekilde azalmıştır. Sc700 melezi, hem kontrol (%80) hem de stres (%50) koşullarında en yüksek RWC'ye sahip olmuştur. Klorofil içeriği stres koşullarında tüm melezlerde azalmış, ancak Sc704 ($26 \mu\text{mol g}^{-1}$) ve Sc700 ($25 \mu\text{mol g}^{-1}$) melezlerinde yeniden sulama ile kontrol değerlerine yaklaşmıştır. Sc704 melezi, normal koşullarda en yüksek klorofil a içeriğine ($20 \mu\text{mol g}^{-1}$) sahipken, stres koşullarında bu değer $14 \mu\text{mol g}^{-1}$ 'e düşmüştür. Sc704 melezi, normal koşullarda en yüksek klorofil b içeriğine ($4 \mu\text{mol g}^{-1}$) sahipken, stres koşullarında en düşük değere ($1.7 \mu\text{mol g}^{-1}$) gerilemiştir. Karotenoid içeriği de klorofil içeriğiyle paralel olarak azalmış, Sc704 ($4.7 \mu\text{mol g}^{-1}$) ve Sc700 ($4.9 \mu\text{mol g}^{-1}$) melezleri en yüksek karotenoid seviyesini korumuştur. Prolin birikimi, özellikle Sc704 ($0.072 \mu\text{mol g}^{-1}$) ve Sc700 ($0.058 \mu\text{mol g}^{-1}$) melezlerinde artmıştır. Araştırma sonunda, kuraklık koşullarında mısır melezlerinin büyüme hızında bir yavaşlama olduğu, ancak sulama işlemiyle birlikte bu büyüme hızının yeniden kazanıldığı; prolin birikimi, antioksidan enzim aktiviteleri ve RWC, kuraklık stresine karşı tolerans belirlemede önemli olduğu bildirilmiştir (Saeidi ve ark., 2014).

Saeidi ve Abdoli (2015) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, terminal kuraklık stresinin dokuz farklı ekmeklik buğday çeşidinin tane verimi, gaz değişim parametreleri ve bazı fizyolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, terminal kuraklık koşulu ve kontrol uygulamaları altında değerlendirilen özellikler arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Kuraklık stresi, yapraktaki net fotosentez hızını (P_n), stomal iletkenliği (g_s), terleme hızını, klorofil a ve b seviyelerini azaltırken, yaprak sıcaklığını ve stomada bulunan CO_2 konsantrasyonunu artırmıştır. Araştırma sonuçları, buğday çeşitlerinin su stresine karşı verdikleri tepkilerin çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymuştur. Kuraklığa dayanıklı çeşitler, her iki nem koşulunda da duyarlı çeşitlere göre

daha yüksek P_n ve g_s deęerleri ile daha fazla yaprak su içerięi sergilemiřtir. İyi sulanmıř kořullar altında, en yüksek Chl a, b ve a/b deęerleri Bahar (2.51 mg g^{-1}) ve DN-11'de (2.37 mg g^{-1}) elde edilmiřtir. Chl a'daki en yüksek ve en dūřuk önemli azalmalar DN-11'de (3.96 mg g^{-1}) ve Parsi'de (1.48 mg g^{-1}) gözlendi. Chl b'deki en yüksek ve en dūřuk azalmalar sırasıyla DN-11'de (1.67 mg g^{-1}) ve Zarin'de (1.02 mg g^{-1}) gözlendi. İyi sulanmıř kořullar altında, Pishgam ve DN-11 en yüksek P_n 'ye sahipken, Zarin ve Parsi en dūřuk P_n 'ye sahip olmuřtur. eklenme sonrası su stresi altında, Pishtaz ve Marvdasht sırasıyla en yüksek ve en dūřuk P_n deęerlerine sahip olmuřtur. eklenme sonrası su eksikliğinde, g_s 'deki en dūřuk ve en yüksek azalmalar Bahar'da (%61), Pishgam'da (%77.4) ve DN-11'de (%78.4) gözlendi. Sivand ve Pishtaz'da eklenme sonrası su stresi altında minimum g_s gözlenmiřtir. Dayanıklı eřitler, su kullanım verimlilięi ve gaz deęiřim parametreleri açısından daha iyi performans göstermiřtir (Saeidi ve Abdoli, 2015).

zcan ve ark. (2015) bu derlemede, oksidatif stresin oluşum mekanizmasını ve antioksidan sistemlerin etkilerini incelemiştir. Derlemede oksidatif stresin artışının, reaktif oksijen türlerinin hücre içindeki lipid ve protein yapıları ile DNA'ya saldırmasına yol açarak, zincirleme oksidasyon reaksiyonlarını başlattığı belirtilmiştir. Bu sürecin hücredeki makromoleküllerin hasar görmesine ve hücre ölümüne neden olabildiği bildirilmiştir. Serbest radikaller tarafından oluşan oksidatif hasarın belirlenmesi, MDA, protein karbonil (PCO) ve 8-hidroksiguanin (8-OHG) gibi yıkım ürünlerinin biyokimyasal analizleri ile mümkün olmaktadır (zcan ve ark., 2015).

rs ve Ekinci (2015) bu çalışmada, kuraklığın bitkiler üzerindeki etkilerini, bu bitkilerin gösterdiği fizyolojik reaksiyonları ve adaptasyon mekanizmalarını kapsamlı bir şekilde ele almışlardır. Kısıtlı su koşullarında hayatta kalabilme yeteneğine sahip olan ve veriminde nispeten dūřuk azalmalar yaşayan bitkilerin mekanizmaları, araştırmanın ilgi alanını teşkil etmektedir. Bu mekanizmalar detaylı bir biçimde incelenerek, strese dayanıklı genotiplerin belirlenmesini hedeflemişlerdir. Yüksek su kullanım etkinliği özelliklerinden faydalanarak yeni çeşitlerin geliştirilmesinin, gelecekteki gıda temini açısından stratejik önemini bildirmişlerdir (rs ve Ekinci, 2015).

Yıldız ve Aktaş (2015)'ın araştırması, defne *Laurus nobilis* L. fidelerinde prolin uygulamasının kuraklık toleransı üzerindeki etkileri üzerine olup; deney, yarı-kontrollü sera koşullarında gerçekleştirilmiştir. Buna göre fidelerin yarısı su kısıtlı (tarla kapasitesinin %25'i) koşullarda, diğer yarısı ise tarla kapasitesinde sulanarak kontrol grubu olarak tutulmuştur. Su stresi, fidelerde indol-3-asetik asit (IAA), zeatin (Z) ve giberellik asit (GA_3) seviyelerinde azalmaya, absisik asit (ABA) içeriğinde ise artışa

neden olmuştur. Prolin uygulaması, yalnızca IAA içeriğini artırırken, Z ve GA₃ seviyelerindeki düşüşü etkilememiştir. Ayrıca, prolin uygulamasının ABA seviyesindeki artışı baskıladığı sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda, defne bitkisinin fide döneminde prolin uygulamasının kuraklık toleransını artırma potansiyeli ortaya konmuştur (Yıldız ve Akça, 2015).

Barunawati ve ark. (2016), ekmeklik buğday bitkisinin farklı su stresi koşullarına büyüme ve verim parametreleri açısından verdiği tepkileri incelemişlerdir. M7, M8 ve SO3 buğday hatlarını kullanarak, farklı toprak su içeriklerinin (%100, %75, %50 ve %25 tarla kapasitesi) etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, yaprak alanının ekimden 6 hafta sonra farklı toprak su içeriğinden etkilenmediği, ancak 8. haftada 220 cm²'den (%100 sulama) 0.5 cm²'ye (%25 sulama) düştüğü gözlenirken; 10. haftada 480 cm²'den (%100 sulama) 0.3 cm²'ye (%25 sulama) düştüğü gözlenmiştir. Yaprak sayısı, %100 ve %75 tarla kapasitesinde iki kat artarken, %50 ve %25'te azalmıştır. Tüm hatların tanelerindeki toplam azotun azalmasına rağmen, yapraklardaki prolin içeriği önemli ölçüde artmıştır. M7 hattında prolin içeriği, %100 tarla kapasitesinde 0.9 µmol g⁻¹ iken %25 tarla kapasitesinde 2.9 seviyesine yükselmiştir. M8 hattında prolin içeriği, %100 tarla kapasitesinde 0.4 µmol g⁻¹ iken %25 tarla kapasitesinde 2.5 seviyesine yükselmiştir. Tarla kapasitesinin %50'ye kadar azalması, bitki başına tanedeki toplam azot içeriğini düşürmüştür. Çalışma sonucunda, yaprak alanı ve sayısı, kök gelişimi, prolin içeriği ve azot alımı gibi parametrelerin su stresi koşullarından etkilendiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile buğday bitkisinin su stresine karşı farklı adaptasyon mekanizmaları geliştirdiği ve bu mekanizmaların büyüme ve verimi etkilediği bildirilmiştir (Barunawati ve ark., 2016).

Rehman (2016), bu çalışmayı sıcaklık ve kuraklık stresinin ekmeklik buğday bitkisi üzerindeki etkilerini incelemek ve dayanıklı genotipleri belirlemek amacıyla yürütmüştür. 50 buğday genotipi kullanılarak, fide ve çiçeklenme öncesi dönemlerde sera ve tarla koşullarında stres uygulamaları yapılmıştır. İncelenen özelliklerden hücre zarı (membran) stabilitesi (CMS), hem fide hem de çiçeklenme aşamalarında 1000 tane ağırlığı (BTA) ile önemli olumlu ilişki göstermiştir. Fide aşamasındaki klorofil a/b oranı, sıcaklık stresi altındaki BTA ile önemli olumsuz ilişki ($r=-0.39$, $p<0.05$) göstermiştir. Toplam klorofil içeriği, çiçeklenme öncesinde sıcaklık stresi altındaki BTA ile önemli ölçüde ($r=0.42$, $p<0.05$) ilişki göstermiştir. ETAD248 ve ETAD7 genotipleri en yüksek CMS ve BTA değerlerini gösterirken, klorofil a/b değerleri hem fide hem de çiçeklenme öncesinde sıcaklık ve kuraklık stresi koşulları altında en düşük seviyede bulunmuştur. Fide aşaması normal koşullarda Chl a/b 1.59, sıcaklık stresinde 0.93, kuraklık stresinde

0.94 olarak gözlenirken; CMS sıcaklık stresinde 16.28, kuraklık stresinde 13.58 olarak gözlenmiştir. Çiçeklenme aşaması normal koşullarda Chl a/b 6.41, sıcaklık stresinde 5.81, kuraklık stresinde 6.28 olarak gözlenirken; CMS sıcaklık stresinde 16.08, kuraklık stresinde 11.81 olarak gözlenmiştir. Fide aşamasındaki ortalama CMS %22 ile %85 arasında değişti, maksimum değerler SHAFQ06 (%85), ETAD7 (%84) ve ETAD248 (%84) genotipleri için gözlemlendi. Çiçeklenme aşamasındaki ortalama CMS, LLR42 için %22 ile ETAD248 için %85 arasında değişti. Fide aşamasındaki Chl a/b oranı ETAD248 için 0.88 ile WC5 için 4.43 arasında değişti. ETAD7, fide aşamasında (%84) ve çiçeklenme aşamasında (%80) yüksek CMS değerleri, antes aşamasında yüksek toplam klorofil içeriği (43.01) ve fide aşamasında düşük Chl a/b oranı (0.60) gösterdi ve kuraklık koşullarında makul derecede yüksek TGW üretti (42.00 g) (Rehman ve ark., 2016).

Kaur ve ark. (2016), tarımsal üretim alanlarını etkileyen stres faktörlerinin; sınırlı sulama, azalan yeraltı su kaynakları ve iklim değişikliği nedeniyle giderek daha ciddi hale geleceğini belirtmektedir. Çalışmada, kültüre alma süreçlerinin, yabancı buğday gibi birçok bitkinin genetik çeşitliliğini kısıtladığı ve bu durumun, stres koşullarına karşı duyarlılığı artırdığı belirtilmiştir. Çalışmada, modern buğday çeşitlerinin kuraklık ve sıcaklıkla ilişkili genler ve QTL'ler ile donatılmasının, stres toleransını artırmak için etkili bir strateji olduğu sonucuna varılmıştır (Kaur ve ark., 2016).

Ashraf ve ark. (2016), çalışmalarında kuraklığın ekmeklik buğday üzerindeki olumsuz etkilerini ve buğdayın fizyo-biyokimyasal adaptasyonlarını incelemişlerdir. Bu amaçla, 10 buğday genotipi (V-4178, PDW-34, Chakwal-97, Shorawaki, 4098805, Baluchistan, Yecora-70, S-24, SARC-1 ve Pasban-90) kullanılarak, üç tekrarlamalı iki faktörlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre saksı denemesi yürütmüşlerdir. Genotipler, toprak nem seviyesi %100 (kontrol grubu) ve %40 (stres grubu) tarla kapasitesinde olacak şekilde iki farklı toprak nem seviyesinde yetiştirilmiştir. Genotiplerin tepkileri; fotosentez hızı (A_n), terleme hızı (E), stoma iletkenliği (g_s), stoma direnci (r_s), yaprak zarı stabilite indeksi (LMSI), ELWR, YOSİ, epikütiküler mum, prolin içeriği, klorofil içeriği (SPAD), tane verimi, biyolojik verim ve hasat indeksi parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir. Kontrol grubunda ortalama fotosentez hızı $23.64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ iken stres grubunda $18.35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Pasban-90 genotipi $24.63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ile en yüksek, V-4178 genotipi $17.61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ile en düşük fotosentez hızına sahip olduğu gözlenmiştir. Kontrol grubunda LMSI %77.82, stres grubunda ise %66.63 olarak ölçülmüştür. Pasban-90 genotipi %78.02 ile en yüksek, V-4178 genotipi %65.44 ile en düşük LMSI'ye sahip olduğu gözlenmiştir. Kontrol grubunda RWC %84.40 iken stres grubunda %69.14 olarak ölçülmüştür. Pasban-90

genotipi %87.04 ile en yüksek, V-4178 genotipi %69.50 ile en düşük RWC'ye sahip olduğu gözlenmiştir. Kontrol grubunda Pasban-90 %15.62, stres grubunda %3.49 YOSİ'ye sahip olduğu gözlenmiştir. Stres grubunda epikütiküler mum içeriği $8.43 \mu\text{g cm}^{-2}$, kontrol grubunda ise $6.88 \mu\text{g cm}^{-2}$ olarak ölçülmüştür. Stres grubunda prolin içeriği ortalaması $50.10 \mu\text{mol g}^{-1}$ iken kontrol grubunda $44.95 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Kontrol grubunda klorofil içeriği $42.57 \mu\text{mol g}^{-1}$, stres grubunda ise $33.03 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, kuraklığın bitkilerde prolin ve epikütiküler mum üretimini artırarak, stoma iletkenliğini azaltarak, stoma direncini artırarak, fotosentez ve terleme hızını düşürerek bitkileri olumsuz etkilediği belirtmişlerdir. Bu veriler, Pasban-90 genotipinin kuraklık stresine karşı daha dayanıklı olduğunu ve V-4178 genotipinin ise daha hassas olduğunu göstermektedir (Ashraf ve ark., 2016).

Ayrancı ve ark. (2017), Orta Anadolu Bölgesi'nde bulunan ekmeklik buğday genotiplerinin tane doldurma dönemindeki kuraklık koşullarında verim performanslarını ve fenolojik özelliklerini inceledikleri çalışmayı, 2009-2010 döneminde Konya ilinde, yağmur korunaklı alanlar kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneme tasarımı, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekrarlı olarak uygulanmıştır. İki farklı uygulama çeşidi belirlenmiştir: S1 (tane doldurma dönemi kuraklık uygulaması) ve S2 (tam sulama uygulaması). Çalışmadan elde edilen sonuçlar, S1 koşulunda ortalama tane veriminin 579 kg da^{-1} , S2 koşulunda ise 760 kg da^{-1} olduğunu göstermektedir. Kuraklık uygulaması ile tam sulama koşullarının karşılaştırılması sonucunda, tane dolum dönemindeki kuraklık stresinin verimde %23.9 oranında bir azalmaya yol açtığı ve Bayraktar 2000 çeşidinin tane dolum dönemi kuraklığına karşı en toleranslı genotip olduğu belirlenmiştir. Kuraklık hassasiyetini gösteren KHİ (kuraklık hassasiyet indeksi) değerleri 0.58 (Bayraktar 2000) ile 1.73 (Göksu 99) arasında değişim göstermiştir (Ayrancı ve ark., 2017).

Öztürk ve Korkut (2018), farklı kuraklık seviyelerinde çeşitli ekmeklik buğday genotiplerinin verim ve fizyolojik özellikleri arasındaki ilişkileri detaylıca incelemiştir. Çalışmada, tane verimi, bitki topluluğu sıcaklığı, klorofil içeriği, mumsuluk oranı gibi parametreler üç farklı gelişim döneminde değerlendirilmiş, ayrıca başaklanma ve olgunlaşma gün sayıları, tane dolum süresi gibi parametreler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Başaklanma öncesi ortalama en yüksek sıcaklık (21.65°C) kuraklık uygulanan parsellerde; en düşük sıcaklık (17.21°C) kuraklık uygulanmayan parsellerde gözlenirken; klorofil miktarı kurak şartlarda 49.76, normal şartlarda 50.24 SPAD değeri olarak gözlenmiştir. Kate A-1 çeşidi, üç bitki gelişme döneminde de en düşük bitki topluluğu sıcaklığına (18.79°C) sahip olmuştur. BBVD7 çeşidi, yüksek mumsuluk oranı (%8.9) nedeniyle Kate A-1'den sonra en düşük bitki topluluğu sıcaklığına (%18.94) sahip

olmuştur. Klorofil miktarı kurak şartlarda en fazla klorofil miktarı başaklanma döneminde 55.23 SPAD değeri ile ÖVD2/27-07 çeşidinde ölçülmüştür. Kuraklık stresi, bitki topluluğu sıcaklığını artırmış ve klorofil miktarını azaltmıştır. En fazla mumsuluk oranı %8.9 ile BBVD7 çeşidinde görülürken; en düşük mumsuluk oranı Tekirdağ (%1.0), EBVD24-07 (%1.1) ve Golia (%1.2) çeşitlerinde tespit edilmiştir. En yüksek klorofil miktarı kuraklık stresi uygulanmayan koşullarda belirlenmesi klorofil kapsamı ile tane verimi arasında olumlu yönde ilişki olduğu sonucu ortaya konmuştur. Araştırmacılar, kuraklık stresinin buğday bitkilerinde önemli fizyolojik değişikliklere neden olduğunu ve genotip farklılıklarının bu değişiklikler üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir (Öztürk ve Korkut, 2018).

Kaya ve İnan (2018), tuzluluk ve kuraklık streslerinin tütün bitkisi üzerindeki etkilerini ayrı ayrı ve eş zamanlı olarak incelemiştir. Çalışmada, melatonin (mel) uygulamasının stres yanıtlarını düzenleyici rolünü değerlendirmişlerdir. Mel(+) ve Mel(-) olarak adlandırılan iki farklı bitki grubu kullanılmıştır. NaCl ve PEG ile tuz ve kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde klorofil seviyeleri azalırken, karotenoid, prolin, malondialdehit içerikleri ile askorbat peroksidaz ve guaiakol peroksidaz aktivitelerinde artış gözlemlenmiş ve eş zamanlı stres uygulamalarının, bu değişimleri daha belirgin hale getirdiğini belirlemişlerdir. Stres uygulanan tüm gruplarda, kontrol grubuna kıyasla toplam klorofil içeriği azalmıştır. En yüksek toplam klorofil içeriği ($3.14 \mu\text{g g}^{-1}$) Mel(+) bitkilerde kontrol grubunda bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla stres uygulanan tüm gruplarda karotenoid içeriği artmıştır. En yüksek karotenoid içeriği ($1.39 \mu\text{g g}^{-1}$) Mel(+) bitkilerde NaCl+PEG uygulanan grupta bulunmuştur. Mel(+) bitkilerde karotenoid içeriği, Mel(-) bitkilere göre daha yüksek bulunmuştur. Stres uygulanan gruplarda, kontrol grubuna kıyasla prolin içeriği artmıştır. En yüksek prolin içeriği ($0.023 \mu\text{g g}^{-1}$ FW) Mel(+) bitkilerin %10 PEG ve NaCl+PEG uygulanan gruplarında bulunmuştur. En yüksek MDA içeriği ($3.89 \mu\text{mol MDA g}^{-1}$ FW) Mel(-) bitkilerin NaCl+PEG uygulanan grubunda bulunmuştur. Strese maruz kalan tütün bitkilerinde klorofil içeriği azalmış ve MDA içeriği artmıştır. Melatonin uygulamasının pigment, prolin ve malondialdehit seviyeleri ile enzim aktivitelerini artırarak, tütün bitkisinde stresin olumsuz etkilerini hafiflettiğini tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, melatoninin kuraklık ve tuzluluk stresine karşı potansiyel bir düzenleyici etki sağladığı gözlenmiştir (Kaya ve İnan, 2018).

Dwivedi ve ark. (2018) bu çalışmada, bitki büyüme düzenleyicilerinin (BGD) su kısıtı ve su fazlası koşullarında buğday genotiplerinin fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, dört farklı buğday genotipi (HD 2987, C 306, HD 2888, HD 2733) kullanılmış olup bitkilerin büyüme ve fizyolojik parametreleri (bağıl su

içeriği, membran kararlılık indeksi, klorofil içeriği, fotosentez hızı) incelenmiştir. Kuraklık stresini, üreme aşamasında uygulanmış ve BGD'leri yaprak spreyi şeklinde uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, BGD'lerin hem sulama hem de su stresi koşullarında bitkilerde bağıl su içeriği, membran kararlılık indeksi, klorofil içeriği, fotosentez hızı (PN) ve PSII maksimum kuantum verimini artırdığını gözlemişlerdir. Kontrol koşullarında RWC, çiçeklenme öncesi ortalama %86.1 ile en yüksek, stresli koşullarda %69.5 ile en düşük seviyededir. PGR uygulaması, kontrol ve su stresi altındaki bitkilerde RWC' yi sırasıyla %5 ve %11 oranında artırdığı gözlenmiştir. MSI değeri stressiz koşullarda %81.75 ile en yüksek, stresli koşullarda %71.75 ile en düşük seviyededir. Toplam klorofil içeriği stressiz koşullarda en yüksek 11.78 mg g⁻¹ iken stresli koşullarda 8.93 mg g⁻¹ seviyesi ile C306 çeşidinde belirlenmiştir. PGR uygulaması, su stresi altındaki bitkilerde klorofil içeriğini %10 oranında artırdığı gözlenmiştir. PN değeri çiçeklenme öncesi kontrol koşullarında, 26.6 µmol (CO₂) m⁻² s⁻¹ ile en yüksek, 21.0 µmol (CO₂) m⁻² s⁻¹ ile en düşük HD2987 çeşidinde gözlenmiştir. Sonuç olarak, su stresi altında bitkilerin bağıl su içeriği ve membran kararlılık indeksi azalırken, BGD uygulamalarının bu değerlerde iyileşme sağladığını bildirmişlerdir (Dwivedi ve ark., 2018).

Nowsherwan ve ark. (2018) bu çalışmada, kuraklık stresi altındaki farklı buğday genotiplerinin fizyolojik özelliklerini (prolin içeriği, hücre zarı stabilitesi, bağıl su içeriği ve klorofil içeriği) incelemişlerdir. 2013-2014 yetiştirme mevsiminde Pakistan'da yapılan tarla çalışmasında, 16 ekmeklik buğday genotipi ile çalışılmıştır. Kuraklık stresini başaklanma ve çiçeklenme aşamalarında 30 gün su vermemekle oluşturmuşlardır. Genotipler arasında önemli farklılıklar gözlemlemiş ve bazı genotiplerin diğerlerine göre daha dayanıklı olduğunu belirlenmiştir. Yağmurla beslenen koşullar altında RWC içeriği için WC-20 genotipi %81.92 maksimum değer ile öne çıkarken, WC-24 en düşük %64.88 değere sahip olmuştur. Prolin içeriği, 0.02 mg g⁻¹ ile 0.15 mg g⁻¹ arasında değişmiştir. Maxi-Pak (0.02 mg g⁻¹) genotipi, en düşük prolin içeriğine sahip iken; Chenab-70 (0.15 mg g⁻¹) ve Punjab-96 (0.15 mg g⁻¹) genotipleri, en yüksek prolin içeriğine sahip olmuştur. Membran stabilitesi, %50.17 ile %85.62 arasında değişmiştir. WC-24 genotipi (%50.17), en düşük membran stabilitesine sahip iken; Maxi-Pak (%85.62) genotipi, en yüksek membran stabilitesine sahip olmuştur. Klorofil içeriği, 38.00 ile 42.14 SPAD değeri arasında değişmiştir. 99FJ-03 (38.00) genotipi, en düşük klorofil içeriğine sahip iken; Maxi-Pak genotipi (42.14), en yüksek klorofil içeriğine sahip olmuştur. Araştırmacılar, Maxi-Pak genotipinin, kuraklık şartlarında nispi su içeriği, hücre zarı stabilitesi, klorofil içeriği ve verim açısından potansiyel bir çeşit olduğunu bildirmişlerdir (Nowsherwan ve ark., 2018).

Koç (2018), yedi ekmeklik buğday genotipinin kuraklık stresine tepkilerini inceleyerek çeşitli stres parametrelerindeki değişimleri değerlendirmiştir. Çalışmada polifenol oksidaz, peroksidaz, askorbat peroksidaz, katalaz, fotosentetik pigmentler, toplam protein, hidrojen peroksit, lipid peroksidasyonu, MDA ve prolin seviyelerini ölçmüşlerdir. Kurak şartlarda prolin miktarı en yüksek ($15.926 \mu\text{g g}^{-1}$) olan Pastör çeşidi, normal şartlarda en düşük ($0.737 \mu\text{g g}^{-1}$) prolin içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir. Normal şartlarda $0.0287 \mu\text{mol g}^{-1}$, kurak şartlarda $0.0991 \mu\text{mol g}^{-1}$ olan T98-9 çeşidinde, diğer çeşitlere göre daha fazla MDA birikimi gözlenmesine karşı, Sultan çeşidi kurak şartlarda en yüksek ($0.1847 \mu\text{mol g}^{-1}$) MDA miktarına sahiptir. Klorofil-a miktarı normal şartlara göre kurak şartlarda azalma gösterirken; Gerek çeşidi normal şartlarda 24.59 mg g^{-1} iken kurak şartlarda 27.64 mg g^{-1} seviyesine yükselmiştir. Klorofil-b miktarı çeşitlere göre farklılık göstermiş olup; normal şartlarda 27.1 mg g^{-1} olarak gözlenen Sultan çeşidi, kurak şartlarda 2.68 mg g^{-1} gözlenmesine karşı; normal şartlarda 3.93 mg g^{-1} olan PMMEI çeşidi, kurak şartlarda 12.88 mg g^{-1} seviyesine yükselmiştir. Toplam klorofil miktarı her çeşitte, normal şartlara göre kurak şartlarda düşüş gözlenirken; PMMEI çeşidi artış göstermiştir. Toplam klorofil miktarında en çok düşüş Sultan (32.46 mg g^{-1}) ve Pastör (21.23 mg g^{-1}) çeşidinde gözlenmiştir. Gerek çeşidinde 10. gün itibarıyla tüm vejetatif dokularını kaybetmesi nedeniyle analiz gerçekleştirilememiştir. Çalışma sonucunda, Gerek ve Haymana genotiplerinin kuraklığa karşı en hassas olduğunu; Pastör ve Sultan genotiplerinin ise diğerlerine göre daha yüksek kuraklık toleransı sergilediğini belirlemiştir (Koç, 2018).

Abid ve ark. (2018), kuraklığa duyarlı Luhan7 ve dayanıklı Yuangmai16 buğday genotiplerini farklı kuraklık seviyelerinde inceleyerek kuraklığın membran kararlılığı ve metabolit içerikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, kuraklık şiddetinin artmasıyla membran kararlılığının %80'den %50'ye düştüğünü ve dayanıklı genotipin duyarlı olana kıyasla daha yüksek membran kararlılığı sergilediğini belirlemişlerdir. Yeniden sulama sonrasında ise kararlılığın eski seviyelere dönmeye başladığını gözlemişlerdir. Prolin içeriğinde ise, şiddetli kuraklıkta en yüksek seviyeye ulaştığını ($70-80 \text{ mg g}^{-1}$) tespit etmişlerdir (Abid ve ark., 2018).

Hu ve ark. (2018) bu çalışmalarında, kuraklığa dayanıklı ve duyarlı iki buğday çeşidini (JM-262 ve LM-2) su açığına verdikleri fizyolojik yanıtlar bakımından incelemişlerdir ve çimlendirme sonrası bitkileri sıcaklık kontrollü bir odada su kültüründe yetiştirilmişlerdir. JM-262'nin sürgün ve kök kuru ağırlıkları, LM-2'ye kıyasla daha fazla artış gösterdiği; su stresi altında, JM-262'nin LM-2'den daha yüksek kuru ağırlık ve su içeriklerine sahip olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, kuraklığa dayanıklı genotip JM-

262'nin daha fazla ozmoprotektan (prolin ve trehaloz) biriktirebildiği, daha yüksek antioksidaz aktivitesi (POD, CAT ve SOD) gösterdiği ve su stresi altındaki köklerde daha fazla enzimatik olmayan antioksidan (GST (Glutasyon S-Transferaz), antosiyaninler, flavonoller ve NADPH) ürettiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar, JM-262'nin ozmotik ve oksidatif streslere karşı daha iyi savunma yapabildiğini ve Trikarboksilik Asit Döngüsü (TCA), diğer bir adıyla Krebs Döngüsünü besleyen yollar sayesinde azot ve karbonu koruyabildiği, daha fazla ozmoprotektan, ROS temizleyicisi, biyokütle ve enerji üreterek kuraklığın verdiği zararı hafifletebildiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, JM-262'nin daha büyük kök sistemleri ile daha fazla kuraklıkla ilgili diferansiyel ekspresse olan genleri (DEG) indüklemeye yeteneği ve oksidatif strese karşı daha yüksek direnç gösterdiğini vurgulamışlardır (Hu ve ark., 2018).

Mau ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen ve 40 çeltik genotipi ile yürütülen bu araştırmada, kuraklığa karşı dayanıklı, yüksek verim potansiyeline sahip çeltik genotiplerini seçmek amaçlanmıştır. Çalışmada, üç farklı sulama seviyesi (%100, %75 ve %50 TK) uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, stressiz koşullarda ortalama tane verimi 3.43 t ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Ancak, sulama seviyesi %75 TK'ne düştüğünde ortalama verim 2.66 t ha^{-1} (%22 azalma), %50 TK'de ise 2.28 t ha^{-1} (%34 azalma) olarak kaydedilmiştir. Klorofil içeriği, kuraklık stresi altında belirgin bir şekilde azalmıştır. Stressiz koşullarda klorofil değeri (SPAD biriminden) 45.2 olarak ölçülürken, %75 TK'de 38.5 (%15 azalma), %50 TK'de ise 32.8 (%27 azalma) olarak tespit edilmiştir. RWC değeri %100 TK'de %92.5, %75 TK'de %85.3 (%8 azalma), %50 TK'de ise %78.6 (%15 azalma) olarak kaydedilmiştir. Kuraklığa en dayalı genotipler olarak HK-07, ADN-04, PMK-01, ADN-05, NGR-022, ALR-02, HK-06 ve KMD-01 öne çıkmıştır. Araştırmacılar, klorofil içeriği ve RWC gibi fizyolojik parametrelerin, kuraklık toleransının değerlendirilmesinde önemli göstergeler olduğunu vurgulamıştır (Mau ve ark., 2019).

Salsinha ve ark. (2020), Endonezya'nın Doğu Nusa Tenggara (NTT) bölgesinde yaptıkları çalışmada, sekiz yerel çeltik çeşidine (Pak Morin, Mapan, Pak Mutin, Gogo Fatuhao, Seratus-malam Boawae, Padi-putih Kuantana, Padi-putih Maumere ve Gogo Sikka) ek olarak, kuraklığa duyarlı Ciherang ve kuraklığa dayanıklı IR-64 çeşitlerini kontrol olarak kullanmışlardır. Bitkiler, vejetatif aşamada %100 TK (tarla kapasitesinde)'da kontrol, %50 TK'da orta kuraklık ve %25 TK'da şiddetli kuraklık şeklinde 3 uygulamaya maruz bırakılmıştır. Kuraklık stresi altında, tüm çeşitlerde bitki boyu, yaprak sayısı ve kardeş sayısında önemli azalmalar gözlenmiştir ($p < 0.05$). Pak Morin, Seratus-malam Boawae ve Padi-putih Kuantana çeşitleri, kuraklık koşullarında

daha az büyüme kaybı göstererek öne çıkmıştır. Derin kök yapısı ve yoğun dallanma özellikleriyle Pak Morin, Padi-putih Maumere ve Gogo Sikka çeşitleri, kuraklığa karşı daha dayanıklı olarak değerlendirilmiştir. Fizyolojik analizlerde, kuraklık stresi tüm çeşitlerde fotosentez oranını ve stoma iletkenliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Şiddetli kuraklık koşullarında (%25 TK), tüm çeşitlerin terleme oranı düşmüştür. Seratus-malam Boawae ($1.23 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ve Padi-putih Maumere ($3.65 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) çeşitleri, en düşük terleme oranlarıyla kuraklığa karşı en dirençli çeşitler olarak belirlenmiştir. Klorofil miktarı, kuraklık stresi altında tüm çeşitlerde önemli düşüşler göstermiştir ($p < 0.05$). Gogo Fatuhao çeşidi, klorofil miktarında normal şartlarda 3.03 mg g^{-1} iken, kurak şartlarda 2.50 mg g^{-1} değerine düşerek en az düşüş (%15) ile kuraklığa karşı en dirençli çeşit olarak öne çıkmıştır. En fazla düşüş ise Seratus-malam Boawae genotipinde (4.50 mg g^{-1} 'den, 2.30 mg g^{-1} 'a) görülmüştür. Karotenoid miktarı, genotipe göre değişkenlik göstermiş olup, genel anlamda kuraklık stresinde düşmüştür. RWC açısından, Padi-putih Maumere genotipi normal koşullarda %89.1 iken stres koşullarında %47.49'a düşmüştür. Membran stabilitesi en yüksek olan Seratus-malam Boawae genotipi, normal koşullarda %89.81 iken stresli koşullarda %65.81 değerine düşmüştür. Kuraklık stresi altında, tüm çeşitlerde prolin seviyeleri artmıştır. Padi-putih Maumere çeşidi, prolin birikiminde $0.64 \mu\text{mol g}^{-1}$ 'dan $1.61 \mu\text{mol g}^{-1}$ 'a yükselerek %60.17'lik bir artış göstermiştir. Bu özellikler, bu çeşidin kuraklığa karşı yüksek toleransını desteklemektedir. Araştırmacılar, bu bulgular ile Seratus-malam Boawae, Padi-putih Kuantana ve Padi-putih Maumere çeşitlerinin, yüksek bağıl su içeriği, membran stabilitesi ve prolin birikimi gibi özellikleriyle kuraklık koşullarında en dayanıklı çeşitler olarak belirlemiştir (Salsinha ve ark., 2020).

Abdelaal ve ark. (2020), bu çalışmada, arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi Giza 126 üzerinde kuraklık stresinin zararlı etkilerini azaltmada prolin ve salisilik asidin rolünü incelemişlerdir. 2017-2018 ve 2018-2019 yetiştirme mevsimlerinde, laboratuvar ve tarla koşullarında yürütülen bu çalışma, 10 mM prolin ve 0.5 mM salisilik asit uygulamalarının kuraklık üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Deneyler, kontrol (iyi sulanmış), kuraklık stresi, kuraklık stresi + salisilik asit ve kuraklık stresi + prolin olmak üzere dört farklı uygulama içermiştir. Salisilik asit ve prolin uygulamalarında, kuraklık stresi altındaki arpa bitkilerinde sap uzunluğu, bitki kuru ağırlığı, klorofil konsantrasyonu, bağıl su içeriği, antioksidan enzim aktivitesi ve tane veriminde artış sağlanırken; lipid peroksidasyonu, elektrolit sızıntısı, süperoksit ve hidrojen peroksit seviyelerinde azalma gözlenmiştir. Çalışmada salisilik asit ve prolin arpa bitkilerinde kuraklık stresine karşı toleransı artırıcı etkiler göstermiştir. Bu maddelerin, bitkilerin büyüme ve verim

parametrelerini iyileştirerek kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletmeye yardımcı olduğu bildirilmiştir (Abdelaal ve ark., 2020).

Din ve ark. (2020) bu çalışmada, 30 buğday genotipini iki farklı sulama koşulunda (kontrol ve su stresi) değerlendirerek kuraklık stresinin etkilerini ve dayanıklı genotipleri belirlemeye çalışmışlardır. 2015-2016 yıllarında Pakistan'da gerçekleştirilen bu çalışmada, prolin içeriği, ozmotik ayarlama, ELWR, RWC, CMS, klorofil içeriği ve bitki topluluğu sıcaklığı gibi fizyolojik özellikleri incelemişlerdir. ELWR değerleri normal koşullar altında ortalama %84 iken, su stresi altında %88 olarak bulunmuştur. Bu durum, su stresi altında bitkilerin su kaybını azaltmaya çalıştığını ve kuraklığa dayanıklı bitkilerin daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Hücre zarı stabilitesi, bağıl su içeriği ve ozmotik ayarlama gibi özellikler kuraklık toleransı için önemli kriterler olarak belirtilmiştir. Araştırmacılar, NARC-09, AUR-10, SA-75, Mexipak ve AUR-09 genotiplerinin kuraklığa dayanıklı olarak öne çıktığını ve bu genotiplerin ıslah programlarında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Genel olarak, normal koşullar altında klorofil içeriği %41.6 iken, su stresi koşullarında %45.3 olarak tespit edilmiştir. Normal koşullarda maksimum klorofil içeriği Shahkar-13'te %47.73 iken Bahawalpur-2000'de %46,93 ile ikinci sırada yer almıştır. Kuraklık stresinde ise Lasani-08 %55,83 ile en yüksek klorofil içeriğine iken; onu Pirsabak-05 (%55.73) izlemiştir (Din ve ark., 2020).

Habib ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kontrol şartlarında (%100 tarla kapasitesi) ve su stresi koşullarında (%60 tarla kapasitesi) ekmeklik buğday genotiplerinin büyüme, verim, fiziko-biyokimyasal parametreler, antioksidan aktiviteler ve ozmolit birikimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmayı, kuraklığa orta derecede toleranslı S-24 ve kuraklığa dayanıklı Fsd-2008 genotipleri üzerinde yürütmüşlerdir. Tohumlar, kontrol (T1), sodyum nitroprussid (SNP) uygulaması (T2), hidrojen peroksit (H₂O₂) uygulaması (T3) ve SNP ile H₂O₂'nin kombinasyonu (T4) olmak üzere dört uygulama grubuna ayırmışlardır. %60 toprak nemi koşulunda yapılan deneyler, kuraklık stresi altında toplam fenolik ve klorofil (a, b ve toplam) seviyelerinde belirgin bir azalma, prolin içeriğinde ise önemli bir artış meydana geldiğini belirlemişlerdir. LRWC, kontrol grubunda %80 iken, stres grubunda %65'e gerilemiştir. MDA miktarı, kontrol grubunda 22 iken, stres grubunda 50'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, toplam klorofil miktarı kontrol grubunda 2.5 mg g⁻¹ iken, stres grubunda 1.5 mg g⁻¹'e düşmüştür. Prolin miktarı kontrol grubunda 30 µmol g⁻¹ iken; stres grubunda 52 µmol g⁻¹'e çıktığı gözlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlarla, su stresinin buğday bitkilerinin fizyolojik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri ortaya konmuştur (Habib ve ark., 2020).

Naderi ve ark. (2020)'nın yaptıkları çalışmada, Sistan (kuraklığa duyarlı) ve Bolani (kuraklığa dayanıklı) çeşitlerini %90 TK (iyi sulanmış), %50 TK (orta stres) ve %25 TK (şiddetli stres) koşullarında tutmuşlar; stresli koşullarda kontrol grubuna kıyasla Bolani çeşidinin toplam fenolik miktarı %90 artarken, Sistan çeşidinin %13 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, toplam klorofil bakımından normal koşullara kıyasla orta stres koşullarında Sistan çeşidinin %26.8 daha az klorofil içerdiği halde; Bolani çeşidinin şiddetli stres altında bile Sistan'dan 2.5 kat daha fazla klorofil içerdiğini bildirilmiştir. Bolani genotipi kontrol grubunda $0.462 \mu\text{mol g}^{-1}$ prolin, $0.256 \mu\text{mol g}^{-1}$ klorofil miktarı, $0.083 \mu\text{mol g}^{-1}$ karotenoid miktarı içerdiği; stres grubunda ise $2 \mu\text{mol g}^{-1}$ prolin, 0.2 mg g^{-1} klorofil, 0.1 mg g^{-1} karotenoid içerdiği gözlenmiştir. Sistan genotipi kontrol grubunda; $0.359 \mu\text{mol g}^{-1}$ prolin, $0.253 \mu\text{mol g}^{-1}$ klorofil miktarı, $0.046 \mu\text{mol g}^{-1}$ karotenoid miktarı içerdiği; stres grubunda ise $0.514 \mu\text{mol g}^{-1}$ prolin, 0.076 mg g^{-1} klorofil, 0.079 mg g^{-1} karotenoid içerdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar, MDA seviyesi stres grubunda Sistan'da 3.7 kat, Bolani'de ise 3.4 kat yükseldiğini, karotenoid içeriği bakımından Bolani'nin %42 daha fazla değer gösterdiğini; prolin içeriği bakımından ise her iki çeşidin stres koşullarında prolin içeriklerini arttırdıklarını; Sistan'ın kurak koşullarda prolin içeriğini %48 arttırırken, kuraklığa tolerant olan Bolani'nin 4.3 kat arttırdığını belirtmişlerdir (Naderi ve ark., 2020).

Tunçtürk ve ark. (2021) çalışmasında, su stresi altında yetiştirilen Arısoy soya fasulyesi (*Glycine max* L.) çeşidinde rizobakteri ve alg uygulamalarının fizyolojik etkilerini incelemiştir. Denemelerde *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus megaterium* ve *Chlorella saccharophila* algi kullanılmış, üç farklı sulama seviyesi (%100, %50, %25) uygulamışlardır. Sonuç olarak, yaprak alan indeksi, klorofil oranı ve membran dayanıklılık indeksinin su kısıtlaması altında azaldığını, ayrıca iyon sızıntısının %19.5-23.2 arttığını ve MDA içeriğinin de yükseldiğini belirlemişlerdir. Klorofil oranı bakımından en düşük değer ($27.5 \mu\text{g cm}^{-2}$) su stresi altında, en yüksek değer ($29.8 \mu\text{g cm}^{-2}$) kontrol grubunda ölçülmüştür. Membran dayanıklılık indeksi stres grubunda %76.8 ile en düşük, kontrol grubunda %80.5 ile en yüksek değer gözlenmiştir. Mikroalg uygulaması, membran dayanıklılığını %82.8'e çıkarmıştır. Yaprak sıcaklığı kontrol grubunda 26.7°C ile en düşük, stres grubunda 28.0°C ile en yüksek sıcaklık ölçülmüştür. Stres şiddeti arttıkça yaprak sıcaklığı yükselmiştir. Bağlı su içeriği stres grubunda %69.3 ile en düşük, kontrol grubunda %82.6 ile en yüksek değer elde edilmiştir. Mikroalg uygulaması, bağlı su içeriğini %85.6'ya çıkarmıştır. MDA içeriği kontrol grubunda 1.7 nmol g^{-1} ile en düşük, stres grubunda 1.9 nmol g^{-1} ile en yüksek değer ölçülmüştür. Rizobakteri uygulamaları, MDA içeriğini mikroalge göre daha etkili şekilde azalttığı

görülmüştür. Rizobakteri ve mikroalg uygulamaları, klorofil oranını artırarak stres etkisini azaltmıştır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışma ile rizobakteri ve alg uygulamalarının su stresinin olumsuz etkilerini azaltmada faydalı olduğunu ortaya koymuşlardır (Tunçtürk ve ark., 2021).

Altaf ve ark. (2021), bu çalışmada 40 ekmeklik buğday çeşidinin kuraklık toleransını laboratuvar koşullarında polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan ozmotik stres altında incelemiştir. Çalışmada, %20 ve %30 PEG konsantrasyonları kullanılmış, kontrol grubu ise PEG içermeyen su ile sulanmıştır. Çalışmada, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, koleoptil uzunluğu, taze ve kuru kök/sürgün ağırlığı, RWC ve prolin birikimi gibi parametreler analiz edilmiştir. Kontrol koşullarında kök uzunluğu 9.88-17.26 cm arasında değişirken, %20 PEG'de bu değer 4.22-9.18 cm'ye düşmüştür. En yüksek kök uzunluğu İnqilab-91 (17.26 cm) ve Chakwal-97 (16.96 cm) çeşitlerinde gözlenmiştir. Sürgün uzunluğu kontrol grubunda 7.08-11.41 cm aralığında iken, %20 PEG'de 2.52-4.40 cm'ye gerilemiştir. Pak-81 (11.41 cm) ve Chakwal-97 (11.27 cm) en yüksek sürgün uzunluğuna sahip olmuştur. Taze kök ağırlığı kontrol grubunda 0.132-0.267 g arasında değişirken, %20 PEG'de 0.086-0.169 g'a düşmüştür. Kuru kök ağırlığı ise kontrol grubunda 0.103-0.175 g aralığında iken, %20 PEG'de 0.060-0.135 g'a gerilemiştir. RWC kontrol grubunda %73.51-94.88 arasında değişirken, %20 PEG'de %52.45-64.40 aralığına düşmüştür. En yüksek RWC değerleri İnqilab-91 (%64.40), Chakwal-50 (%62.35) ve LLR-17 (%62.34) çeşitlerinde kaydedilmiştir. Prolin birikimi kontrol grubunda 399.90-1449.40 µg arasında değişirken, %20 PEG'de 17.90-146.10 µg'a düşmüştür. En yüksek prolin birikimi Fareed-06 (1449.40 µg), LLR-31 (1330.10 µg) ve İnqilab-2000 (1328.40 µg) çeşitlerinde gözlenmiştir. Çalışma, PEG ile oluşturulan ozmotik stresin buğday çeşitlerinin fide özelliklerini önemli ölçüde olumsuz etkilediğini; İnqilab-91, Chakwal-97, Fareed-06 ve Faisalabad-2008 gibi çeşitlerinin, yüksek RWC ve prolin birikimi ile kuraklık stresine karşı daha toleranslı olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu bulgular ile kuraklığa dayanıklı buğday çeşitlerinin seçiminde RWC ve prolin birikimi gibi parametrelerin kullanılabileceğini bildirmiştir (Altaf ve ark., 2021).

Wasaya ve arkadaşları (2021), kuraklık stresinin ekmeklik buğday genotiplerinin verimine ve fizyolojik özelliklerine etkilerini inceleyen bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada, 14 buğday genotipi üç farklı su stresi seviyesinde (kontrol, hafif kuraklık (%60 TK ve şiddetli kuraklık (%40 TK'de) değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kuraklık stresinin buğdayın büyüme, fizyolojik özellikler ve verim parametreleri üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Normal sulama koşullarında ortalama bitki boyu 70.1 cm olarak ölçülmüştür. Ancak kuraklık stresi altında bu değer 60.4 cm'ye düşmüştür.

Kontrol grubunda ortalama RWC değeri %80.3 iken, şiddetli kuraklık koşullarında bu değer %59'a gerilemiştir. Şiddetli su stresi altında en yüksek RWC değerleri sırasıyla Galaxy-2013 (%65.2), AAS-2011 (%64.6) ve Johar-2016 (%62.3) genotiplerinde kaydedilmiştir. Normal koşullarda klorofil değeri spad biriminden 55.3 iken, kuraklık stresi altında bu değer 52.2'ye düşmüştür. Galaxy-2013 genotipi, normal koşullarda 59.4 klorofil içeriğine sahipken, stres altında bu değer 54.1 olarak ölçülmüştür. Araştırmacılar, bu çalışma ile Galaxy-2013 genotipinin kuraklığa dayanıklı bir çeşit olduğunu ve sınırlı su koşullarında yüksek verim potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur (Wasaya ve ark., 2021).

Chowdhury ve ark. (2021), kuraklığa dayanıklı ekmeklik buğday genotiplerini belirlemek amacıyla dört farklı buğday genotipini (BARI Gom 26, BAW 1158, BAW 1167 ve BAW 1169) iki su rejimi (kontrol ve kuraklık stresi) altında bir tarla denemesi gerçekleştirmiştir. RWC değerleri incelendiğinde, genotiplerden BAW 1169 (%2.59) ve BAW 1158 (%3.47) RWC bakımından en az kaybı göstererek kuraklığa karşı daha dayanıklı olduğunu kanıtlarken; BAW 1167 (%8.42) ve BARI Gom 26 (%7.70) genotiplerinde en yüksek RWC kaybı yaşanmıştır. Çiçeklenmeden 8 gün sonra, BAW 1169 ve BAW 1158 genotipleri sırasıyla %8.40 ve %9.76 klorofil kaybı ile ön planda olup, çiçeklenmeden 24 gün sonra da benzer bir performans sergilemiştir. Prolin birikimi değerlendirildiğinde, BAW 1169 (%24.02'lik artış) ve BAW 1158 (%21.55'lik artış), bayrak yapraklarında en yüksek prolin birikimini göstererek kuraklığa karşı daha dirençli olduğunu kanıtlamıştır. BAW 1167 (%8.19'lük artış) ve BARI Gom 26 (%10.53'lük artış) ise daha düşük prolin birikimi göstermiştir. BAW 1169, kuraklık stresi altında en yüksek RWC, klorofil içeriği, prolin birikimi ve tane verimi ile en dayanıklı genotip olarak öne çıkmıştır (Chowdhury ve ark., 2021).

Zahra ve ark. (2021) kuraklığın buğday çeşitleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada dört farklı sulama uygulaması (kontrol ve ekimden 30, 45, 60 gün sonra ilk sulama) ve üç farklı buğday çeşidi (Faisalabad-2008, Td-1, Galaxy-2013) kullanılmıştır. Çalışmada, Galaxy-2013'ün, en yüksek verim ve büyüme parametreleri ile en iyi performansı sergilerken; TD-1'in en düşük değerleri gösterdiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, Galaxy-2013 çeşidinin kuraklık koşullarında tercih edilmesini önermişlerdir (Zahra ve ark., 2021).

Naz ve Perveen (2021) bu çalışmada, kuraklık stresi koşullarında ekmeklik buğday genotiplerinin performansı üzerine ekim öncesi tiyoüre (TU) ve hidro-priming uygulamalarının etkilerini araştırmış olup, Galaxy-2013 buğday çeşidinin tohumları, 12 saat boyunca su (hidro-priming), 0.1 mM ve 1.0 mM TU çözeltileri ile muamele edilmiş

ve ardından stressiz koşullar (%100 tarla kapasitesi) ve stresli koşullar (%50 tarla kapasitesi) altında yetiştirilmiştir. Klorofil-a stresle 0.58 mg g⁻¹'dan 0.52 mg g⁻¹'a düşmüş, hidro-priming ve TU uygulamaları bu düşüşü hafifletmiştir. Klorofil-b stresle 0.48 mg g⁻¹'dan 0.38 mg g⁻¹'a düşmüş, 0.1 mM TU uygulaması 0.53 mg g⁻¹'a yükseltmiştir. Toplam klorofil miktarı stresle 1.02 mg g⁻¹'dan 0.90 mg g⁻¹'a düşmüş, 0.1 mM TU uygulaması 1.11 mg g⁻¹'a çıkarmıştır. Prolin miktarı stresle 14 µmol g⁻¹'dan 22 µmol g⁻¹'a yükselmiş, 1.0 mM TU uygulaması 24 µmol g⁻¹'a çıkararak stres toleransını artırmıştır. Hidro-priming, klorofil içeriğini koruyarak fotosentezi desteklemiş ve stres altında büyümeyi teşvik etmiştir. Tiyoüre uygulaması, özellikle 0.1 mM TU, klorofil-b'yi artırarak fotosentetik kapasiteyi korumuş, 1.0 mM TU ise prolin birikimini artırarak stres toleransını desteklemiştir. Araştırmacılar bu çalışma ile hidro-priming ve düşük doz TU uygulamalarının kuraklık stresine karşı potansiyelini bildirmiştir (Naz ve Perveen, 2021).

Yıldırım ve Güneş (2021) yaptıkları çalışmada, Ceyhan-99 ekmeklik buğday çeşidinde (*Triticum aestivum* L.) tuz ve kuraklık stresi altında silikon uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Silikon, 100 ppm ve 200 ppm konsantrasyonlarıyla iki kez uygulanmış; tuz stresi 100 mM ve 200 mM konsantrasyonlarla oluşturulmuştur. Kuraklık stresi ise haftalık sulama aralıklarıyla gerçekleştirilmiştir. Klorofil-a miktarı kontrol grubunda 20.28 mg g⁻¹ iken; stres grubunda 18.01 mg g⁻¹'e düşerek %16.96 oranında bir değişim görülmüştür. Klorofil-b miktarı kontrol grubunda 8.87 mg g⁻¹ iken; stres grubunda %8.68'lik bir azalma görülmüştür. Toplam klorofil miktarı ise kontrol grubunda 29.15 mg g⁻¹ iken; stres grubunda 26.11 mg g⁻¹ e düşerek %10.42'lik bir değişim görülmüştür. Karotenoid miktarı kontrol grubunda 1.71 mg g⁻¹ iken; stres koşullarında 1.90 mg g⁻¹'a düşmüştür. Çalışma sonucunda araştırmacılar, stres altında bitki boyunda %14.23, ağırlığında %38.4, kök boyunda %33.71 ve kök ağırlığında %42.68 azalma görülerek kuraklıktan olumsuz etkilendiğini, ancak silikon uygulamaları ile bu azalmaları bitki boyunda %8.98'e, bitki ağırlığında %9.42'ye, kök boyunda %14.98'e düşürürken kök ağırlığındaki kaybı %18.29'a indirgemıştır. Toplam klorofil miktarında da %1.61 artış sağlamıştır. Silikon uygulamalarının, kuraklık ve tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltarak buğdayın gelişimini destekleyebileceğini ortaya koymuşlardır (Yıldırım ve Güneş, 2021).

Rashid ve ark. (2022)'nin çalışmasında, kuraklık stresine maruz kalan buğday bitkilerinin performansını iyileştirmek amaçlanmış ve bu amaçla kök bakterileri (PGPR) olan *Bacillus megaterium* (MU2) ve *Bacillus licheniformis* (MU8) kullanılmıştır. Bu mikroorganizmalar, bitki gelişimini destekleyen özellikleri (fosfor ve potasyumun çözünür hale getirilmesi, ekzopolisakkarit üretimi, ACC deaminaz aktivitesi, IAA

sentezi) ve kuraklığa karşı dayanıklılık potansiyelleri açısından incelenmiştir. Klorofil-a değeri normal koşullarda aşısız bitkilerde 1.5 mg g^{-1} , MU2 uygulananlarda 1.8 mg g^{-1} , MU8 uygulananlarda 1.6 mg g^{-1} olarak ölçülmüştür. Kuraklık stresinde ise aşısız bitkilerde 0.5 mg g^{-1} , MU2 uygulananlarda 1.7 mg g^{-1} , MU8 uygulananlarda 1.5 mg g^{-1} olarak kaydedilmiştir. Klorofil-b değeri normal şartlarda aşısız bitkilerde 0.39 mg g^{-1} , MU2 uygulananlarda 0.61 mg g^{-1} , MU8 uygulananlarda 0.5 mg g^{-1} iken; kuraklıkta aşısız bitkilerde 0.2 mg g^{-1} , MU2 uygulananlarda 0.6 mg g^{-1} , MU8 uygulananlarda 0.4 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Karotenoid miktarı, normal koşullarda aşısız bitkilerde 2.25 mg g^{-1} , MU2 uygulananlarda 2.6 mg g^{-1} , MU8 uygulananlarda 2.3 mg g^{-1} olarak tespit edilmiştir. Prolin içeriği normal şartlarda aşısız bitkilerde $0.25 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, MU2 uygulananlarda $0.19 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, MU8 uygulananlarda $0.21 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ iken; kuraklıkta aşısız bitkilerde $0.45 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, MU2 uygulananlarda $1.1 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, MU8 uygulananlarda $1.6 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. MDA içeriği normal koşullarda aşısız bitkilerde 0.07 nmol g^{-1} , MU2 uygulananlarda 0.04 nmol g^{-1} , MU8 uygulananlarda 0.06 nmol g^{-1} iken; kuraklıkta aşısız bitkilerde 0.26 nmol g^{-1} , MU2 uygulananlarda 0.10 nmol g^{-1} , MU8 uygulananlarda 0.17 nmol g^{-1} olarak kaydedilmiştir. MU2, protein sentezini kuraklık koşullarında %136 yükseltmiş ve bağıl nem içeriğini kuraklık stresi altında %59 artırmıştır. Ayrıca MU2 ile aşılama, kuraklık koşullarında çimlenme oranını %11-46, kök uzunluğunu %33 artırmıştır. Araştırmacılar, *Bacillus megaterium* (MU2)'un, kuraklık toleransı ve bitki gelişimini destekleme açısından *Bacillus licheniformis* (MU8) 'e kıyasla daha etkili bulmuştur (Rashid ve ark., 2022).

Javed ve ark. (2022) yürüttükleri bu çalışmada, kuraklık stresinin buğday tanesi verimi, klorofil ve protein içerikleri üzerindeki etkileri incelenmişlerdir. 14 yeni geliştirilmiş ekmeklik buğday genotipi, sulama (tam sulama) ve kuraklık koşulları (normal sulamanın yarısı) altında değerlendirmişlerdir. Büyüme, verim ve protein içerikleri ile ilgili veriler kaydedilmiş ve tüm özellikler için genotipler arasında önemli farklılıklar ($p < 0.01$) tespit etmişlerdir. Kuraklık stresi; başaklanma süresini, olgunlaşma süresini, tane dolumunu, bitki boyunu, metrekaire başak sayısını, SPAD, sap uzunluğunu, başakta tane sayısını, bin tane ağırlığını ve tane verimini önemli ölçüde azaltırken kuraklık stresi altında protein içeriklerini artırmıştır. Araştırmacılar, biplot analizi sonucunda, 'V-196180 ve 'V-196000 genotiplerinin kuraklık koşullarında tane verimi ve ilgili özellikler açısından üstün olduğu, 'V-195740 genotipinin ise hem sulanan hem de kuraklık koşullarında daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir (Javed ve ark., 2022).

Ahmed ve ark. (2022), 20 farklı ülkeden toplanan 172 ekmeklik buğday genotipini kullanarak fide aşamasında kuraklık stresine karşı gösterilen tepkilerini incelemiştir. Kuraklık stresi altında, prolin içeriğinde kontrol koşullarına kıyasla belirgin bir artış gözlenmiştir. Kurak şartlarda ölçülen prolin değeri ortalama 34 mg g^{-1} olarak belirlenmiş; bu şartlarda prolin seviyeleri %33.6 oranında artış göstermiştir. Prolin için hesaplanan kalıtım (H^2) değeri ise %99.9 olarak tespit edilmiştir. Kuraklığa dayanıklı genotiplerde, prolin içeriği kontrol grubuna kıyasla %53 oranında daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar, prolinin kuraklık stresine karşı bitkilerde önemli bir koruyucu mekanizma olarak işlev gördüğünü ve özellikle dayanıklı genotiplerde bu özelliğin daha belirgin şekilde ortaya çıktığını belirtmişlerdir (Ahmed ve ark., 2022).

Vukovic ve ark. (2022) bu çalışmada, altı farklı ekmeklik buğday çeşidinde (Silvija, Rujana, Bubnjar, Fifi, Andelka ve Pepeljuga) çimlenme ve fide gelişim döneminde iki farklı PEG 600 (%10 ve %20) kuraklık stresi seviyesine maruz bırakılarak, çeşitlerin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeydeki tepkilerini incelemiştir. Çalışmada, kuraklık stresinin bitkilerin morfolojik özellikleri, su kullanım etkinliği ve stres tolerans mekanizmaları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Kuraklık stresi altında, buğday çeşitlerinin sürgün uzunluğunda önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Özellikle Silvija çeşidinde sürgün uzunluğu %40 oranında azalırken, Bubnjar çeşidinde bu azalma %33 seviyesinde kalmıştır. Buna karşılık, kök gelişimi kuraklık stresi altında artış göstermiştir. Bubnjar çeşidi, kontrol grubunda 65 mm bitki başına kök uzunluğu sergilerken, %10 PEG uygulaması altında bu değer 95 mm ile %57'lik bir artış kaydetmiştir. Fifi çeşidinde ise kök uzunluğu 80 mm'den 97 mm'e çıkarak %24'lük bir artış göstermiştir. %20 PEG uygulaması altında Bubnjar çeşidinin kök uzunluğu 70 mm ile %22'lik bir artış sergilemiştir. RWC değerleri, kuraklık stresi altında kontrol grubuna kıyasla genel olarak düşüş eğilimi göstermiştir. Silvija çeşidinde, kontrol grubunda %85 olan RWC değeri, %10 PEG uygulaması altında %80'e düşmüş, ancak %20 PEG uygulamasında tekrar %85 seviyesine yükselmiştir. Bubnjar çeşidi, kontrol grubunda 5 nmol mg^{-1} prolin içeriği sergilerken, %10 PEG uygulaması altında bu değer 35 nmol mg^{-1} 'a, %20 PEG uygulaması altında ise 20 nmol mg^{-1} 'a yükselmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlara göre, Bubnjar çeşidinin kuraklık stresine en dayanıklı çeşit olduğunu ve eldeki bulguların kuraklık tolerans mekanizmalarının anlaşılması ve kuraklığa dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesi için önemli bir temel olabileceğini bildirmiştir (Vukovic ve ark., 2022).

Ahmad ve ark. (2022) bu çalışmada, kuraklık stresinin buğday genotiplerinin morfo-fizyolojik, biyokimyasal özellikleri ve verim üzerindeki etkilerini incelemek

amacıyla yürütmüştür. Çalışmada, 11 farklı buğday genotipi (Akbar-2019, Ghazi-2019, Ujala-2016, Zincol-2016, Anaj-2017, Galaxy-2013, Pakistan-2013, Seher-2006, Lasani-2008, Faisalabad-2008 ve Millat-2011) iyi sulanmış (tarla kapasitesinin %70'i) ve su stresi (tarla kapasitesinin %35'i) koşulları altında yürütmüştür. Kontrol grubunda Akbar-2019 (2.81 mg g^{-1}) en yüksek, Seher-2008 (2.10 mg g^{-1}) en düşük klorofil a içeriğine sahipken, kuraklık stresi altında Faisalabad-2008 (1.42 mg g^{-1}) en yüksek, Galaxy-2013 (1.02 mg g^{-1}) en düşük klorofil a içeriğini göstermiştir. Kontrol koşullarında Ghazi-2019 (0.97 mg g^{-1}) en yüksek, Seher-2008 (0.67 mg g^{-1}) en düşük klorofil b içeriğine sahipken, kuraklık stresi altında Faisalabad-2008 (0.39 mg g^{-1}) en yüksek, Galaxy-2013 (0.24 mg g^{-1}) en düşük klorofil b içeriğini kaydetmiştir. İyi sulanan koşullarda Akbar-2019 (%91.33) en yüksek, Seher-2008 (%78.33) en düşük RWC'ye sahipken, kuraklık stresi altında Ghazi-2019 (%74.00) en yüksek, Galaxy-2013 (%62.66) en düşük RWC'yi göstermiştir. Kontrol koşullarında Akbar-2019 (%85.66) en yüksek, Seher-2008 (%73.33) en düşük MSI değerine sahipken, kuraklık stresi altında Zincol-2016 (%72.33) ve Faisalabad-2008 (%72.00) en yüksek, Galaxy-2013 (%59.33) en düşük MSI değerine sahiptir. Araştırmacılar, Faisalabad-2008, Akbar-2019, Ghazi-2019 ve Zincol-2016 genotiplerinin kuraklığa dayanıklı, Galaxy-2013 ve Seher-2008 ise kuraklığa duyarlı olduğunu belirtmişlerdir (Ahmad ve ark., 2022).

Soylu ve ark. (2022) araştırmasında, Siyez (*Triticum monococcum* L.) ve Ahmet Ağa (*T. aestivum* L.) fidelerinde kuraklık (K), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve bu iki faktörün birleşimi olan kuraklık + H_2O_2 uygulamalarının etkilerini incelemiştir. Kontrol grubunda Siyez genotipinde sürgün boyu 28 cm, Ahmetağa genotipinde 34 cm olarak ölçülmüştür. Kuraklık uygulamasında Siyez genotipinde sürgün boyu 26 cm'ye, Ahmetağa genotipinde 29 cm'e düşmüştür. Kuraklık + H_2O_2 uygulamasında ise Siyez genotipinde sürgün boyu 25 cm, Ahmetağa genotipinde 30 cm olarak belirlenmiştir. Kontrol grubunda Siyez genotipinde sürgün taze ağırlığı 130 mg, Ahmetağa genotipinde 280 mg olarak ölçülmüştür. Kuraklık uygulamasında Siyez genotipinde sürgün taze ağırlığı 110 mg'a, Ahmetağa genotipinde 220 mg'a düşmüştür. Kuraklık + H_2O_2 uygulamasında ise Siyez genotipinde sürgün taze ağırlığı 100 mg, Ahmetağa genotipinde 240 mg olarak belirlenmiştir. Kontrol grubunda Siyez genotipinde sürgün kuru ağırlığı 17 mg, Ahmetağa genotipinde 27 mg olarak ölçülmüştür. Kuraklık uygulamasında Siyez genotipinde sürgün kuru ağırlığı 14 mg'a, Ahmetağa genotipinde 23 mg'a düşmüştür. Kuraklık + H_2O_2 uygulamasında ise Siyez genotipinde sürgün kuru ağırlığı 17 mg, Ahmetağa genotipinde 24 mg olarak belirlenmiştir. Klorofil a içeriği kontrol grubunda Siyez genotipinde 620 mg g^{-1} , Ahmetağa genotipinde 600 mg g^{-1} olarak ölçülmüştür. Kuraklık

uygulamasında Siyez genotipinde 320 mg g⁻¹'a, Ahmetağa genotipinde ise 440 mg g⁻¹'a düşmüştür. Klorofil b içeriği kontrol grubunda Siyez genotipinde 380 mg g⁻¹, Ahmetağa genotipinde 460 mg g⁻¹ olarak ölçülmüştür. Kuraklık uygulamasında Siyez genotipinde 220 mg g⁻¹'a, Ahmetağa genotipinde ise 300 mg g⁻¹'a düşmüştür. Klorofil a/b oranı kontrol grubunda Siyez genotipinde 1.7, Ahmetağa genotipinde 1.3 olarak belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında Siyez genotipinde 1.5'e, Ahmetağa genotipinde ise 1.35'e düşmüştür. Kuraklık ve kuraklık + H₂O₂ uygulamaları, her iki genotipte de sürgün boyu, taze ve kuru ağırlık ile klorofil içeriklerinde azalmaya neden olmuştur. Ancak Ahmetağa genotipi, kuraklık stresine karşı daha dirençli bir profil sergilemiştir. Araştırmacılar bu bulgular ile genotiplerin kuraklık toleransının farklı olduğunu ve H₂O₂ uygulamasının kısmi bir iyileşme sağlayabileceğini bildirmiştir (Soylu ve ark., 2022).

Dubrovna ve ark. (2022) bu çalışmada kışlık buğdayın kuraklığa toleransını artırmak amacıyla prolin dehidrogenaz (ProDH) geninin aktivitesini baskılayan transgenik buğday hatları geliştirilmiş ve bu hatların kuraklık koşullarındaki performansı incelenmiştir. Ukrayna Ulusal Bilimler Akademisi Bitki Fizyolojisi ve Genetiği Enstitüsü'nde yürütülen çalışmada, ProDH enzim aktivitesi azalmış 4 yabancı genotipin ve bunların transgenik hatlarının geç gebeleşme (karınlanma)-başak çıkışı döneminde 7 günlük kurak koşullarda verim etkinliğinin fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri ve yapısal unsurları analiz edilmiştir. Çalışmada, her transgenik hattın 30 bitki ve yabancı genotipten 30 bitki incelenmiştir. Transgenik hatlarda, ProDH geninin baskılanması sonucu serbest prolin birikimi artmıştır. Normal nem koşullarında yabancı genotiplerde prolin içeriği 2.14-3.03 µg kg⁻¹ taze ağırlık iken, transgenik hatlarda bu değer 3.54-5.73 µg kg⁻¹ taze ağırlık olarak ölçülmüştür. Kurak koşullarda, yabancı genotiplerde prolin içeriği 6.23-8.88 mg kg⁻¹ taze ağırlık iken, transgenik hatlarda bu değer 12.21-26.06 mg kg⁻¹ taze ağırlık olarak belirlenmiştir. Kurak koşullarda, transgenik hatların yapraklarındaki toplam klorofil içeriği yabancı genotiplerden %10-17 daha yüksek bulunmuştur. Normal nem koşullarında (%70 TK) yabancı genotipler 10.57-11.86 mg g⁻¹ KM (kuru ağırlık) klorofil (a + b); transgenik hatlar ise 10.38-11.76 mg g⁻¹ KM göstermiştir. Fizyolojik koşullarla kıyaslandığında, kuraklık (%30 FC) yabancı genotiplerin toplam klorofil içeriklerinde %83-85 azalmaya neden olmuştur. Transgenik hatlardan Uk 065 hattı, optimum koşullarda 10.38 mg g⁻¹ KM, kurak koşullarda 9.76 mg g⁻¹ KM toplam klorofil içermiştir. Çalışmada, transgenik hatların yabancı genotiplerden %10-17 daha yüksek klorofil içerdiği saptanmıştır. Ayrıca, diğer bir fotosentetik pigment olan karotenoidler bakımından, yeterli su koşullarında, yabancı genotipler (U 322/17 ve Uk 095/17) ve bunların transgenik hatları arasında önemli bir fark görülmezken; Uk 209

ve Uk 065 genotiplerinin transgenik hatlarının transgenik olmayanlara göre %5-6 daha düşük karotenoid içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, transgenik hatlarda karotenoidlerin toplam klorofile oranı, yabancı genotiplere göre daha düşük bulunmuştur (Dubrovna ve ark., 2022).

Hussein ve ark. (2022) bu çalışmada, ekmeklik buğday genotiplerinin kuraklık stresi altındaki büyüme performansı ve fizyolojik özellikleri üzerinde arginin uygulamasının etkilerini araştırmıştır. Denemede, farklı arginin konsantrasyonları (0.25, 0.5 ve 1 mM) ve iki farklı sulama rejimi (%100 TK ve %50 TK) kullanmıştır. Normal koşullarda, buğday bitkilerinin boyu 64 cm ve kök uzunluğu 7.3 cm iken, kuraklık stresi altında bu değerler sırasıyla 53 cm ve 6.1 cm'ye düşmüştür. Ancak 1 mM arginin uygulaması, kuraklık koşullarında kök uzunluğunu 9 cm'ye kadar çıkarmıştır. Benzer şekilde, normal koşullarda sürgün taze ağırlığı 4.36 g, sürgün kuru ağırlığı 1.12 g, kök taze ağırlığı 0.92 g ve kök kuru ağırlığı 0.34 g olarak belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında bu değerler sırasıyla 2.85 g, 1.1 g, 0.37 g ve 0.15 g'a gerilemiştir. 1 mM arginin uygulaması, kuraklık koşullarında sürgün taze ağırlığını 6 g, sürgün kuru ağırlığını 1.58 g, kök taze ağırlığını 0.78 g ve kök kuru ağırlığını 0.31 g'a yükseltmiştir. Normal koşullarda klorofil-a içeriği 0.81 mg g^{-1} , kuraklık koşullarında ise 0.79 mg g^{-1} olarak tespit edilmiştir. 1 mM arginin uygulaması, kontrol koşullarında klorofil-a içeriğini 1.0 mg g^{-1} 'a, kuraklık koşullarında ise 0.9 mg g^{-1} 'a çıkarmıştır. Klorofil-b içeriği normal koşullarda 0.35 mg g^{-1} , kuraklık koşullarında 0.3 mg g^{-1} olarak ölçülmüştür. 1 mM arginin uygulaması, kontrol koşullarında klorofil-b içeriğini 0.49 mg g^{-1} 'a, kurak koşullarda ise 0.42 mg g^{-1} 'a yükseltmiştir. Karotenoid miktarı normal koşullarda 0.09 mg g^{-1} , kurak koşullarda 0.11 mg g^{-1} olarak belirlenirken, 1 mM arginin uygulaması bu değerleri kontrol koşullarında 0.10 mg g^{-1} 'e, kurak koşullarda ise 0.15 mg g^{-1} 'e çıkarmıştır. Normal koşullarda 1 mM arginin uygulaması, klorofil-a içeriğinde %16.9, klorofil-b içeriğinde %33.3 ve karotenoid miktarında %11.11'lik bir artış sağlamıştır. Kuraklık stresi, klorofil-a içeriğinde %5, klorofil-b içeriğinde %14'lük bir azalmaya neden olurken, karotenoid miktarını %16.67 oranında artırmıştır. 1 mM arginin uygulaması, kuraklık koşullarında klorofil-a içeriğini %11.4, klorofil-b içeriğini %38.7 ve karotenoid miktarını %41.9 oranında artırmıştır. Ayrıca, kuraklık stresi prolinde %41.26'lık bir artışa yol açarken, arginin uygulaması buğday bitkilerinin kuraklık stresine karşı direncini belirgin şekilde artırmıştır. Araştırmacılar, arginin uygulamasının buğday bitkilerinin kuraklık stresine karşı direncini artırdığını ve büyüme parametrelerinde iyileşme sağladığını bildirmiştir (Hussein ve ark., 2022).

Yang ve arkadaşları (2023), bu çalışmada yükseltilmiş CO₂ (ortam + 200 µmol mol⁻¹) ve kuraklık stresinin (%35-45 TK) buğdayın fotosentez, klorofil floresansı, stres fizyolojisi, biyokütle üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. İki buğday çeşidi (Z175 ve Triumph) üzerinde yapılan deneylerde yükseltilmiş CO₂ ile su kullanım etkinliği (WUE) %65.6 oranında önemli ölçüde artmış, ancak net fotosentez hızını (PN) iyileştirmemiştir. Kuraklık stresi, PN'yi %45.7 ve stoma iletkenliğini (gs) %48.9 oranında azaltmış, ancak WUE'yi %57.7 oranında artırmıştır. Yükseltilmiş CO₂, klorofil-a içeriğini %7.6 ve karotenoid içeriğini %14.0 oranında artırırken, oksidatif stres göstergesi olan malondialdehit (MDA) içeriğini %37 ve peroksidaz (POD) içeriğini %20 oranında azaltmıştır. Kuraklık stresinde ise klorofil-a içeriği %5.1, klorofil-b içeriği %18.6, POD içeriği %11.9 ve MDA içeriği %42.4 oranında azalmıştır. Z175 çeşidi, yükseltilmiş CO₂ ve kuraklık stresi altında Triumph'a kıyasla daha yüksek klorofil-a ve POD değerlerine sahip olmuştur. Yükseltilmiş CO₂, biyolojik verimi %21.8 ve tane ağırlığını %31.3 oranında artırırken, kuraklık stresi biyolojik verimi %39.8 ve tane ağırlığını %49.6 oranında azaltmıştır. Kontrol grubunda klorofil-a içeriği 1.45 mg g⁻¹, klorofil-b içeriği 0.65 mg g⁻¹ olarak ölçülmüştür. Stres koşulları altında klorofil-a içeriği 1.12 mg g⁻¹, klorofil-b içeriği 0.48 mg g⁻¹'e düşmüştür. Toplam klorofil içeriği, kontrol grubunda 2.10 mg g⁻¹ iken, stres grubunda %23.8 azalma ile 1.60 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Kontrol grubunda MDA içeriği 5.2 nmol g⁻¹ olarak ölçülmüş, stres koşullarında ise 9.8 nmol g⁻¹'ye yükselmiştir (%88.5 artış). Kontrol grubunda RWC %92.5 iken, stres koşullarında %75.3'e düşmüştür. Yükseltilmiş CO₂, karotenoid içeriğini %14.0 oranında artırmış, ancak iki buğday çeşidi arasında karotenoid içeriği açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Araştırmacılar, yükseltilmiş (Yang ve ark., 2023).

Alagöz ve ark. (2023) bu çalışmada tuzluluk ve kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerinin tritikale bitkisinin gelişimi, morfolojik yapısı ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, üç blok halinde 3 x 4 faktöriyel deneysel tasarım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde, farklı tuz konsantrasyonları (0, 50, 100 mM NaCl) ve kuraklık stresi (başaklanma, çiçeklenme ve tane dolum aşamalarında sulamanın kesilmesi) uygulanmıştır. Tuzsuz ve normal sulama koşullarında bitki boyu 99.7 cm olarak ölçülmüştür. Buna karşılık, 100 mM NaCl uygulamasında bitki boyu 71.5 cm'ye kadar gerilemiştir. Bu bulgular, tuzluluk ve kuraklık streslerinin bitkinin büyümesini önemli ölçüde engellediğini göstermektedir. Tuzluluk ve kuraklık stresleri, klorofil-a, b ve toplam klorofil miktarında belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Kontrol grubunda toplam klorofil değeri 33.1 mg g⁻¹ iken, kuraklık stresi altında bu değer 15.1

mg g⁻¹'e düşmüştür. Klorofil-a içeriği kontrol grubunda 27 mg g⁻¹ iken, kurak koşullarda 18.9 mg g⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Klorofil-b içeriği ise kontrol grubunda 6.08 mg g⁻¹ iken, kuraklık stresi altında 4.76 mg g⁻¹'e gerilemiştir. Karotenoid seviyeleri, tuzluluk ve kuraklık stresi altında artış göstermiştir. Kontrol grubunda 1.04 mg g⁻¹ olan karotenoid miktarı, kuraklık stresi altında 3.79 mg g⁻¹'e yükselmiştir. Prolin, tuzluluk ve kuraklık stresi altında önemli ölçüde artmıştır. Prolin içeriği kontrol grubunda 1.59 µM g⁻¹ iken, kuraklık stresi altında 3.79 µM g⁻¹'e yükselmiştir. Araştırmacılar, çiçeklenme aşamasını tuzluluk ve kuraklık streslerine karşı en duyarlı dönem olarak belirtmiştir. Şiddetli tuzluluk koşullarında iyonik stresin, ozmotik stresten daha baskın olduğu gözlenmiş olup, özellikle çiçeklenme döneminde bitkinin strese karşı daha savunmasız olduğu bildirilmiştir (Alagöz ve ark., 2023).

Hukail ve ark. (2023), ekmeklik buğdayda kuraklık stresinin etkilerini ve benzothiazin (BTh) türevinin bu etkileri hafifletmedeki rolünü araştırmıştır. Çalışmada, normal (%100 TK) ve kuraklık (%60 TK) koşullarında 0.05 mM ve 0.15 mM BTh uygulamaları test edilmiştir. Kuraklık stresi, bitki boyunda (31 cm'den 21 cm'ye), taze ağırlıkta (24 g'dan 16 g'a), kuru ağırlıkta (8.1 g'dan 5.6 g'a), klorofil-a (1.8 mg g⁻¹'den 1.1 mg g⁻¹'a), klorofil b (0.8 mg g⁻¹'den 0.5 mg g⁻¹'a), toplam klorofil (2.7 mg g⁻¹'den 1.8 mg g⁻¹'a) ve karotenoid seviyelerinde (0.8 mg g⁻¹'den 0.45 mg g⁻¹'a) belirgin düşüslere neden olmuştur. Buna karşılık, MDA (23 µmol g⁻¹'den 60 µmol g⁻¹'a) ve prolin içeriği (0.62 mg g⁻¹'den 0.88 mg g⁻¹'a) artmıştır. BTh uygulamaları, özellikle 0.15 mM konsantrasyonda, kuraklık stresinin olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmıştır. Örneğin, 0.15 mM BTh uygulamasıyla stres grubunda bitki boyu 29 cm'ye, taze ağırlık 21 g'a, kuru ağırlık 6.9 g'a, klorofil a 2 mg g⁻¹'a, klorofil b 0.85 mg g⁻¹'a, toplam klorofil 3 mg g⁻¹'a ve karotenoid 0,83 mg g⁻¹'a yükselmiştir. Ayrıca, MDA seviyesi 48 µmol g⁻¹'a düşmüştür. Araştırmacılar, BTh'nin buğday bitkilerinde kuraklık stresinin etkilerini hafifletmede etkili bir araç olabileceğini bildirmişler (Al- Huqail ve ark., 2023).

Pantha ve ark. (2024), bu çalışmada bazı *Triticum* türlerinin sapa kalkma ve çiçeklenme aşamaları kuraklık stresinin etkilerini ve kuraklığa katlanma mekanizmalarını incelemişlerdir. Çalışmada, modern ve yabancı genotipler de dahil olmak üzere 17 buğday türü kullanılarak bir sera saksı denemesi yürütmüşlerdir. Denemede, sapa kalma ve çiçeklenme aşamalarında toprak nemi, su tutma kapasitesinin sırasıyla %15 ve %18 olana kadar kuraklık stresi oluşturmuşlardır. Tamamen sulanan işlem için toprak nemi %80-90 T.K.'nde tutulmuştur. Sapa kalkma aşamasında normal koşullarda bağıl su içeriği %91.7 iken; kurak koşullarda %61.9'a düşmüştür. Prolin miktarı 56.1 µg g⁻¹'den 3998.6 µg g⁻¹'a yükselmiştir. MDA miktarı 16.4 nmol m⁻¹ g⁻¹'den 25.2 nmol m⁻¹ g⁻¹'a yükselmiştir.

Çiçeklenme aşamasında normal koşullarda bağıl su içeriği %89.1 iken; kurak koşullarda %65'e düşmüştür. Prolin miktarı $53.7 \mu\text{g g}^{-1}$ 'dan $1856.5 \mu\text{g g}^{-1}$ 'a yükselmiştir. MDA miktarı $10.1 \text{ nmol m}^{-1} \text{ g}^{-1}$ 'dan $16.1 \text{ nmol m}^{-1} \text{ g}^{-1}$ 'a yükselmiştir. Elde edilen bulgular, kuraklığın her iki gelişim aşamasında da RWC önemli ölçüde azalırken; MDA içeriğinde ve çiçeklenme aşamasında prolin içeriğinde önemli artışlar meydana geldiğini bildirmişlerdir (Pantha ve ark., 2024).

Fang ve ark. (2024), farklı kuraklık koşullarında yüksek verimli buğday genotiplerinin kök özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Eski (FC3) ve modern (CH1) genotipler üzerinde yapılan tarla ve saksı denemelerinde, CH1 genotipinin kuraklık koşullarında daha yüksek verim kararlılığı gösterdiğini belirtmişlerdir. CH1, erken büyüme aşamasında daha fazla kök biyokütlesi üretirken, olgunluk döneminde su kullanım stratejisini daha etkin yönetmiştir. Özellikle alt toprak katmanlarında daha yüksek kök biyokütlesi koruması sağlamış ve kuraklık stresi altında FC3'e kıyasla daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir (Fang ve ark., 2024).

Chaouachi ve ark. (2024) bu çalışmada, sert makarnalık buğday genotiplerinin (Hmira, Biskri, Hedhba, Aouija, Karim) gelişmenin erken döneminde su ve sıcaklık stresine toleransını incelemiştir. Kontrol (T0: 24 °C, %100 TK), orta stres (T1: 30 °C, %50 TK) ve şiddetli stres (T2: 35 °C, %25 TK) koşullarında test edilen genotiplerde RWC, T1'de %37.6, T2'de %67.6 azalmıştır. Karim çeşidi, RWC bakımından %77.2 ile en yüksek düşüşle en hassas genotip olmuştur. Aouija genotipinde ise T0'da klorofil-a içeriği $13.09 \mu\text{g mL}^{-1}$ ve klorofil-b içeriği $8.49 \mu\text{g mL}^{-1}$ iken, T2'de bu değerler sırasıyla $8.53 \mu\text{g mL}^{-1}$ ve $5.26 \mu\text{g mL}^{-1}$ 'e gerilemiştir. Karim genotipinde ise T0'da klorofil-a içeriği $15.11 \mu\text{g mL}^{-1}$ ve klorofil-b içeriği $10.80 \mu\text{g mL}^{-1}$ iken, T2'de bu değerler $4.72 \mu\text{g mL}^{-1}$ ve $3.75 \mu\text{g mL}^{-1}$ 'e düşmüştür. Klorofil a ve b içerikleri T1'de %30.1, T2'de %44.9 azalmıştır. Yaprak sıcaklığı (LT) T1'de %16.97, T2'de %26.03 artmıştır. Yaprak alanı (LA) T1'de %16.20, T2'de %41.4 küçülmüştür. Prolin içeriği (PC) T1'de %92.2, T2'de %154.6 artmıştır. Aouija genotipinde T0'da $0.158 \mu\text{g g}^{-1}$ olan PC değeri, T2'de $0.474 \mu\text{g g}^{-1}$ 'e çıkmıştır. Araştırmacılar, bu bulgulara göre Aouija çeşidinin en yüksek stres toleransını gösterirken; Karim ve Hmira çeşitlerinin ise en hassas genotipler olduğunu belirtmişlerdir (Chaouachi ve ark., 2024).

Itam ve ark. (2024) bu çalışmada, Kentucky (çayır) salkım otu (*Poa pratensis* L.) ve İngiliz çiminin (*Lolium perenne* L.), kuraklık stresine farklı tepkiler veren iki önemli tür olduğunu ve her türden dokuz çeşidin, kuraklık koşullarına maruz bırakılarak su içeriklerini incelemişlerdir. Kuraklığın 4. gününde, çok yıllık İngiliz çimi çeşitlerinden Process, Panthergills ve Linedrive (%51-%84.3) ile Kentucky salkım otu çeşitlerinden

Finishline, Jersey, Bordeaux ve Rockstar (%54-%78), diğer çeşitlere göre daha yüksek RWC değerlerine sahip olmuştur. Araştırmacılar, türler ve çeşitler arasında kuraklık direnci açısından önemli farklılıklar olduğunu vurgulamıştır (Itam ve ark., 2024).

Frantová ve ark. (2024) tarafından yürütülen bu çalışma, yağmurla beslenen tarla koşullarında, sorgum ve mısır bitkilerinin kuraklık koşullarına karşı gösterdikleri morfolojik ve fizyolojik tepkileri incelemek amacıyla yapılmıştır. Sorgumun ortalama RWC değeri %90.7 olarak ölçülürken, mısırın ortalama RWC değeri %87.0 olarak belirlenmiştir. Sorgum, suyun sınırlı olduğu durumlarda daha fazla su tutma kapasitesine ek olarak, daha yüksek prolin içeriği ($8.7 \mu\text{mol } 100 \text{ mg}^{-1}$) ile kuraklığa karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir. Mısırdaki ise ortalama prolin miktarı $5.3 \mu\text{mol } 100 \text{ mg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın bulguları, sorgumun mısıra göre daha yüksek RWC ve prolin sergilediğini ortaya koymuştur. Sorgum çeşitlerinden Nutri Honey ($10.6 \mu\text{mol}$) ve KWS Kallisto ($9.8 \mu\text{mol}$) gibi erken olgunlaşan türler, en yüksek prolin değerlerine sahip olmuştur. Mısır çeşitleri arasında ise prolin birikimi açısından kayda değer bir fark gözlenmemiştir. Araştırmacılar, sorgumun kuraklık stresine karşı daha etkili adaptasyon mekanizmalarına sahip olduğunu ve genetik çeşitliliğin kuraklık direncinde belirleyici bir rol oynadığını vurgulamıştır (Frantov ve ark., 2024).

Li ve ark. (2024)'nın bu araştırmasında, farklı su temini seviyelerinde ve mevsimlerde tarla ve sera denemesi ile 10 kışlık ekmeklik buğday çeşidinin su kullanım özellikleri ve kuraklığa tolerans yeteneği gözlenmiştir. Çalışmada, çeşit performansının tarla koşullarında mevsimsel olarak değiştiği ve tek bir endeks veya tek bir mevsimden elde edilen sonuçlara dayalı kuraklık direncinin tutarsız olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, çeşit performansındaki mevsimsel değişiklikleri elemine etmek için çoklu endekslere dayalı olarak temel bileşen analizleri (PCA) ve hiyerarşik küme analizini (HCA) uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, tarla koşulları altında tahıl verimi seviyesindeki kuraklık direncinin, fide aşamasındaki biyokütle bakımından sera yetiştirme koşulları altında elde edilenle oldukça tutarlı olduğunu göstermiştir (Li ve ark., 2024).

Ghanem ve Al-Farouk (2024), Mısır İsmailiye'de 2020/2021 ve 2021/2022 yetiştirme sezonlarında dört ekmeklik buğday çeşidi (Misr 1, Misr 3, Giza 171 ve Sakha 95) ile yaptıkları çalışmada; kuraklığın, sürgün büyümesi, yaprak gelişimi, bağıl nem içeriği (RWC), membran stabilite indeksi (MSI), fotosentetik pigmentler ve verim özellikleri üzerinde önemli olumsuz etkiler yarattığını bildirmişlerdir. Buna göre, sürgün uzunluğu normal koşullarda 80.77 cm iken kuraklıkta 60.98 cm'ye, sürgün ağırlığı 39.09 mg'dan 30.13 mg'a düşerken; doyumluk su açığı (SWD) ve karotenoid içeriği kuraklık

koşullarında artış göstermiştir; yaprak taze ağırlığı, kuru ağırlık, yaprak alanı ve sululuk derecesi gibi parametrelerde de belirgin azalmalar gözlenmiştir. Buna karşılık, doymun su açığı (SWD) ve karotenoid içeriği kuraklık koşullarında artış göstermiştir. RCW değeri kontrol grubunda 2020/2021 yılında %77.55, 2021/2022 yılında %74.37 iken; stres grubunda sırasıyla %57.51, %54.67'ye düşmüştür. SWD değeri kontrol grubunda 2020/2021 ve 2021/2022 dönemlerinde sırayla %22.45 ve %23.63 iken; stres grubunda bu değerler yetiştirme dönemlerine göre sırayla %42.49 ve %43.33 şeklinde daha yüksek gözlenmiştir. MSI değeri, yetiştirme dönemlerine göre, kontrol grubunda %32.03 ve %32.97 iken; stres grubunda daha düşük (%24.54 ve %23.20) bulunmuştur. Klorofil-a değeri kontrol grubunda yetiştirme dönemlerine göre sırayla 0.388 mg g⁻¹ ve 0.377 mg g⁻¹ iken; stres grubunda sırasıyla 0.278 mg g⁻¹ ve 0.270 mg g⁻¹ olarak gözlenmiştir. Klorofil-b değeri kontrol grubunda yıllara göre sırayla 0.196 mg g⁻¹ ve 0.188 mg g⁻¹ iken; stres grubunda sırasıyla 0.155 mg g⁻¹ ve 0.149 mg g⁻¹ olarak düşüş göstermiştir. Klorofil a/b oranı kontrol grubunda 2.02 ve 1.99 iken; stres grubunda 1.87 ve 1.84 olarak düşmüştür. Karotenoid miktarı kontrol grubunda 0.151 mg g⁻¹ ve 0.146 mg g⁻¹ iken; stres grubunda 0.164 mg g⁻¹ ve 0.159 mg g⁻¹ olarak artmıştır. Sakha 95, hem stresli hem de stressiz koşullarda sürgün ve yaprak büyüme parametrelerinde en yüksek değerleri göstermiştir. Özellikle, Sakha 95'in RWC (%76,72) ve MSI (%41.46) değerleri diğer çeşitlere kıyasla daha yüksek, SWD (%26.77) değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, kurak koşullarda Sakha 95, toplam klorofil (0.600 mg g⁻¹), klorofil a/b oranı (2.33) ve karotenoid (0.171 mg g⁻¹) seviyelerinde en yüksek değerleri gösterirken; Mısır 3 çeşidinde, toplam klorofil (0.407 mg g⁻¹), klorofil a/b oranı (1.72) ve karotenoid (0.135 mg g⁻¹) bakımından en düşük değerler kaydedilmiştir. Araştırmacılar, bu bulgulara dayanarak Sakha 95'in kuraklık stresine en dayanıklı çeşit, Mısır 3'ün ise en hassas çeşit olduğunu bildirmişlerdir (Ghanem ve Al Farouk, 2024).

Ural ve ark. (2024), 20 kışlık ekmeklik buğday çeşidinin (10 yerli ve 10 yabancı) fide dönemindeki kuraklık stresine karşı fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini incelemişlerdir. Bitkiler, üç yapraklı fide döneminde %100 ve %25 tarla kapasitesinde tutularak su stressiz ve su stresli sera koşullarında yetiştirilmiştir. Kuraklık stresi ile birlikte klorofil-b ve klorofil a/b, MTS, LTD, yaprak kül içeriği ve yaprak K⁺ içeriğinde azalmalar gözlenirken; toplam klorofil, klorofil-a, kök/taç oranı, ELWR, karotenoid, prolin ve toplam fenolik içeriğinde ise artışlar olduğunu saptamışlardır. Kurak koşullarda, en yüksek kök/taç oranı Miranda (0.32) ve Avantaj (0.26) çeşitlerinde gözlemiştir. MTS bakımından Şanlı (%42.23) kurak koşullarda en yüksek değeri göstermiştir. Çeşitler, prolin içeriklerini kurak koşullarda (1352 µmol g⁻¹), normal koşullara (104 µmol

g⁻¹), göre ortalama 13 kat arttırmakla birlikte; en dikkat çeken çeşit, prolin içeriğini 20 kat arttıran Bayraktar çeşidi olmuştur. Yaprak kül içeriği değerleri ise stresli ve stressiz koşullarda istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Toplam klorofil ve klorofil-a içeriklerinin aksine, klorofil-b içerikleri; stresli koşullarda (0.74 mg g⁻¹) stressiz koşullara (1.14 mg g⁻¹) kıyasla istatistiksel olarak önemli azalmalar göstermiştir. Stresli koşullarda klorofil-a/b oranı (0.25), stressiz koşullardan (0.80) istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur. Kurak koşullarda Şanlı ve Tosunbey çeşitleri, toplam klorofil ve klorofil-a içerikleri bakımından yüksek değerler göstermiştir. Çeşitlerin ortalama karotenoid içeriği, stresli koşullarda (3.05 mg g⁻¹) stressiz koşullara (1.57 mg g⁻¹) göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Bulgular; Şanlı, Tosunbey, Avantaj, Bayraktar ve Miranda çeşitlerinin ıslah çalışmalarında ebeveyn olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Ural ve ark., 2024).

1.7. Çalışmanın Amacı

Kuraklık, diğer bitkilerde olduğu gibi buğdayın verim ve kalitesi üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Kuraklık stresinin bu bitkinin gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri, bitkinin gelişim dönemine, stresin şiddetine ve süresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kuraklığa dayanıklı ya da tolerant genotiplerin seçim süreci ve bu özelliklere sahip bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, bitki ıslahı araştırmalarının temel odaklarından biri haline gelmiştir. Kuraklık koşullarında verim kaybını en aza indiren fenotipik özelliklerin, yüksek tane verimi ile birleştirilmesi, seleksiyon süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. Küresel kuraklık sıklığının artışıyla birlikte, farklı buğday genotiplerinin kuraklık stresine karşı çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalarla yanıt verdikleri gözlenmiştir. Bu bulgular, genetik çeşitliliğin ve kuraklık toleransına yönelik mekanizmaların belirlenmesinin yanı sıra, bu özelliklerin bitki ıslahı ve geliştirme süreçlerine entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Bu araştırma, buğday ıslah süreçlerinde kuraklığa dayanıklılık bakımından en etkili erken dönem seleksiyon kriterlerinin belirlenmesi ve melezleme çalışmalarında kullanılacak en uygun donör ya da donörlerin saptanması amaçlanmıştır.

1.8. Çalışmanın Kapsamı

Artan sıcaklıklar sonucunda abiyotik stres faktörlerinden biri olan kuraklık, bitkiler üzerinde önemli etkiler yaratan başlıca stres faktörlerinden biridir. İnsanlar için tüketim ve üretim açısından kritik bir tarımsal ürün olan ekmeklik buğdayla gerçekleştirilecek bu

Çalışma hem kuraklık stresi altında hem de stressiz koşullarda incelemek amacıyla iki farklı uygulama ile tasarlanmıştır. Ana parsellerde uygulamaların (stresli ve stressiz) etkisi, alt parsellerde ise çeşitli 10 ekmeklik buğday çeşidinin performansı değerlendirilmiştir. Deneme, üç tekrarlamayla birlikte tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme desenine göre düzenlenmiştir. Bu alışma kapsamında, yaprak alanı, kök uzunluğu, bitki (fide) boyu, kök ve ta (sürgün) kuru ağırlıkları ve kök/ta oranı, klorofil-a ve klorofil-b, toplam klorofil ve klorofil-a/b oranı, yaprak karotenoid içeriği, yaprak kül içeriği, membran kararlılığı, kesilen yapraklarda su tutma kapasitesi, yaprak oransal su içeriği ve yaprak sıcaklığı düşüşü gibi morfo-fizyolojik özellikler incelenmiştir.



2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneme ekimi, 30.04.2024'de Konya'nın Çumra ilçesinde sera ortamında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan 10 yerli ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ekmeklik buğdaylar: Bayındır, Bozkır, Buhara, İkonya, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner, Tuğra ve Yavuz çeşitleridir.

2.2. Denemenin Ekimi ve Bakımı

Çalışma, tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak sera koşullarında yürütülmüştür. Uygulamalar (su stresli ve su stressiz koşullar) ana parsellerde, çeşitler alt parsellerde olacak şekilde ekim yapılmıştır. Ekimde kullanılan toprak için, 3 birim toprak ile 1 birim yanmış hayvan gübresi kum eleğinden geçirilerek karıştırılmıştır. Elenen topraktan 3 birim, perlitten 2 birim ilave edilip homojen olarak karıştırıldıktan sonra, içinden 1.5 kg alınarak analiz için Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi Sargem Toprak Gübre Bitki Su Analizi Laboratuvarına gönderilmiştir. Analizi yapılan topraktan, her parselde beş saksı olacak şekilde, 5 kg'lık poşetlerden oluşturulan 300 saksının her birine 2.5 L gelecek şekilde saksılar toprakla doldurulmuştur. Kullanılan toprağın analiz sonuçları detaylı olarak Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, deneme toprağı killi tınlı, orta kireçli, hafif alkali, tuzsuz, organik maddece zayıf, fosfor miktarı çok fazla, potasyum, demir, bakır ve mangan bakımından yeterli, kalsiyum, magnezyum ve çinko bakımından zengin bulunmuştur (Tablo 3).

Her bir saksı için 30-45 tohum kullanılmış ve tohumlar 4-5 cm derinliğinde ölçülü çubuk yardımıyla batırılarak ekilmiştir. Ekim zamanı 30 Nisan olup saksılar %100 tarla kapasitesinde (TK) sulanmıştır. Çıkışlar 3-4 gün sonra başlamıştır. Tüm denemede çıkışlar ekimden 8-9 gün sonra tamamlanmış olup, ardından saksıda 20 bitki olacak şekilde seyreltilmiştir. Stres uygulamalı bitkiler, ekimden sonra yeknesak çıkışın sağlanması amacıyla 3 Mayıs'ta son kez sulanmış olup, stressiz uygulamalı bitkilere, tarla kapasitesinde kalacak şekilde, su kontrollü bir şekilde verilmeye devam edilmiştir. 3. yaprağın çıkış zamanı 9 Mayıs olarak kaydedilmiş ve 3. yaprakların tam açıldığı 30 Mayıs'ta bitkiler hasata edilmiş olup; tüm deneysel analizler, hasat edilen bitkilerin 3. yapraklarında yapılmıştır.

Tablo 3. Denemede Kullanılan Toprağa İlişkin Analiz Sonuçları (Anonim, 2024)

Analiz Adı	Sonuç	Birim	Referans Aralığı	Değerlendirme
Bünye (Saturasyon - Çamurunda)	57.20	%	50-70	KİLLİ TİN
Kireç (CaCO ₃)	7.21	%	5-15	ORTA KİREÇLİ
pH (1:2,5 Toprak:Su)	7.52		7.5-8.5	HAFİF ALKALİ
EC (Saturasyon Çamurunda)	1.05	Mmhos cm ⁻¹	<4	TUZSUZ
Toplam Tuz (Sat.Çamurunda)	0.04	%	<0.15	TUZSUZ
Organik Madde	1.70	%	1-2	AZ
P ₂ O ₅ (Fosfor)	82.44	kg da ⁻¹	>12	ÇOK FAZLA
K ₂ O (Potasyum)	237.57	kg da ⁻¹	>30	YETERLİ
Ca (Kalsiyum)	5142.00	mg kg ⁻¹	3500-10000	FAZLA
Mg (Magnezyum)	892.10	mg kg ⁻¹	480-1500	FAZLA
Na (Sodyum)	56.11	mg kg ⁻¹		
Fe (Demir)	12.83	mg kg ⁻¹	>4.5	YETERLİ
Zn (Çinko)	2.90	mg kg ⁻¹	2.4-8.0	FAZLA
Cu (Bakır)	2.31	mg kg ⁻¹	>0.2	YETERLİ
Mn (Mangan)	34.92	mg kg ⁻¹	14-50	YETERLİ

2.3. İncelenen Özellikler

2.3.1. Yaprak Alanı (cm²)

Her çeşitten 3 tekrarlamalı olarak, 5 bitkiden alınan 3. yaprak örnekleri cetvel ile ölçülerek (Şekil 3) belirlenmiştir. 3. Yaprığın eni ve boyu ölçüldükten sonra Quarrie ve Jones (1979)'ın belirtmiş olduğu aşağıdaki metoda göre hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Yaprak alanı} = \text{yaprak eni} \times \text{yaprak boyu} \times 0.75 \quad (1)$$



Şekil 3. Yaprak alanı için yaprak en ve boy ölçümü

2.3.2. Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)

Bell ve Fischer (1994)'in belirttiği metoda göre, her çeşitten 3 tekrarlamalı olarak, 5 bitkiden alınan 3. yapraklarda yaş ağırlıkları (YA) alınmış olup daha sonra bu örnekler, 5 saat süreyle laboratuvar şartlarında suda tutularak suyla doyurulmuş ve bu süre sonunda tartılmak suretiyle turgor yaş ağırlıkları (TYA) alınmıştır. Aynı örnekler, 105 °C'de ağırlık sabitleşinceye kadar (3 saat süreyle) kurutularak kuru ağırlıkları (KA) belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerden, YOSİ, % olarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$YOSİ = (YA - KA) \times 100 / (TYA - KA) \quad (2)$$

2.3.3. Yaprak Klorofil (a, b, toplam) ve Karotenoid İçeriği

Her çeşitten 3 tekrarlamalı olarak, her parselden 5 bitkiden 3. yaprakların orta kısmından (2 cm) makasla kesilerek alınan örnekler, serin ve loş ortamda asetonla porselen havanda ezildikten sonra elde edilen çözelti çift katlı filtre kağıdından geçirilip (Şekil 4), 25 mL'ye tamamlanıp, 10-15 saniye kadar vorteks ile santrifüj edildikten sonra, UV-VIS tipi spektrofotometre ile bölüm laboratuvarımızda, farklı dalga boylarındaki (645nm, 652nm ve 663 nm) absorbans değerleri (A645, A652 A663) belirlenmiştir (Arnon, 1949). Bu absorbans değerleri ve alınan yaprak yaş ağırlıkları (mg) dikkate alınarak, aşağıdaki hesaplamalar mg g⁻¹ biriminden klorofil a, b ve toplam klorofil değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik 2, 3 ve 4). Ayrıca, aynı örneklerden karotenoid miktarı 470 nm dalga boyunda okunarak belirlenmiştir (Eşitlik 5) (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Klorofil-a} = (11.75 \times A663) - (2.35 \times A645) \times 15 / (\text{mg örnek ağırlığı} \times 1000) \quad (3)$$

Bu eşitlikte:

A663:663 nm'de okunan absorbans değeri

A645:645 nm'de okunan absorbans değeri

$$\text{Klorofil-b} = (18.61 \times A645) - (3.96 \times A663) \times 15 / (\text{mg örnek ağırlığı} \times 1000) \quad (4)$$

Bu eşitlikte;

A645:645 nm'de okunan absorbans değeri

A663:663 nm'de okunan absorbans değeri

$$\text{Toplam Klorofil} = (A652 \times 27.8 \times 15) / (\text{mg örnek ağırlığı} \times 1000) \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

A652:652 nm'de okunan absorbans değeri

$$\text{Karotenoid} = (1000 \times A_{470} - 1.90 \times \text{klorofil a} - 63.14 \times \text{klorofil b} / 214)$$

(6)

Bu eşitlikte;

A470:470 nm’de okunan absorbans değeri



Şekil 4. Yaprak klorofil içeriğinin belirlenmesi

2.3.4. Yaprak Kül İçeriği (mg g⁻¹)

Beş farklı bitkiden alınan örneklerin kül içerikleri gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. Her bir bitkiden alınan örnekler gerekli kurutma, tartım ve öğütme işlemlerine tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası örneklerin kuru ağırlıkları yeniden belirlenmiştir. Yıkamış temizlenmiş porselen krezeller 500°C’de 2 saat tutulduktan sonra desikatörde soğutulup tartılmıştır. Daha sonra krezelerin darası alınıp kuru ağırlığı belirlenen bitki örnekleri, 550-600 °C’de 4 saat süreyle kül fırınında grileşinceye kadar yakılmıştır. Yakma işlemi sonrası örnekler desikatörde bir süre soğutulmuştur. Soğutulan örnekler tartılarak kül içerikleri belirlenmiştir. Kül içeriği, yakma öncesi kuru ağırlık ile yakma sonrası kül ağırlığı arasındaki farkın, yakma öncesi kuru ağırlığa oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Şekil 5).

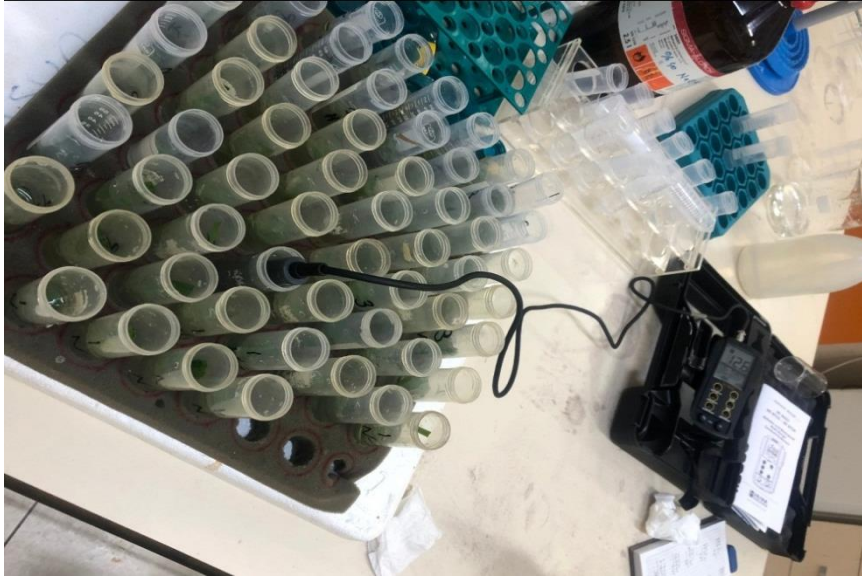


Şekil 5. Yaprak kül içeriğinin belirlenmesi

2.3.5. Membran Kararlılığı

Bu çalışmada, farklı bitki çeşitlerinden alınan yaprak örneklerinin membran kararlılıkları (MK), Blum ve Ebercon (1981) yöntemine yapılan modifikasyon ile belirlenmiştir. Her bir bitki çeşidinden üç tekrarlı olacak şekilde beş bitki örneği alınmıştır. Bu bitkilerin üçüncü yapraklarından 4 cm uzunluğunda kesitler alınarak 50 mL'lik etekli falkon tüplerine yerleştirilmiştir. Tüplerin içerisine 25 mL saf su eklenmiştir. Hazırlanan tüpler, 25 °C'ye ayarlanmış bir etüvde 5 saat boyunca inkübe edilmiştir. Inkübasyon süresince tüpler saatte bir çalkalanmıştır. Bu sürenin ardından, tüpler 1 saat oda sıcaklığında dinlendirilerek ilk elektriksel iletkenlik (EC) ölçümü (T1) yapılmıştır. İlk ölçümden sonra, tüplerin içerisine 5 mL daha saf su eklenerek 40 °C'de 12 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Bu süre zarfında tüpler 15 dakikada bir çalkalanmış ve ardından 1 saat daha etüvde bırakılmıştır. Etüvden alınan tüpler 1 saat soğutulup dinlendirildikten sonra ikinci EC ölçümü (T2) yapılmıştır. Elde edilen T1 ve T2 değerleri aşağıdaki formülde yerine konularak membran kararlılığı yüzde olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

$$MK = [1-(T1/T2)] \times 100 \quad (7)$$



Şekil 6. Membran kararlılığı Ölçümü

2.3.6. Kök ve Taç (sürgün) Kuru Ağırlıkları (g bitki⁻¹) ve Kök/Taç Oranı

Bu çalışmada, farklı bitki çeşitlerinden alınan örneklerin kök ve taç aksamalarının yaş ve kuru ağırlıkları belirlenerek kök/taç oranları hesaplanmıştır. Her bir bitki çeşidinden üç tekrarlı olacak şekilde beş bitki örneği saksılarından kökleriyle birlikte

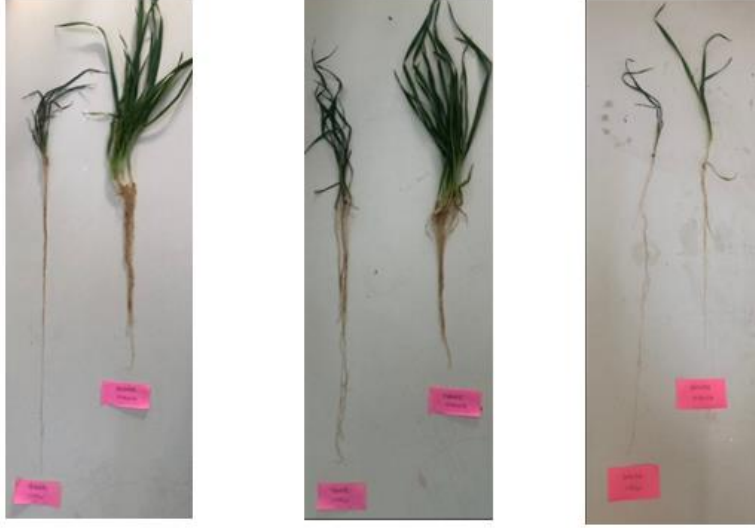
ıkarılmıştır. Kökler, musluk suyu altında topraklarından arındırıldıktan sonra kağıt havlu ile aşırı nemi alınmıştır. Bitki rneklerinin kök ve ta aksamaları birbirinden ayrılmış ve ayrı ayrı yaş ağırlıkları (g bitki⁻¹) belirlenmiştir. Kök ve ta yaş ağırlıkları oranlanarak taze ağırlık üzerinden kök/ta oranı kuru ağırlık üzerinden belirlenmiştir. Aynı bitki örnekleri 105  C’de 15 saat etüvde kurutulduktan sonra kök ve ta aksamalarının kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kök ve ta kuru ağırlıkları oranlanarak kuru ağırlık bazında kök/ta oranı hesaplanmıştır.



Şekil 7. Bitkilerin kök ve ta ağırlıkları

2.3.7. Kök Uzunluğu ve Bitki Boyu (cm)

Bu çalışmada, her tekerrür ve her çeşitten alınan beş bitki örneğinin bitki boyları ve kök uzunlukları ölçülmüştür. Her tekerrür ve her çeşitten alınan beş bitkinin kökleri musluk suyu altında topraklarından arındırılmış ve kağıt havlu ile kurulanmıştır. Bitki boyları ve kök uzunlukları, hazırlanan bitki örnekleri üzerinde ölçülmüştür. Kök uzunluğu ölçümü, her bitkideki en uzun kök dikkate alınarak yapılmıştır. Bu alışma sonucunda, farklı bitki çeşitlerinin bitki boyları ve kök uzunlukları belirlenerek çeşitler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.



Şekil 8. Stresli ve stressiz fidelerden örnekler

2.3.8. Yaprak Su Tutma Kapasitesi

Bu çalışmada, farklı bitki çeşitlerinden alınan yaprak örneklerinde su kaybı oranı, Lonbani ve Arzani (2011) tarafından belirtilen bir yöntem izlenerek belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, her bir bitki türünden üç tekrarlı olacak şekilde beş adet bitki örneği seçilmiştir. Bu örneklerin üçüncü yapraklarının yaş ağırlıkları, hassas bir terazi kullanılarak belirlenmiştir. Yaş ağırlığı belirlenen yapraklar, daha sonra 30°C'ye ayarlanmış etüvde 5 saat boyunca bekletilerek soldurulmuştur. Soldurma işlemi tamamlanan yaprakların ağırlıkları, tekrar hassas bir terazi ile ölçülerek soldurulmuş ağırlık olarak kaydedilmiştir. Yaprak su tutma kapasitesi, aşağıdaki formül kullanılarak yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ ELWR} = [1 - (\text{yaş ağırlık} - \text{soldurulmuş ağırlık}) / \text{yaş ağırlık}] \times 100 \quad (8)$$

2.3.9. Yaprak Sıcaklığı Düşüşü

Yaprak sıcaklıkları, kızılötesi bir termometre kullanılarak temassız bir şekilde ölçülmüştür. Bu yöntem, yapraklara zarar vermeden doğru ve hızlı ölçümler alınmasını sağlamıştır. Ölçümler, gün içerisinde iki farklı zaman diliminde gerçekleştirilmiştir: öğleden önce (11:00-12:00) ve öğleden sonra (14:00-15:00). Bu zaman dilimleri, güneş ışınlarının farklı açılarda geldiği ve dolayısıyla yaprak sıcaklıklarının da değişiklik gösterebileceği zamanlardır. Yaprak sıcaklıkları ve ortam (hava) sıcaklığı değerleri eş zamanlı ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçülen yaprak sıcaklığı değerleri, hava sıcaklığı değerlerinden çıkartılarak, elde edilen fark (hava sıcaklığı-yaprak sıcaklığı) yaprak sıcaklığı düşüşü olarak, °C biriminden kaydedilmiştir.

2.3.10. Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen veriler, tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme desenine uygun olarak analiz edilmiştir. Bu desen, ana parsellerde su stresi uygulamalarının (su stressiz ve su stresli), alt parsellerde ise farklı bitki çeşitlerinin etkilerini ayrı ayrı ve birlikte (interaksiyon etkisi) değerlendirme imkânı sunmaktadır. Deneme, üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Verilerin analizi (varyans analizleri, ortalamalar arasındaki karşılaştırmalar, istatistiksel gruplandırmalar ve incelenen özellikler arasındaki ilişkiler), JMP 7 (2007) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yaprak Alanı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki alanına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 4’te verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar $p<0.05$ önem düzeyinde önemli farklılıklar göstermekle birlikte; uygulama ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 4. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak alanına ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	294.772	294.772	673.899**
Hata 1	4	1.750	0.437	0.145
Çeşit	9	54.554	6.062	2.004
Uygulama×Çeşit	9	16.671	1.852	0.612
Hata 2	36	108.889	3.025	
Genel	59	476.635		
Değişim katsayısı (%)		18.00		

** $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Buna göre stressiz koşulların (11.877 cm²) stresli koşullara (7.444 cm²) göre daha fazla yaprak alanına sahip olduğu görülmüştür (Tablo 5). Stresli grupta en fazla yaprak alanı, Taner (8.257 cm²) çeşidinde görülürken; en az yaprak alanı Tuğra (6.047 cm²) çeşidinde görülmüştür. Stressiz grupta yaprak alanı 9.567-13.463 cm² arasında dağılım göstermiştir. Barunawati ve ark. (2016) tarafından yapılan araştırmada, su stresinin etkilerinin bitki gelişiminin ilerleyen dönemlerinde daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, ekimden 6 hafta sonra yaprak alanında önemli bir değişim gözlemlenmezken, 8. haftada %25 sulama uygulanan grupta yaprak alanının 220 cm²’den 0.5 cm²’ye, 10. haftada ise 480 cm²’den 0.3 cm²’ye kadar düştüğünü bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Ghanem ve Al-Farouk (2024) de su stresi altında yaprak alanında önemli azalmalar olduğunu belgelemişlerdir. Çalışmamızda elde edilen bulgular da bu sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Bu sonuçlar, su stresinin yaprak gelişimi üzerinde zamanla artan bir olumsuz etkiye sahip olduğunu ve farklı genotiplerin bu strese

karşı değişen düzeylerde tepki verdiğini göstermektedir. Özellikle Taner çeşidinin stres koşullarında nispeten daha iyi performans sergilemesi, bu genotipin kuraklık stresine karşı daha dayanıklı olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 5. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak alanına ilişkin ortalama değerler.

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	6.900	9.827	8.363
Bozkır	7.823	13.463	10.643
Buhara	7.483	11.250	9.367
İkonya	8.090	12.683	10.387
Meke	8.170	12.753	10.462
Selçuklu	7.947	11.513	9.730
Şehzade	6.973	11.083	9.028
Taner	8.257	13.230	10.743
Tuğra	6.047	9.567	7.807
Yavuz	6.753	13.403	10.078
Ortalama	7.444 ^b	11.877 ^a	9.661
EGF _u	0.474		
EGF _ç	ÖD		
EGF _{u×ç}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.2. Kök Uzunluğu

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök uzunluğuna ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar $p < 0.01$ önem düzeyinde önemli farklılıklar göstermekle birlikte; çeşitler ve uygulama×çeşit interaksyonu, istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 6. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök uzunluğu değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	3419.240	3419.240	1850.607**
Hata 1	4	7.390	1.847	0.779
Çeşit	9	29.013	3.223	1.360
Uygulama×Çeşit	9	30.058	3.339	1.409
Hata 2	36	85.331	2.370	
Genel	59	3571.037		
Değişim katsayısı (%)		3.31		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Buna göre stresli koşulların (54.08 cm) stressiz koşullara (38.98 cm) göre daha fazla kök uzunluğuna sahip olduğu görülmüştür (Tablo 6). En uzun kök, stresli grupta Bozkır (56.08 cm) çeşidinde görülürken; en kısa kök, stressiz grupta İkonu (36.75 cm) çeşidinde görülmüştür. Tablo 6 ve Tablo 7’de sunulan verilere göre, su stresinin buğday çeşitlerinin kök uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmamakla birlikte, kök uzunluğu çeşitlere göre 45.44 cm (Tuğra) ile 48.02 cm (Bozkır) arasında dağılım göstermiştir. Çalışmada, su stressiz koşullarda 36.75 cm-40.38 cm arasında değişen kök uzunluğu, su stresli koşullarda 53.03 cm ile 56.08 cm arasında dağılım göstermiştir. Bu durum, buğday bitkilerinin su stresine adaptasyon mekanizması olarak kök sistemini derinleştirdiğini göstermektedir. Barunawati ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada toprak su içeriğinin azalmasıyla birlikte spesifik kök uzunluğu (SRL) değerlerinde artış gözlemiştir. Özellikle, tarla kapasitesinin %50 ve %25 su seviyelerinde, ekimden sekiz hafta sonra SRL değerlerinin arttığı belirlemiştir. Benzer şekilde Vukovic ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada PEG-600 ile oluşturulan kuraklık stresi altında buğday çeşitlerinin sürgün gelişiminin baskılandığını, ancak kök uzunluğunda önemli artışlar olduğunu belirtmiştir. Bitkiler, su stresinde hayatta kalabilmek için köklerini toprağın daha derin katmanlarına uzatarak suya erişimini artırır. Bu çalışma, su stresinin sürgün boyunda büyümeyi kısıtladığı, ancak kök gelişimini teşvik ederek bitkinin stresle başa çıkma stratejisi geliştirdiği hipotezini desteklemektedir.

Tablo 7. İncelenen ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki kök uzunluğu değerlerine ilişkin ortalama değerler (cm).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	53.71	38.39	46.05
Bozkır	56.08	39.97	48.02
Buhara	53.71	39.73	46.72
İkonya	54.85	36.75	45.80
Meke	54.99	38.89	46.94
Selçuklu	53.92	40.38	47.15
Şehzade	53.03	39.58	46.30
Taner	53.71	39.13	46.42
Tuğra	53.42	37.47	45.44
Yavuz	53.35	39.51	46.43
Ortalama	54.08 ^{a*}	38.98 ^b	46.53
EGF _u	0.974		
EGF _ç	ÖD		
EGF _{u×ç}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.3. Bitki (Fide) Boyu

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki bitki boyuna ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 8’de verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar ($p < 0.01$) ve çeşitler ($p < 0.05$) istatistiksel olarak önemli farklılıklar gösterirken; uygulama×çeşit interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Tablo 8. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki bitki (fide) boyuna ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	897.531	897.531	131.247**
Hata 1	4	27.354	6.838	0.917
Çeşit	9	151.400	16.822	2.256*
Uygulama×Çeşit	9	78.674	8.741	1.172
Hata 2	36	268.460	7.457	
Genel	59	1423.418		
Değişim katsayısı (%)		9.14		

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Tablo 9. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki bitki boyuna ilişkin ortalama değerler (cm).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	24.05	31.87	27.96 ^c
Bozkır	27.06	34.01	30.54 ^{a-c}
Buhara	25.05	32.91	28.98 ^{bc}
İkonya	25.30	35.75	30.52 ^{a-c}
Meke	26.57	39.24	32.91 ^a
Selçuklu	26.18	34.17	30.18 ^{a-c}
Şehzade	25.17	29.96	27.57 ^c
Taner	28.04	34.90	31.47 ^{ab}
Tuğra	26.07	30.55	28.31 ^{bc}
Yavuz	26.67	34.15	30.41 ^{a-c}
Ortalama	26.02 ^b	33.75 ^a	29.88
EGF _u	1.875		
EGF _ç	3.198		
EGF _{u×ç}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

Buna göre stresli koşulların (26.02 cm) stressiz koşullara (33.75 cm) göre daha kısa bitki boyuna sahip olduğu görülmüştür (Tablo 9). Tablo 8 ve Tablo 9’da sunulan verilere göre, su stresinin buğday çeşitlerinin bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak belirgin farklılıklar göstermiştir. Buna göre, bitki boyu çeşitlere göre 27.57 cm (Şehzade) ile 32.91 cm (Meke) arasında dağılım göstermiştir. Bu sonuçlar, genetik farklılıkların bitki morfolojisi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışmada, su stressiz koşullarda 30.55 cm-39.24 cm arasında değişen bitki boyu, su stresli koşullarda 24.05 cm ile 28.04 cm arasında dağılım göstermiştir. Stresli koşullarda bitki boyunun ortalama 26.02 cm, stressiz koşullarda ise 33.75 cm olarak ölçülmesi, su kısıtının bitki gelişimini önemli ölçüde kısıtladığını göstermektedir. Uygulama×çeşit interaksyonunun önemli bulunması, çeşitlerin su stresine farklı tepkiler verdiğini ortaya koymaktadır. Bayındır çeşidi stres altında en düşük bitki boyunu değerini (24.05 cm) gösterirken, Meke çeşidi stressiz koşullarda en yüksek boya (39.24 cm) ulaşmıştır. Su kısıtının buğdayda vegetatif büyümeyi sınırlandırdığı ve dolayısıyla fotosentetik yüzey alanını azalttığı bildirilmektedir (Farooq ve ark., 2009). Wasaya ve ark. (2021), normal sulama koşullarında 70.1 cm olarak ölçülen bitki boyunun, su stresi altında %13.8’lik bir azalma

göstererek 60.4 cm'e düştüğü belirlemiştir. Bu bulgular, Javed ve ark. (2022) ile Alagöz ve ark. (2023) tarafından elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Hukail ve ark. (2023), kuraklık stresinin (%60 TK) bitki boyunda %32.3 azalmaya (31 cm'den 21 cm'e) neden olduğunu, ancak 0.15 mM BTh uygulamasının bu etkiyi hafifleterek bitki boyunu 29 cm'e çıkardığını belirlemiştir. Su stresi altında daha az boy kısalması gösteren çeşitlerin belirlenmesi, kurağa dayanıklı çeşit geliştirme çalışmaları için önemli bir kriter olabilir.

3.4. Kök Kuru Ağırlığı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullarındaki kök kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 10'da verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulama interaksyonu, istatistiksel olarak önemli farklılık ($p<0.05$) gösterirken; uygulamalar arasında fark bulunmamıştır. Ayrıca, uygulama×çeşit interaksyonu da önemli bulunmamıştır.

Tablo 10. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	0.034	0.034	10.627*
Hata 1	4	0.013	0.003	1.709
Çeşit	9	0.015	0.002	0.871
Uygulama×Çeşit	9	0.026	0.003	1.508
Hata 2	36	0.068	0.002	
Genel	59	0.156		
Değişim katsayısı (%)		26.02		

*: $p<0.05$ olasılık düzeyinde önemli.

İncelenen ekmeklik buğday çeşitlerinin, su stresli ve su stressiz koşullardaki kök kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler Tablo 11'de verilmiştir. Buna göre, uygulamalar ortalamasına göre çeşitler, kök kuru ağırlığı bakımından en yüksek Buhara (0.190 mg bitki⁻¹) çeşidinde, en düşük Bayındır (0.132 mg bitki⁻¹) çeşidinde gözlenmiştir (Tablo 11). Kök kuru ağırlığı bakımından uygulama interaksyonunun önemli bulunması (Tablo 6), Bayındır, çeşitlerinin su stresli koşullarda kök kuru ağırlıklarını önemli düzeyde azaltmalarından kaynaklanmaktadır. Diğer çeşitler, su stressiz ve stresli uygulamalara karşı istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 11. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki kök kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler (g bitki⁻¹).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.106	0.157	0.132
Bozkır	0.125	0.245	0.185
Buhara	0.184	0.196	0.190
İkonya	0.152	0.179	0.165
Meke	0.170	0.150	0.160
Selçuklu	0.146	0.216	0.181
Şehzade	0.153	0.166	0.160
Taner	0.135	0.199	0.167
Tuğra	0.107	0.214	0.161
Yavuz	0.154	0.191	0.173
Ortalama	0.143 ^b	0.191 ^a	0.167
EGF _u	0.041		
EGF _ç	ÖD		
EGF _{u×ç}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkileşiminden en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

Literatürdeki çalışmalar, buğday çeşitlerinin kuraklık stresine verdikleri fizyolojik yanıtların kök kuru ağırlığı üzerinden değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Hu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, kuraklığa dayanıklı JM-262 ve duyarlı LM-2 buğday çeşitleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları, JM-262'nin hem sürgün hem de kök kuru ağırlıklarında LM-2'ye göre belirgin bir artış gösterdiğini ve su stresi altında daha yüksek kuru ağırlık değerlerini koruyabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin kök sistemlerini koruma ve geliştirme yeteneklerinin daha güçlü olduğunu göstermektedir. Naz ve Perveen (2021) ve Hussein ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalar da bu sonuçları destekler niteliktedir. Naz ve Perveen (2021), Galaxy-2013 buğday çeşidinde %50 TK kuraklık stresinin kök kuru ağırlığında belirgin bir azalmaya neden olduğunu, ancak 0.1 mM tiyoüre uygulamasının orta düzey stres (%70 TK) altında kök kuru ağırlığını koruyabildiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Hussein ve ark. (2022) %50 TK kuraklık stresinin kök kuru ağırlığını 0.34 g'dan 0.15 g'a düşürdüğünü, ancak 1 mM arginin uygulamasıyla bu değer 0.31 g'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise, incelenen buğday çeşitlerinin kök kuru ağırlığı açısından önemli bir varyasyon göstermediği gözlemlenmiştir. Ancak literatürdeki

bulgular, özellikle kuraklığa dayanıklı çeşitlerin (JM-262 gibi) kök kuru ağırlığını koruyabildiğini ve hatta artırabildiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, genetik varyasyonun ve çeşitliliğin kuraklık toleransında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Kuraklık stresi koşullarında buğday çeşitlerinin tepkilerini değerlendirmede kök kuru ağırlığı önemli bir gösterge olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar, kuraklığa toleranslı genotiplerin kök sistemlerini koruma ve geliştirme kapasitelerinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür çeşitler, su kısıtlaması altında daha iyi büyüme performansı sergileyebilmektedir. Elde edilen veriler, ıslah programlarında kuraklığa dayanıklı çeşitlerin belirlenmesi ve geliştirilmesi sürecinde kök kuru ağırlığı kriterinin güvenilir bir seçim ölçütü olarak kullanılabileceğini desteklemektedir.

3.5. Taç (Sürgün) Kuru Ağırlığı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullarındaki taç kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 12’de verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar, istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.01$) gösterirken; diğer varyasyon kaynakları istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 12. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki taç kuru ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	3.441	3.441	394.308**
Hata 1	4	0.035	0.009	0.195
Çeşit	9	0.384	0.043	0.954
Uygulama×Çeşit	9	0.311	0.035	0.771
Hata 2	36	1.612	0.045	
Genel	59	5.783		
Değişim katsayısı (%)		28.02		

** $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Varyans analiz sonuçları, taç kuru ağırlığı üzerinde uygulamaların istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p<0.01$) etkili olduğunu göstermiştir (Tablo 12). Çalışma sonuçlarına göre, stressiz koşullarda ortalama taç kuru ağırlığı 0.995 g bitki⁻¹ olarak belirlenirken, stresli koşullarda bu değer %48’lik bir azalma göstererek 0.516 g bitki⁻¹e düşmüştür. Çeşitler arasında önemli farklılıklar tespit edilmemesine rağmen, taç kuru ağırlıkları stresli koşullarda 0.368 g bitki⁻¹ (İkonya) ile 0.653 g bitki⁻¹ (Meke), stressiz

koşullarda 0.768 g bitki⁻¹ (Yavuz) ile 1.208 g bitki⁻¹ (Selçuklu) arasında değişim göstermiştir. Literatürdeki bazı çalışmalar (Sonia ve Perveen, 2021) ve mevcut araştırma bulgularımız, kuraklık stresinin sürgün biyokütle parametreleri üzerinde belirgin inhibe edici etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Kuru ağırlık değerlerinde gözlenen belirgin azalmalar, bitkilerin su kısıtı altında fotosentetik aktivite ve asimilat dağılım mekanizmalarında bozulmalar yaşadığını göstermektedir. Hu ve ark. (2018), dayanıklı JM-262 çeşidinin, duyarlı LM-2'ye göre su stresi altında daha yüksek sürgün ve kök kuru ağırlığı gösterdiğini belirlemiştir. Soylu ve ark. (2022), Siyez ve Ahmetağa çeşitlerini incelemişler, normal koşullarda Ahmetağa'nın daha yüksek fide kuru ağırlığına (27 mg) sahip olduğunu, kuraklıkta her iki çeşitte düşüş görülse de Ahmetağa'nın daha iyi performans gösterdiğini bildirmiştir. Hussein ve ark. (2022) ise arginin uygulamasının kuraklık stresini hafiflettiğini, sürgün kuru ağırlığını 1.1 g'dan 1.58 g'a çıkardığını tespit etmiştir. Bu bulgular, genetik farklılıklar ve dış uygulamaların kuraklık toleransını etkilediğini göstermektedir.

Tablo 13. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki taç kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler (mg).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.429	0.960	0.695
Bozkır	0.590	1.037	0.814
Buhara	0.536	1.087	0.812
İkonya	0.368	1.131	0.750
Meke	0.653	1.018	0.836
Selçuklu	0.512	1.208	0.860
Şehzade	0.551	0.896	0.724
Taner	0.618	0.981	0.799
Tuğra	0.481	0.861	0.671
Yavuz	0.418	0.768	0.593
Ortalama	0.516 ^{b*}	0.995 ^a	0.755
EGF _u	0.067		
EGF _ç	ÖD		
EGF _{u×ç}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.6. Kök/Taç Oranı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullarındaki kök/taç oranına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 14'te verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulama ($p<0.05$) ve uygulama×çeşit ($p<0.01$) interaksyonu, istatistiksel olarak önemli farklılık gösterirken; çeşitler arasında fark bulunmamıştır.

Tablo 14. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki kök/taç oranına ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	0.006	0.0060	21.1781*
Hata 1	4	0.001	0.0003	1.579
Çeşit	9	0.002	0.0003	1.660
Uygulama×Çeşit	9	0.005	0.0005	3.1689**
Hata 2	36	0.006	0.0002	
Genel	59	0.020		
Değişim katsayısı (%)		26.62		

*: $p<0.05$ olasılık düzeyinde önemli, **: $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Varyans analiz sonuçları, kök/taç oranı üzerinde uygulama ($p<0.05$) ve uygulama×çeşit interaksyonunun ($p<0.01$) istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğunu göstermiş olup; çeşitler arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar bulunmamıştır (Tablo 14). Uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonlarına ilişkin ortalama değerler Tablo 15'te verilmiştir. Su stressiz koşullarda kök/taç oranı (0.039), su stresli koşullara (0.058) kıyasla daha düşük bulunmuştur. Bu bulgu, su stresinin bitkilerde kök gelişimini teşvik ettiğini göstermektedir. Çalışmamızın bulguları, Ural ve ark. (2024) tarafından yapılan araştırma sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Söz konusu çalışmada, kuraklık stresi altında kök/taç oranında belirgin artışlar tespit edilmiş olup, bu durum özellikle Miranda (0.32) ve Avantaj (0.26) çeşitlerinde en yüksek seviyelere ulaştığını bildirilmiştir. Çalışmamızda elde edilen veriler de benzer şekilde, kuraklık stresinin bitkilerde kök gelişimini teşvik ederek kök/taç oranını artırdığını ortaya koymuştur. Çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmamasına rağmen, kök/taç oranları 0.044 (Taner) ile 0.087 (İkonya) arasında dağılım göstermiştir (Tablo 14). Çalışmamızda, uygulamalar ortalaması bakımında çeşitler önemli farklılıklar göstermemekle birlikte; uygulama×çeşit interaksyonunun önemli bulunması (Tablo 13),

bazı çeşitlerin (Buhara, İkonya, Meke, Selçuklu ve Şehzade) stressiz şartlarda alt grupta iken stresli şartlarda üst gruplarda yer almasından kaynaklanmaktadır (Tablo 15). Özellikle İkonya çeşidi, stresli koşullarda diğer çeşitlere göre daha yüksek kök/taç değeri göstermiş olup, kuraklığa tolerans bakımından bu önemli bir göstergedir.

Tablo 15. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki kök/taç oranına ilişkin ortalama değerler (mg).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.050 ^{b-h}	0.033 ^{f-h}	0.042
Bozkır	0.046 ^{c-h}	0.051 ^{b-g}	0.048
Buhara	0.067 ^{ab}	0.036 ^{e-h}	0.052
İkonya	0.087 ^a	0.032 ^{g-h}	0.059
Meke	0.053 ^{b-f}	0.030 ^{g-h}	0.042
Selçuklu	0.067 ^{ab}	0.037 ^{e-h}	0.052
Şehzade	0.059 ^{b-d}	0.030 ^h	0.045
Taner	0.044 ^{d-h}	0.035 ^{e-h}	0.040
Tuğra	0.045 ^{d-h}	0.049 ^{b-h}	0.047
Yavuz	0.061 ^{b-d}	0.055 ^{b-e}	0.058
Ortalama	0.058 ^a	0.039 ^b	0.048
EGF _u	0.012		
EGF _ç	ÖD		
EGF _{u×ç}	0.021		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.7. Klorofil-a İçeriği

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-a (Kl-a) içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 16’da verilmiş olup; tüm varyasyon kaynakları (uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi) istatistiksel olarak $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 16. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-a konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	0.052	0.0520	135.3815**
Hata 1	4	0.002	0.0004	0.193
Çeşit	9	0.277	0.0310	15.4055**
Uygulama×Çeşit	9	0.360	0.0400	20.0272**
Hata 2	36	0.072	0.0020	
Genel	59	0.762		
Değişim katsayısı (%)		4.84		

** : $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-a içeriklerine ilişkin ortalama değerler Tablo 17’de verilmiştir. Su stresi altındaki bitkilerde K1-a içeriği ($0.953 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$), su stressiz koşullara ($0.894 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir (Tablo 17). Bu durum, bazı buğday genotiplerinin kısa süreli su kısıtına karşı fotosentetik pigment sentezini artırarak adaptif bir yanıt verebileceğine işaret etmektedir. Koç (2018)’un Gerek çeşidi üzerinde yaptığı çalışmada, kurak şartlarda klorofil-a içeriğinin artış göstermesi, bu adaptif mekanizmayı destekler niteliktedir. Benzer şekilde, Lonbani ve Arzani (2011) bazı genotiplerde klorofil sentezinde artış gözlemiş, ancak bu durumun tüm çeşitlerde görülmediğini belirtmiştir. Çeşit ortalamaları incelendiğinde, Yavuz ($1.010 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) ve Bayındır ($1.005 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) çeşitleri en yüksek K1-a değerleri ile öne çıkarken, Meke ($0.766 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) çeşidi en düşük değeri kaydetmiştir (Tablo 17). Bu sonuçlar, çeşitler arasındaki genetik varyasyonun K1-a sentez kapasitesine doğrudan yansıdığını ve özellikle Yavuz çeşidinin fotosentetik verimlilik açısından potansiyel üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Uygulama×çeşit interaksiyonunun anlamlı çıkması, farklı çeşitlerin su stresine verdikleri fizyolojik yanıtların değişkenlik gösterdiğini kanıtlamaktadır. Soylu ve ark. (2022), Ahmetağa çeşidi fidelerinde su stresi uygulamalarının klorofil-a miktarında önemli derecede azalmaya neden olduğunu belirtmiş olup; çalışmamız ile zıtlık göstermektedir. Benzer şekilde Saeidi ve ark. (2014) ile Saeidi ve Abdoli (2015), kuraklığın klorofil-a içeriğini belirgin şekilde azalttığını belirtmiştir. Bu durum farklı çeşitlerin su stresine farklı tepkiler gösterebileceğini açıklamakla birlikte; çalışmamızda ele alınan çeşitlerden İskonya, Yavuz ve Buhara gibi, stresli koşullarda bile çeşit ortalamalarının üzerinde klorofil sentezleyebilmeleri nedeniyle, fotosentezin sürdürülebilirliği açısından önem arzeden çeşitler olduğunu ortaya koymuş ve bu yönüyle ıslah programlarında avantajlı ıslah materyalleri arasında yer aldığını göstermektedir.

Tablo 17. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-a konsantrasyonuna ilişkin ortalama değerler (mg g⁻¹ Y.A.).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.913 ^{fg}	1.096 ^a	1.005 ^a
Bozkır	0.961 ^{d-f}	0.839 ^{hi}	0.900 ^{cd}
Buhara	1.031 ^{a-d}	0.744 ^j	0.888 ^d
İkonya	1.066 ^{ab}	0.780 ^{i-j}	0.923 ^{cd}
Meke	0.781 ^{i-j}	0.750 ^j	0.766 ^e
Selçuklu	0.864 ^{gh}	0.925 ^{fg}	0.894 ^{cd}
Şehzade	1.018 ^{b-e}	0.842 ^{ef}	0.987 ^{ab}
Taner	0.857 ^{gh}	1.027 ^{a-e}	1.942 ^{bc}
Tuğra	0.987 ^{c-f}	0.851 ^{g-i}	0.919 ^{cd}
Yavuz	1.049 ^{a-c}	0.971 ^{d-f}	1.010 ^a
Ortalama	0.953 ^a	0.894 ^b	0.923
EGF _u	0.014		
EGF _ç	0.052		
EGF _{u×ç}	0.074		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.8. Klorofil-b İçeriği

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-b (Kl-b) içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 18’de verilmiş olup; tüm varyasyon kaynakları (uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi) istatistiksel olarak $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 18. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil-b konsantrasyonuna ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	0.0067	0.00666	6.814**
Hata 1	4	0.0039	0.00098	2.227
Çeşit	9	0.0134	0.00148	3.385**
Uygulama×Çeşit	9	0.0190	0.00211	4.810**
Hata 2	36	0.0158	0.00044	
Genel	59	0.0870		
Değişim katsayısı (%)		5		

** : $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-b içeriklerine ilişkin ortalama değerler; Tablo 19’da verilmiştir. Çalışma sonuçları, su stressiz koşullarda ki ortalama Kl-b değerinin ($0.382 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$), su stresli koşullara ($0.348 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) göre önemli düzeyde daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 19). Bu bulgu, su kısıtının klorofil-b sentezini belirli ölçüde olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir. Bulgular, Ural ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada su stressiz koşulların ($1.14 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) su stresli koşullara ($0.74 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) göre daha yüksek Kl-b değeri gösterdiğini belirttikleri çalışma ile benzerlik göstermektedir. Çeşitlerarası karşılaştırmada, Yavuz ($0.378 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) ile Tuğra ($0.376 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) en yüksek Kl-b içeriğine sahip olurken; Meke çeşidi $0.330 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$ ile en düşük değeri göstermiştir (Tablo 19). Bu sonuçlar, genotipler arasında klorofil-b sentez kapasitesi açısından önemli genetik varyasyon bulunduğuna işaret etmektedir. Uygulama×çeşit interaksiyonunun önemli çıkması, farklı buğday çeşitlerinin su stresine verdikleri fizyolojik yanıtların değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Nitekim kuraklık stresinin klorofil-b içeriği üzerindeki etkileri konusunda çalışmamızda elde edilen veriler, Ghanem ve Al Farouk (2024) tarafından rapor edilen sonuçlardan farklılık göstermektedir. Bu durum, farklı buğday çeşitlerin su stresine karşı geliştirdikleri adaptasyon mekanizmalarındaki çeşitlilikle açıklanabilir.

Tablo 19. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-b konsantrasyonuna ilişkin ortalama değerler ($\text{mg g}^{-1} \text{ Y.A.}$).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.338^{c-e}	0.400^a	0.369^{ab}
Bozkır	0.356^{b-d}	0.378^{ab}	0.367^{ab}
Buhara	0.372^{a-c}	0.364^{bc}	0.368^{ab}
İkonya	0.362^{bc}	0.322^{d-f}	0.342^{cd}
Meke	0.297^f	0.362^{bc}	0.330^d
Selçuklu	0.338^{c-e}	0.383^{ab}	0.361^{a-c}
Şehzade	0.367^{a-c}	0.370^{a-c}	0.368^{ab}
Taner	0.315^{ef}	0.381^{ab}	0.348^{b-d}
Tuğra	0.369^{a-c}	0.383^{ab}	0.376^a
Yavuz	0.387^{ab}	0.370^{a-c}	0.378^a
Ortalama	0.348^b	0.382^a	0.361
EGF _u	0.022		
EGF _ç	0.025		
EGF _{u×ç}	0.035		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksiyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.9. Toplam Klorofil İçeriği

Kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki toplam klorofil içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 20’de verilmiş olup; tüm varyasyon kaynakları (uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit intiraksiyonu) istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.01$) göstermiştir.

Tablo 20. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki toplam klorofil içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	0.0399	0.03994	62.619**
Hata 1	4	0.0026	0.00064	0.129
Çeşit	9	0.5244	0.05826	11.793**
Uygulama×Çeşit	9	0.7128	0.07920	16.031**
Hata 2	36	0.1779	0.00494	
Genel	59	1.4575		
Değişim katsayısı (%)		4.68		

** $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Uygulama, çeşit ve uygulama × çeşit interaksiyonlarına ilişkin toplam klorofil ortalama değerleri Tablo 21’de verilmiştir. Su stresli koşullarda toplam klorofil değeri ($1.527 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$), su stressiz koşullara ($1.475 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir. Uygulama koşulları ortalamasına göre çeşitler arasında, toplam klorofil içeriği bakımında en yüksek değer Yavuz ($1.626 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) ile Bayındır ($1.607 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) çeşidinde; en düşük değer ise Meke ($1.277 \text{ mg g}^{-1} \text{ YA}$) çeşidinde rastlanmıştır (Tablo 20). Yavuz çeşidinin stresli koşullarda diğer çeşitlerle karşılaştırıldığında, daha yüksek toplam klorofil ortaya koyması, onun gerek kl-a ve gerekse kl-b bakımından yüksek konsantrasyonlar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kl-b’nin fotosentezde kl-a’nın etkinliğini arttırdığı da dikkate alındığında, stresli koşullarda Yavuz gibi kl-a, b ve toplam klorofili yüksek çeşitler kuraklıkla başetmede avantajlı görülmektedir. Bununla birlikte, bu iki klorofil türünden, kl-a’nın kl-b’ye oranının yüksekliği de önem arz etmektedir. Bu durum bir sonraki başlıkta ele alınmış olacaktır. Klorofil içeriği ile kuraklığa dayanım arasında birçok araştırmacı farklı görüşler ortaya koymaktadır. Nitekim, Keyvan (2010), Chamran çeşidinin stressiz şartlara göre klorofil içeriğini %9 oranında azaltırken, Shahryar çeşidinde belirgin düşüş (%7) gözlemlendiğini; benzer şekilde, Kayabaşı (2011) kuraklığın klorofil değerini $124.8 \mu\text{g mg}^{-1}$ ’dan $78.6 \mu\text{g mg}^{-1}$ ’a düşürdüğünü belirtmiştir. Ancak, Geravandi ve ark. (2011), bu parametrenin tolerans göstergesi olarak güvenilir olmadığını belirtmiştir. Lonbani ve Arzani (2011) ise

bazı çeşitlerde artış (11.25 mg g^{-1}) tespit etmiş, ancak bu eğilimin tutarsız olduğunu vurgulamıştır.

Tablo 21. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki toplam klorofil içeriğine ilişkin ortalama değerler (mg g^{-1} Y.A.).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	1.470 ^{f-1}	1.744 ^a	1.607 ^a
Bozkır	1.546 ^{d-g}	1.415 ^h	1.480 ^c
Buhara	1.643 ^{a-d}	1.286 ^k	1.465 ^c
İkonya	1.676 ^{a-c}	1.283 ^k	1.480 ^c
Meke	1.263 ^k	1.292 ^{j-k}	1.277 ^d
Selçuklu	1.405 ^{h-j}	1.521 ^{e-h}	1.463 ^c
Şehzade	1.620 ^{b-e}	1.542 ^{d-g}	1.581 ^{ab}
Taner	1.369 ^{i-k}	1.644 ^{a-d}	1.507 ^{bc}
Tuğra	1.586 ^{b-f}	1.460 ^{g-i}	1.523 ^{bc}
Yavuz	1.688 ^{ab}	1.564 ^{c-g}	1.626 ^a
Ortalama	1.527 ^a	1.475 ^b	1.51
EGF _u	0.181		
EGF _ç	0.082		
EGF _{u×ç}	0.116		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.10. Klorofil-a/b Oranı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil-a/b (Kl-a/b) oranına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 22’de verilmiş olup; tüm varyasyon kaynakları (uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi) istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p < 0.01$) göstermiştir.

Tablo 22. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki klorofil a/b oranına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	1.585	1.585	38.269**
Hata 1	4	0.166	0.414	1.866
Çeşit	9	1.176	0.131	5.888**
Uygulama×Çeşit	9	0.991	0.110	4.960**
Hata 2	36	0.799	0.022	
Genel	59	4.716		
Değişim katsayısı (%)		5.82		

**: $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonuna ilişkin Kl-a/b oranı ortalama değerleri Tablo 23'te verilmiştir. Buna göre, su stresli koşulların (2.722), su stressiz koşullara (2.397) göre daha yüksek Kl-a/b oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Önceki başlıklarla birlikte değerlendirildiğinde, stresli koşullarda kl-a/b oranının yüksek çıkması; kl-a değerinin stresli koşullarda daha yüksek bulunurken, aynı koşullarda kl-b değerinin daha düşük bulunmasından kaynaklandığı anlaşılabacaktır. Uygulama koşulları ortalamasına göre çeşitler, Kl-a/b oranı bakımından Meke (2.361) ile Bayındır (2.722) arasında değişim göstermiştir (Tablo 23). Bayındır, Taner, İkonya, Şehzade ve Yavuz çeşitlerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek kl-a/b oranına sahip olması, genetik yapıya bağlı olarak klorofil sentezi farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bitkilerde fotosentezin temel pigmenti olan klorofil-a, güneş enerjisini bitkinin kullanabileceği kimyasal enerjiye dönüştürmede kilit rol oynar (Baker, 2008). Klorofil-a/b oranının yüksek olması, söz konusu buğday çeşitlerinin üç önemli avantaja sahip olduğunu ortaya koymaktadır: Birincisi, bu genotipler ışık enerjisini daha etkili biçimde absorbe edebilmektedir. İkincisi, elde ettikleri bu enerjiyi daha verimli şekilde kullanabilmektedir. Üçüncüsü ve en önemlisi, kuraklık gibi stres koşullarında bile fotosentetik aktivitelerini sürdürebilme kapasitesine sahiptirler (Jansson, 1994). Bu durumu günlük hayattan bir benzetmeyle açıklamak gerekirse, bu çeşitlerin yapraklarında bulunan ve fotosentezden sorumlu yapılar, tıpkı verimliliği yüksek güneş panelleri gibi çalışmaktadır. Normal şartlarda olduğu gibi, olumsuz çevre koşullarında da enerji üretimini kesintisiz sürdürebilmektedirler (Zhu ve ark., 2010). Nitekim literatür verileri, klorofil-a/b oranının bitki gelişim dönemine ve stres tipine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna göre, Rehman ve ark. (2016), fide aşamasında klorofil-a/b oranının sıcaklık ve kuraklık stresi altında belirgin şekilde azaldığını (1.59'dan 0.93'e), ancak çiçeklenme döneminde bu düşüşün daha sınırlı kaldığını (6.41'den 5.8-6.3'e) gözlemiştir. Soylu ve ark. (2022) ile Ghanem ve Al Farouk (2024) çalışmalarında kuraklık stresinin klorofil-a/b oranında istatistiksel olarak önemli düşüşlere yol açtığını doğrulamaktadır. Uygulama×çeşit interaksyonunun önemli bulunması (Tablo 22), çeşitlerin su stresine verdikleri yanıtın farklı olduğunu kanıtlamaktadır. Nitekim, Tablo 23 incelendiğinde, İkonya, Buhara ve Bozkır çeşitlerinin kl-a/b oranı bakımından stresli koşullarda üst grupta yer alırken, stressiz koşullarda alt grupta yer aldığı görülecektir. Elde edilen bu bulgular hem su stresinin hem de genetik faktörlerin klorofil dinamikleri üzerinde kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 23. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki klorofil a/b oranına ilişkin ortalama değerler.

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	2.701 ^b	2.743 ^{ab}	2.722 ^a
Bozkır	2.720 ^{ab}	2.222 ^{ef}	2.471 ^b
Buhara	2.768 ^{ab}	2.061 ^f	2.415 ^b
İkonya	2.951 ^a	2.423 ^{de}	2.687 ^a
Meke	2.633 ^{b-d}	2.088 ^f	2.361 ^b
Selçuklu	2.553 ^{b-d}	2.430 ^{c-e}	2.491 ^b
Şehzade	2.780 ^{ab}	2.585 ^{b-d}	2.683 ^a
Taner	2.726 ^{ab}	2.693 ^b	2.710 ^a
Tuğra	2.674 ^{bc}	2.099 ^f	2.387 ^b
Yavuz	2.717 ^{b-d}	2.628 ^{b-d}	2.672 ^a
Ortalama	2.722 ^a	2.397 ^b	2.559
EGF _u	0.146		
EGF _ç	0.174		
EGF _{u×ç}	0.247		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonunu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.11. Yaprak Karotenoid İçeriği

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki karotenoid içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 24'te verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit interaksyonu $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 24. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki karotenoid içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	6.078	6.078	35.2835**
Hata 1	4	0.689	0.172	1.2589
Çeşit	9	5.869	0.652	4.7661**
Uygulama×Çeşit	9	7.750	0.861	6.2929**
Hata 2	36	4.926	0.137	
Genel	59	25.312		
Değişim katsayısı (%)			8.03	

** : $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksiyonuna ilişkin karotenoid içeriği ortalama değerleri Tablo 25'te verilmiştir. Buna göre, su stresli koşulların (4.927 mg g⁻¹) su stressiz koşullara (4.290 mg g⁻¹) göre daha fazla karotenoid içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu artış, bitkilerin stres koşullarında antioksidan savunma mekanizmalarını aktive ettiğini ve karotenoid gibi sekonder metabolitlerin sentezini artırdığını göstermektedir. Karotenoidlerin fotooksidatif hasara karşı koruyucu rolü düşünüldüğünde, bu durum bitkilerin stres tolerans mekanizmalarıyla uyumludur. Nitekim Ural ve ark. (2024) alışmasında elde edilen veriler, stres altındaki bitkilerde karotenoid miktarının (3.05 mg g⁻¹) kontrol grubuna (1.57 mg g⁻¹) kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, benzer şekilde Ghanem ve Al-Farouk (2024) ve bizim çalışmamızda ulaştığımız sonuçlarla paralellik göstermekte ve bitkilerin stres koşullarında karotenoid sentezini artırarak savunma mekanizmalarını harekete geçirdiğini desteklemektedir. Uygulama koşulları ortalamasına göre çeşitler, karotenoid içeriği bakımından Meke (4.103 mg g⁻¹) ile şehzade (5.127 mg g⁻¹) arasında değişim göstermiştir (Tablo 25). şehzade çeşidinin belirgin şekilde yüksek değer sergilemesi, bu çeşidin genetik olarak daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu veya stres koşullarında karotenoid sentezini daha etkin düzenlediğini göstermektedir. Uygulama×çeşit interaksiyonunun önemli bulunması (Tablo 24 ve 25), çeşitlerin su stresine verdikleri yanıtın farklı olduğunu, bazı çeşitlerin stres altında karotenoid birikimini artırarak adaptasyon sağlarken, diğerlerinin daha sınırlı tepki verebildiğini göstermektedir. Bu bulgular, kuraklığa toleranslı çeşitlerin seçiminde karotenoid içeriğinin bir belirteç olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 25. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak karotenoit içeriğine ilişkin ortalama değerler (mg g⁻¹ YA).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	4.357 ^{d-g}	4.819 ^{cd}	4.588 ^{bc}
Bozkır	4.770 ^{c-e}	4.243 ^{d-g}	4.507 ^{b-d}
Buhara	5.837 ^a	4.026 ^{f-h}	4.931 ^{ab}
İkonya	5.178 ^{bc}	3.569 ^h	4.374 ^{cd}
Meke	4.272 ^{d-g}	3.933 ^{g-h}	4.103 ^d
Selçuklu	4.533 ^{d-g}	4.343 ^{d-g}	4.438 ^{cd}
Şehzade	5.682 ^{ab}	4.572 ^{c-f}	5.127 ^a
Taner	4.250 ^{d-g}	4.617 ^{c-f}	4.434 ^{cd}
Tuğra	4.837 ^{cd}	4.192 ^{e-g}	4.515 ^{b-d}
Yavuz	5.554 ^{ab}	4.590 ^{c-f}	5.072 ^a
Ortalama	4.927 ^a	4.290 ^b	4.609
EGF _u	0.298		
EGF _ç	0.433		
EGF _{u×ç}	0.613		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisini bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.12. Yaprak Kül İçeriği

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak kül içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 26’da verilmiştir. Buna göre, tüm varyasyon kaynaklarının istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermediği belirlenmiştir.

Tablo 26. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak kül içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	42.718	42.718	3.667
Hata 1	4	46.593	11.648	7.107
Çeşit	9	31.600	3.511	2.142
Uygulama×Çeşit	9	8.056	0.895	0.546
Hata 2	36	59.006	1.639	
Genel	59	187.973		
Değişim katsayısı (%)		6		

İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak kül içeriği ilişkin ortalama değerleri Tablo 27’de verilmiştir. Buna göre, istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, su stresli koşulların (%19.77) su stressiz koşullara (%18.09) göre daha fazla kül içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu artış, bitkilerin su stresi koşullarında mineral madde alımı ve birikim mekanizmalarında önemli değişiklikler olduğunu göstermektedir. Genç ve ark. (2007)’nın bir çalışmasında, bazı buğday genotiplerinde kuraklık stresine bağlı olarak mineral birikiminde artış gözlemlenebileceği bildirilmektedir. Söz konusu çalışmada, Na birikimindeki artışa rağmen K/Na oranının korunduğu ve toplam kül içeriğinde artış olduğu belirtilmiştir. Ancak, Ural ve ark. (2024) ile Öztürk ve Aydın (2017) tarafından yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin yaprak kül içeriğinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Bu farklılık, muhtemelen kullanılan genotiplerin mineral absorpsiyon ve dağılım mekanizmalarındaki çeşitlilikten kaynaklanmaktadır. Çalışmamızda stresli koşullardaki kül içeriğindeki küçük orandaki artışın, genotiplerin kuraklık stresine verdikleri fizyolojik yanıtlardaki farklılıktan öte, materyal olarak kullanılan çeşitlerin genelinde kuraklığa katlanan çeşitler olmasından kaynaklanabilir. Nitekim, çeşitlerin stresli koşullardaki kül içerikleri birbirine çok yakın değerlerdedir. Uygulama koşulları ortalamasına göre çeşitler, istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte; yaprak kül içeriği, Yavuz (%17.69) ile Meke (%20.59) arasında dağılım göstermiştir (Tablo 27). Bu küçük farklılıklar bile, genetik varyasyonun mineral madde birikimi üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır.

Tablo 27. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak kül içeriğine ilişkin ortalama değerler (%).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	19.28	18.74	19.01
Bozkır	19.01	17.98	18.50
Buhara	19.70	17.83	18.76
İkonya	19.95	18.23	19.09
Meke	21.54	19.65	20.59
Selçuklu	21.19	17.98	19.59
Şehzade	19.71	17.46	18.59
Taner	19.86	18.03	18.95
Tuğra	18.90	18.15	18.53
Yavuz	18.58	16.80	17.69
Ortalama	19.77	18.09	18.93
EGF _u	ÖD		
EGF _c	ÖD		
EGF _{u×c}	ÖD		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_c ve EGF_{u×c} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.13. Membran Kararlılığı

Ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve stresli koşullarındaki membran kararlılığına (MK) ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 28’de verilmiş olup; tüm varyasyon kaynakları (uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit interaksyonu) istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.01$) göstermiştir.

Tablo 28. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki MTS değerine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	28678.300	28678.300	2019.623**
Hata 1	4	56.799	14.200	1.534
Çeşit	9	1194.960	132.774	14.346**
Uygulama×Çeşit	9	1055.110	117.235	12.667**
Hata 2	36	333.183	9.600	
Genel	59	31318.321		
Değişim katsayısı (%)		4.10		

** $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonuna ilişkin MK ortalama değerleri Tablo 29’da verilmiştir. Buna göre, su stressiz koşulların (%96.09) su stresli koşullara (%52.36) göre daha yüksek membran kararlılığı gösterdiği saptanmıştır. Nitekim, Farooq ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, kuraklık stresi altında artan elektrolit sızıntısı ve lipid peroksidasyonunun, membran yapısında bozulmalara yol açtığını deneysel olarak ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, su stresinin hücre membran bütünlüğü üzerinde ciddi bozucu etkileri olduğunu kanıtlamaktadır. Nitekim Ashraf ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada da yaprak zarı stabilite indeksinin tarla kapasitesindeki bitkilerde (%77.82) kuraklık stresi altındaki bitkilere (%66.63) göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Tunçtürk ve ark. (2021) tarafından bildirilen membran dayanıklılık indeksindeki düşüşlerle de (%80.5 kontrol, %76.8 stres) uyumludur. Uygulama koşulları ortalamasına göre çeşitler, MK bakımından %64.50 (Selçuklu) ile %79.36 (Tuğra) arasında değişim göstermiştir (Tablo 29). Ayrıca, uygulama×çeşit interaksyonunun önemli bulunması (Tablo 28), çeşitlerin su stresine verdikleri tepkileri bakımında farklılaştığını göstermektedir (Tablo 29). Su stresli koşullarda en yüksek MK değeri Tuğra çeşidinde %62.17 iken; en düşük değer Selçuklu çeşidinde %33.99 olarak belirlenmiştir. Tuğra çeşidinin göreceli olarak daha az

etkilenmesi, bu genotipin membran kararlılığını korumada daha başarılı olduğunu göstermektedir. Membran termal stabilitesi, başka bir deyişle membran kararlılığı; buğday çeşitlerinin su stresine toleransının değerlendirilmesinde etkili bir göstergedir. Hassan ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, kuraklığa dayanıklı Sids çeşidinde MK değerinin (%86.05) duyarlı Gmiza çeşidine (%48.19) kıyasla belirgin şekilde yüksek olduğu bildirilmiştir. Ural ve ark. (2024) tarafından bildirildiği üzere, farklı buğday çeşitlerinin MK değerleri %25.18 (Miranda) ile %53.82 (Şanlı) arasında değişim göstermiştir. Bu geniş varyasyon aralığı, genotiplerin membran bütünlüğünü koruma yeteneklerindeki farklılıkları yansıtmaktadır. Çalışmamızdaki Tuğra çeşidi, yüksek membran kararlılığı nedeniyle kurak koşullar için başka özellikleri de dikkate alarak potansiyel aday olarak değerlendirilebilir. Yüksek membran kararlılığının genetik temellerinin moleküler düzeyde araştırılması, ıslah programlarına katkı sağlayabilir.

Tablo 29. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki MTS değerine ilişkin ortalama değerler (%).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	54.79 ^{de}	96.25 ^a	75.52 ^{bc}
Bozkır	47.57 ^f	95.90 ^a	71.74 ^{de}
Buhara	56.69 ^{cd}	96.26 ^a	76.47 ^{a-c}
İkonya	60.04 ^{bc}	96.45 ^a	78.25 ^{ab}
Meke	41.25 ^g	96.40 ^a	68.83 ^e
Selçuklu	33.99 ^h	95.01 ^a	64.50 ^f
Şehzade	50.10 ^{ef}	95.97 ^a	73.04 ^{c-d}
Taner	57.49 ^{b-d}	97.06 ^a	77.27 ^{a-b}
Tuğra	62.17 ^b	96.56 ^a	79.36 ^a
Yavuz	59.54 ^{b-d}	95.03 ^a	77.29 ^{ab}
Ortalama	52.36 ^b	96.09 ^a	70.29
EGF _u	2.701		
EGF _ç	3.562		
EGF _{u×ç}	5.038		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.14. Yaprak Su Tutma Kapasitesi

Kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak su tutma kapasitelerine (YSTK) ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 30'da verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit interaksyonu $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 30. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki ELWR değerine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	2715.820	2715.820	163.1232**
Hata 1	4	66.596	16.649	1.6438
Çeşit	9	1239.730	137.748	13.6001**
Uygulama×Çeşit	9	1003.600	111.511	11.0097**
Hata 2	36	364.625	10.128	
Genel	59	5390.376		
Değişim katsayısı (%)		6.75		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit etkileşimi faktörlerinin tümü YSTK değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Normal (stressiz) koşullarda YSTK ortalama değeri %40.44 olarak ölçülmüştür. Su stresi altında bu değer %53.90'a yükselerek belirgin bir artış göstermiştir. Bu artış, bitkilerin stres koşullarına uyum sağlamada gösterdikleri yüksek performansı ortaya koymaktadır. Çeşitler arasında en yüksek YSTK değeri %56.75 ile İkonja çeşidinde; en düşük değer ise %41.25 ile Buhara çeşidinde kaydedilmiştir. Çalışmamızda kuraklık stresi altında gözlenen yüksek YSTK değerleri; Lonbani ve Arzani (2011) tarafından bildirilen ve Zoro (%87), Prego (%85), Roshan (%77) ile Osta-Gata (%80) çeşitlerinde kuraklık stresi altında YSTK'nin %3.89 oranında arttığı bulgularını destekler niteliktedir. Nitekim, stres koşullarında tüm çeşitlerin YSTK değerlerini artırması, ortak bir savunma mekanizması gösterdiklerine işaret etmelerinin yanı sıra, bu çeşitlerin kuraklığa tepki olarak stomalarını kapatıp su kaybını minimize etme stratejisiyle açıklanabilir. Ancak, artış oranlarının çeşitlere göre değişmesi, genetik varyasyonun stres toleransı üzerindeki belirleyici rolünü göstermektedir. YSTK değerleri, buğday çeşitlerinin su stresine toleransının değerlendirilmesinde güvenilir bir göstergedir. Bu bağlamda İkonja çeşidi, yüksek YSTK değeri ile kuraklığa dayanıklı çeşit geliştirmede, diğer dayanıklılık kriterleri ile birlikte değerlendirilmek suretiyle donör olarak kullanılabilir.

Tablo 31. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki ELWR değerine ilişkin ortalama değerler (%).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	54.71 ^{b-d}	50.21 ^{de}	52.46 ^b
Bozkır	57.16 ^{bc}	34.87 ⁱ	46.01 ^{de}
Buhara	47.60 ^{ef}	34.90 ⁱ	41.25 ^f
İkonya	64.95 ^a	48.56 ^{ef}	56.75 ^a
Meke	51.94 ^{c-e}	37.50 ^{hi}	44.72 ^{d-f}
Selçuklu	58.36 ^b	28.16 ^j	43.26 ^{ef}
Şehzade	53.97 ^{b-d}	47.44 ^{ef}	50.70 ^{bc}
Taner	55.53 ^{bc}	40.28 ^{gh}	47.91 ^{cd}
Tuğra	44.60 ^{fg}	44.04 ^{fg}	44.32 ^{d-f}
Yavuz	50.19 ^{de}	38.40 ^{hi}	44.35 ^{d-f}
Ortalama	53.90 ^a	40.44 ^b	47.17
EGF _u	2.925		
EGF _ç	3.726		
EGF _{u×ç}	5.270		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit etkisi bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

3.15. Yaprak Oransal Su İçeriği

Kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak oransal su içeriğine (YOSİ) ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 32’de verilmiş olup; varyasyon kaynakları (uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit etkisi) istatistiksel olarak $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 31. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak oransal su içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	15741.000	15741.000	6503.336**
Hata 1	4	9.682	2.420	1.012
Çeşit	9	614.748	68.305	28.547**
Uygulama×Çeşit	9	598.207	66.467	27.779**
Hata 2	36	86.137	2.393	
Genel	59	17049.763		
Değişim katsayısı (%)		2.35		

** : $p < 0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Stresli koşullarda YOSİ ortalama değeri %49.622 iken stressiz koşullarda bu değer %82.017 olarak kaydedilmiştir (Tablo 33). Kuraklık stresi altında YOSİ değerlerinde

ortalama %39.5'lik bir azalma gözlenmiştir. Bu belirgin düşüş, bitkilerin osmotik düzenleme kapasitelerinin stres koşullarında önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Çalışmamızda, stres koşullarında YOSİ değerlerindeki düşüş eğilimi, Ghanem ve Al-Farouk (2024) tarafından bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Söz konusu çalışmada 2020/2021 döneminde %77.55'ten %57.51'e düşerek %25.8 azalma gösterirken; 2021/2022 döneminde %74.37'den %54.67'ye düşerek %26.5 azalma gösterdiği belirtilmiştir. Wasaya ve ark. (2021), Johar-2016 çeşitinin yeterli sulama koşullarında yüksek YOSİ değerleri sergileyebildiğini bildirmiştir. Ancak su stresi koşullarında, Galaxy-2013 çeşitinin diğer çeşitlere kıyasla daha yüksek YOSİ değerleri (%65.2) sergilediği ve bu durumun çeşitin su stresine karşı daha etkili adaptasyon mekanizmaları geliştirdiğinin bir göstergesi olabileceğini bildirmiştir.

Tablo 33. İncelenen ekmeklik buğday çeşitlerinin su stresli ve su stressiz koşullardaki yaprak oransal su içeriğine ilişkin ortalama değerler (%).

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	49.157 ⁱ	78.670 ^e	63.914 ^{cd}
Bozkır	45.563 ^{jk}	84.391 ^{cd}	64.977 ^c
Buhara	56.312 ^g	73.523 ^f	64.917 ^c
İkonya	53.666 ^h	85.956 ^{bc}	69.811 ^a
Meke	47.466 ^{ij}	78.624 ^e	63.045 ^d
Selçuklu	46.042 ^{jk}	88.668 ^a	67.355 ^b
Şehzade	52.469 ^h	87.202 ^{ab}	69.836 ^a
Taner	47.490 ^{ij}	82.150 ^d	64.820 ^{cd}
Tuğra	43.984 ^k	75.343 ^f	59.664 ^e
Yavuz	54.073 ^{gh}	85.638 ^{bc}	69.856 ^a
Ortalama	49.622 ^b	82.017 ^a	65.819
EGF _u	1.115		
EGF _ç	1.811		
EGF _{u×ç}	2.561		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksiyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir. ÖD: önemli değil.

Nitekim bizim çalışmamızda da stresli koşullarda bu literatür bildirişlerine benzer oranlarda yüksek YOSİ değerleri gösteren çeşitler gözlenmiştir. Bu bağlamda, uygulamalar ortalamasına göre, çeşitler arasında en yüksek YOSİ değerleri Yavuz (%69.856), Şehzade (%69.836) ve İkonya (%69.811) çeşitlerinde; en düşük değer ise %59.664 ile Tuğra çeşidinde kaydedilmiştir (Tablo 33). Bunun yanı sıra, stresli koşullarda Buhara (%56.312), Yavuz (%54.073), İkonya (%53.666) ve Şehzade (%52.469) çeşitleri, en yüksek YOSİ oranlarıyla dikkat çekmektedir (Tablo 33). Bu bulgular ışığında, YOSİ

değerlerinin bitkilerin su stresine katlanma ya da dayanıklılık seviyelerini değerlendirmede etkili bir fizyolojik gösterge olarak kullanılabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, stres koşullarında bile YOSİ değerlerini yüksek tutabilen, başka bir deyişle normal koşullara oranla YOSİ değerlerini en az kayıpla koruyabilen Yavuz ve İkonya gibi çeşitler, kuraklığa dayanıklı yeni çeşitlerin geliştirilmesinde ıslahçılara yardımcı olacaktır.

3.16. Yaprak Sıcaklığı Düşüşü

Kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak sıcaklığı düşüşü değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 34'te verilmiş olup; varyasyon kaynaklarından uygulamalar, çeşitler ve uygulama×çeşit etkisi $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir.

Tablo 34. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak sıcaklığı düşüşüne ilişkin varyans analiz sonuçları.

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Uygulama	1	1059.79	1059.790	911.342**
Hata 1	4	4.652	1.163	2.273
Çeşit	9	96.270	10.697	20.906**
Uygulama×Çeşit	9	42.021	4.669	9.125**
Hata 2	36	18.420	0.512	
Genel	59	1221.149		
Değişim katsayısı (%)			11.65	

**; $p<0.01$ olasılık düzeyinde önemli.

Çalışmamızın sonuçları, farklı uygulamaların ve çeşitlerin yaprak sıcaklığı düşüşü üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur (Tablo 34). Elde edilen veriler, optimal sulama koşullarında bitkilerin 10.345°C'ye varan belirgin bir yaprak sıcaklığı düşüşü sergilediğini, buna karşılık su stresi altında bu değerin 1.939°C'ye kadar gerilediğini göstermektedir (Tablo 35). Su stresi, bitkilerin termoregülasyon yeteneğini önemli ölçüde bozar. Normal koşullarda terleme yoluyla etkin bir şekilde dağıtılabilen ısı enerjisi, stres altında yaprak dokusunda birikmeye başlar. Bu birikim, yaprak içi ve yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını azaltarak, ölçülen sıcaklık düşüş değerlerinin düşük çıkmasına neden olur (Reynolds ve ark., 2021).

Bulgular, bitkilerin su stresine karşı geliştirdiği bu adaptasyon stratejilerinin, yaprak termal özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 35. İncelenen kışlık ekmeklik buğday çeşitlerinin su stressiz ve su stresli koşullardaki yaprak sıcaklığı düşüşüne ilişkin varyans analiz sonuçları

Çeşit	Su stresli	Su stressiz	Ortalama
Bayındır	0.885 ^{f-h}	7.505 ^c	4.195 ^d
Bozkır	1.655 ^{fg}	8.360 ^c	5.008 ^{cd}
Buhara	0.370 ^h	9.800 ^b	5.085 ^c
İkonya	0.595 ^{gh}	11.980 ^a	6.288 ^b
Meke	1.030 ^{f-h}	10.000 ^b	5.515 ^{bc}
Selçuklu	3.605 ^d	11.935 ^a	7.770 ^a
Şehzade	3.410 ^d	12.680 ^a	8.045 ^a
Taner	1.920 ^{ef}	10.185 ^b	6.053 ^b
Tuğra	2.985 ^{de}	12.695 ^a	7.840 ^a
Yavuz	2.935 ^{de}	8.305 ^c	5.620 ^{bc}
Ortalama	1.939 ^b	10.345 ^a	6.142
EGF _u	0.773		
EGF _ç	0.838		
EGF _{u×ç}	1.185		

*: Aynı harf grubunda yer alan değerler, $p < 0.05$ önem seviyesinde farklı değildir. EGF_u, EGF_ç ve EGF_{u×ç} sırasıyla uygulama, çeşit ve uygulama×çeşit interaksyonu bakımından en küçük güvenilir fark değerlerini göstermektedir.

Çalışmada, uygulamalar ortalamasına göre, çeşitler arasında en yüksek yaprak sıcaklığı düşüşleri, Şehzade (8.045 °C), Tuğra (7.84 °C) ve Selçuklu (7.770 °C) çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 35). İnteraksiyon tablosu incelendiğinde, stressiz koşullarda da yüksek seviyede yaprak sıcaklığı düşüşü gösteren bu çeşitlerin (sırasıyla 12.680 °C, 12.695 °C ve 11.935 °C); stresli koşullardaki çeşitler ortalamasının (1.939 °C) üzerinde yüksek yaprak sıcaklığı düşüşleri (sırasıyla 3.410 °C, 2.985 °C ve 3.605 °C) gösterdiği gözlenmektedir (Tablo 35). Bu nedenle bu çeşitler gerek kuraklığa ve gerekse sıcağa dayanıklılık çalışmalarında ışlahçılar için öne çıkan çeşitler olarak görölmektedir.

3.17. İncelenen Özellikler Arasındaki İlişkiler

İncelenen özellikler arasındaki ilişkiler, Tablo 36'da verilmiştir. Bu özelliklerden yaprak alanı ile bitki boyu, stresli ($r=0.40^*$) ve stressiz ($r=0.42^*$) koşullarda önemli olumlu ilişkiler göstermiştir. Ayrıca yaprak alanı, stresli koşullarda yaprak su tutma kapasitesi ile önemli olumlu ($r=0.42^*$) ilişkili bulunmuştur.

Kök uzunluğu, stresli koşullarda Kl-a/b oranı ile önemli olumlu ($r=0.37^*$); stressiz koşullarda yaprak su tutma kapasitesi ile önemli olumsuz ($r=-0.60^{**}$) ilişkili bulunmuştur.

Bitki boyu ile taç kuru ağırlığı, stresli ($r=0.56^{**}$) ve stressiz ($r=0.58^{**}$) koşullarda önemli olumlu; kök/taç oranı ile stresli koşullarda önemli olumsuz ($r=-0.43^*$) ilişkili bulunmuştur. Ayrıca bitki boyu, stressiz koşullarda Kl-b içeriği ile önemli olumsuz ($r=-0.40^*$), yaprak kül içeriği ile önemli olumlu ($r=0.37^*$) ilişkiler göstermiştir.

Kök kuru ağırlığı ile kök/taç oranı stresli ($r=0.38^*$) ve stressiz ($r=0.51^{**}$) koşullarda önemli olumlu; stressiz koşullarda yaprak su tutma kapasitesi ile önemli olumsuz ($r=-0.40^*$) ilişkili bulunmuştur.

Taç kuru ağırlığı, stresli koşullarda kök/taç oranı ($r=-0.41^*$), Kl-a ($r=-0.48^{**}$), toplam klorofil ($r=-0.47^{**}$) ve Kl-a/b oranı ($r=-0.37^*$) ile önemli olumsuz ilişkiler gösterirken; stressiz koşullarda yaprak kül içeriği ile önemli olumlu ($r=0.48^{**}$) ilişki göstermiştir.

Kök/taç oranı, stresli koşullarda yaprak oransal su içeriği ($r=0.43^*$) ile; stressiz koşullarda Kl-b içeriği ile ($r=0.41^*$) önemli olumlu ilişkili bulunmuştur.

Kl-a içeriği, stresli koşullarda Kl-b içeriği ($r=0.79^{**}$), toplam klorofil ($r=0.99^{**}$), Kl-a/b oranı ($r=0.59^{**}$), karotenoid içeriği ($r=0.74^{**}$), membran kararlılığı ($r=0.59^{**}$) ve yaprak oransal su içeriği ($r=0.57^{**}$) ile; stressiz koşullarda Kl-b içeriği ($r=0.53^{**}$), toplam klorofil ($r=0.98^{**}$), Kl-a/b oranı ($r=0.77^{**}$) ve karotenoid içeriği ($r=0.70^{**}$) ile önemli olumlu ilişkiler göstermiştir.

Kl-b içeriği, stresli koşullarda toplam klorofil ($r=0.86^{**}$), karotenoid ($r=0.75^{**}$), membran kararlılığı ($r=0.39^*$) ve yaprak oransal su içeriği ($r=0.40^*$) ile önemli olumlu, yaprak kül içeriği ile önemli olumsuz ($r=-0.40^*$) ilişki göstermiştir. Stressiz koşullarda Kl-b içeriği, toplam klorofil ($r=0.67^{**}$) ve karotenoid ($r=0.78^{**}$) içeriği ile önemli olumlu ilişkili bulunmuştur.

Tablo 36. Stresli ve stressiz koşullarda, incelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları.

	KU	BB	KKA	TKA	KTO	KI-a	KI-b	TKI	KI-a/b	Kİ	YKİ	MK	YSTK	YOSİ	Yaprak Sıcaklığı Düşüşü (YSD)
Yaprak Alanı (YA)	‡ 0.10	0.40*	0.29	0.45*	-0.15	-0.26	-0.26	-0.28	-0.07	-0.23	0.26	-0.29	0.42*	-0.01	-0.11
	0.04	0.68**	0.05	0.42*	-0.29	-0.17	-0.34	-0.24	0.10	-0.09	0.07	-0.03	-0.16	0.33	-0.17
Kök Uzunluğu (KU)		-0.24	0.07	-0.17	0.23	0.20	-0.02	0.16	0.37*	0.01	0.01	0.06	0.35	-0.04	-0.36
		-0.16	0.05	-0.07	0.08	0.11	0.33	0.16	-0.05	0.28	-0.26	-0.30	-0.60**	0.17	-0.16
Bitki Boyu (BB)			0.22	0.56**	-0.43*	-0.25	-0.15	-0.23	-0.18	-0.30	0.00	-0.13	0.00	-0.30	0.28
			-0.03	0.58**	-0.24	-0.26	-0.40*	-0.32	0.01	-0.34	0.37*	0.13	-0.19	0.11	-0.14
Kök Kuru Ağırlığı (KKA)				0.16	0.38*	-0.15	0.07	-0.11	-0.34	0.08	0.01	-0.26	0.22	0.18	-0.01
				0.29	0.51**	-0.07	0.14	-0.01	-0.27	0.07	0.18	-0.09	-0.40*	0.01	0.06
Taç Kuru Ağırlığı (TKA)					-0.41*	-0.48**	-0.30	-0.47**	-0.37*	-0.21	0.25	-0.28	-0.07	-0.28	0.04
					-0.34	-0.23	-0.35	-0.29	-0.02	-0.34	0.48**	0.12	-0.20	0.05	0.07
Kök/Taç Oranı (KTO)						0.34	0.21	0.33	0.26	0.32	0.04	0.02	0.26	0.43*	-0.26
						-0.01	0.41*	0.10	-0.35	0.27	-0.23	-0.25	-0.22	-0.11	-0.10
Klorofil-a (KI-a)							0.79**	0.99**	0.59**	0.74**	-0.29	0.59**	-0.10	0.57**	-0.03
							0.53**	0.98**	0.77**	0.70**	-0.19	-0.14	0.25	0.23	-0.26
Klorofil-b (KI-b)								0.86**	-0.04	0.75**	-0.40*	0.39*	-0.27	0.40*	0.18
								0.67**	-0.09	0.78**	-0.29	-0.16	-0.12	-0.12	-0.25
Toplam Klorofil (TKI)									0.47**	0.76**	-0.33	0.57**	-0.14	0.56**	0.01
									0.63**	0.77**	-0.22	-0.14	0.18	0.15	-0.24
Klorofil-a/b (KI-a/b) Oranı										0.20	0.03	0.45*	0.22	0.39*	-0.31
										0.27	-0.08	-0.10	0.38*	0.44*	-0.21
Karotenoid İçeriği (Kİ)											-0.20	0.29	-0.28	0.70**	0.01
											-0.33	-0.29	0.10	0.08	-0.28
Yaprak Kül İçeriği (YKİ)												-0.47**	0.24	-0.15	-0.08
												0.34	0.03	-0.22	0.04
Membran Kararlılığı (MK)													-0.31	0.36	-0.22
													0.27	-0.38*	0.17
Yaprak Su Tutma Kapasitesi (YSTK)														-0.09	-0.11
														-0.04	0.05
Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)															-0.29
															0.15

‡ : Gri gölgeli satırlar stresli koşullardaki, gölgesiz olanlar ise stressiz koşullardaki korelasyon katsayılarını göstermektedir.

*, ** sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.01$ önem seviyelerindeki ilişki düzeylerini göstermektedir.

Toplam klorofil, stresli koşullarda Kl-a/b oranı ($r=0.47^{**}$), karotenoid içeriği ($r=0.76^{**}$), membran kararlılığı ($r=0.57^{**}$) ve yaprak oransal su içeriği ile ($r=0.56^{**}$); stressiz koşullarda Kl-a/b oranı ($r=0.63^{**}$) ve karotenoid içeriği ($r=0.77^{**}$) ile önemli olumlu ilişkiler göstermiştir.

Kl-a/b oranı, stresli koşullarda membran kararlılığı ($r=0.45^*$) ve yaprak oransal su içeriği ($r=0.39^*$) ile; stressiz koşullarda yaprak su tutma kapasitesi ($r=0.38^*$) ve yaprak oransal su içeriği ($r=0.44^*$) ile önemli olumlu ilişkili bulunmuştur.

Karotenoid içeriği, stresli koşullarda yaprak oransal su içeriği ile önemli olumlu ($r=0.70^{**}$) ilişki göstermiştir.

Yaprak kül içeriği, stresli koşullarda membran kararlılığı ile önemli olumsuz ($r=-0.47^{**}$) ilişki göstermiştir.

Membran kararlılığı, stressiz koşullarda yaprak oransal su içeriği ile önemli olumlu ($r=-0.38^*$) ilişki göstermiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Konya ekolojisinde yaygın olarak yetiştirilen 10 kışlık ekmeklik buğday çeşidinin kuraklık stresi altında gösterdiği morfo-fizyolojik tepkiler incelenmiştir. Bitkilerin su stresine adaptasyon mekanizmaları; yaprak ve kök özellikleri ile fitokimyasal içerikler (klorofil, karotenoid, kül) gibi parametreler üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, buğday çeşitlerinin kuraklığa dayanıklılık açısından genotipik farklılıklarını ortaya koymaktadır.

Yaprak alanı; su stresli koşullar altında (7.444 cm^2), stressiz koşullara (11.877 cm^2) göre önemli düzeyde azalma göstermiştir. Çeşitler arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gözlenmemekle birlikte, stresli koşullarda Taner çeşidi, 8.257 cm^2 'lik yaprak alanı ile en yüksek değeri sergilerken, bu değer Tuğra çeşidinde 6.047 cm^2 olarak ölçülmüştür.

Kök uzunluğu; Çalışmamızın sonuçları, buğday bitkilerinin su stresli koşullarında karakteristik bir adaptasyon stratejisi sergilediğini ortaya koymaktadır. Yapılan ölçümlerde, stresli koşullarda ortalama kök uzunluğunun 54.08 cm ile stressiz koşullara (38.98 cm) kıyasla %38.7 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu morfolojik değişim, bitkilerin su kısıtı altında kök sistemini derinleştirerek toprak profilindeki su kaynaklarına erişimini artırmaya yönelik fizyolojik bir cevap olarak değerlendirilebilir.

Bitki boyu; stressiz koşullarda 33.75 cm iken, stresli koşullarda %22.9 oranında kısalarak 26.02 cm olarak ölçülmüştür. Çeşitlere göre ise, 27.57 cm (Şehzade) ile 32.91 cm (Meke) arasında değişim göstermiştir. Bu bulgular, su stresinin buğdayda vejetatif gelişme üzerinde inhibisyon etkisi oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Kök kuru ağırlığı; buğday çeşitlerinin su stresine karşı geliştirdikleri farklı adaptasyon stratejilerini ortaya koymaktadır. Elde edilen verilere göre, çeşitler arasında kök biyokütle birikiminde istatistiksel olarak belirgin farklılıklar tespit edilmemiştir. Ancak, stres koşullarında genel olarak kök kuru ağırlığında azalma görülmüştür. Buna göre, stresli koşullarda bitkilerin kök kuru ağırlığı ortalaması $0.143 \text{ g bitki}^{-1}$ iken, stressiz koşullarda bu değer $0.191 \text{ g bitki}^{-1}$ 'e yükselmiştir.

Taç kuru ağırlığı; optimal koşullarda $0.995 \text{ g bitki}^{-1}$ olan ortalama taç kuru ağırlığı, su stresli altında %48 azalarak $0.516 \text{ g bitki}^{-1}$ 'e düşmüştür. Çeşitler arasında önemli farklılıklar olmamakla birlikte; Meke çeşidi stres koşullarında $0.653 \text{ g bitki}^{-1}$ ile en yüksek taç kuru ağırlığı değeri göstermiştir. Stresli koşullarda bu değer, çeşit ortalamasının üzerinde bir değer olmakla birlikte; çeşitlerin kuraklığa dayanıklılıkta taç

kuru ağırlığından öte, kök kuru ağırlıklarının ve kök/taç oranlarının yüksek olması ön planda tutulmaktadır.

Kök/taç oranı; varyans analizi sonuçlarına göre su stresi bakımından çeşitlere göre benzer dağılım göstermiştir. Bununla birlikte kök/taç oranı, stressiz koşullarda 0.039 iken su stresi altında %48.7 artışla 0.058'e yükselmiştir. Bu artış, bitkilerin su kısıtına karşı kök sistemini geliştirme stratejisiyle uyumludur. Uygulama×çeşit interaksyonunun önemli olması, çeşitlerin strese farklı yanıtlar verdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında su stresinin asimilat dağılımını kök lehine değiştirdiği, bitkilerin su kaynaklarına ulaşmak için kök sistemini güçlendirdiği, genotipik varyasyonun bu adaptasyon sürecinde rol oynadığı değerlendirilmektedir. Islah çalışmaları için yüksek kök/taç oranı sergileyen genotiplerin kurak alanlar için çeşit adayı olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, İkonya, Buhara ve Selçuklu çeşitlerinin kurak alanlar için önerildiği gibi, ıslahçılar için de yeni çeşit geliştirmede iyi birer donör olabileceklerini ortaya koymaktadır.

Klorofil-a içeriği; su stresi altında %6.6 artışla 0.953 mg g⁻¹ YA'ya yükselmiştir. Bu artış, kısa süreli stresin fotosentetik adaptasyon mekanizmalarını tetiklediğini göstermektedir. Yavuz (1.010 mg g⁻¹) ve Bayındır (1.005 mg g⁻¹) çeşitleri en yüksek Kl-a değerlerini sergilemiş olup Meke çeşidi (0.766 mg g⁻¹) en düşük performansı göstermiştir. İkonya ve Yavuz çeşitlerinin stres koşullarında Kl-a içeriği bakımından yüksek değerler göstermesi dikkat çekicidir. Bu çalışma sonucunda, kısa süreli stresin fotosentetik adaptasyonu tetikleyebileceği, genotipik varyasyonun ve uygulama×çeşit interaksyonunun Kl-a bakımından önemli rol oynadığı gözlenmiştir.

Klorofil-b içeriği; su stresine duyarlı bir gösterge olarak çıkmış ve stressiz koşullarda 0.371 mg g⁻¹ YA olan Kl-b ortalaması, su stresi altında %5.7'lik azalma ile 0.350 mg g⁻¹ YA'ya düşmüştür. Yavuz (0.378 mg g⁻¹) ve Tuğra (0.376 mg g⁻¹) çeşitleri en yüksek Kl-b içeriğini sergilemiş olup; Meke çeşidi (0.330 mg g⁻¹) en düşük değeri kaydetmiştir. Bu farklılıklar genotiplerin pigment sentez ve stabilizasyon kapasitelerindeki varyasyonu yansıtmaktadır. Su stresi altında, özellikle Yavuz, Buhara, Tuğra ve Şehzade çeşitlerinin Kl-b açısından üstün performans sergilediği tespit edilmiştir.

Toplam klorofil; stressiz koşullarda 1.475 mg g⁻¹ YA iken, stresli koşullarda %3.5'lik artışla 1.527 mg g⁻¹ YA olarak ölçülmüştür. Yavuz (1.626 mg g⁻¹) ve Bayındır (1.607 mg g⁻¹) çeşitleri en yüksek pigment içeriğini sergilerken; Meke çeşidi (1.277 mg g⁻¹) en düşük performansı göstermiştir. Yavuz ve İkonya çeşitleri, stresli koşullarda yüksek toplam klorofil değerleri göstermiştir.

Klorofil a/b oranı; su stresi altında %13.6 artış göstermiştir. Bu artış, klorofil-b'nin klorofil-a'ya göre daha fazla azalmasından kaynaklanmaktadır. Klorofil-a/b oranı çeşitlere göre, 2.361 ile 2.722 arasında değişim göstermiştir. Bu varyasyon, çeşitlerin pigment kompozisyonunu düzenleme kapasitelerindeki farklılıkları yansıtmaktadır. Islah çalışmaları için İskonya gibi, yüksek Kl-a/b oranı gösteren çeşitlerin fotosentetik verimlilik açısından değerlendirilebilir.

Yaprak karotenoid içeriği; su stresine toleransın değerlendirilmesinde güvenilir bir metabolik belirteç olarak ortaya çıkmaktadır. Nitekim, su stresinin karotenoid birikimini önemli ölçüde artırdığı (%12.6'lık bir artış) tespit edilen çalışmamızda; stressiz koşullarda 4.290 mg g⁻¹ iken, stresli koşullarda 4.927 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu artış, reaktif oksijen türlerinin (ROS) neden olduğu oksidatif strese karşı geliştirilen koruyucu mekanizmayı yansıtmaktadır. Bulgular, karotenoidlerin antioksidan savunmadaki kritik rolünü doğrulamaktadır. Şehzade (5.127 mg g⁻¹) ve Yavuz (5.554 mg g⁻¹) en yüksek karotenoid içerikleri sergilemiş olup; Meke çeşidi 4.103 mg g⁻¹ ile en düşük değeri göstermiştir. Stresli koşullarda ise, Buhara (5.837 mg g⁻¹), Şehzade (5.682 mg g⁻¹) ve Yavuz (5.554 mg g⁻¹) çeşitleri yüksek karotenoid değerleri sergilemiştir.

Yaprak kül içeriği; uygulamalar, çeşitler ve bunların interaksyonu, istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte, stresli koşullarda kül içeriğinin biraz daha arttığı (%3.5'lik bir artış); bu artışta, stresle indüklenen kök aktivitesi artışı ile mineral iyonlarının osmoprotektan olarak birikiminin ve hücrel turgorun korunmasına yönelik adaptif stratejiler gibi mekanizmaların rol oynadığı değerlendirilmektedir.

Membran kararlılığı (MK), kurak şartlarda ciddi bir bozulmaya uğramıştır. Stressiz koşullarda %96.09 olan ortalama MK değeri, su stresi altında %45.5'lik düşüşle %52.36'ya gerilemiştir. Bu durum, oksidatif stresin lipid peroksidasyon yoluyla membran yapısını bozduğunu göstermektedir. Tuğra çeşidi %79.36 ile en yüksek MK derini sergilerken; Selçuklu çeşidi %64.50 ile en düşük performansı göstermiştir. Stres altında Tuğra (%62.17) ve Selçuklu (%33.99) arasındaki belirgin fark, genetik adaptasyon kapasitelerindeki varyasyonu yansıtmaktadır. Tuğra çeşidi, yüksek membran kararlılığı nedeniyle donör gen kaynağı olarak kullanılabilir. Bu çalışma, membran kararlılığının buğdayda su stresine toleransın değerlendirilmesinde güvenilir bir fizyolojik gösterge olduğunu ortaya koymuştur.

Yaprak su tutma kapasitesi (YSTK); su stresinin belirgin etkilerini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgulara göre stressiz koşullarda ortalama %40.44 olan YSTK değeri, su stresi altında %33.1'lik artışla %53.90'a yükselmiştir. Bu artış, buğday çeşitlerinin su stresine karşı gösterdikleri toleransa bağlı olarak, bünyelerindeki suyu

koruma yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Nitekim, stresli koşullarda, İkonya %64.95 oranla en yüksek YSTK değeri gösteren çeşit olmuştur.

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ); uygulama koşulları, çeşitler ve bunların interaksyonu açısından önemli değişimler göstermiştir. Bu bağlamda, stressiz koşullarda %82.017 olan YOSİ değeri, stresli koşullarda %49.622'ye düşmüştür. YOSİ değeri, çeşitlere göre ise, %59.664 (Tuğra) ile %69.856 (Yavuz) arasında değişim göstermiştir. Şehzade (%69.836) ve İkonya (%69.811) da diğer yüksek YOSİ değeri gösteren çeşitlerdendir. Stresli koşullarda, Buhara (%56.312) ve Yavuz (%54.073) yüksek YOSİ değeri ile ön plana çıkmıştır.

Yaprak sıcaklığı düşüşü; hava sıcaklığı karşısında bitkinin yapraklarını ne ölçüde soğutabildiğinin bir ölçüsü olup, bu çalışmada su stresine duyarlı bir fizyolojik gösterge olarak karşımıza çıkmaktadır. Optimal su koşullarında bitkilerin yaprak sıcaklığı düşüşü 10.345°C iken; bu değer, su stresi altında %81.3'lük azalma ile 1.939°C'ye düşmüştür. Stresle indüklenen stomal kapanma, transpirasyonel soğumanın sınırlandırılması, yaprak dokusunda ısı birikimi ve termal gradyanın azalması gibi süreçlerin termoregülasyon bozulmasına yol açtığı anlaşılmaktadır. Termal görüntüleme, erken dönem stres toleransı seleksiyon kriteri olarak kullanılabilir.

Çalışma sonuçları, incelenen çoğu morfo-fizyolojik özellikler bakımından, Yavuz ve İkonya çeşitlerinin kuraklık stresine karşı diğer çeşitlerden daha etkili adaptasyon mekanizmaları geliştirdiğini ve bu yüzden ıslah çalışmalarında birer gen kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, elde edilen bulgular, kuraklığa dayanıklı çeşit geliştirme çalışmalarında incelenen bu parametrelerin birarada değerlendirmesinin önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdelaal, K., Attia, K., Alamery 2, S., El-Afry, M., Ghazy, A., Tantawy, D., et al. (2020). Exogenous Application of Proline and Salicylic Acid can Mitigate the Injurious Impacts of Drought Stress on Barley Plants Associated with Physiological and Histological Characters. *12*(5).
- Abid, M., Ali, S., Qi, L., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang,, D., et al. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, *8*(4615).
- Ahmad, A., Zubair Aslam, Talha Javed, Sadam Hussain, Ali Raza, Rubab Shabbir, et al. (2022). Screening of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes for Drought Tolerance through Agronomic and Physiological Response. *12*(287).
- Akhkha, A., Boutraa, T., & Alhejely, A. (2011). The Rates of Photosynthesis, Chlorophyll Content, Dark Respiration, Proline and Abscicic Acid (ABA) in Wheat (*Triticum durum*) under Water Deficit Conditions. *Int. J. Agric. Biol*, *13*(2), 215-221.
- Al- Huqail, A. A., Saleem, M. H., Ali, B., Azeem, M., Mumtaz, S., Yasin, G., et al. (2023). Efficacy of priming wheat (*Triticum aestivum*) seeds with a benzothiazine derivative to improve drought stress tolerance. *Functional Plant Biology*.
- Alagoz, S., Hadi, H., Toorchi, M., Pawłowsk, T., Lajayer, B., Price, G., et al. (2023). Morpho-physiological responses and growth indices of triticale to drought and salt stresses. *Scientific Reports*, *13*(8896), 1-13.
- Alam, I., Sharmin, S., Hee Kim, K., & Kyung Yang, J. (2010). Proteome analysis of soybean roots subjected to short-term drought stress. *Plant and Soil* , *333*(1), 491-505.
- Ali Ahmad, Zubair Aslam, Talha Javed, Sadam Hussain, Ali Raza, Rubab Shabbir, et al. (2022). Screening of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes for Drought Tolerance through Agronomic and Physiological Response. *12*(287).
- Altaf, A., Gull, S., Zhu, X., Zhu, M., Rasoo, G., Ibrahim, M., et al. (2021). Study of the effect of PEG-600 imposed drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using relative water content (RWC) and proline content analysis. *Pak. J. Agri. Sci*, *58*(1), 357-367.

- Altay, Z., Eren Ünsal, N., & Ünsal, A. (2021). Mardin/Nusaybin İlçesi Kuru Koşullarında Bazı Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(1), 24-35.
- Anjum, S., Xiao-yu Xie, Wang, L.-c., Saleem, M., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9).
- Anonim. (2023, Temmuz). *Yeni Konya Gazetesi*. https://www.yenikonya.com.tr:https://www.yenikonya.com.tr/guncel/boyu_1_metreden_fazla_konya_yi_taner_kurtaracak-1910244 adresinden alınmıştır
- Anonim1. (2021, 06 25). *İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Basın Bülteni*. <http://www.karaman.gov.tr/il-tarim-ve-orman-mudurlugu-basin-bulteni-kuraga-dayanikli-cesitlerin-tanitilmasi-icin-tarla-gunu-duzenlendi> adresinden alınmıştır.
- Anonim2. (tarih yok). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Yağış Raporu: <https://www.mgm.gov.tr> adresinden alınmıştır.
- Anonim3. (tarih yok). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Yağış Raporu: <https://www.mgm.gov.tr> adresinden alınmıştır
- Aras, S., Soydam-Aydın, S., & Büyük, İ. (2012). Bitkilerin Stres Koşullarına Verdiği Moleküler Cevaplar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(2), 97-10.
- Arnon, D. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenol oxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance. *Distribution, Functional Ecology of Plants*, 199(5), 361-376.
- Ashraf, M., & Iram, A. (2005). Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200(6), 535-546.
- Ashraf, R., Fayyaz-ul-Hassan, Ahmed, M., & Shabbir , G. (2016). Wheat Physiological Response Under Drought. 211-231.

- Aslantaş, R., Karakurt, H., & Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin Düşük Sıcaklıklara Dayanımında Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 157-167.
- Ayrancı, R., Sade , B., & Soylu, S. (2017). Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Verim ve Fenolojik Özelliklerinin Tane Doldurma Dönemindeki Kuraklık Stresine Tepkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(5), 112-118.
- Bahar, B. (2004). Çukurova taban ve kıraç koşullarında bazı ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde stoma iletkenliği ve yaprak özellikleri ile verim ve verim unsurları arasındaki ilişkiler. *Doktora Tezi*.
- Bahar, B., & Yildirim, M. (2010). Heat and drought resistances criteria in spring bread wheat: Drought resistance parameters. *Full Length Research Paper*, 5(13), 1742-1745.
- Bahar, B., Yıldırım, M., & Albayrak, Ö. (2013). Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Çiçeklenme Sonrası Klorofil İçeriği Değişimi Ve Bazı Tarımsal Özelliklerle İlişkileri. *Tarla Bitkileri Kongresi*, 8-14 Eylül 2013, 459-464, Konya Türkiye.
- Baran, A., & Doğan, M. (2014). Tuz Stresi Uygulanan Soyada (*Glycine max* L.) Salisilik Asidin Fizyolojik Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 78-84.
- Barunawati, N., Maghfoer, M., Kendarini, N., & Aini, N. (2016). Proline and Specific Root Length As Response To Drought Of Wheat Lines (*Triticum aestivum* L.). *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 38(3), 296-302.
- Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bayram, S., Öztürk, A., & Aydın, M. (2017). Türkiye Ekmeklik Buğday Genotiplerinde Tescil Yılı ile Bitki Boyu, Çim Kını Uzunluğu ve Tane Verimi Arasındaki İlişkiler. (G. U. Merkezi, Dü.) *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(Özel Sayı), 7-14.
- Baker, N.R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 89-113.

- Bell, M., & Fischer, R. (1994). Guide to Plant and Crop Sampling: Measurements and Observations for Agronomic and Physiological Research in Small Grain Cereals. *Wheat Special Report*. içinde Mexico: D.F. CIMMYT.
- Blum A, E. A. (1981, 01 01). Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in Wheat. *21*(1), 43-47.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, *56*(11), 1159-1168.
- Blum, A., & Ebercon, A. (1981). Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in Wheat. *Crop Science*, *21*, 43-47.
- Bray, E. (1993). Molecular Responses to Water Deficit. *103*, 1035-1040.
- Büyük, İ., Soydam, S., & Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hij Den Biyol Derg.*, *69*(2), 97-110.
- Chaouachi, L., Marín-Sanz, M., Barro, F., & Karmous, C. (2024). Study of the genetic variability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the face of combined stress: water and heat. *AoB PLANTS*, *16*(1), 1-11.
- Chaves, M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *103*(4), 551-550.
- Chimenti, C., Pearson, J., & Hall, A. (2002). Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research*, *75*, 235-246.
- Chowdhury, M., Hasan, M., Bahadur, M., Islam, M., Hakim, M., Iqbal, M., et al. (2021). Evaluation of Drought Tolerance of Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes through Phenology, Growth, and Physiological Indices. *Agronomy*, *11*(9), 1792.
- Ciuca, M., & Petcu, E. (2009). SSR markers associated with membrane stability in wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Romanian Agricultural Research*, *26*(26), 21-24.
- Çalışkan , S., Aytekin, R., & Çalışkan, M. (2017). Tam ve Kısıtlı Sulama Uygulamalarının Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Çeşitlerinde Tohum

Çimlenmesi ve Fide Gelişimine Etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26, 62-67.

Dayıoğlu O, S. S. (1999). Trakya Bölgesi'ndeki Bazı Un Fabrikalarında Kullanılan İthal Ve Yerli Ekmeklik Buğdayların, Teknolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. 8(3), 22-34.

Dhanda, S., Sethi, G., & Behl, R. (2004). Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes at Early Stages of Plant Growth. *J. Agronomy & Crop Science*, 190, 6-12.

Din, A., Ahmad, M., Watto, F., Ahmed, S., Ali, I., & Shah, M. (2020). Drought Tolerance Screening in Thirty Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(1), 168.

Dubrovna, O., Priadkina, G., Mykhalska, S., & Komisarenko, A. (2022). Drought-tolerance of transgenic winter wheat with partial suppression of the proline dehydrogenase gene. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(4), 385–392.

Dwivedi, S., Arora, A., Singh, V., & Singh, G. (2018). Induction of water deficit tolerance in wheat due to exogenous application of plant growth regulators: membrane stability, water relations and photosynthesis. 56(2), 478-486.

Esmailpour, A., Van Labeke, M.-C., Samson, R., Ghaffaripour, S., & Van Damme, P. (2015). Comparison of biomass production-based drought tolerance indices of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in drought stress conditions. *International Journal of agronomy and agricultural research*, 7(2), 36-44.

Fang, Y., Wang, J., Zhang, R., Li, L., Liu, S., Xu, B., et al. (2024). Assessing the impact of early and terminal droughts on root growth, grain yield and yield stability in old and modern wheat cultivars on the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 108940.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185–212.

Farrant, J. (2000). “A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. *Plant Ecol*, 151, 29-39.

- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183-189.
- Flexas, J., Esnekler, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Kornik, G., et al. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C(3) plants. 6(3), 269-279.
- Foyer, C., & Noctor, G. (2011). Ascorbate and Glutathione: The Heart of the Redox Hub. *Plant Physiology*, 155(1), 2-18.
- Frantová, N., Rábek, M., Porčová, L., Jovanović, I., Širůček, P., Lukas, V., et al. (2024). Monitoring Drought Tolerance Mechanisms of Sorghum and Maize Under Unevenly Distributed Precipitation. *International Journal of Plant Production*, 18(64), 49–67.
- Geravandi, M., Farshadfar, E., & Kahrizi, D. (2011). Evaluation of Some Physiological Traits as Indicators of Drought Tolerance in Bread Wheat Genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58(1), 69-75.
- Ghanem, H., & Farouk, M. (2024). Wheat Drought Tolerance: Morpho-Physiological Criteria, Stress Indexes, and Yield Responses in Newly Sand Soils. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(1), 2234–2250.
- Guóth, A., Benyó, D., Csiszár, J., Gallé, Á., Horváth, F., Cseuz, L., et al. (2010). Relationship between osmotic stress-induced abscisic acid accumulation, biomass production and plant growth in drought-tolerant and -sensitive wheat cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 719–727.
- Hassan, N. M., El-Bastawisy, Z. M., El-Sayed, A. K., Ebeed, H. T. ve Alla, M. M. (2015). Roles of dehydrin genes in wheat tolerance to drought stress. *Journal of Advanced Research*, 6(2), 179-188.
- Habib, N., Ali, Q., Ali, S., Javed, M., Haider, M., Perveen, R., et al. (2020). Use of Nitric Oxide and Hydrogen Peroxide for Better Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Water Deficit Conditions: Growth, Osmoregulation, and Antioxidative Defense Mechanism. 9(2), 285.
- Havaux, M. (1998). Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. *Trends in Plant Science*, 3(4), 147-151.

- Heerden, P., & Villiers, O. (1996). Evaluation of proline accumulation as an indicator of drought tolerance in spring wheat cultivars. *S. Afr. J. Plant Soil*, 13(1).
- Horvath, E., Pal, M., Szalai, G., Paldi, E., & Janda, T. (2007). Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biologia Plantarum*, 51(3), 480-489.
- <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bahridagdas>. (tarih yok).
<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bahridagdas/Belgeler/cesitler1/Ekmeklik%20bu%C4%9Fday%20%C3%A7e%C5%9Fitleri/tu%C4%9Fra.pdf> adresinden alınmıştır
- Hu, L., Xie, Y., Fan, S., Wang, Z., Wang, F., Zhang, B., et al. (2018). Comparative analysis of root transcriptome profiles between drought-tolerant and susceptible wheat genotypes in response to water stress. *Plant Science*, 272, 276-293.
- Hussain, H., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., et al. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9(1), 3890.
- Hussein, H.-A., Alshammari, S., Kenawy, S., Elkady, F., & Badawy, A. (2022). Grain-Priming with L-Arginine Improves the Growth Performance of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants under Drought Stress. *Plants*, 11(9), 1219.
- Itam, M., Hall, D., Kramer, D., & Merewitz, E. (2024). Early detection of Kentucky bluegrass and perennial ryegrass responses to drought stress by measuring chlorophyll fluorescence parameters. *Original Article*, 64, 1015–1026.
- Jaleel, C., Manivannan, P., Lakshmanan, G., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2008). Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. 61(2), 298-303.
- Jaleel, C., Shao, H.-B., Chu, L.-Y., & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. 331(3), 215-225.
- Jansson, S. (1994). The light-harvesting chlorophyll a/b-binding proteins. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1184(1), 1-19.

- Javed, A., Ahmad, N., Ahmed, J., Hameed, A., Ashraf, M., Zafar, S., et al. (2022). Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. *Journal of King Saud University– Science*.
- JMP 7 (2007). JMP User Guide, Release 7. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA
- Johari-Pireivatlou, M. (2010). Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. 9(1), 036-040.
- Ju Ahmed , & Ma Hasan. (2011). Evaluation Of Seedling Proline Content Of Wheat Genotypes In Relation To Heat Tolerance. *Bangladesh J. Bot.*, 40(1), 17-22.
- Kacar, B., Öztürk, Ş., & Katkat, A. (2006). *Bitki Fizyolojisi*. Bursa: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kadioğlu, M. (2008). Kuraklık Kırını Risk Yönetimi. *JICA Türkiye Ofisi Yayınları*, s. 277-300.
- Kage, H., Kochler, M., & Stützel, H. (2004). Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: Measurement and simulation. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 379-394.
- Kalefetoğlu T., E. Y. (2005). Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri ve Dayanıklılık Mekanizmaları. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 723-740.
- Kalefetoğlu, T., & Ekmekçi, Y. (2005). The Effects Of Drought On Plants And Tolerance Mechanisms. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* , 723-740.
- Kaur, G., & Asthir, B. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *biologia plantarum*, 59(4), 609-619.
- Kaur, V., Singh, S., & Behl, R. (2016). Heat and Drought Tolerance in Wheat: Integration of Physiological and. *Journal of Crop Breeding and Genetics Platforms for Better Performance Under Stress*, 2(1), 1-14.
- Kavukçu, T. (2016). Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) Kuraklık Stresinde α - tokoferol Uygulamasının Bazı Fizyolojik ve Moleküler Özellikler Üzerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, 126.

- Kaya, A., & İnan, M. (2018). Kuraklık ve Tuz Streslerine Maruz Kalan Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) Bitkisinde Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Melatoninin Etkileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 559-564.
- Kayabaşı. (2011). Kuraklık Stresinde Yetiştirilen Soya'da (*Glycine max* L.) Bazı Fizyolojik Parametreler ile Prolin Birikiminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Şanlıurfa.
- Keyvan , S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 8(3), 1051-1060.
- Khan, M., Shirazi, M., Khan, M., Mujtaba, S., Islam, E., Mumtaz, S., et al. (2009). Role of Proline, K/Na Ratşo and Chlorophyll Content in Salt Tolerance of Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2), 633-638.
- Kiani, S., Maury, P., Grieu, P., Hewezi, T., Gentzbittel, L., & Sarrafi, A. (2007). Genetic variability for physiological traits under drought conditions and differential expression of water stress-associated genes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 114, 193–207.
- Kiani, S., Talia, P., Maury, P., Grieu, P., Heinz, R., Perrault, A., et al. (2007). Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. *Plant Science*, 172(4), 773-787.
- Kireççi, O. A. (2018). Bitkilerde Enzimatik ve Enzimatik Olmayan Antioksidanlar. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 473-483.
- Koç, C. (2018). Bazı Ekmeklik Buğday(*Triticum aestivum* L.) Çeşitlerinde Kuraklık Stresinin Fotosentetik Pigmentler ve Antioksidant Enzimler Üzerine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, 1-81.
- Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (Dü.). (2024, Haziran). 2024 Konya Tarımı. KONYA İL TARIM VE ORMAN MÜDÜRLÜĞÜ. [konya.tarimorman.gov.tr: https://konya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/kitap/%C4%B0l_Tar%C4%B1m_ve_Orman_haziran_24_v3_2024.pdf](https://konya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/kitap/%C4%B0l_Tar%C4%B1m_ve_Orman_haziran_24_v3_2024.pdf) adresinden alınmıştır
- Kuru, İ. (2017, Mart). Bazı Çeltik (*Oryza sativa* L.) Çeşitlerinde Kuraklığa Tolerans Cevaplarının Araştırılması. *Doktora Tezi*, 1-164.

- Kutlu, İ. (2010). Tahıllarda Kuraklık Stresi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 3(1), 35-41.
- Lawlor, D., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, 275–294.
- Lei, Y., Yin, C., & Li, C. (2006). Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127, 182–191.
- Lei, Y., Yin, C., & Li, C. (2006). Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127(2), 182-191.
- Li, F., Kang, Ş., & Zhang, J. (2004). Interactive effects of elevated CO₂, nitrogen and drought on leaf area, stomatal conductance, and evapotranspiration of wheat. *Agricultural Water Management*, 67(3), 221-233.
- Li, L., Li, H., Liu, N., Lu, Y., Shao, L., Chen, S., et al. (2024). Water use characteristics and drought tolerant ability of different winter wheat cultivars assessed under whole growth circle and at seedling stage. *Agricultural Water Management*, 300.
- Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Lisar, S., Motafakkerazad, R., Hossain, M., & Rahman, I. (2012). Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. 1-14.
- Lonbani , M., & Arzani, A. (2011). Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. 9(1-2), 315-329.
- Luo, L. (2010). Breeding for water-saving and drought-resistance rice in China. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3509-3517.
- M.A. Khan, Shirazi, M., Khan, M., Mujtaba, S., Islam, E., Mumtaz, S., et al. (2009). Role Of Proline, K/Na Ratio And Chlorophyll Content In Salt Tolerance Of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2), 633-638.

- Mau, Y., Ndiwa, A., Oematan, S., & Markus, J. (2019). Drought tolerance indices for selection of drought tolerant, high yielding upland rice genotypes. *Australian Journal of Crop Science*, 13(01), 170-178.
- McWilliams, D. (2003). Drought Strategies for Corn and Grain Sorghum. 1-6.
- Mehler, A. (1951). Studies on reactions of illuminated chloroplasts: I. Mechanism of the reduction of oxygen and other hill reagents. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 33(1), 65-77.
- Millar, A., Whelan, J., Soole, K., & Day, D. (2010). Organization and Regulation of Mitochondrial Respiration in Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 62(1), 79-104.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.
- Mızrak, G. (2021). *Topraktan Sofraya BUGDAY*. Ankara.
- Møller, I., Jensen, P., & Hansson, A. (2007). Oxidative Modifications to Cellular Components in Plants. 58, 459-481.
- Monneveux, P., & Nemmar, M. (1986). Contribution to the study of drought resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.): study of proline accumulation during development. *Agronomie*, 6(6), 583-590.
- Muhammad, A., Abubakar, I., Sale, S., & Abdulmumini, F. (2023). Morphological, Physiological and Biochemical Adaptation of Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Drought Stress. *Bima Journal of Science and Technology*, 7(2), 2536-6041.
- Munir A., Sheraz A., Fahad, M. W., Imtiaz A., Kausar Nawaz Shah, M., & Ajmalud D. (2020). Drought Tolerance Screening in Thirty Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(1), 169.
- Naderi, S., Fakheri, B.A., Maali-Amiri, R., Mahdinezhad, N. (2020), Tolerance responses in wheat landrace Bolani are related to enhanced metabolic adjustments under drought stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 150 (1), 244-253.

- Nayyar, H., & Walia, D. (2003). Water Stress Induced Proline Accumulation in Contrasting Wheat Genotypes as Affected by Calcium and Absciscic Acid. *Plant Biology*, 46, 275-279.
- Naz, S., & Perveen, S. (2021). Response of Wheat (*Triticum aestivum* L. Var. Galaxy-2013) to Pre-sowing Seed Treatment With Thiourea Under Drought Stress. *Pak. J. Bot*, 53(4), 1209-1217.
- Nonami, H. (1998). Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. *Journal of Plant Research*, 111, 373-382.
- Nowsherwan, I., Shabbir, G., Malik, S., Ilyas, M., Iqbal, M., & Musa, M. (2018). Effect of Drought Stress on Different Physiological Traits in Bread Wheat. *Saarc J. Agri.*, 16(1), 1-6.
- Örs, S., & Ekinçi, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237-250.
- 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*, 2(25), 218-233.
- Özberk, İ., Atay, S., Altay, F., Cabi, E., Özkan, H., & Atlı, A. (2016). *Türkiye’nin Buğday Atlası*. WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı), İstanbul.
- Özcan. (2020). Bahçe Bitkilerinde Stres Fizyolojisi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Ders Notu, Samsun, Türkiye.
- Özcan, O., Erdal, H., Çakırca, G., & Yönden, Z. (2015). Oksidatif stres ve hücre içi lipid, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 6(3), 331-336.
- Özer, A., & Sade, B. (1995). Tahıllarda Su Stresinin Bitki Morfolojisi Ve Fizyolojisi üzerine Etkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 41-1.
- Öztürk, A., & Akşen, Ş. (1996). Buğday ve Kuraklık Stresi. *Atatürk Ü.Zir.Fak.Der.*, 27(1), 163-176.
- Öztürk, A., & Akten, Ş. (1996). Buğday ve Kuraklık Stresi. *Atatürk Ü.Zir.Fak.Der.*, 27(1), 163-176.

- Öztürk, İ., & Korkut, K. (2018). Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinde Farklı Gelişme Dönemlerinde Oluşan Kuraklığın Bazı Fizyolojik Karakterlere Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 375-385.
- Pantha, S., Kilian, B., Ozkan, H., Zeibig, F., & Frei, M. (2024). Physiological and biochemical changes induced by drought stress during the stem elongation and anthesis stages in the *Triticum* genus. *Environmental and Experimental Botany*, 228.
- Pavet, V., Olmos, E., Kiddle, G., Mowla, S., Kumar, S., Antoniow, J., et al. (2005). Ascorbic Acid Deficiency Activates Cell Death and Disease Resistance Responses in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 139, 1291–1303.
- Polat, K. (2023, Aralık). *Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü*. Durum ve Tahmin Buğday: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- Proust, S. M., & JMP, A. (2007). Introductory guide. Release 7. Cary, NC, USA.
- Rahman, I. M., & Hasegawa, H. (Eds.). (2012). Water stress. BoD–Books on Demand.
- Rashid, U., Yasmin, H., Hassan, M., Naz, R., Nosheen, A., Sajjad, M., et al. (2022). Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions. *Plant Cell Rep*, 41, 549-569.
- Reddy, A., Chaitanya, K., Jutur, P., & Sumithra, K. (2004). Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 52(1), 33-42.
- Rehman, S., Bilal, M., Mehmood Rana, R., Naveed Tahir, M., & Kausar Nawaz Shah, M. (2016). Cell membrane stability and chlorophyll content variation in wheat (*Triticum aestivum* L) genotypes under heat and drought. *Crop & Pasture Science*, 67, 712-718.
- Reynolds, M., Lewis, J., Ammar, K., Basnet, B., Crespo-herrera, L., Crossa, J., et al. (2021). Harnessing translational research in wheat for climate resilience. *Journal of Experimental Botany*, 72(14), 5134-5157.
- Saeedipour, S. (2013). Relationship of Grain Yield, ABA and Proline Accumulation in Tolerant and Sensitive Wheat Cultivars as Affected by Water Stress. 8, 311-315.

- Saeidi, M., & Abdoli, M. (2015). Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(4), 885-898.
- Saeidi, M., Goodarzian, M., Mansurifar, S., & Mehrjardi, R. (2015). Effects of drought stress and rewatering on antioxidant systems and relative water content in different growth stages of maize (*Zea mays* L.) hybrids. 61(4), 493–506.
- Sağlam, N., Şahin, S., Kısa, D., & Lokman, Ö. (2014). Mısır Bitkisinde (*Zea mays*) Ağır Metallerin Mineral Dağılımı ve Antioksidan Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri. 22. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, (s. 24-27). Eskişehir.
- Sairam, R., Deshmukh, P., & Shukla, D. (1997). Tolerance of Drought and Temperature Stress in Relation to Increased Antioxidant Enzyme Activity in Wheat. *J., Agronomy & Crop Science*, 171-178.
- Salsinha, Y., Indradewa, D., Purwestri, Y., & Rachmawati, D. (2020). Selection of drought-tolerant local rice cultivars from East Nusa Tenggara, Indonesia during vegetative stage. *Biodiversitas*, 21(1), 170-178.
- Sankar, B., Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2008). Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces*, 42(1), 125-129.
- Sayed, M., Schumann, H., Pillen, K., & Naz, A. (2012). AB-QTL analysis reveals new alleles associated to proline accumulation and leaf wilting under drought stress conditions in barley (*Hordeum vulgare* L.). *RESEARCH ARTICLE*, 13(1), 61.
- Scandalios, J. (2005). Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. 38(7), 995-1014.
- Sgherri, C., Pinzino, C., & Nvari Izzo, F. (1996). Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: changes in superoxide. *Physiologia Plantarum*, 96(3), 446-452.

- Sgherri, C., Quartacci, M., Izzo, R., & Navari-Izzo, F. (2002). Relation between lipoic acid and cell redox status in wheat grown in excess copper. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 591-597.
- Sharma, P., & Dubey, R. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 49, 209–221.
- Shen, H., Liu, C., Meng, X., Zhou, X., Chu, C., & Wang, X. (2012). OsWRKY30 is activated by MAP kinases to confer drought tolerance in rice. *Plant Molecular Biology*, 80, 241–253.
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., et al. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1305–1319.
- Siddiqui, M., Al-Khaishany, M., El-Kutami, M., & El-Vaibi, M. (2015). Response of Different Genotypes of Faba Bean Plant to Drought Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(5), 10214-10227.
- Sinclair, T., & Muchow, R. (2001). System Analysis of Plant Traits to Increase Grain Yield on Limited Water Supplies. *Agronomy Journal*, 93(2), 263-270.
- Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125(1), 27-58.
- Song, S., Lei, Y., & Tian, X. (2005). Proline Metabolism and Cross-Tolerance to Salinity and Heat Stress in Germinating Wheat Seeds. *Russian Journal of Plant Physiology*, 52, 793-800.
- Soylu, O., Ergün, N., Çalıcı, B., & Toraman, P. (2022). Kuraklık Stresinde Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Ön Uygulamasının Buğday Fidelerinde, Büyüme ve Katalaz Üzerine Etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(2), 477-485.
- Soylu, S., & Aydoğan, S. (2017). Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Verim ve Verim Öğeleri ile Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 24-30.

- Şahin M, A. S. (tarih yok). Orta Anadolu Kuru Koşulları İçin Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Verim Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi . *Bahri Dağdaş Uluslar Arası Tarımsal Araştırma Enstitüsü*, 52-57.
- Şahin, S., & Torun, H. (2024). Kuraklığın Ebegümece (*Malva sylvestris* L.) Bitkisinin Su Durumu, Büyümesi ve Antioksidan Sistem Üzerine Etkisi. *D.Ü Ormancılık Dergisi*, 20(2), 28-40.
- Tavakol, E. ve Pakniyat, H. (2007). Evaluation of some drought resistance criteria at seedling stage in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(7), 1113-1117.
- Tosun, M., Reçber, A., Tatar, Ö., İlker, E., & Aykut Tonk, F. (2011). Farklı Yağış Miktarı ve Dağılımlarının. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 48(2), 127-132.
- Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., & Erol, O. (2021). Su Stresi Koşullarında Yetiştirilen Soya Fasulyesinin (*Glycine max* L.) Bazı Fizyolojik Özellikleri Üzerine Rizobakteri (PGPR) ve Mikroalg Uygulamalarının Etkisi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.*, 9(2), 359-368.
- TÜİK. (2024, 12 27). *TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri*. [ty.tuik.gov.tr: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447) adresinden alınmıştır
- Ural, M., Bahar, B., & Baltacı, C. (2024). Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin, Fide Dönemindeli Kuraklık Stresine Fizyolojik ve Biyokimyasal Tepkileri. *15. International Conference on Agriculture, Animal Science & Rural Development*, (s. 12-14). Aydın.
- Verslues, P., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J.-K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523-539.
- Vukovic, R., Camagajevac, I., Vukovic, A., Šunic, K., Begovic, L., Mlinaric, S., et al. (2022). Physiological, Biochemical and Molecular Response of Different Winter Wheat Varieties under Drought Stress at Germination and Seedling Growth Stage. *Antioxidants*, 11(4), 693.

- Wang , H., & Yamauchi , A. (2006). *Growth and Function of Roots under Abiotic Stress in Soils*. New York.
- Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T., Sarwar, N., Mubeen, K., Ismail, I., et al. (2021). Evaluation of Fourteen Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes by Observing Gas Exchange Parameters, Relative Water and Chlorophyll Content, and Yield Attributes under Drought Stress. *Sustainability*, 13(9), 4799.
- Xing, W., & Rajashekar, C. (1999). Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. *Plant Science*, 148(2), 185-192.
- Yadav, R., Sharma, R., & Yadav, R. (2004). Effect of simulated drought on free proline accumulation in some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 17(1), 43-44.
- Yang, Q., Li, P., Zhang, D., Lin, W., Hao, X., & Zong, Y. (2023). Effects of Elevated CO₂ on the Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence and Yield of Two Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.) under Persistent Drought Stress. *Sustainability*, 15(2), 1593.
- Yang, Y., Zhang, Y., Wei, X., You, J., Wang, W., Lu, J., et al. (2011). Comparative antioxidative responses and proline metabolism in two wheat cultivars under short term lead stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4), 733-740.
- Yanık F, .. Ç. (2018). Bitkilerde Programlı Hücre Ölümü. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 61-70.
- Yanık, F., Çetinbaş, A., & Vardar F. (2018). Bitkilerde Programlı Hücre Ölümü. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 61-70.
- Yıldırım, E., & Güneş, H. (2021). Tuz ve Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Buğday Bitkisine (*Triticum aestivum* L.) Silikon Uygulamalarının Bazı Stres Parametreleri Üzerine Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 2559-2572.
- Yıldırım, M., & Bahar, B. (2010). Responses of some wheat genotypes and their F₂ progenies to salinity and heat stress. *Full Length Research Paper*, 5(13), 1734-1741.

- Yıldız Aktaş, L., & Akça , H. (2015). Prolin Uygulamasının Defne Fidelerinin Kuraklık Toleransının Uyarılması. *Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 36(1), 1300-1949.
- Zadoks, J., Konzak, C., & Chang, T. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *14*(6), 415-421.
- Zahra, M., Nawaz, M., Chattha, M., Imran , K., Chattha, M., Bhatti, M., et al. (2021). Response of Wheat Genotypes Having Different Stature to Early Period Drought Stress. *Journal of Innovative Sciences*, 7(2), 296.
- Zhang, X., Ervin, E., Evanylo, G., & Haering, K. (2009). Impact of Biosolids on Hormone Metabolism in Drought-Stressed Tall Fescue. *Turfgrass Science*, 49(5), 1893-1901.
- Zhu, X.G., Long, S.P., & Ort., D.r. (2010). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 235-261.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra ÇELİK, ilk ve orta öğrenimini Çumra Salih Onbaşı İlköğretim Okulunda tamamlamıştır. Ardından, 2010-2014 yılları arasında Çumra Cumhuriyet Lisesi'nde öğrenim görmüştür. 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Gıda Mühendisliği bölümünden mezun olan ÇELİK, 2023 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. ÇELİK'in yabancı dili İngilizce'dir.

