

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN YEREL GEVAŞ FASULYESİNDE
TREHALOZ UYGULAMASININ FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı ÖZKURT
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

VAN-2025

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN YEREL GEVAŞ
FASULYESİNDE TREHALOZ UYGULAMASININ FİZYOLOJİK VE
MOLEKÜLER ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı ÖZKURT

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Behçet İNAL (Başkan)

Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ (Danışman)

Prof. Dr. Çeknas ERDİNÇ

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2025-11666 No'lu proje ile desteklenmiştir.

VAN – 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. M. Emre EREZ danışmanlığında, Nazlı ÖZKURT tarafından sunulan “Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Yerel Gevaş Fasulyesinde Trehaloz Uygulamasının Fizyolojik Ve Moleküler Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05 /08 /2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Behcet İNAL

İmza:

Üye: Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

İmza:

Üye: Prof. Dr. Çeknas ERDİNÇ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /.... /..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

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

İmza

Nazlı ÖZKURT

ÖZET

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN YEREL GEVAŞ FASULYESİNDE TREHALOZ UYGULAMASININ FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZKURT, Nazlı

Yüksek Lisans Tezi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

Ağustos 2025, 57 sayfa

Tez çalışmasında, kuraklık stresi uygulanan fasulyede (Gevaş yerel genotipi ve Gina ticari çeşidi) trehaloz uygulamasının morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Kuraklık stresi uygulamasında, %100 sulama kontrol, % 50 ve % 30 sulamalar ise kısıtlı sulama şeklinde tasarlanmıştır. Literatür araştırmalarına bağlı olarak 10 mM trehaloz 3 gerçek yaprak aşamasında püskürtülerek (eksojen) uygulanmıştır. Trehaloz uygulaması toplam üç kez, birer hafta ara ile yapılmış olup her uygulamadan 48 saat sonra örnekler alınmıştır. Analizler sonucunda; trehalozun uygulanmasının, kuraklık stresi altındaki fasulye çeşitlerinde anlamlı değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Etkilerin belirlenmesi, kuraklık ve trehaloz uygulamasının karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Klorofil ve fenolik madde içeriklerinin özellikle % 50 sulama trehaloz uygulamasında anlamlı şekilde arttığı tespit edilmiştir. Flavonoid madde içeriğinin ise Gevaş genotipinde arttığı, Gina çeşidinde ise azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. Enteresan bir bulgu olarak prolin değerlerinin trehaloz uygulanması ile her iki kısıtlı sulama grubunda azalmalara neden olduğu gözlenmiştir. Yapılan gen (*WRKY75*, *ERF35*, *TPS9*, *IRT-1*) ekspresyonu değişimleri incelendiğinde ise Trehaloz uygulanan grupların, her iki çeşitte de % 50 trehaloz uygulamasının yukarı yönde regüle edildiği belirlenmiştir. Yapılan uygulamalar, trehalozun her iki fasulye çeşidinde de kuraklık stresine karşı toleransı artırıcı bir etki oluşturduğunu özellikle Gevaş fasulye genotipinde, dengeli ve efektif yanıtlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, trehalozun Gevaş fasulye genotipinde doğal stres yanıt mekanizmalarıyla etkileşime girerek stres toleransını artırdığı ve yerel çeşidin kuraklık stresine karşı kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Fasulye, Gen Ekspresyonu, Gevaş, Kuraklık Stresi, Tolerans, Trehaloz

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR EFFECTS OF TREHALOSE APPLICATION ON THE LOCAL GEVAŞ BEAN EXPOSED TO DROUGHT STRESS

ÖZKURT, Nazlı

M.Sc. Thesis, Department of Molecular Biology and Genetic

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

August 2025, 57 pages

In this thesis study, the aim was to reveal the morphological, physiological, and biochemical effects of trehalose application on different bean varieties (Gevaş and Gina) subjected to drought stress. In the drought stress application, 100 % irrigation was used as a control, while 50 % and 30 % irrigation were designed as limited irrigation. Based on literature research, 10 mM trehalose was applied by spraying (exogenous) at the 3 true leaf stage. Trehalose application was performed three times, at one-week intervals. Based on literature reviews, 10 mM trehalose was applied exogenously by spraying during the true leaf stage. Trehalose application was performed a total of three times, with one-week intervals between applications, and samples were collected 48 hours after each application. The analysis revealed that trehalose application caused significant changes in bean varieties under drought stress. The effects were determined by comparing drought and trehalose application. Chlorophyll and phenolic compound contents were found to increase significantly, especially in the 50 % irrigation trehalose application. It was determined that the flavonoid content increased in the Gevaş variety but decreased in the Gina variety. Interestingly, it was observed that proline values decreased in both restricted irrigation groups with trehalose application. When the changes in gene expression (*WRKY75*, *ERF35*, *TPS9*, *IRT-1*) were examined, it was determined that in both varieties, the groups treated with trehalose were up-regulated at 50 % trehalose application. The applications demonstrated that trehalose has a stress-tolerance-enhancing effect against drought stress in both bean varieties, particularly in the Gevaş bean variety, where it induces balanced and effective responses. In this context, trehalose interacts with the natural stress response mechanisms in the Gevaş genotype. In this context, it is thought that trehalose interacts with the natural stress response mechanisms in the Gevaş bean variety to increase stress tolerance and that the local variety has the potential to be used against drought stress.

Keywords: Bean, Gene Expression, Gevaş, Drought Stress, Tolerance, Trehalose

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca bilgi, tecrübe ve yol göstericiliğiyle beni her zaman destekleyen, akademik gelişimime katkılar sunan değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ'e, sabrı, anlayışı ve yönlendirmeleri için en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam süresince uygulama aşamalarında bilgi ve deneyimlerini paylaşarak bana yol gösteren hocam Prof. Dr. Behçet İNAL'a ve Prof. Dr. Çeknas ERDİNÇ'e, yer ve olanak temininde destek veren Doç. Dr. Harun BEKTAŞ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bölümümüzde bana bilgi, deneyim ve samimiyetleriyle katkı sunan tüm hocalarıma, özellikle süreç boyunca desteklerini hissettiğim Dr. Öğr. Üyesi Sara YASEMİN'e, Arş. Gör. Sedriye ÇATKIN'a, Öğr. Gör. Merve BALABAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sefa ULUTAŞ'a ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Felda FIRAT'a, Nisanur EREN'e teşekkür ederim.

Özellikle Doç. Dr. Harun BEKTAŞ'a, bu süreçte yalnızca akademik değil, aynı zamanda moral ve motivasyon anlamında da her zaman yanımda olduğu, samimi yaklaşımıyla beni desteklediği ve inancını hiç eksik etmediği için gönülden teşekkür ederim. Her daim yanımda olan, sevgisi ve dualarıyla güç bulduğum, varlıklarıyla bana huzur veren değerli aileme, tüm fedakârlıkları, sevgileri ve sabırları için sonsuz teşekkür ederim. Hayatımda derin bir iz bırakan, bilgeliği ve insanlığıyla bana her zaman yol gösteren merhum kıymetli hocam Doç. Dr. Yasemin BEKTAŞ'ı sevgi, özlem ve rahmetle anıyorum. Bu ikinci yüksek lisans sürecine başlamamda büyük rol oynayan, onun bana duyduğu güvenin ve yüreğime bıraktığı ışığın bir yansımasıdır. *Çalışmamı onun aziz hatırasına ithaf ediyorum.*

2025

Nazlı ÖZKURT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	VII
ÇİZELGELER LİSTESİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1 Bitki Materyali ve Yetiştirilmesi	13
3.2 Kısıtlı Sulama Uygulanması ve Trehaloz'un Hazırlanması	14
3.3 Analizler	15
3.3.1 Bitki Gelişim Parametreleri.....	15
3.3.2 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)	16
3.3.3 Fotosentetik Pigment İçeriklerinin Belirlenmesi.....	17
3.3.4 Toplam Fenolik Madde İçeriği (TPC).....	18
3.3.5 Toplam Flavonoid Madde İçeriği (TFC).....	19
3.3.6 Prolin Miktarının Belirlenmesi.....	20
3.3.7 Gen İfadesi Analizi.....	22
3.3.7.1 RNA İzolasyonu	22
3.3.7.2 RNA Miktarlarının ve Konsantrasyonlarının Belirlenmesi.....	23
3.3.7.3 Revers Transkriptaz Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR)	25
3.3.7.4 Real Time PCR (RTPCR-QPCR).....	25
3.4 İstatistiksel Analizler.....	26
4. BULGULAR.....	29
4.1 Morfolojik Veriler	29
4.2 Klorofil ve Karotenoid Değerleri	36
4.3 Total Fenolik ve Flavonoid Değerleri	39
4.3.1 Fasulye Çeşitlerindeki Total Fenolik Madde Değişimi.....	39
4.3.2 Fasulye Çeşitlerindeki Total Flavonoid Madde Değişimi.....	40
4.4 Fasulye Çeşitlerindeki Total Prolin Madde Değişimi	42
4.5 Stoma Ölçümleri.....	44
4.5.1 Gina ve Gevaş Fasulyelerine ait Stoma Görüntüleri	44

4.6 Gen İfadesi Analizleri	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	57
ÖZ GEÇMİŞ.....	61



ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 RT master mix bileşenleri	25
Çizelge 4.1 Gina çeşidi için klorofil ve karotenoid değerleri (mg/g).....	36
Çizelge 4.2 Gevaş genotipi için klorofil ve karotenoid değerleri (mg/g).....	37
Çizelge 4.3 Fasulye çeşitlerindeki total fenol değerleri (Rutin Eq.mg/g sample).....	39
Çizelge 4.4 Fasulye çeşitlerindeki total flavonoid değerleri (Rutin Eq.mg/g sample)...	41
Çizelge 4.5 Fasulye çeşitlerindeki total prolin değerleri (Rutin Eq.mg/g sample).....	43



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Bitkilerde trehaloz metabolizması.....	3
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan materyal Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidi.....	13
Şekil 3.2 Sterilizasyon, ekim ve çimlenme aşaması.....	14
Şekil 3.3 Çimlenen bitkilerin oranlarına göre su kısıtlamasının ve trehalozun hazırlanması ve 10 mM trehaloz yapraklara püskürtme aşaması	15
Şekil 3.4 Yaprak sayısı, genişliği, gövde uzunluğu ve stoma aşamaları	16
Şekil 3.5 Yaprak oransal su içeriği ölçümleri için deney aşamaları.....	16
Şekil 3.6 Fotosentetik pigment içeriklerinin belirlenmesi.....	18
Şekil 3.7 Galik asit kalibrasyonu.....	19
Şekil 3.8 Rutin kalibrasyon eğrisi.....	20
Şekil 3.9 Prolin miktarının belirlenmesi için deney aşamaları.....	21
Şekil 3.10 L-prolin kalibrasyon eğrisi	21
Şekil 3.11 Sırasıyla: sıvı azotla bitki dokusunun ezilmesi, RNA izolasyonu, Nanodrop cihazı ile RNA saflık ve yoğunluk ölçümü, UV altında RNA görüntülenmesi	24
Şekil 3.12 RNA izolasyonunun ardından elde edilen toplam RNA'nın agaroz jel elektroforezinde görüntülenmesi	24
Şekil 4.1 Gevaş ve Gina fasulye çeşitlerinde trehaloz sprej uygulamasının bitki boyuna etkisi (%).....	30
Şekil 4.2 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşitlerinde trehaloz sprej uygulamasının sürgün madde miktarındaki (%) etkisi.....	31
Şekil 4.3 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidi trehaloz sprej uygulamasının kök madde miktarına (%) etkisi.....	32
Şekil 4.4 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidin trehaloz sprej uygulamasının kök uzunluğuna etkisi	33
Şekil 4.5 Gevaş genotipin ve Gina fasulye çeşidin trehaloz sprej uygulamasının yaprak sayısına etkisi	34
Şekil 4.6 Gevaş genotipin ve Gina fasulye çeşidin trehaloz sprej uygulamasının yaprak genişliğine etkisi	35

Şekil 4.7 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidin trehaloz sprej uygulamasının bağıl su içeriğı (YOSİ) etkisi	36
Şekil 4.8 Gina çeşidin klorofil değışim grafiğı.....	37
Şekil 4.9 Gevaş genotipin klorofil değışim grafiğı.....	38
Şekil 4.10 Karetenoid değışim grafiğı	38
Şekil 4.11 Gina fasulyesi ve Gevaş genotipi için total fenol değerleri grafiğı.....	40
Şekil 4.12 Gina ve Gevaş fasulyeleri için total flavonoid değerleri grafiğı	42
Şekil 4.13 Gina ve Gevaş fasulyelerin için total prolin değerleri grafiğı	43
Şekil 4.14 Gina fasulyesine ait stoma görüntüleri (a, b, c, d, e, f).....	45
Şekil 4.15 Gevaş fasulyesine ait stoma görüntüleri (a, b, c, d, e, f)	46
Şekil 4.16 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprej uygulamalarının <i>WRKY75</i> 'nin nispi gen ifadesi	47
Şekil 4.17 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprej uygulamalarının <i>TPS9</i> 'nin nispi gen ifadesi	48
Şekil 4.18 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprej uygulamalarının <i>ERF35</i> 'nin nispi gen ifadesi.....	49
Şekil 4.19 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprej uygulamalarının <i>IRT-1</i> 'nin nispi gen ifadesi.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
≤	Küçük eşit
≥	Büyük eşit
°C	Santigrat derece
μm	Mikrometre
μM	Mikromolar
Ca	Kalsiyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
Kn	Kinetin
L	Litre
m	Metre
M	Molar
mM	Mili molar
Mn	Mangan
Kısaltmalar	Açıklama
ABA	Absisik Asit
AlCl ₃	Alüminyum klorür
APx	Askorbik Asit
BA	Benzil Adenin
BABA	Beta-aminobütirik asit
CAT	Katalaz

cDNA	Komplementer DNA
CO₂	Karbondioksit
Dk	Dakika
DNA	Deoksiribonükleik asit
DEPC	Nükleaz içermeyen su
ERF35	<i>Ethylene Response Factor 35</i>
FCR	Folin–Ciocâlțeu reaktifi
GA	Galik Asit
H₂O₂	Hidrojen peroksit
INA	2,6-dikloroizonikotinik
IRT-1	<i>Iron-Regulated Transporter 1</i>
MDA	Malondialdehit
NaCl	Tuz
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaNO₂	Sodyum Nitrit
NTC	No Template Control
O₂	Oksijen
POD	Peroksidaz
Ppm	Milyonda bir
Psi	Pounds per square inch
R	Rutin
RNA	Ribonükleik asit
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
RMP	Relatif membran geçirgenliği
RT	Revers transkriptaz
RT-PCR	Revers Transkriptaz Polimeraz Zincir Reaksiyonu
RWC	Relative Water Content
QRT-PCR	Kantitatif Polimeraz Zincir Reaksiyonu
SOD	Süperoksit dismutaz
TAE	Tris Asetat EDTA
TCI	Tokyo Chemical Industry
Tre	Trehaloz

TPC	Total Fenolik İçeriği
T6P	Trehaloz 6-fosfat
TPS	Trehaloz-6-fosfat sentaz
TPS9	<i>Trehaloz fosfat sentaz 9</i>
TSP	Trehaloz-6-fosfat sentaz
UV	Ultraviyole
WRKY75	<i>WRKY Transkripsiyon Faktörleri Ailesi</i>



1. GİRİŞ

Bitkiler ile ilgili yapılan tüm stres çalışmalarındaki başlangıç cümlesi genellikle Dünya nüfusunun giderek artması, besin kaynaklarının sınırlı olması ve değişen iklim koşulları ile başlar. Her araştırmacı dünyanın geleceğini kurtarmak için farklı teknik ve metodlar önerir. Gelecek nesilleri besleyebilmek için birincil üreticiler olan bitkilerin dillerini anlamak ve başımıza gelebilecek sorunlar ile mücadele etmek zorunda olduğumuzun farkındayız. Klasik ıslah, rekombinant, gen aktarımı, CRISPR gibi teknikler ile farklı bilim alanları bu mücadeleye katkı yapmak isterler. Aslında tüm amaç bitkilerin verdiği tepkileri anlamak ve bunları birleştirerek en iyi verim ve dayanıklılığı elde etmektir. Tarımla uğraşan tüm ülkeler yerel gen kaynaklarını kullanarak üstün genotiplerini ortaya koymaya çalışırlar.

“Yeni dünya mahsulü” olarak bilinen fasulye stres şartlarında hassas olduğu bilinmektedir ve farklı metabolit yolları izleyen bir bitkidir. Bu adaptasyon özellikleri sayesinde fasulye stres şartlarında hayatta kalabilmektedir. Bu bitki yaklaşık 7000 yıl önce Kuzey ve Güney Amerika kıtalarında keşfedilmiştir. Yaklaşık 70 türü kapsayan *Phaseolus* cinsi Leguminosae familyasına ait olup, büyük bir genetik çeşitliliğe sahiptir. *Phaseolus* cinsine ait 5 türü (*Phaseolus lunatus* L., *Phaseolus coccineus* L., *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus acutifolius* Gray A. ve *Phaseolus polyanthus* Greenman) gıda olarak tüketilmektedir. Bunlar arasında en çok kullanılan tür ise fasulye türü ise *Phaseolus vulgaris* L.’dir. Baklagiller grubunda yer alan bu tür daha sürdürülebilir tarım için önemli bir besin kaynağı olmakla birlikte hem insan hem de hayvan yemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Subramani vd., 2023).

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) diploit ($2n=2x=22$) kromozom yapısına sahiptir. Ayrıca kendi kendine tozlaşabilme yeteneği sayesinde melezleşip verimli döller oluşturabilmektedir. Genomu orta büyüklükte olmasına rağmen diğer baklagil grupları için bir model organizma olarak yer almaktadır. Fasulye yüksek protein içeriğine sahip vitamin ve mineraller (Cu, Fe, Ca, P, Mg, Zn, Mn, K) açısından iyi bir besin kaynağıdır. Dünya genelinde fasulye üretiminin en fazla yapıldığı ülke Brezilya öncü konumdadır ve Orta Doğu’da yaygın olarak ekilmektedir (Salgado vd., 2020; Anik vd., 2024). Fasulyenin anavatanı Meksika, Guatemala, Kolombiya ve Orta ve Güney Amerika ülkeleridir. Fasulye, taze ve kuru tüketimi ile insan sağlığına sağladığı faydaların yanında, çok çeşitli

tüketim şekilleriyle Anadolu'da yemek kültürünün önemli sebzelerinden biridir. Taze baklaları ve tohumları farklı şekillerde kullanılmaktadır. Ayrıca, konserveleme, dondurma ve kurutma gibi işleme yöntemleriyle de değerlendirilmektedir.

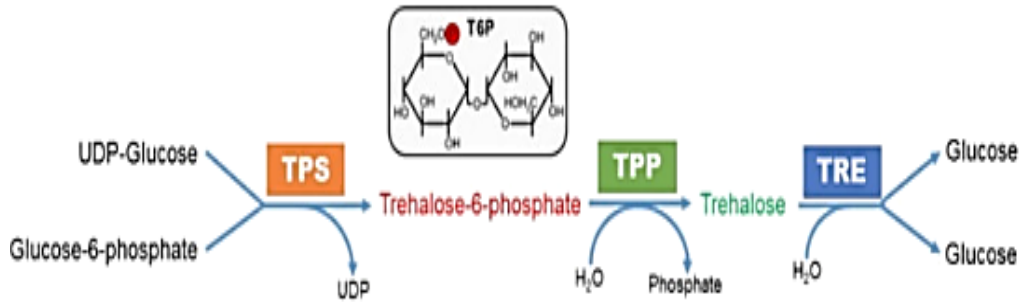
Gevaş fasulyesi, Van ilinin Gevaş ilçesinde yetiştirilen; taze tüketime uygun, kılçıksız, etli, sulu ve gevrek yapısıyla damakta benzersiz bir lezzet bırakan kaliteli bir fasulye çeşididir. Gevaş fasulyesinin tohumları mor, siyah, beyaz, kahverengi, kırmızı ve alacalı renklerde olup yaprakları diğer fasulyelere oranla daha iridir. Gevaş fasulyesi 2023 yılında Türk Patent ve Marka Kurumu'ndan (TÜRKPATENT) coğrafi işaret tescilini almıştır. Adaptasyon özellikleri sayesinde Gevaş fasulyesi, stres şartlarında hayatta kalabildiği için olumsuz çevre şartlarında büyümesini ve gelişmesini destekleyen çalışmalar yapılmalıdır.

Dünya genelinde tarımsal üretimi en çok etkileyen stres faktörlerinden biri kuraklık stresidir, çünkü su stresi ciddi ürün ve verim kayıplarına neden olabilmektedir. Ülkeler küresel ısınma ile meydana gelebilecek olan senaryolara karşı adımlar atmaya başlamışlardır. Tarım politikaları ve yatırımlarını su stresine göre dizayn etmişlerdir. Su streslerin ortaya çıkmasıyla bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimler meydana gelir. Örneğin, kuraklık stresi sırasında bitkilerin su alma potansiyeli azalır, absisik asit (ABA) miktarı artar, stomalar kapanır ve fotosentez miktarında azalma görülür (Zia vd., 2021; Yakar ve Tuna, 2023). Ayrıca, bitki boyu, kardeşlenme sayısı, kök ve sürgün ağırlıkları gibi gelişim parametrelerini de olumsuz yönde etkilemektedir (Zia vd., 2021). Normal koşullarda bitki büyümesi için gereken oksijen stres durumunda fazlaca artabilir ve bu da hücresel hasara yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra, aşırı reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi, DNA, protein ve lipit gibi moleküllerde ciddi zararlara neden olabilmektedir (Sun vd., 2024). Fasulye bitkisi strese karşı tepki genelde stomaların kapanmasıyla su kaybını azaltarak başlar. Uzun süreli kuraklık durumunda oksidatif stres yaşanır ve bitkinin genetik materyalinin bozarak ciddi verim kaybına sebep olabilmektedir (Yakar ve Tuna, 2023).

Bitkiler kuraklık stresi altında uyum sağlamak için çeşitli stratejiler geliştirmektedirler. Bu stratejiler, kuraklıktan kaçış, kuraklıktan kaçınma ve kuraklık adaptasyonu olarak yer almaktadır (Kang vd., 2019). Stres faktörleriyle başa çıkmak için genellikle çeşitli mekanizmalar geliştirirler. Bitkiler stresi algılama süreçleri hücre yüzeyindeki reseptörler aracılığıyla stresi algılar ve strese bağlı olan çeşitli moleküller

sentezlenir ve bu da moleküllerin aşırı birikimine sebep olmaktadır. Daha sonra sinyaller ile ilgili dokulara iletimi sağlayarak gen ekspresyonunu uyarır ve strese karşı cevap oluşturmaktadırlar (Nemli vd., 2015). Bu stres durumlarıyla başa çıkmak için bitkiye dışarıdan verilen çeşitli bitki savunma elisitörleri yer almaktadır. Bu elisitörler bitkinin doğal immün sistem bağışıklığını uyararak bitkiyi biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı güçlü kalmalarına yardımcı olup doğal veya sentetik elisitörler olarak ayrılmaktadırlar.

Trehaloz, çok işlevli bir molekül olup bitki gelişimi, büyümesi, verim ve kalite artırmada büyük bir potansiyele sahiptir. Trehaloz; bitkiler, mantarlar, algler, bakteriler, böcekler ve omurgasız gibi çeşitli organizmalar tarafından sentezlenir ve doğada yaygın olarak bulunan bir dissakkarit şekerdir. Trehaloz ilk başta çavdar'da (*Secale cereale* L.) bulunan mantar (*Claviceps* spp.) türünde keşfedilmiş ve omurgalılar hariç birçok organizmada bulunmuştur. Yaklaşık 100 yıl önce, aşırı kuraklık zamanlarda bile hayatta kalabilen *Selaginella* bitkisinde trehaloz keşfedilmiştir (Eh vd., 2024). Ardından eğrelti otları ve yosunlarında da trehaloz varlığı belirlenmiştir. Fakat 1998 yılına kadar, *Arabidopsis thaliana* üzerinde yapılan birçok araştırmada trehaloz biyosenteziyle ilgili genler tanımlanamamıştır. Devam eden süreçte vasküler bitkilerde bu genlerin varlığı tespit edilmiştir. Genom dizileme teknolojisinin ilerlemesiyle trehaloz ve onun analoglarına ait genler bulunmuştur (Choudhary vd., 2025).



Şekil 1.1 Bitkilerde trehaloz metabolizması

Bitkilerde sakkaroz metabolizmasının düzenlenmesinde rol alan trehaloz 6-fosfat (T6P) büyüme ile gelişmeyi metabolit durumlara yönlendiren önemli bir sinyal molekülüdür. Trehaloz biyosentezi için trehaloz-6-fosfat kilit bir enzim olarak görev almakta ve stres durumlarında bitkilerin dayanıklılık mekanizmasında önemli rolü

bulunmaktadır. Bu aşamalarda ayrıca önemli rolleri bulunan *TPS* (trehaloz-6-fosfat sentaz) ve *TPP* (trehaloz-6-fosfat fosfataz) genleri farklı bitki türlerinde tanımlanmıştır. Bu enzimler; bitkilerde stres koruyucu, taşıma şekeri ve depolama rezervi olarak işlev görmektedirler. Ayrıca reaktif oksijen türleri azaltılmasında ve birikiminlerin önlenmesinde etkili rol oynamaktadır. *Arabidopsis thaliana* da 11 *TPS* ve 10 *TPP* geni bulunurken pirinçte (*Oryza sativa* L.) 9 *TPS* ve 13 *TPP* geni tespit edilmiştir (Choudhary vd., 2025).

Trehaloz metabolizması, çevresel faktörler tarafından düzenlenebilir (Şekil 1.1). Stres varlığında bitkilerde trehaloz miktarında önemli değişiklikler görülmektedir. Stres faktörleri tarafından trehaloz üretimi kolayca uyarılabilir ve bitkilerin hücresel bütünlüğünü korumada önemli rol üstlenebilir (Raza vd., 2024). Ayrıca oksidatif stres koşullarında trehaloz bitkiyi stresten koruyarak indükleyici bir etkiye neden olabilir. Temel enerji kaynaklarından biri olan trehaloz, kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerin sebep olduğu hücresel hasarları kontrol eden fizyokimyasal özelliğe de sahiptir (Anik vd., 2024). Trehaloz moleküler, fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri düzenler, stres ile ilişkili genleri aktive eder ve antioksidan özellik gösterir. Abiyotik streslerde sinyal molekülü olarak görev almasının yanı sıra özellikle stres koruyucu ve ozmolit olarak da önemli role sahiptir. Hem yaygın bulunması hemde düşük bütçeli olmasından ötürü bitkilere yapraktan spreyleme veya priming yöntemleri ile trehaloz uygulanarak streslere karşı bir ön koruma sağlanabilmektedir (Kaur vd., 2024).

Morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerde yapılan değişikliklerde birçok genin regülasyonunun tetiklendiği görülmektedir (Gu vd., 2019). Kuraklık stresi altında gerçekleştirilen sera denemesinde, fasulye bitkilerine %60 ve %100 düzeylerinde kısıtlı sulama uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda, kontrol grubu bitkilerine göre gövde yaş ve kuru ağırlıkları, kök yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı ve gövde boyunda azalmalar meydana gelmiştir. Öte yandan, yapraklardaki klorofil a, klorofil b ve a/b oranları açısından stres koşulları ile kontrol grubu arasında belirgin bir fark oluşmadığı belirtilmiştir (Bao vd., 2024). Bununla birlikte stres sırasında bitkilerin nasıl tepki verdiklerini, özgül gen ifadesi ve düzenlenmesindeki değişimler belirlediğinden, ekspresyon farklılıklarını anlamak tolerans potansiyeli açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Ayrıca kuraklık stresinde bitkinin toprak altı ve yüzey dokularında biyolojik ve metabolik süreçlerde farklılık göstermektedir (Min vd., 2020; Liu vd., 2022; Li vd.,

2023). Dolayısıyla dokular arasındaki farklı gen ifadesini inceleyerek stres ile baş edebilme olanağı sağladığı görülmektedir (Jones vd., 2021).

Literatür taraması kapsamında; kuraklık stresi, Gevaş fasulyesi, fasulye, trehaloz ve Gina gibi anahtar kelimeler ile Web of Science, Google Scholar, Ulusal Tez Merkezi, Scopus, Science Direct, SciFinder ve PubMed gibi elektronik veri tabanlarında kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Yapılan bu taramalarda trehalozun fasulye bitkisi üzerindeki kuraklık stresini azaltmaya yönelik etkilerini inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Trehaloz uygulaması yapılarak dünyaca tanınan Gina çeşidi ve Van bölgesinde yer alan tescilli Gevaş fasulye genotipinin kuraklık stresine karşı toleransının incelenmesi, kuraklık potansiyelini ortaya konulması ve moleküler düzeyde etkisini belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu proje ile yerel fasulye çeşidinin korunması, süregelen ata tohumlarının potansiyelini belirleyerek bu çeşidin uluslararası düzeyde tanıtılması amaçlanmaktadır. Ayrıca kuraklık stresine karşı çeşidin adaptasyon yeteneğini daha iyi anlayarak tarımsal verimliliğe önemli bir katkı sağlayacağı da düşünülmektedir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Kosar vd. (2021), tarafından iki ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşidi (Hysun 33 ve FH 598) üzerinde farklı dozlarda (10, 20 ve 30 mM) trehaloz uygulaması yapılmış ve kuraklık stresine karşı etkileri incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, yapraktan uygulanan trehalozun; gövde yaş ve kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığı, glisin betain, askorbik asit (AsA), toplam fenolik içeriği, yağ içeriği ile katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitelerinde artış sağladığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimi ve relatif membran geçirgenliği (RMP) azalmıştır. Ayrıca, Hysun 33 çeşidinin, FH 598 çeşidine göre büyüme ve verim açısından daha olumlu sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir.

Li vd. (2023), salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde 2 mM trehaloz uygulamasının, PEG (% 0.3 polietilen glikol 6000) ile oluşturulan kuraklık stresi altında adventif kök oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Trehaloz uygulaması, kök uzunluğu, kök sayısı ile taze ve kuru ağırlıklarda artış sağlarken; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) enzim aktivitelerini de belirgin bir şekilde artırmıştır. Buna takiben, malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi enzimlerin birikiminde önemli azalmalar gözlenmiştir. Kuraklık stresi sırasında endojen trehaloz ve nişasta içeriklerinde artış meydana gelirken, glikoz içeriğinde azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, trehalozun biyosentezinde görev alan enzimlerin aktivitelerinde de anlamlı artışlar kaydedilmiştir. Bu bulgular, trehaloz uygulamasının kök gelişimini teşvik ettiğini, antioksidan savunma sistemini ve trehaloz metabolizmasını güçlendirdiğini, böylece kuraklık stresine karşı olumlu bir etki oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Hamad (2024), domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkilerinde yaptığı çalışmada, 25 mM trehaloz uygulamasının kuraklık stresine karşı antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda; kuraklık stresinin kök uzunluğu, yaş ve kuru ağırlık ile özellikle sürgün boyunda olumsuz etkilere yol açtığı belirlenmiştir. Buna karşılık, hidrojen peroksit (H_2O_2), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, 25 mM trehaloz uygulamasının bitki gelişimi ile SOD, CAT, APx ve PPO enzim aktiviteleri üzerinde önemli ölçüde olumlu etkiler oluşturduğu; buna ek olarak H_2O_2 düzeyinde azalma sağladığı tespit edilmiştir.

Martínez-Aguilar vd. (2016) çalışmalarında *Phaseolus vulgaris* L. (fasulye) bitkinin yapraklarına INA (2,6-dikloroizonikotinik) ve BABA (beta-aminobütirik asit) spreyi uygulayarak *Pseudomonas syringae* pv. *Phaseolicola* NPS3121 (PspNP3121) bakteriyel suşuna karşı etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda INA ve BABA'nın bitkilerdeki lezyon boyutunun sırasıyla %90.55 ve % 44.5 azalttığını, bakteriyel suşuna karşı direnç sağladığını tespit etmişlerdir. Ek olarak yapraklardaki bakteri büyümesini INA uygulamasında %99.35 ve BABA uygulamasında ise % 99.5 azalmıştır. Bu elisitörlerin uygulamasının bazı savunma-spesifik genlerin (PvPR1, PvWRKY29, PvWRKY53, PvPR4) etkilediği belirlenmiştir.

Bao vd. (2024) yaptıkları çalışmada, gül çiçeklerinin kuraklık stresi altındaki gelişimini belirlemek amacıyla trehaloz ve trehaloz-6-fosfat (T6P) uygulayarak bunların rolünü ve potansiyelini incelemeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, kuraklık stresi altında çiçek boyutu, karbonhidrat birikimi, yaş ve kuru ağırlık gibi parametrelerde önemli seviyede olumsuz etkiler görüldüğünü, ancak toplam fenol, toplam flavonoid ve toplam antosiyanin gibi bileşiklerin seviyelerinin arttığını göstermiştir. Ayrıca, transkriptom analizi ile trehaloz sinyal yolunun rol oynadığı tespit edilmiştir. Trehaloz-6-fosfataz ve trehaloz sentetazlar gibi farklı genlerin ekspresyonunun baskılandığı belirlenmiştir. Kuraklık stresi altındaki gül bitkilerinde Tre ve T6P uygulamalarının, solgunluk belirtilerini azalttığı gözlemlenmiştir.

Kaur ve Thind (2023), buğday genotiplerinde (HD2967, PBW660 ve WH1105) trehaloz (Tre), kinetin (Kn) ve benzil adenin (BA) yapraklara püskürtme uygulamalarının kuraklık stresi altındaki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kuraklık stresi altında buğday genotip çeşitlerinde hasat indeksini ve yaprak alanını azalttığını enzimatik olmayan bileşiklerin arttığı gözlemlenmiştir. Bu trehaloz (Tre), kinetin (Kn) ve benzil adenin (BA) yapraklara püskürtme uygulamalarının Hill reaksiyonunu, büyüme hızını ve yaprak alanını etkileyerek kuraklık stresinin olumsuz etkilerini azaltmada önemli rol oynadığı belirlenmiştir.

Zülfiqar vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, *Ocimum basilicum* L. (tatlı fesleğen) bitkisinin yapraklarına 30 mM trehaloz ve 1 mM salisilik asit uygulanmış ve bu uygulamalar %60 ve %100 tarla kapasitesine göre sulama rejimleri altında değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, kuraklık stresinin genel olarak fizyolojik parametreleri olumsuz etkilediği, ancak trehaloz ve salisilik asit uygulamalarının bu

parametrelerde olumlu gelişmelere yol açtığı belirlenmiştir. Özellikle trehaloz uygulamasının, salisilik asite kıyasla kuraklık stresine bağlı olumsuz etkileri daha etkin bir şekilde hafiflettiği tespit edilmiştir. Ayrıca trehaloz ve salisilik asit uygulamaları; katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzim aktivitelerini, prolin ve glisin betain birikimini artırırken, malondialdehit (MDA) miktarını azalttığı gözlemlenmiştir.

Sadak ve Taha (2019) yaptıkları çalışmada, iki farklı keten çeşidi (Azur ve Sakha-1) üzerine yapraktan trehaloz (2.5, 5 ve 7.5 mM) uygulamış ve bu uygulamanın %100, %75 ve %50 su tutma kapasitesinde kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, trehaloz uygulanan bitkilerde büyüme, verim, fotosentetik pigmentler, fenoller, prolin miktarı ve antioksidan aktivitenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, fidelere uygulanan trehalozun bitkilerde kuraklık stresine karşı koruyucu bir etki sağladığı sonucuna varılmıştır.

Kaur ve Thind (2020) yaptıkları çalışmada, buğday genotiplerine sitokininler ve trehaloz uygulamış ve bu uygulamanın kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kuraklık stresi altında stoma iletkenliği, terleme oranı ve yaprak net fotosentez hızı gibi fizyolojik parametrelerde belirgin azalmalar gözlenmiştir. Ancak, trehaloz ve sitokinin uygulamaları bu olumsuz etkileri hafifletmiş; söz konusu parametrelerde iyileşmeler sağlanmıştır. Ayrıca, klorofil a, klorofil b, karotenoid ve toplam klorofil içeriklerinde önemli artışlar kaydedilmiştir.

Islam vd. (2025) çalışmalarında Hint hardalı (*Brassica juncea*) bitkisinin yapraklarına püskürtme yoluyla trehaloz uygulaması yapılmış ve bunun tuz stresine karşı etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; trehaloz uygulaması sürgün kuru ağırlığını %16, fotosentez hızını % 19.37, SOD aktivitesi %10, azot (N) içeriği % 13.32, tohum ve yağ verimini sırasıyla % 23 ve % 27 oranında artış yapıldığı görülmüştür. Ayrıca yapraklardaki sodyum (Na) içeriği %14.47, malondialdehit (MDA) içeriği %11.41, süperoksit anyon içeriğini ise %11.41 oranında azalışa sahip olduğu görülmüştür. Bu bulgular doğrultusunda, trehaloz uygulamasının tuz stresi altındaki Hint hardalı bitkisinde fotosentez, antioksidan savunma, hücre canlılığı ve büyüme gibi birçok fizyolojik özelliği olumlu yönde destekleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Mostofa vd. (2015), çeltikte yaptıkları çalışmada 10 mM trehaloz uygulamasının, 100 µM bakır stresine maruz kalan fidelerin stres toleransına karşı üzerindeki etkisini

incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, trehaloz uygulamasıyla birlikte fotosentez ve bitki gelişiminde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bakır stresine maruz kalan fidelerde trehaloz uygulaması, antioksidan enzim aktivitelerini önemli ölçüde uyarmıştır. Ayrıca, glioksalaz I ve II aktivitelerinde artış gözlenirken, metilglioksal birikimi azalmıştır. Trehaloz uygulaması, bakır stresine bağlı olarak artan glutatyon ve prolin düzeylerini dengeleyerek ağır metal alımının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Rehman vd. (2022), maş fasulyesinde (*Vigna radiata* L.) trehalozun (0, 15 ve 30 mM) kadmiyum (0, 10, 20 mg/kg) stresine karşı etkilerini incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kadmiyum stresinin bitki gelişimini önemli ölçüde azalttığı; ancak trehaloz uygulamasının, kadmiyum alımını ve oksidatif stresi azaltarak bitkinin büyüme ve verim parametrelerinde anlamlı artış sağladığı belirlenmiştir. Trehaloz uygulaması ile birlikte malondialdehit (MDA), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve elektrolit sızıntısı düzeylerinde azalma; katalaz (CAT), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX) ve askorbik asit (AsA) gibi antioksidan savunma sistemin enzimlerinde ise artış gözlemlenmiştir. Ayrıca serbest amino asit (FAA) ve toplam çözünür protein (TSP) düzeylerinde de yükselme tespit edilmiştir. Bu bulgular, trehaloz uygulamasının antioksidan savunma sistemini ve ozmolit sentezini destekleyerek kadmiyum stresinin maş fasulyesi üzerindeki olumsuz etkilerini önemli ölçüde hafiflettiğini tespit edilmiştir.

İslam vd. (2023), hardal (*Brassica juncea* L.) bitkilerinde yaptıkları çalışmada, 10 mM trehaloz (Tre) ve 5 μ M salisilik asidin (SA) farklı konsantrasyonlardaki tuz (NaCl) stresine (0, 50, 100, 150 mM) karşı etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, artan tuz konsantrasyonlarının bitki gelişimini, zar geçirgenliğini, iyon homeostazını ve fotosentezi olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Buna karşılık, SA, Tre ve SA+Tre uygulamaları, tuz stresine karşı fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik düzeyde olumlu etkiler göstermiştir. Özellikle SA ve Tre'nin birlikte uygulanmasının, tuz stresinin neden olduğu tüm olumsuz etkileri ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir. Bu kombinasyon; reaktif oksijen türleri (ROS), lipid peroksidasyonu, sodyum alımı ve hücre ölümünü azaltırken, uygun çözücü madde (osmolite) birikimini desteklemiştir. Ayrıca SA+Tre uygulamasında, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde %51, bağlı su içeriğinde %23 ve bitki başına tohum veriminde %64 artış sağlanırken; malondialdehit (MDA) içeriğinde %25 ve süperoksit anyon düzeyinde %26 oranında azalma gözlemlenmiştir.

Yang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, domates (*Solanum lycopersicum*) bitkilerinin yapraklarına farklı konsantrasyonlarda (0, 5, 10 ve 25 mM) trehaloz uygulanmış ve uygulamanın farklı tuz (NaCl) seviyelerinde (0, 50, 100, 150 ve 200 mM) oluşturulan stres koşullarındaki etkileri incelenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde, özellikle 10 mM trehaloz uygulamasının bitki gelişimini artırdığı gözlemlenmiştir. Trehaloz uygulamasının, trehalaz, trehaloz-6-fosfataz ve trehaloz-6-fosfat sentaz gibi trehaloz metabolik yollarına ait enzim aktivitelerini artırarak antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca trehaloz uygulamasıyla birlikte toplam fenol, toplam flavonoid, glisin betain (GB), prolin (Pro), süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) enzim aktivitelerinde ve karbonhidrat içeriğinde artış gözlemlenirken, malondialdehit (MDA) miktarında ise azalma olduğu belirlenmiştir.

Acosta-Pérez vd. (2020), mısır (*Zea mays*) hatlarını 72 saat süreyle kuraklık stresine maruz bırakmış ve trehaloz-6-fosfat sentaz (TPS) ile trehaloz-6-fosfat fosfataz (TPP) genlerinin moleküler düzeyde karakterizasyonunu incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, TPS ve TPP'ye ait aminoasit dizilimlerinin hizalanmasıyla bu genlerin korunan bölgeler içerdiği belirlenmiştir. Gen ifade düzeyleri RT-PCR yöntemiyle değerlendirilmiş ve dirençli hatlarda anlamlı artışın daha erken gerçekleştiği, buna karşın duyarlı hatlarda bu artışın daha geç gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Rohman vd. (2019) yaptıkları çalışmada, iki farklı mısır çeşidi (BARI Hibrit Mısır-7 ve BARI Hibrit Mısır-9) üzerine 10 mM trehaloz uygulamış ve bu uygulamanın 150 mM tuzluluk ile 5 μ M fosfor yetersizliği koşullarında oluşan oksidatif strese karşı etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, trehaloz uygulamasının büyüme parametreleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu; buna karşın tuzluluk ve düşük fosfor koşullarının kök-sürgün uzunluğu ile kök hacmini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, trehaloz uygulamasının stres koşullarında reaktif oksijen türlerini (ROS) azalttığı ve antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı tespit edilmiştir. Trehalozun, farklı mısır çeşitlerinde antioksidan savunma sistemini önemli ölçüde güçlendirdiği sonucuna varılmıştır.

Zafar vd. (2024) çalışmalarında, iki farklı mısır çeşidinde 50 μ M trehaloz ile tohum priming uygulaması gerçekleştirilmiş ve bu uygulamanın 500 μ M kadmiyum (Cd) stresine karşı etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sadece kadmiyum stresine maruz kalan bitkilerde fizyolojik parametrelerde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. Buna karşın,

trehaloz ile yapılan tohum priming uygulaması, kök ve sürgün taze ağırlığı gibi büyüme parametrelerinde artışa neden olmuştur. Ayrıca, trehaloz + Cd uygulanan grupta, fotosentetik aktivitenin arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, karbonhidrat içeriğinde ve enzimatik aktivitelerde (SOD, CAT, POD gibi) anlamlı artışlar tespit edilmiştir.

Razzaq vd. (2024) yaptıkları çalışmada, mısır (*Zea mays*) bitkisine eksojen trehaloz (0, 25 ve 50 mM) uygulamış ve bunun krom (100 ve 500 μ M) stresi altındaki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; krom uygulaması, fotosentez, stomatal iletkenlik, klorofil içeriği, büyüme ve verim açısından azalışlara neden olurken; trehaloz uygulaması bitki biyokütlesi, fotosentetik aktiviteler ve antioksidan enzim düzeylerinde artış sağlanmıştır.

Eh vd. (2024) moringa (*Moringa oleifera* Lam.) bitkinin yapraklarına sprey şeklinde trehaloz (12.5, 25, 50 mM) uygulamış ve kuraklık stresine karşı etkisini incelemişler. Kuraklık stresi bitkinin büyüme ve gelişimini önemli oranla azaltırken trehaloz uygulamalarında bitkilerin büyüme ve biyokimyasal parametrelerini iyileştirmiştir. Özellikle 25 mM trehaloz uygulaması kuraklık stresinde daha etkili konsantrasyonu olmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bitki Materyali ve Yetiştirilmesi

Bitkisel materyali olarak coğrafi işaret almış Gevaş yerel genotipi ve ticari Gina (Seminis Sebze Tohumları) çeşidi kullanıldı. Çalışmalar Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji bölümü iklim odaları ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik bölümü araştırma laboratuvarında yürütüldü.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan materyal Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidi

Tohumların yüzey sterilizasyonu, steril saf su ile gerçekleştirildi (Şekil 3.1). Sterilizasyon işleminin ardından tohumlar; Hoagland solüsyonu ile desteklenen 1 birim kil, 2 birim torf, 1.5 birim gübre, 10 birim kum, 10 birim mil ve 15 birim perlit içeren bir toprak karışımıyla 2 kg saksılara doldurulmuş ve tohumlar bu saksılara ekildi. Saksılar, % 70 nem oranına sahip, 25 °C sıcaklıkta ve 16/8 saat aydınlık/karanlık fotoperiyot koşullarına sahip bitki büyütme odasında yerleştirildi (Şekil 3.2). Çalışmada kullanılan Gevaş genotipi ve Gina fasulyesi her bir saksıda üç bitki tamamen rasgele faktöriyel deneme deseni uygulandı ve altı tekerrürlü olarak dizayn edildi.



Şekil 3.2 Sterilizasyon, ekim ve çimlenme aşaması

3.2 Kısıtlı Sulama Uygulanması ve Trehaloz'un Hazırlanması

Gerçek yaprak aşamasına (3 yapraklı dönem) gelen bitkilerde kuraklık rejimi başlatılmıştır. Tarla kapasitesinin belirlenebilmesi için öncelikle saksılardaki toprak karışımının yaş ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra bu toprak karışımını 105 °C'de 24 saat boyunca etüvde kurutularak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Toprak suya doymuş hali ve kuru ağırlık farkına göre saksıların maksimum su tutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Kuraklık rejimi; %100 (kontrol), %50 ve %30 su seviyelerine göre sınırlı sulama şeklinde uygulanmıştır. Her fideye belirlenen oranlarda sulama yapılmış ve böylece bitkilerin aklimatizasyon sınırları belirlenmiştir. Çalışma boyunca gerçek yaprak aşamasından sonraki bitkiler 5 günde bir sulanmıştır.

Kuraklık stresine karşı trehalozun potansiyel koruyucu etkisini belirlemek amacıyla, TCI (Tokyo Chemical Industry) firmasından temin edilen toz haldeki trehaloz, steril saf suda çözülerek 10 mM konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Kuraklık rejiminin başlamasından 5 gün sonra, trehaloz uygulanacak bitkilerin yapraklarına alt ve üst yüzeyleri kaplayacak şekilde 10 mM trehaloz spreyi uygulanmıştır (Şekil 3.3). Hasat süresine kadar toplam üç kez trehaloz uygulaması yapılmıştır. Her uygulamadan 48 saat sonra, sıvı azotla örnekler ezilmiş olup ve bu örneklerden gen ekspresyon analizleri için toplam üç kez örnekleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Çimlenen bitkilerin oranlarına göre su kısıtlamasının ve trehalozun hazırlanması ve 10 mM trehaloz yapraklara püskürtme aşaması

3.3 Analizler

3.3.1 Bitki Gelişim Parametreleri

Hasat edilen fidelerde, kök boğazından en uç kısımlara kadar olan gövde ve kök uzunlukları mezura kullanılarak ölçüldü. Optimum koşullarda büyütülen bitkilerin yaprak sayısı ve yaprak genişliği, tepegöz tipi bir tarayıcı (Viisan V13) kullanılarak belirlendi. Kök boğazından kesilen fidelerin gövde ve kök yaş ağırlıkları, hassas terazi (Weightlab) ile ölçüldü. Yaş olarak elde edilen gövde ve kök örnekleri kağıt keselere alınarak etüvde (MiproLab) 70 °C’de 48 saat kurutuldu ve ardından kuru ağırlıkları tekrar hassas terazi ile ölçüldü.

Stoma analizinde ise ilk olarak yaprak yüzeyine şeffaf parlaticı oje sürüldü, tamamen kuruduktan sonra üzerine şeffaf bant yapıştırıldı. Daha sonra bant dikkatlice çıkarılarak zar gibi olan yüzey preparatı lam üzerine yerleştirildi. Stoma sayısı ve stoma açıklığı, binoküler mikroskop ve görüntüleme sistemi yardımıyla analiz edildi (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Yaprak sayısı, genişliği, gövde uzunluğu ve stoma aşamaları

3.3.2 Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)

Hasattan hemen önce YOSİ ölçümü için; olgun yapraklardan disk ile örnekler alındı. İlk ölçümü hassas terazide taze ağırlıkları alınıp petri kabına alındı. 25 ml saf su üzerlerine eklendi. 4 saat oda sıcaklığında bekletilip turgor ağırlığı hassas terazide alınıp ağzı açık bir şekilde etüvde 70 °C 48 saat bekletilip kuru ağırlık belirlenmiş (Weatherley, 1950) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (Şekil 3.5).

$$YOSİ = [(Taze ağırlık - kuru ağırlık) / (Turgor ağırlığı - kuru ağırlık)] \times 100 \quad (3.1)$$



Şekil 3.5 Yaprak oransal su içeriği ölçümleri için deney aşamaları

3.3.3 Fotosentetik Pigment İçeriklerinin Belirlenmesi

Biyokimyasal analizler için örnekleme, bitkilerin hasat döneminde gerçekleştirilmiştir. Her saksıdaki bitkilerden orta yaşlı, tam gelişmiş genç yapraklar toplanmıştır. Örnekler taze olarak alındıktan sonra derhal sıvı azot ile şoklanarak ezilmiş ve -80°C’de analiz zamanına kadar muhafaza edilmiştir. Bu yöntem, klorofil, prolin, toplam fenol ve flavonoid içeriklerinin stabil bir şekilde korunmasını sağlamak amacıyla uygulanmıştır.

Fotosentetik pigment ölçümünde kullanılacak ekstraktların hazırlaması için 100 mg sıvı azot içerisinde ezilmiş bitki örneği 1 ml ve % 80’lik aseton ile muamele edildi. 1 dakika homojenizatör ile parçalandı. Numuneler 5000 rpm de 1 dakika santrüfuj edildi. Üst fazlar alınarak temiz ependorflara aktarıldı ve %80’lik aseton ile 2 ml’ye tamamlanarak ölçümlere geçildi. Absorbans değerleri UV-Visspektrofotometrede okundu (Şekil 3.6). Pigment içeriği ölçümleri Arnon (1949)'a göre yapıldı. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanarak mg/g cinsinden ifade edildi.

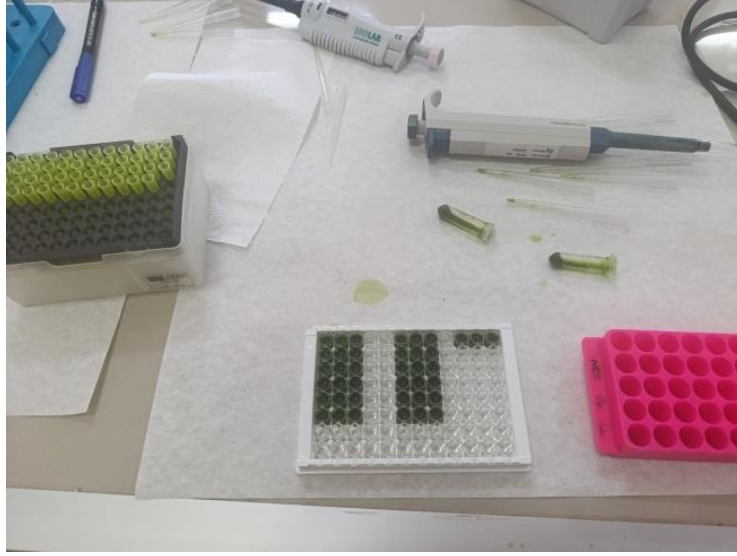
$$\text{Klorofil-a} = [\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69] [(V/1000) * W]$$

$$\text{Klorofil-b} = [\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68] [(V/1000) * W] \quad (3.2)$$

$$\text{Total klorofil} = [\Delta A_{645} \times 20.2 + \Delta A_{663} \times 8.02] [(V/1000) * W]$$

$$\text{Karotenoid} = [\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638/112.50] [(V/1000) * W]$$

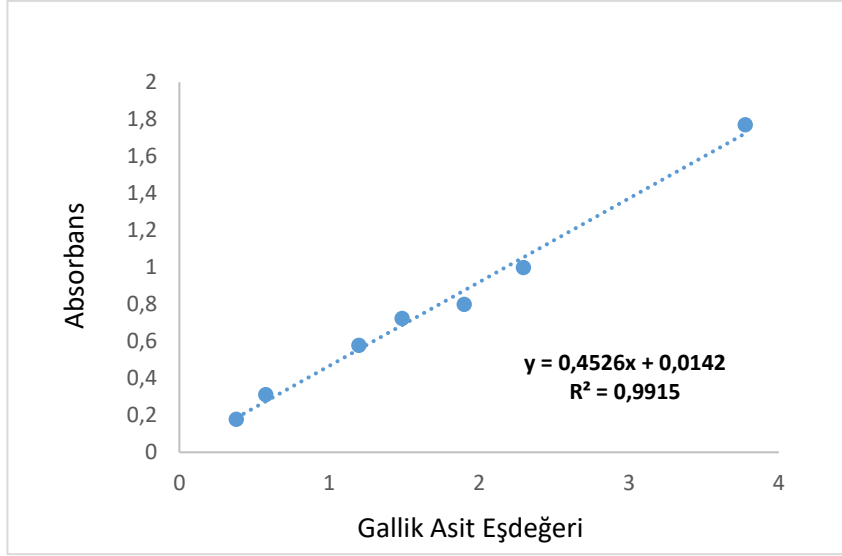
{ ΔA : Belirtilen dalga boylarındaki absorbans değerini, V: ml cinsinden son ekstraksiyon hacmini, W: g cinsinden analiz için alınan bitki miktarını ifade etmektedir}.



Şekil 3.6 Fotosentetik pigment içeriklerinin belirlenmesi

3.3.4 Toplam Fenolik Madde İçeriği (TPC)

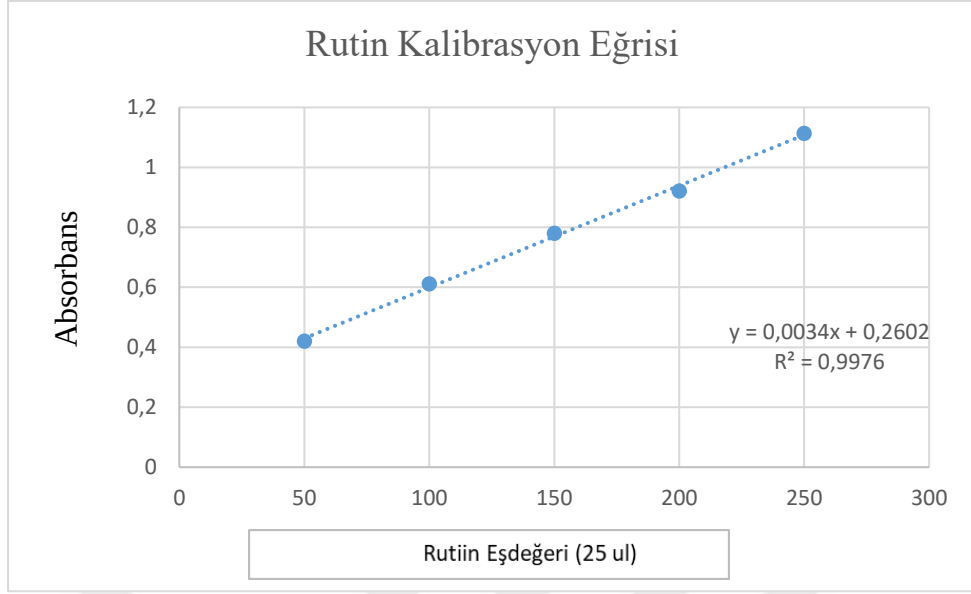
Total fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteu ayırıcı kullanılarak ölçüldü (Dalar vd., 2012). Kısaca, hazırlanan bitki ekstraktlarından 25 μ l bitki özütü, seyreltilmiş 125 μ l Folin-Ciocalteu (1:10, v / v) reaktifi ile karıştırıldı ve 3 dakika çalkalandı. Folin-Ciocalteu reaktifi ile kolayca reaksiyona girebilen askorbik asidin ilave etkilerinden kaçınmak amacı ile askorbik asit düzeltmesi için absorbans 600 nm'de ölçüldü. Daha sonra 125 μ l, % 6 Na_2CO_3 ilave edildi ve mikroluka 12 dakika çalkalandı. Daha sonra absorbans 600 nm'de tekrar ölçüldü. Sonuçlar, Gallik Asit standart eğrisine göre mg gallik asit (GA) eşdeğeri g / dw olarak ifade edildi (Şekil 3.7). Analizler üç tekerrür şeklinde yapıldı.



Şekil 3.7 Galik asit kalibrasyonu

3.3.5 Toplam Flavonoid Madde İçeriği (TFC)

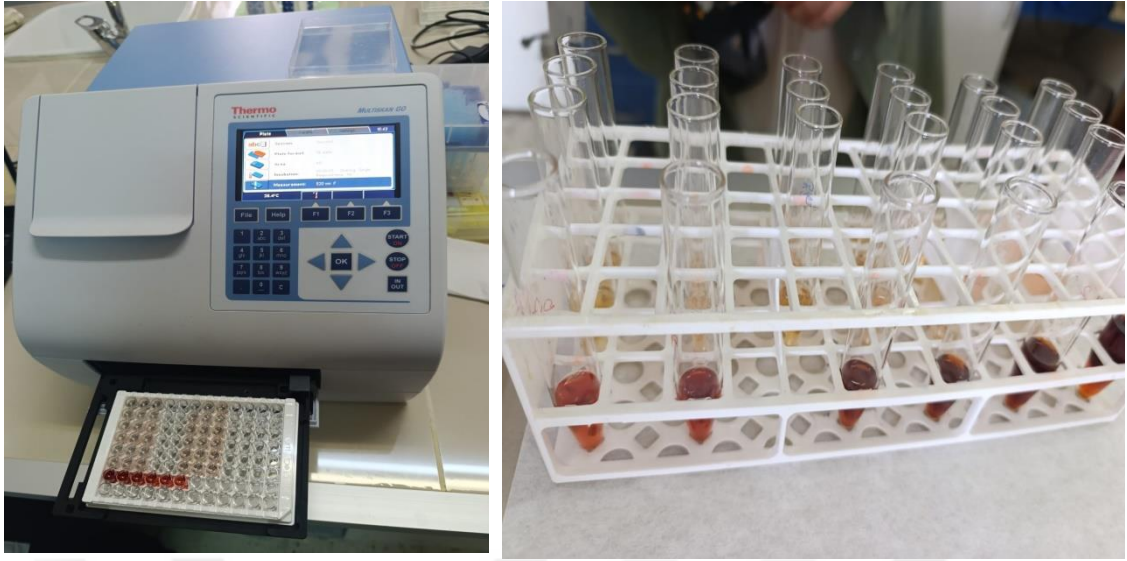
Hazırlanan bitki ekstratlarından 25 µl bitki ekstresi, 96 oyuklu mikropklara yerleştirildi. Daha sonra 125 µl distile su ve 7.5 µl seyreltilmiş %5'lik NaNO₂ (1:20 w / v) eklendi. 5 dakika inkübasyondan sonra, 15 µl %10 AlCl₃ (1:10 w / v su içinde) eklendi. Numuneler 6 dakika oda sıcaklığında inkübe edildi, ardından 50 µl 1 M NaOH ilave edildi, numuneler pembemsi bir renk alana kadar kuvvetlice karıştırıldı. 510 nm'de absorbans değerleri ölçüldü. Ekstreler, üç kez test edildi ve sonuçlar, R (rutin) standart eğrisine göre mg rutin (R) E / g dw olarak ifade edildi (Şekil 3.8).



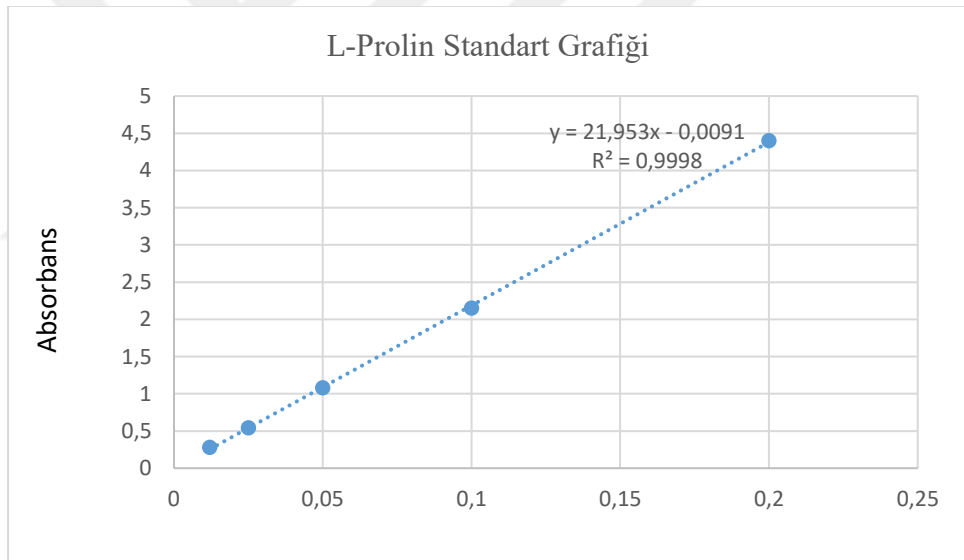
Şekil 3.8 Rutin kalibrasyon eğrisi

3.3.6 Prolin Miktarının Belirlenmesi

Uygulama yapılan bitkilerde prolin miktarı, spektrofotometrik olarak Asit-Ninhidrin metodu ile belirlendi (Bates vd., 1973; Ghoulam vd., 2002). İlk olarak 100 mg yaprak örneği % 40'lık 2 ml metanol ile homojenize edildi. Elde edilen homojenattan 1 ml alınarak üzerine 1 ml glasiyal asetik asit ve 6 M ortofosforik asit karışımı (3:2 v/v) ilave edildi. Hazırlanan reaksiyon karışımına 25 mg ninhidrin eklenerek karışımın 1 saat 95 °C'de inkübe edildi. Daha sonra reaksiyon karışımını içeren tüpler soğutularak 5 ml toluen ilave edilerek iyice karıştırıldıktan sonra iki farklı faz oluşumu gerçekleştirildi. Prolin miktarının belirlenmesi için üstteki fazın absorbansı 528 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçüldü (Şekil 3.9). Yaprak dokularındaki prolin miktarı, L-prolin standartı kullanılarak grafik yardımıyla hesaplandı. Değerler $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık olarak ifade edildi (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Prolin miktarının belirlenmesi için deney aşamaları



Şekil 3.10 L-prolin kalibrasyon eğrisi

3.3.7 Gen İfadesi Analizi

Belirtilen gen ailesinin fasulye çeşitlerin kuraklık stres koşullarında moleküler düzeyde belirlenmesi ve gen ifadesi analizi gerçekleştirildi. Gen ifade değişimleri, her bir deney grubu için üç tekerrür halinde gerçekleştirildi. Uygulama süresi tamamlandığında örnekler sıvı azotla ezilip toz haline getirilerek önceden etiketlenen tüplere alınıp -80 °C’de qRT-PCR analizi için saklandı.

3.3.7.1 RNA İzolasyonu

Çalışmamızda RNA izolasyonunu gerçekleştirmek için manuel TRIzol protokolü kullanıldı. Daha önceden bitki dokuları sıvı azot ile ezilip -80 °C’de saklandı. 1 ml TRIzol (ambion) reaktifi içeren 2 ml’lik steril tüplerde bitki dokuları parçalanarak homojen hale getirildi. Elde edilen homojen karışım, nükleoprotein komplekslerin tamamen çözünmesi için oda ısısında 5 dakika bekletildi. 1 ml TRIzol çözeltisine 0.2 ml kloroform eklendi ve tüplerin ağızları sıkıca kapatıldıktan sonra 15 saniye boyunca güçlü bir şekilde çalkalandı. 2-3 dakika oda ısısında bekletilen bu karışım 20 dakika 4 °C’de 15,000 rpm’de santrifüj edilerek faz ayrımı sağlandı. Santrifüj sonrası üstte kalan sıvı faz dikkatlice etiketlenmiş tüplere aktarıldı. Üzerlerine 500 µl izopropil alkol ilave edilerek RNA’nın çökmesi sağlandı. Karışım oda ısısında 10 dakika bekletildikten sonra 4 °C’de 15,000 rpm’de 10 dakika santrifüj edildi. Elde edilen RNA çökeltisine 1 ml % 75’lik etanol ile yıkandı ve 4 °C’de 10,000 rpm’de 5 dakika santrifüj edildi. RNA çökeltisinin tamamen kuruması için 5-10 dakika tüplerin ağzı açık bir şekilde kurumaya bırakıldı. Daha sonra her tüpe 30 µl RNaz-free su eklendi ve çökelti çözünmesi sağlandı. Tüpler 10 dakika 55-60 °C’de bekletildikten sonra -80 °C’de saklandı. Tüm bu adımların sonucunda total RNA izolasyonu tamamlandı.

3.3.7.2 RNA Miktarlarının ve Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

İzolasyon işlemlerin ardından RNA'ların konsantrasyonları ve saflığını, Nano-400-A (Allsheng) kullanılarak gerçekleştirildi. Kör olarak nükleaz içermeyen su (DEPC) kullanıldı ve RNA örnekleri 260 ve 280 nm'de ölçüldü. A260 / A280 oranı 1.8 ile 2.2 arasında olmalıdır. 1.8' in altında protein kontaminasyonu, 2.2' nin üstü ise DNA kontaminasyonunu ifade eder. RNA konsantrasyonu, aşağıda gösterilen (3.3) denkleme göre hesaplanıldı.

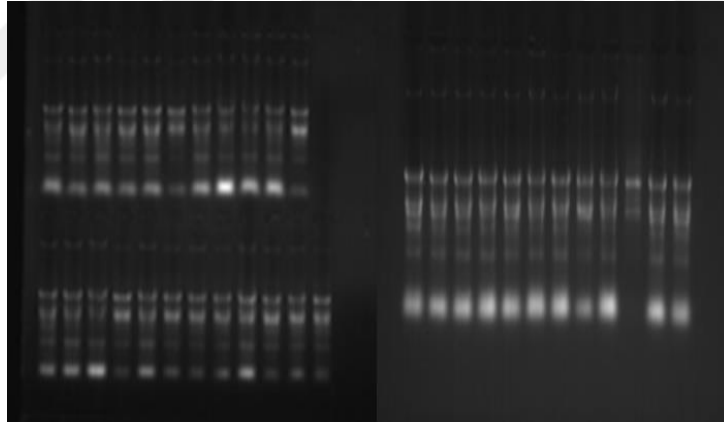
$$\text{RNA konsantrasyonu (ng/}\mu\text{L)} = 40 \times \text{A260} \times \text{seyreltme faktörü} \quad (3.3)$$

RNA izolasyonunun gerçekleştiğini ve saf olduğunu kanıtlamak için RNA jel elektroforezi yapıldı. % 1.5'luk 50 ml agaroz çözeltisi TAE tamponu içinde hazırlandı. Agaroz üzerine TAE tamponu ilave edilip ve yavaşça karıştırıldı. Ağzı alüminyum folyo ile kapatılıp erlen içerisindeki agaroz mikrodalga içerisinde bırakılıp kaynayana kadar bekletildi. Agaroz TAE içerisinde çözüldükten sonra soğumaya bırakıldı ve yaklaşık olarak 40-50 °C'ye indiğinde jel içerisinde boya (Red Safe) 2 µl eklenildi. Jel matriksi donması için tarakları takılıp jel kasetine dökülerek donmaya bırakıldı. Jel donduktan sonra taraklar çıkarılarak jel kaseti aynı tamponu içeren jel tankına bırakıldı (Şekil 3.11). Bir elektrik akımı varlığında RNA, negatif yüklerinden dolayı jel elektroforezi sırasında anoda doğru hareket eder. Jel elektroforezi sonucunda 28S RNA'nın bant yoğunluğu 18S RNA'nın bant yoğunluğunun yaklaşık iki katı olmalıdır. Kısmen parçalanmış RNA smear bir yapı ortaya çıkarır.



Şekil 3.11 Sırasıyla: sıvı azotla bitki dokusunun ezilmesi, RNA izolasyonu, Nanodrop cihazı ile RNA saflık ve yoğunluk ölçümü, UV altında RNA görüntülemesi

Yürütülecek RNA örneklerinden 5 µl alınıp 3 µl yükleme boyası loading buffer (Thermo Scientific) ile karıştırıldı ve kuyucuklara yüklenmiştir. 45 dakika ve 90 volt elektrik alanı uygulanıp UV görüntüleme sistemi ile jel fotoğrafı elde edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 RNA izolasyonunun ardından elde edilen toplam RNA'nın agaroz jel elektroforezinde görüntülenmesi

3.3.7.3 Revers Transkriptaz Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR)

Total RNA'dan komplementer DNA'yı (cDNA) sentezlemek için, High Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak ters transkriptaz polimeraz zincir reaksiyonu gerçekleştirildi. Tüm kit bileşenlerinin buz üzerinde çözümleri sağlandı. Aşağıdaki tabloya göre RT master mix buz üzerinde hazırlandı (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 RT master mix bileşenleri

Bileşen	Hacim (µl)
10x RT Buffer	2.0
25x dNTP Mix (100 mM)	0.8
10x RT Random Primer	2.0
Multiscribe Revers Transkriptaz	1.0
Nükleaz içermeyen su (DEPC)	4.2
Toplam/her reaksiyon	10.0

10 µl RT master mix PCR tüpüne koyulduktan sonra üzerine 10 µl/µg RNA eklenildi. PCR tüpü mini spin ile kısa süreli çevrilip, hava baloncukları elimine edildi. Tüpler PCR cihazına yerleştirilip, amplifikasyon şartları aşağıdaki tabloya göre cihaza tanıtılmıştır. Süre sonunda cDNA içeren tüpler -20 °C'de muhafaza edildi. PCR koşulları; sıcaklık 25 °C 10 dk, 37 °C 120 dk, 85 °C 5 dk çoğaltma gerçekleştirildi.

3.3.7.4 Real Time PCR (RTPCR-QPCR)

Real Time PCR çalışmaları Pikoreal (Thermo) cihazında Pikoreal software 2.2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 96 kuyucuklu plakalarda üç tekrarlı olacak şekilde çalışıldı. Üç adet de NTC (No Template Control) kullanılacak. Öncelikle sybr green master mix hazırlanılmıştı ve bu amaçla tüplere 1x için; 5 µl Sybr green, 0.1 µl ileri

primer (100 µM), 0.1 µl geri primer (100 µM), 4.8 µl nükleaz içermeyen su (DEPC) konuldu.

Mix hazırlandıktan sonra 96 kuyucuklu plakalara 10'ar µl sybr green mix eklenildi. Daha sonra NTC'ler için 2 µl DEPC, örnekler için ise 2 µl cDNA kuyucuklara eklenildi. Pipetaj yapılarak, homojen dağılım sağlandı. Plakanın üzeri kapatılıp ve plaka aşağıdaki koşullarda Real Time PCR cihazına konuldu. Deney sonucunda genlere ait CT değerleri ve amplifikasyon eğrileri elde edildi.

3.4 İstatiksel Analizler

Kuraklık stresine maruz kalan gruplar ve kontrol gruplarının verileri açısından istatistiksel analizi yapıldı. Varyans analizinin anlam düzeyleri incelendi. Deneme sonucunda veriler tek yönlü varyans (ANOVA) analizine tabi tutuldu. Ortalamalar arasındaki farklılıklar ise çoklu karşılaştırma testi (LSD) kullanılarak %5 önem seviyesinde belirlendi. Gen ifadesinin analizi sonucunda örneklerin eşik (threshold) değerleri elde edildi ve qRT-PCR analizinde genlerin ifadesi referans genin (β -Actin) ifadesine göre gerçekleştirildi. Genlerin ifade oranları Livak ve Schmittgen (2001)'e göre $2^{-\Delta\Delta C_t}$ oransal hesaplama algoritmasıyla tespit edildi.



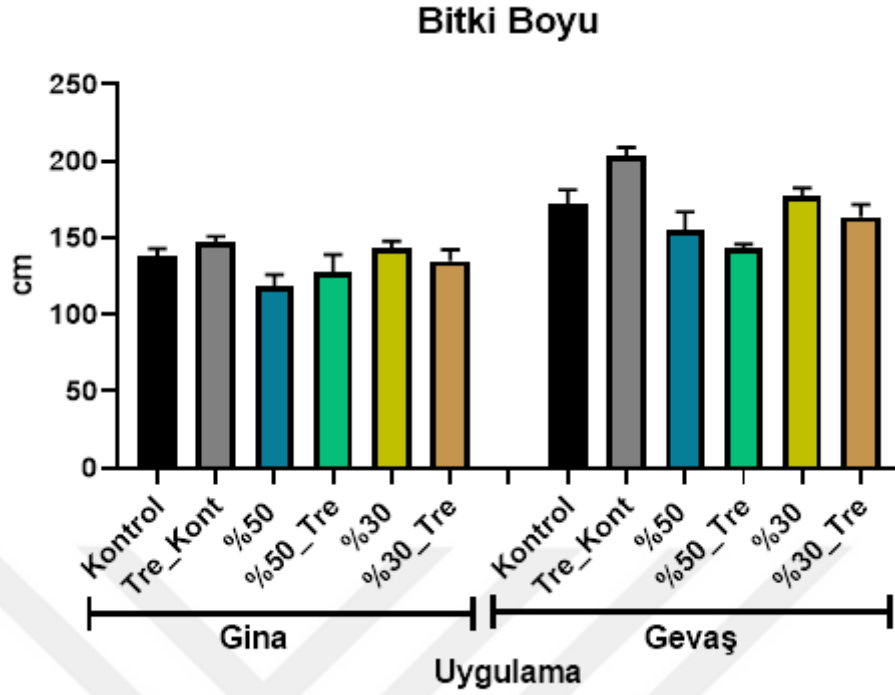
4. BULGULAR

Yapılan tez çalışmasında morfolojik, biyokimyasal ve moleküler veriler analiz edilmiştir. Gina ve Gevaş genotipine ait sonuçlar elde edilen veriler doğrultusunda incelenmiştir.

4.1 Morfolojik Veriler

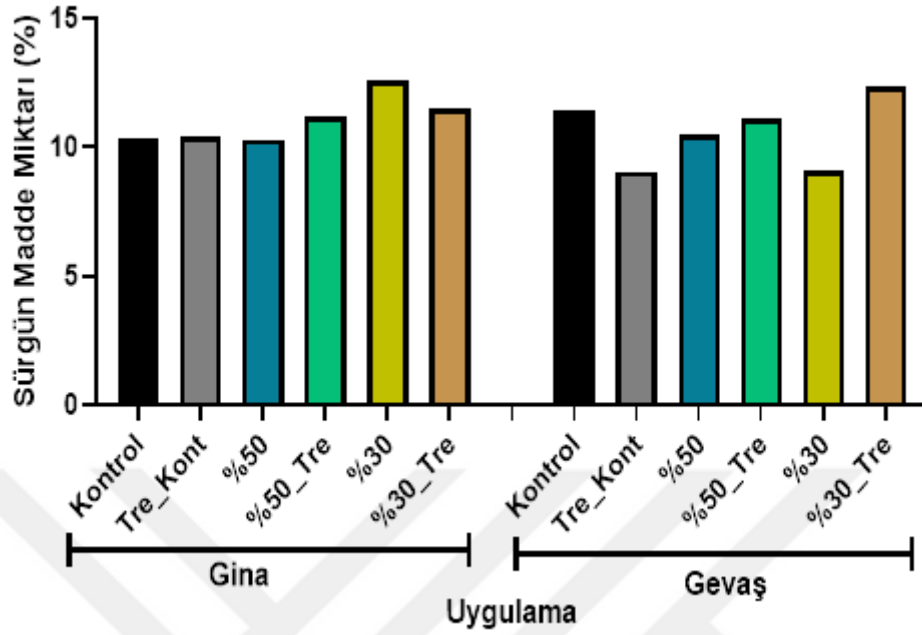
Çalışma kapsamında kök-gövde uzunluğu, gövde yaş ağırlık, gövde kuru ağırlık, kök yaş ağırlık, kök kuru ağırlık, bağıl su içeriği (YOSİ), yaprak genişliği ve sayısı, stoma açıklığı ve sayısı gibi parametreler analiz edilmiştir. Ölçümler Least Significant Difference (LSD) çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farkların anlamlı olduğu saptanmıştır.

Farklı kuraklık stres uygulamaları altında 10 mM trehaloz uygulamasının Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşitlerinin bitki boyuna etkisi incelendiğinde, çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar ortaya koymuştur. Elde edilen verilere göre, en yüksek bitki boyu Gevaş+kontrol+trehaloz uygulamasında gözlemlenirken, en kısa bitki boyu Gina %30 ve Gina %50 uygulamalarında kaydedilmiştir (Şekil 4.1). Özellikle Gevaş trehaloz+kontrol uygulaması, kuraklık stresine rağmen yüksek bitki boyunu koruyarak trehalozun stres koşullarında da koruyucu etki gösterebildiğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, trehaloz uygulamasının hem stresli hem de stres olmayan koşullarda bitki boyu üzerinde farklı etkiler gösterebildiğini, bu etkinin ise bitki çeşidine ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişkenlik sergilediğini göstermektedir.



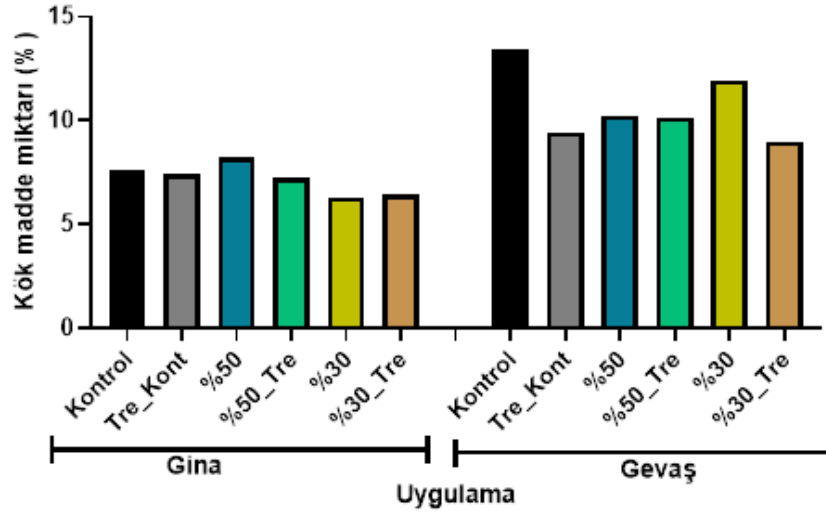
Şekil 4.1 Gevaş ve Gina fasulye çeşitlerinde trehaloz sprey uygulamasının bitki boyuna etkisi (%)

Şekil 4.2’te farklı uygulamaların sürgün madde miktarı üzerindeki etkisi incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0.05$). En yüksek sürgün madde miktarı (%), Gevaş kontrol grubu olarak yer alırken, en düşük sürgün madde miktarı (%) Gina % 30 trehaloz uygulaması vermiştir. Genel sonuçlara bakıldığında Gevaş genotipi, Gina çeşidine kıyasla hem kontrol hem de stres koşullarında daha yüksek sürgün madde miktarı (%) ulaşmıştır (Şekil 4.2). Bu da çeşide bağlı tolerans farklarını, uygulama etkinliğini ve trehaloz uygulamasının kuraklık koşullarında gövde gelişimini destekleyebildiğini ortaya koymaktadır. Trehaloz uygulaması, bazı koşullarda sürgün madde miktarı (%) artırarak kuraklık toleransına katkı sağlayabilecek bir uygulama olarak öne çıkabilmektedir.



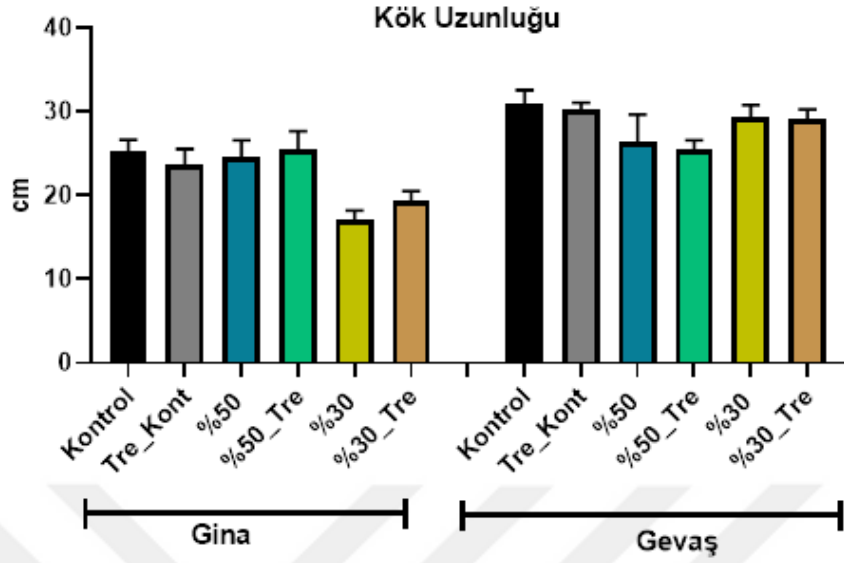
Şekil 4.2 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşitlerinde trehaloz sprey uygulamasının sürgün madde miktarındaki (%) etkisi

Çalışmamızın sonucunda elde edilen kök madde miktarı (%) verileri Şekil 4.3'de sunulmuştur. Yapılan varyans analizi sonucunda, farklı uygulamaların bitki kök madde miktarı (%) üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde, en yüksek kök madde miktarı (%), Gevaş kontrol grubunda bulunurken en düşük kök madde miktarı (%) ise Gina uygulamalarından elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Gina uygulamalarının kök gelişimi üzerinde sınırlayıcı veya olumsuz bir etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Genel olarak bakıldığında trehaloz bitki biyokütlesini artırmada etkili olduğu bitkinin genel büyümesinde katkı sağladığı düşünülmektedir.



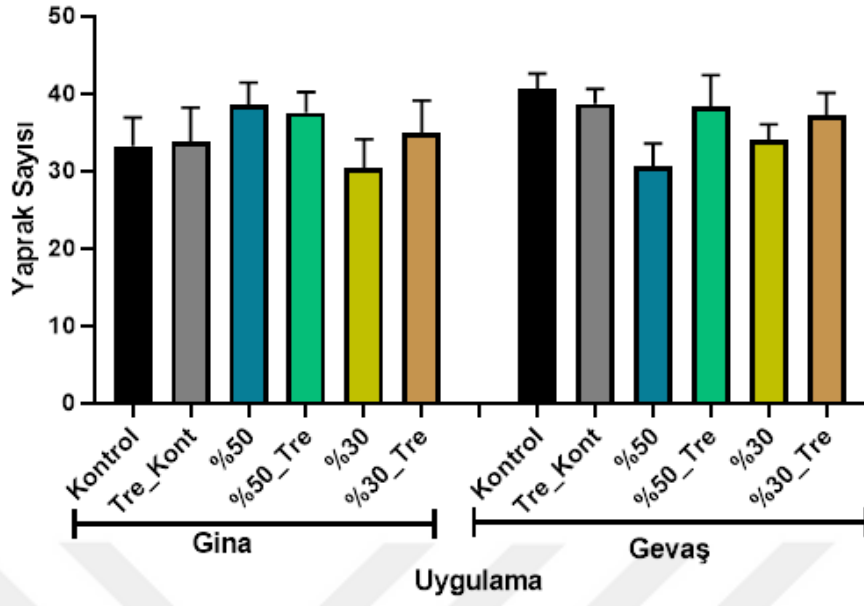
Şekil 4.3 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidi trehaloz sprey uygulamasının kök madde miktarına (%) etkisi

Deneme sonucunda elde edilen toplam kök uzunluğu incelendiğinde farklı uygulamaların bitki kök kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, en fazla kök uzunluğu, Gevaş kontrol grubunda yer alırken en düşük kök uzunluğu ise Gina % 30 uygulamasında elde edilmiştir.



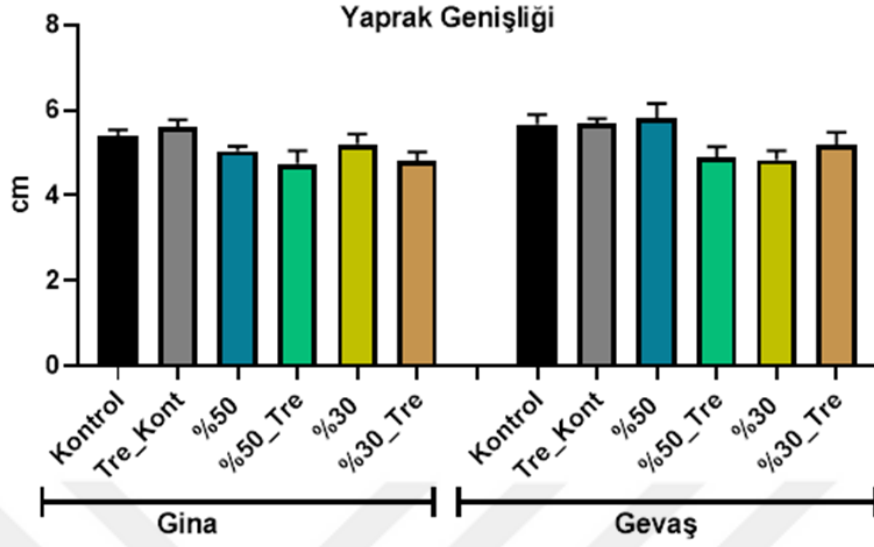
Şekil 4.4 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidinin trehaloz sprey uygulamasının kök uzunluğuna etkisi

Şekil 4.5'te farklı uygulamaların yaprak sayısına etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.05$). En yüksek yaprak sayısı, Gevaş kontrol grubunda ve onu takiben Gevaş kontrol trehaloz gruplarında ölçülmüştür. Bu durum, Gevaş genotipinin kontrol koşullarında optimal büyüme sağladığını ve biyokütle üretimini etkin biçimde gerçekleştirdiğini göstermektedir. En düşük yaprak sayısına sahip Gina %30 su grubu olmuştur. Trehaloz uygulamasının bazı koşullarda yaprak sayısına olumlu etkilediği görülsede, bu etkinin uygulama dozuna ve bitki çeşidine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.



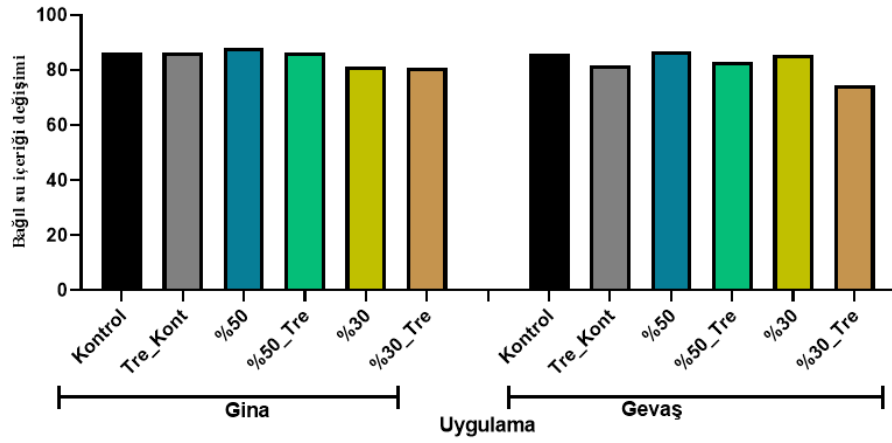
Şekil 4.5 Gevaş genotipin ve Gina fasulye çeşidin trehaloz sprey uygulamasının yaprak sayısına etkisi

Farklı uygulama grupların yaprak genişliğine etkisi incelendiğinde, çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre, en yüksek yaprak genişliği; Gevaş kontrol trehaloz ve Gevaş % 50 su uygulamasında gözlemlenirken, en düşük yaprak genişliği Gina % 50 trehaloz grubunda kaydedilmiştir (Şekil 4.6). Genel olarak Gevaş genotipin, Gina'ya kıyasla daha fazla yaprak genişliğini sergilemiştir ve bu durum Gevaş'ın kuraklık stresine karşı daha toleranslı olduğunu düşündürmektedir. Sonuçlar, trehaloz uygulamasının hem stresli hem de stres olmayan koşullarda yaprak genişliği üzerinde farklı etkiler gösterebildiğini, bu etkinin ise bitki çeşidine ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişkenlik sergilediğini göstermektedir. Trehalozun, kuraklık koşullarında bazı çeşitlerde morfolojik özellikleri koruma veya iyileştirme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Fakat çalışma sonuçları doğrultusunda trehaloz uygulaması fasulye bitkilerinde gelişime katkı sağladığını söyleyebilsekte kuraklık stresi altında daha net anlaşabilmesi için detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.6 Gevaş genotipin ve Gina fasulye çeşidinin trehaloz sprey uygulamasının yaprak genişliğine etkisi

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.05$). Su kısıtlaması fasulye çeşitlerinin görel su içeriği (RWC) üzerinde belirgin bir etki yaratmıştır. 3 farklı ölçüm noktasında genel olarak ilk ölçümde daha yüksek RWC değerleri görülmüş, bu da kuraklık etkisinin zamanla arttığını düşündürmektedir. Su kısıtlama şiddeti arttıkça RWC azalmış, bu azalma özellikle Gina çeşidinde daha belirgin olduğu görülmüştür. Gevaş genotipi % 50 ve % 30 su kısıtlamasında daha yüksek RWC değerleri göstererek kuraklığa karşı daha toleranslı bir profil sergilemiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Gevaş genotipi ve Gina fasulye çeşidinin trehaloz sprey uygulamasının bağıl su içeriği (YOSİ) etkisi

4.2 Klorofil ve Karotenoid Değerleri

Hasat zamanı Gevaş ve Gina fasulyelerin yapraklarında örnekler alınarak % 80 aseton ile ezilerek çalışma gerçekleştirilmiştir.

Gina çeşidi için klorofil-a'nın en yüksek değeri kontrol uygulamasında elde edildi. Klorofil-b, total klorofil ve karotenoid değerleri ise en yüksek % 50 trehaloz uygulamasında elde edildi. Karotenoid değerlerinde ise belirgin bir farklılığın gözlemlenmediği tespit edildi (Çizelge 4.1; Şekil 4.8).

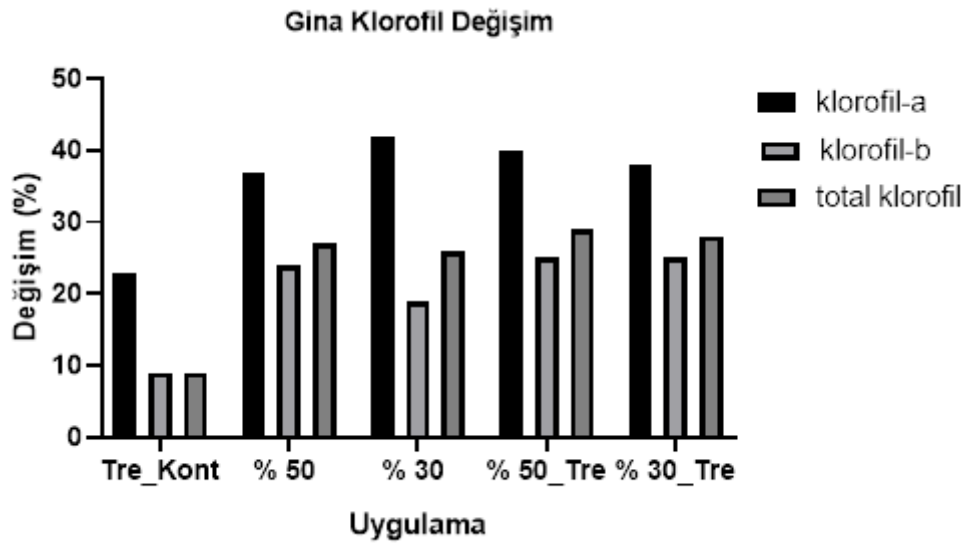
Çizelge 4.1 Gina çeşidi için klorofil ve karotenoid değerleri (mg/g)

Gina	klorofil-a	klorofil-b	total klorofil	karotenoid
Kontrol	89.567±2.8	236.847±21.4	332.206±11.3	13.862±0.7
Trehaloz Kontrol	117.166±10.3	262.206±22.05	368.303±23.8	15.649±1.0
% 50 Sulama	142.654±22.6	314.183±44.7	458.181±39.4	17.235±2.3
% 30 Sulama	156.821±15.9	292.020±23.0	448.681±25.6	17.639±1.3
% 50 + Trehaloz	150.141±9.6	318.545±13.02	468.515±12.13	18.690±0.96
% 30 + Trehaloz	144.591±2.1	316.829±8.5	461.251±9.2	18.510±0.36

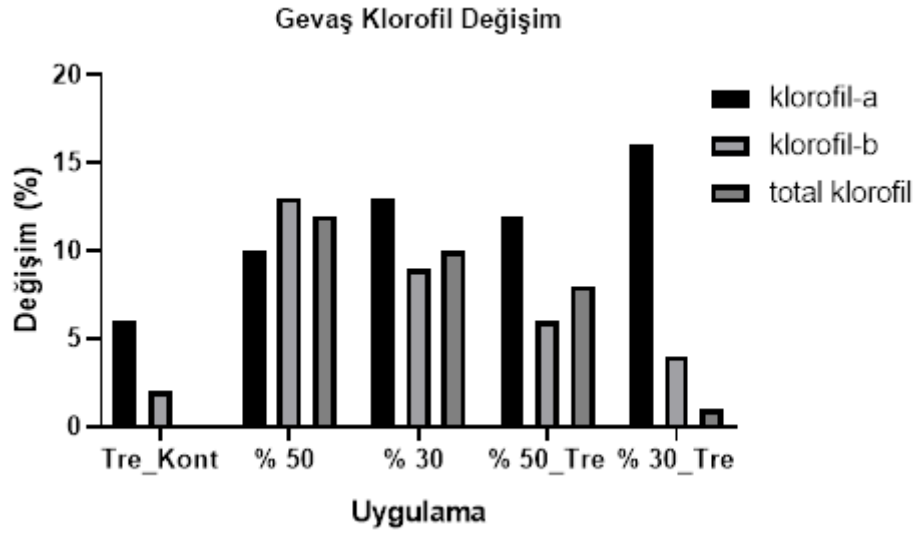
Gevaş genotipi için klorofil-a'nın en yüksek değeri % 30 trehaloz uygulamasından elde edildi. Klorofil-b en yüksek % 50 uygulamasından, total klorofil en yüksek % 50 sulama uygulamasında ve karotenoid değerleri ise en yüksek % 30 sulama uygulamasında elde edildi. Karotenoid değerlerinde ise belirgin bir farklılığın gözlemlenmediği tespit edildi (Çizelge 4.2; Şekil 4.10; Şekil 4.9).

Çizelge 4.2 Gevaş genotipi için klorofil ve karotenoid değerleri (mg/g)

Gevaş	klorofil-a	klorofil-b	total klorofil	Karetonoid
Kontrol	131.405±0.5	289.107±6.5	422.565±8.4	17.070±0.4
Trehaloz Kontrol	139.376±2.7	296.759±6.1	421.393±7.03	17.543±0.3
% 50 Sulama	145.638±7.06	328.092±6.4	475.613±21.9	17.284±0.2
% 30 Sulama	150.990±5.8	320.277±6.6	471.095±28.9	18.818±0.3
% 50 + Trehaloz	149.955±2.4	311.165±16.4	460.952±37.06	18.362±0.7
% 30 + Trehaloz	155.908±4.5	274.793±7.6	430.549±4.2	16.753±0.3

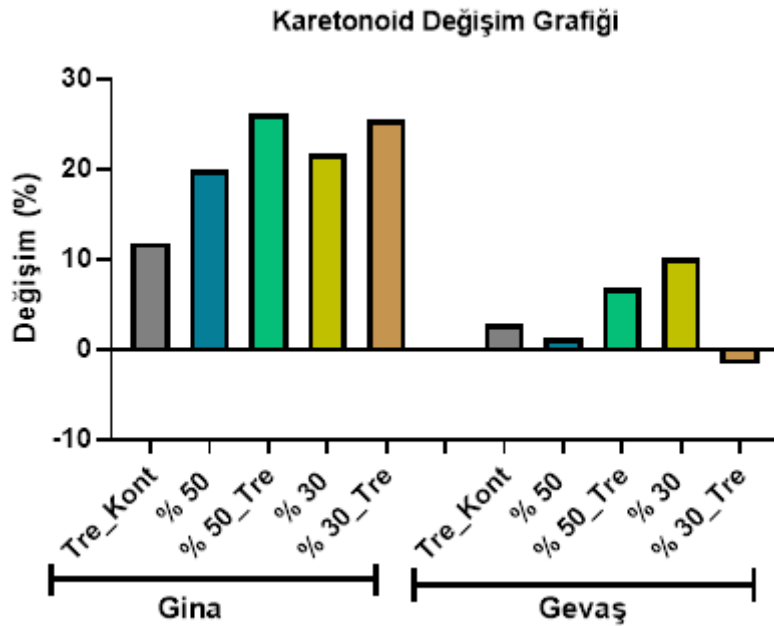


Şekil 4.8 Gina çeşidin klorofil değişim grafiği



Şekil 4.9 Gevaş genotipin klorofil değişim grafiği

Karetonoid değişim grafiği incelendiğinde Gina çeşidin tüm uygulamalarda karotenoid düzeyleri artmıştır. Özellikle Gina % 50 trehaloz ve Gina % 30 trehaloz uygulamaları yaklaşık % 30 bir artış sağladığı gözlemlenildi. Gina çeşidi hem stres hemde trehaloz uygulamalarında karotenoid birikimine artış sağlamıştır. Fakat Gevaş genotipin daha düşük karotenoid miktarında artış ve azalış sağlamıştır.



Şekil 4.10 Karetonoid değişim grafiği

4.3 Total Fenolik ve Flavonoid Değerleri

4.3.1 Fasulye Çeşitlerindeki Total Fenolik Madde Değişimi

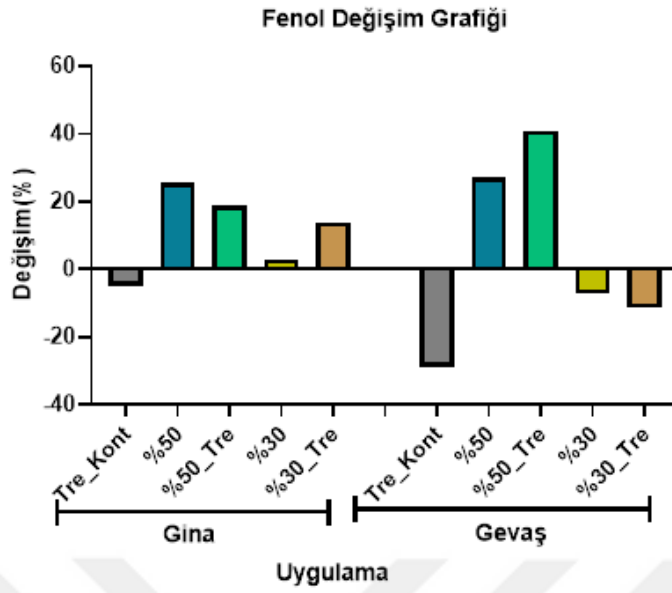
Gina ve Gevaş fasulyelerinde en düşük ve en yüksek fenolik değerleri ölçülmüştür. Tüm uygulamalarda fenolik madde değerlerindeki farklar tespit edilmiştir.

Gevaş fasulyesinde ise en düşük fenolik değeri trehaloz kontrol (10.1 mg/g) uygulamada, en yüksek fenolik değeri ise % 50 trehaloz (16.8 mg/g) uygulamada ölçüldü (Çizelge 4.3). Gina fasulyesinde ise en düşük fenolik değeri trehaloz kontrol (8.7 mg/g) uygulamada, en yüksek fenolik değeri ise % 30 trehaloz (15.2 mg/g) uygulamada ölçüldü (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Fasulye çeşitlerindeki total fenol değerleri (Rutin Eq.mg/g sample)

Uygulamalar	Gina	Gevaş
Kontrol	9.1±0.5	14.2±0.5
Trehaloz Kontrol	8.7±0.7	10.1±0.7
% 50 Sulama	10.9±0.1	12.8±1.4
% 30 Sulama	11.2±0.6	11.9±0.5
% 50 + Trehaloz	13.4±1.2	16.8±0.4
% 30 + Trehaloz	15.2±0.1	14.9±1.5

Fasulye çeşitlerinin fenolik madde karşılaştırmalarında, Gevaş genotipinde % 50 trehaloz uygulamasıyla orantılı bir artış gözlenirken, Gina çeşidinde bu artış % 30 trehaloz uygulamasıyla sağlanmıştır. Fenolik madde içeriğinin fasulye çeşitlerinde trehaloz kontrol uygulamalarında azalmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.11 Gina fasulyesi ve Gevaş genotipi için total fenol değerleri grafiği

4.3.2 Fasulye Çeşitlerindeki Total Flavonoid Madde Değişimi

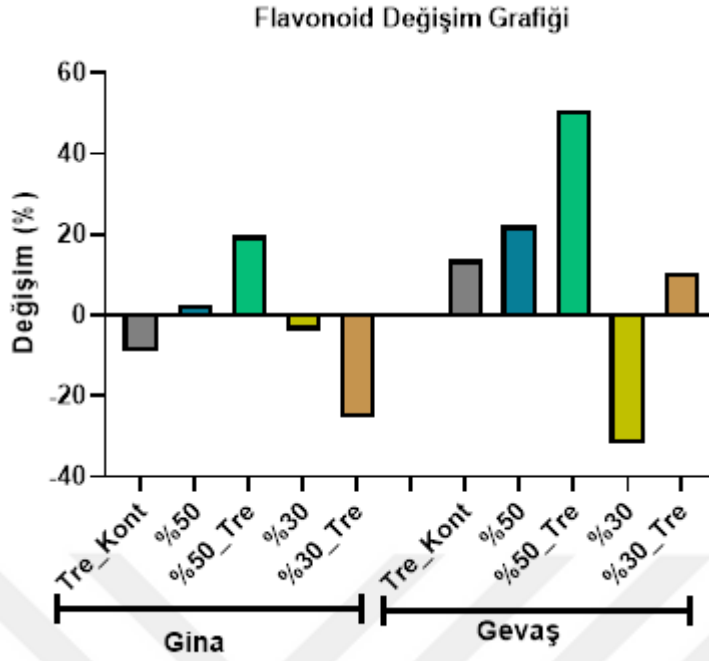
Gina ve Gevaş fasulyelerinde en düşük ve en yüksek flavonoid değerleri ölçüldü. Tüm uygulamalarda flavonoid madde değerlerindeki farklar tespit edilmiştir.

Gina fasulyesinde en düşük flavonoid değeri %30 trehaloz uygulamasında (0.94 mg/g), Gevaş fasulyesinde en düşük flavonoid değeri %30 sulama uygulamasında (0.84 mg/g), en yüksek flavonoid değeri Gina %50 trehaloz (1.270 mg/g) uygulamasında Gevaş genotipinde en yüksek flavonoid değeri % 30 trehaloz (1.409 mg/g) uygulamasında ölçüldü (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Fasulye çeşitlerindeki total flavonoid değerleri (Rutin Eq.mg/g sample)

Uygulama	Gina	Gevaş
Kontrol	1.178±0.1	0.889±0.1
Trehaloz Kontrol	1.071±0.2	1.012±0.1
% 50 Sulama	1.100±0.0	1.238±0.1
% 30 Sulama	1.059±0.2	0.844±0.2
% 50 + Trehaloz	1.270±0.1	1.274±0.1
% 30 + Trehaloz	0.948±0.0	1.409±0.3

Fasulye çeşitlerinin flavonoid madde değişim (%) karşılaştırılmalarında, Gevaş genotipin ve Gina çeşidinde %50 sulama+trehaloz uygulanması ile artış sağlanılmıştır. Flavonoid madde değişim (%) içeriğinin fasulye çeşitlerinde Gina çeşidinde trehaloz kontrol ve Gevaş genotipinde ise %30 sulama uygulamalarında azalmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4.11)



Şekil 4.12 Gina ve Gevaş fasulyeleri için total flavonoid değerleri grafiği

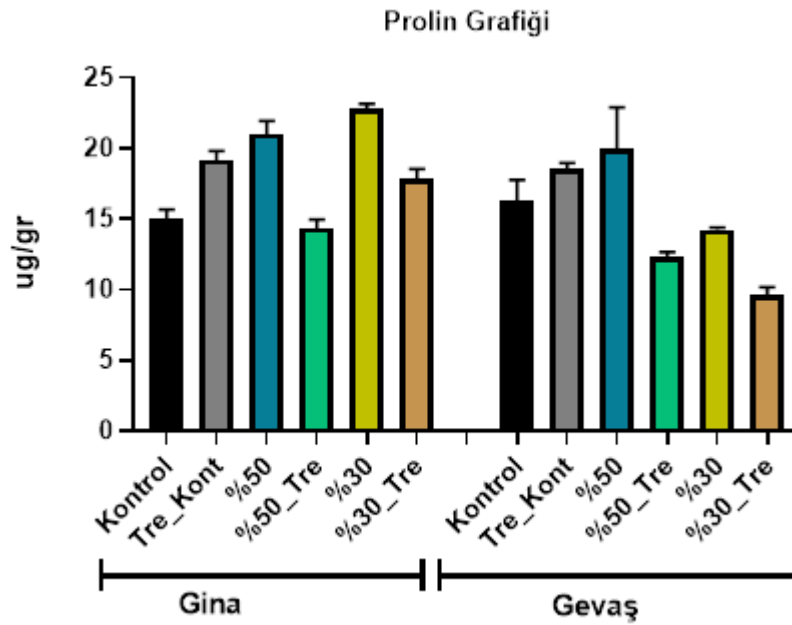
4.4 Fasulye Çeşitlerindeki Total Prolin Madde Değişimi

Gina fasulyesinde en düşük prolin değeri %50 trehaloz uygulamasında (14.35 mg/g), Gevaş fasulyesinde en düşük prolin değeri % 30 trehaloz uygulamasında (9.30 mg/g), en yüksek prolin değeri Gina % 30 sulama (22.84 mg/g) uygulamasında Gevaş genotipinde en yüksek prolin değeri % 50 sulama (19.92 mg/g) uygulamasında ölçüldü (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Fasulye çeşitlerindeki total prolin değerleri (Rutin Eq.mg/g sample)

Uygulama	Gina	Gevaş
Kontrol	14.97593±0.69	16.32731±1.43
Trehaloz Kontrol	19.18189±0.64	18.54416±0.42
%50 Sulama	21.01915±0.91	19.9259±2.96
%30 Sulama	22.84122±0.31	14.22281±0.16
%50 + Trehaloz	14.35339±0.59	12.28837±0.36
%30 + Trehaloz	17.81533±0.74	9.600814±0.56

Fasulye çeşitlerinin prolin grafik karşılaştırılmalarında, Gevaş ve Gina çeşidinde %50 ve %30 sulama uygulanması ile artış sağlanılmıştır. Gina ve Gevaş genotipinde %30 trehaloz ve % 50 trehaloz uygulamalarında azalmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4.12).



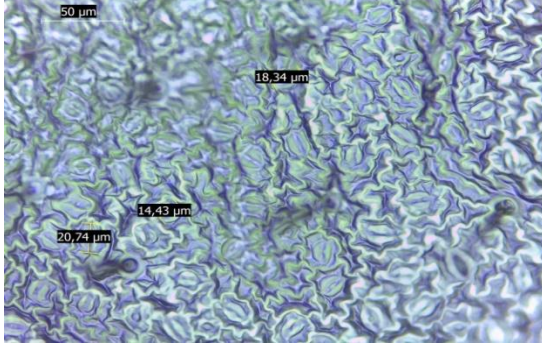
Şekil 4.13 Gina ve Gevaş fasulyelerin için total prolin değerleri grafiği

4.5 Stoma Ölçümleri

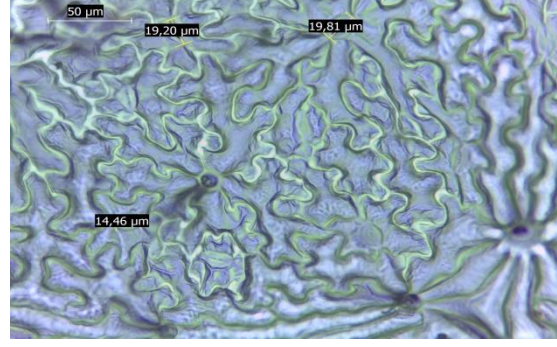
4.5.1 Gina ve Gevaş Fasulyelerine ait Stoma Görüntüleri

Stoma durumları incelendiğinde Gina ve Gevaş yapraklarındaki stomaların sayısı, açıklığı ve büyüklüğü mikroskop altında tespit edilmiştir.

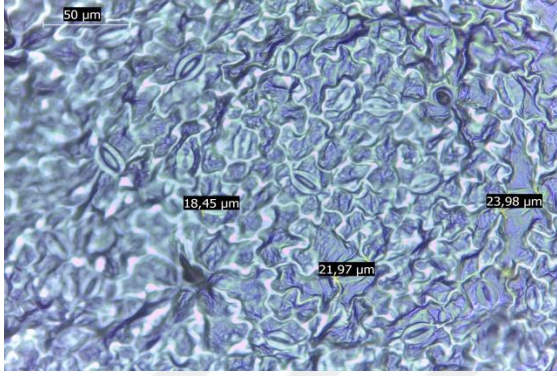
Gina kontrol ve Gina trehaloz uygulamalarında stomaların açık ve geniş olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, söz konusu grupların su stresi altında olmadığını ve stomal faaliyetlerin normal seyrettiğini göstermektedir. Kuraklık stresinin uygulandığı %30 sulama koşullarında, Gina genotipinde stomal açıklığın azaldığı belirlenmiştir. Trehaloz uygulaması yapılmış %30 sulama grubu ile kıyaslandığında, Gina %30 grubunda stomaların daha dar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.14). Bu durum, kuraklık stresinin stomaların kapanmasına neden olduğunu ve bitkinin su kaybını azaltmak amacıyla stomal açıklığı sınırladığını ortaya koymaktadır. Ancak trehaloz uygulamasının, bu kapanmayı bir miktar engellediği ve stoma açıklığını göreceli olarak koruduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Gina %50 trehaloz uygulamasında stomaların daha açık olması, trehalozun kuraklık koşullarında osmotik dengeyi sağlayarak stomal açıklığı destekleyici bir rol oynadığını göstermektedir.



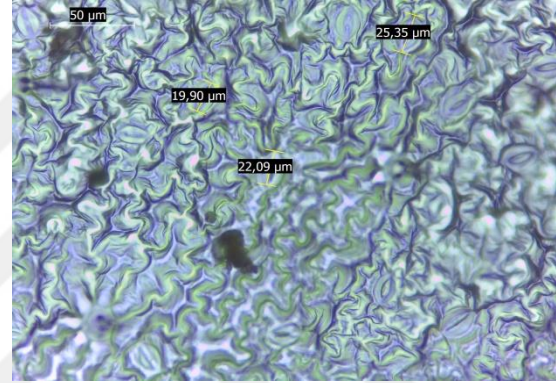
Gina % 30 (a)



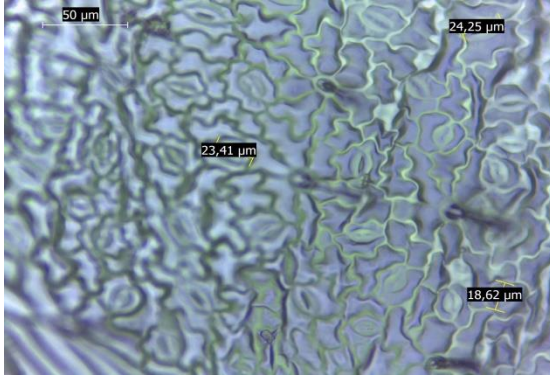
Gina % 30 trehaloz (b)



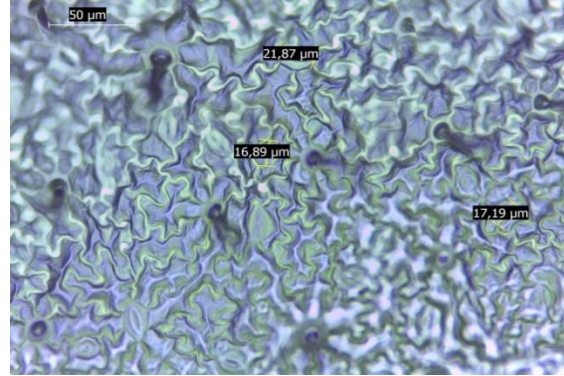
Gina Kontrol (c)



Gina kontrol trehaloz (d)



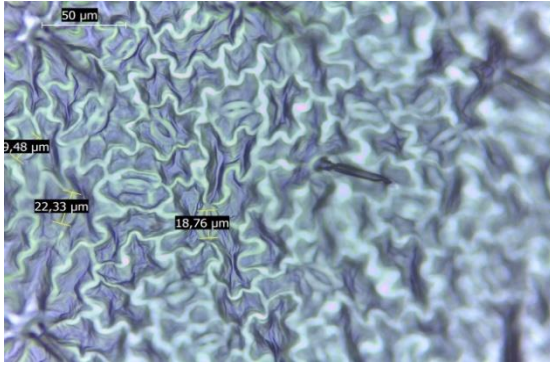
Gina % 50 (e)



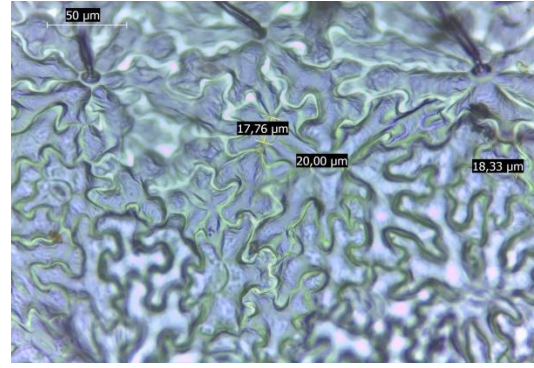
Gina % 50 trehaloz (f)

Şekil 4.14 Gina fasulyesine ait stoma görüntüleri (a, b, c, d, e, f)

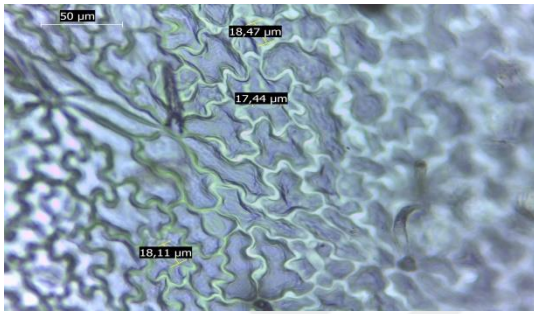
Gevaş genotipinde hem kontrol trehaloz uygulaması hem de % 50 sulama altında yapılan trehaloz uygulaması, diğer uygulama gruplarına kıyasla daha geniş stoma açıklıkları ile dikkat çekmektedir. Bu durum, trehalozun Gevaş genotipi üzerinde stoma açıklığını koruyucu ve destekleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.15).



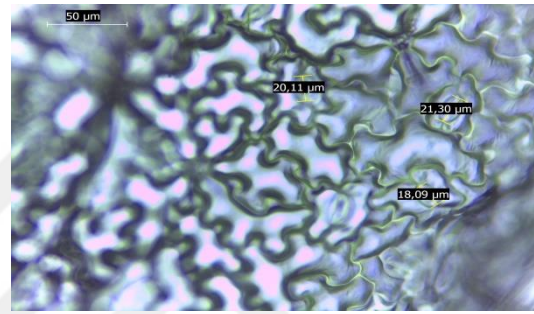
Gevaş % 30 (a)



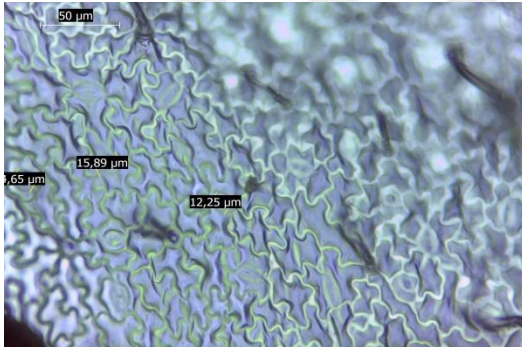
Gevaş % 30 trehaloz (b)



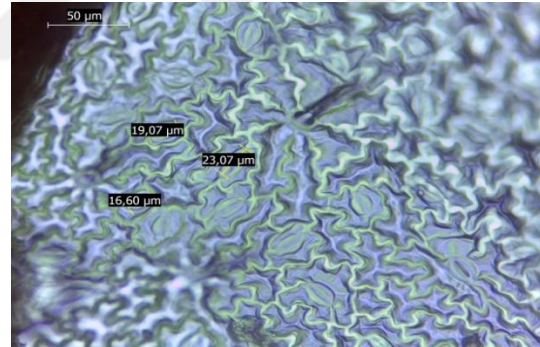
Gevaş Kontrol (c)



Gevaş Kontrol trehaloz (d)



Gevaş % 50 (e)



Gevaş % 50 trehaloz (f)

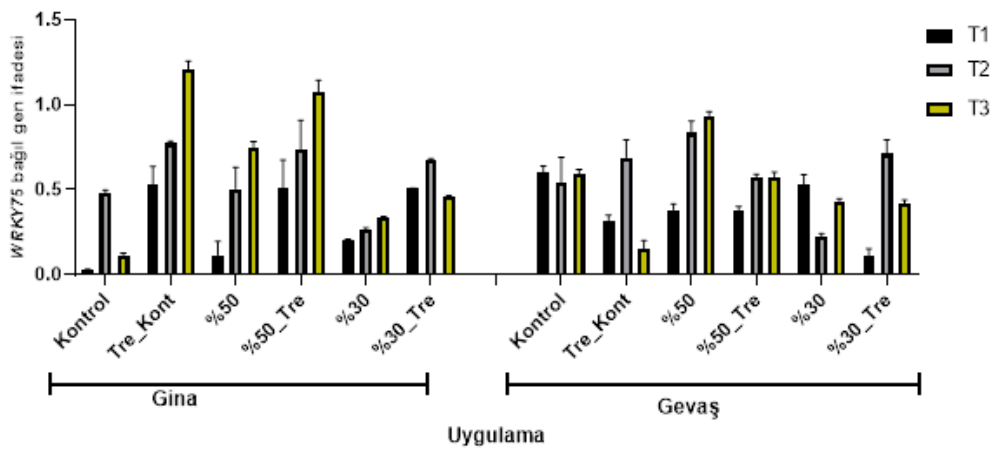
Şekil 4.15 Gevaş fasulyesine ait stoma görüntüleri (a, b, c, d, e, f)

4.6 Gen İfadesi Analizleri

Bu tez çalışmasında uygulamaların moleküler mekanizmasını anlamak amacıyla üç farklı zaman noktasında doku örnekleri alınmıştır. İlk zaman noktasında (T1), bitkiler gerçek yaprak sayısına ulaştıktan sonra yapraklara 10 mM trehaloz püskürtülmüş ve uygulamadan 48 saat sonra bitki örnekleri toplanmıştır. İkinci zaman noktasında (T2) ise

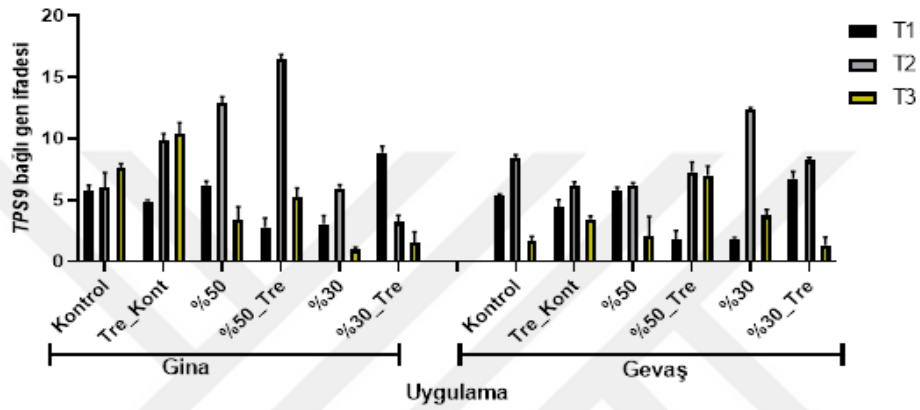
1 hafta sonra aynı işlem tekrarlanarak örnekler alınmıştır. Üçüncü zaman noktası (T3) ise hasat zamanıdır. Ekimden hasata kadar geçen süre 6-7 hafta olarak gerçekleşmiştir. Toplanan bitki örneklerinden RNA izolasyonu yapılmış, ardından bitki bağışıklığında önemli rolleri olan *WRKY75*, *IRT1*, *ERF35* ve *TPS9* genlerinin transkripsiyonel değişimleri RT-qPCR yöntemiyle analiz edilmiştir. Normalizasyon ise house keeping (*Actin*) gen kullanılarak yapılmış ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Şekil 4.16’de *WRKY75*’in bağıl gen ifade değişimleri sunulmuştur. Çalışmamızda *WRKY75* gen ifadesi, uygulama türüne ve bitki çeşidine bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle Gina çeşidin de, hem kontrol trehaloz hem de % 50 trehaloz uygulamaları, tüm zaman noktalarında *WRKY75* gen ifadesinde anlamlı artış sağlanmıştır. Trehaloz sprej uygulamasının, *WRKY75* gen ifadesini artırarak (upregülasyon) kuraklık stresine karşı bitkide aktif bir rol oynadığı belirlenmiştir (Şekil 4.16). *WRKY* ailesi, yüksek bitkilerde bulunan ve bitki bağışıklık tepkilerinde kritik rol oynayan bir transkripsiyon faktör ailesidir. Özellikle kuraklık stresi gibi abiyotik stres koşullarında önemli görevler üstlenmektedir. Bitkilerin fizyolojik, moleküler ve biyokimyasal yanıtlarını düzenleyerek, stresle ilişkili genlerin ekspresyonunu kontrol eder, dayanıklılığı artırır, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini dengeler ve stres sinyalleme yollarını aktive eder.



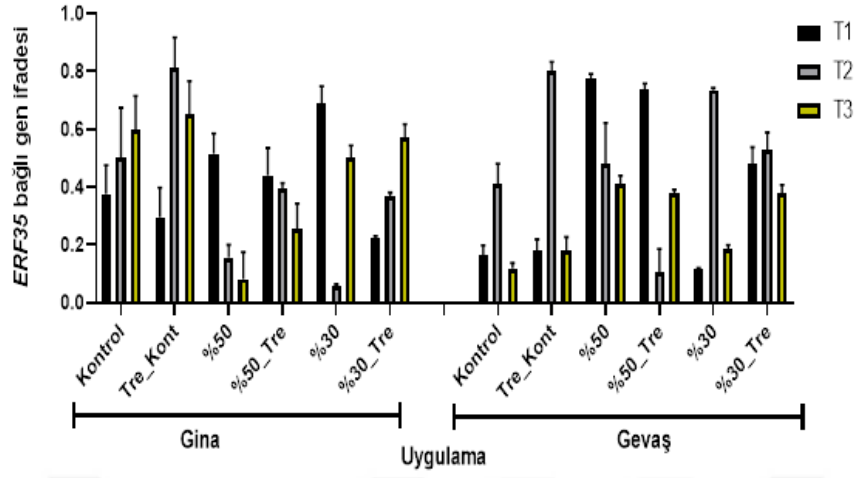
Şekil 4.16 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerinin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprej uygulamalarının *WRKY75*’nin nispi gen ifadesi

Çalışmamızda *TPS9* gen ifadesinin, uygulama türüne ve bitki çeşidine bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Gina çeşidinde kontrol+trehaloz uygulaması ve Gevaş çeşidinde % 50 trehaloz uygulamaları, *TPS9* gen ifadesinde anlamlı artışa neden olmuştur. Bu sonuçlar, trehaloz sprey uygulamasının *TPS9* geni yukarı regüle ederek (upregülasyon) bitkide kuraklık stresine karşı aktif bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Şekil 4.17).



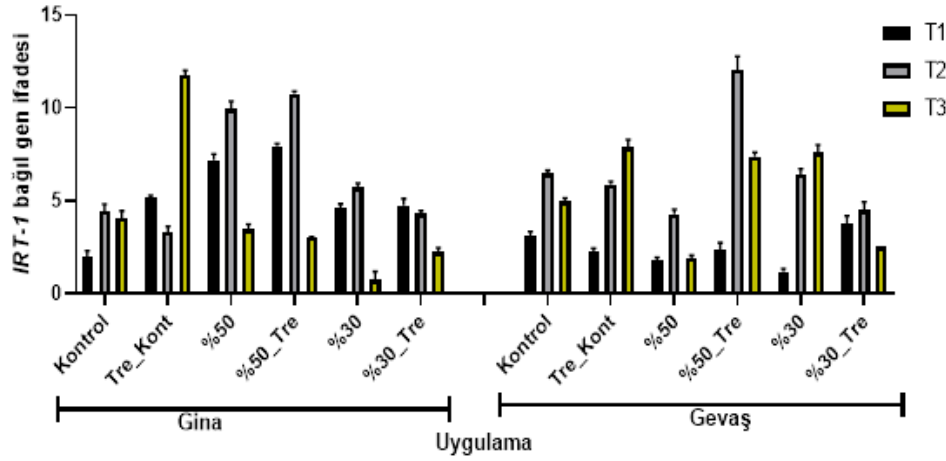
Şekil 4.17 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprey uygulamalarının *TPS9*'nın nispi gen ifadesi

Çalışmada *ERF35* gen ifadesinin uygulama türüne bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Gina kontrol trehaloz, Gina % 30 trehaloz uygulaması ve Gevaş % 30 trehaloz uygulaması, *ERF35* gen ifadesinde anlamlı artış sağlanmıştır. Bu sonuçlar, bitkide kuraklık stresinin trehaloz sprey uygulamasında *ERF35* geni yukarı regüle ederek (upregülasyon) strese karşı aktif bir rol oynadığını belirtilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprey uygulamalarının *ERF35*'nin nispi gen ifadesi

Sulama seviyeleri ve trehaloz uygulamalarının *IRT-1* gen ifadesini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Özellikle Gina kontrol trehaloz ve Gevaş % 30 trehaloz uygulamaları, *IRT-1* gen ifadesinde anlamlı bir artış sağlanılmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Gina ve Gevaş fasulye genotiplerin 3 farklı zaman noktasındaki 10 mM trehaloz sprey uygulamalarının *IRT-1*'nin nispi gen ifadesi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Trehalozun dışsal (eksojen) uygulamasıyla birlikte fizyolojik, biyokimyasal, moleküler ve fotosentetik işlevlerdeki değişimler, *Arabidopsis thaliana*, *Triticum aestivum* ve *Zea mays* gibi çeşitli bitkilerde de belirlenmiştir (Yang vd., 2012; Hassan vd., 2022; Zhang vd., 2022). Kuraklığa bağlı trehaloz birikimi birçok bitkide yaygın olmasa da *Selaginella lepidophylla* ve *Myrothamnus flabellifolia* (Drennan vd., 1993; Iturriaga vd., 2009) gibi kuraklığa tolerant birkaç bitkide gözlenmiştir. Trehaloz biyosentezi veya bozunumu değişmiş olan trehaloz biriktiren transgenik bitkiler, abiyotik stres toleransı açısından önemini gösteren çoklu streslere karşı tolerans göstermiştir (Li vd., 2020 Liu vd., 2022; Kosar vd., 2021; Hassan vd., 2022).

Kuraklığın, kloroplastları etkileyerek ultrastrüktürlerine zarar verdiği, tilakoidleri tahrip ettiği ve klorofil moleküllerini parçaladığı da bilinmektedir (Wang vd., 2022). Bitkilerde trehaloz birikimi stres toleransına yol açar. Kuraklıkta yeniden dehidre olan bitkilerin susuz kalmış dokularında trehaloz birikimi önemlidir ve bu şekerin stres toleransı ile ilişkisi bilinmektedir (Luo vd., 2021). Kurutulma/dehidrasyon kaynaklı hücrelerdeki değişiklikler, zar hasarına ve makromoleküllerin parçalanmasına neden olur. Trehaloz, hücre zarlarını ve proteinlerini etrafında camsı bir matris oluşturarak stabilize eden bir ozmoprotektan molekül görevi görür. Trehaloz biriktiren bitkilerde oksidatif stres yanıtının modülasyonu, strese duyarlı genlerin uyarılması ve gelişmiş fotosentez gözlemlenmiştir (Zhang vd., 2022; Mohanan vd., 2023).

Bizim çalışmamızda da klorofil a, b ve total klorofil değerlerinin trehaloz uygulaması ile arttığı görülmüştür. Kontrol grubunda total klorofil değeri 332.206 olarak hesaplanırken trehaloz kontrol ve kuraklık trehaloz uygulamalarında sırası ile 368.303 ve 468.515 değerleri ölçülmüştür. Bu durumda trehaloz kontrol grubunda klorofil miktarında % 9, kuraklık+trehaloz uygulamasında ise % 40 artışa neden olmuştur. Bu bağlamda trehalozun kuraklık ile fotosentez strüktür yapılarının zarar görmesine engel olduğu görülmektedir.

Stomalar gaz alışverişini yani CO₂ alımı ve O₂ salımını sağlayan ve bitkilerin yapraklarında bulunur. Bitkilerin fotosentezini etkileyen ve su kaybını etkileyen küçük gözeneklerdir. Stres altında olan bitkiler su kaybını engellemek için stomalarını kapatarak transpirasyonu kontrol eder. Yapılan çalışmada, trehaloz uygulamasının stomal

açıklığı destekleyici bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Gevaş genotipinde hem kontrol trehaloz hem de % 50 trehaloz uygulamalarında stomaların daha açık olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, trehalozun osmotik dengeyi düzenleyerek stoma hareketlerini dengelediğini ve kuraklık koşullarında bile gaz alışverişinin sürdürülebilmesini sağladığını göstermektedir. Dolayısıyla trehaloz, stomal kapanmayı geciktirerek kuraklık toleransına katkıda bulunmuş olabilir. Trehaloz ayrıca yapraklar üzerinde film oluşturarak stoma davranışını etkileyebilir ve terleme yoluyla gereksiz su kaybını azaltarak fotosentez verimliliğini artırabilir. Trehaloz, terleme oranlarını ayarlayarak su kullanım verimliliğini artırarak stoma düzenlenmesini etkileyebilir. Dahası, Tre veya T6P, gen ekspresyonu ve sinyal ağlarında kilit bir rol oynayarak strese duyarlı genlerin ekspresyonunu ve diğer sinyal yolları ve düzenleyici moleküllerle etkileşimini etkiler. Tre'nin çeşitli fitohormonlar ve diğer sinyal molekülleriyle etkileşime girdiği açık olsada, değişen çevre koşullarına yanıt olarak kullandığı mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bu çalışmada da trehaloz'un stomatal etkisi Absisik asit yolağının etkilenmesi ile gerçekleşmiş olabilir.

Trehalozun, kuraklık koşullarında bazı çeşitlerde morfolojik özellikleri koruma veya iyileştirme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Trehalozun dışsal (eksojen) uygulamasıyla kuraklık çalışmalarında bitki boyunu olumlu yönde etkilediğini bildirilmektedir (Shahbaz vd., 2016; Rohman vd., 2019; Kosar vd., 2021). Çalışmamızın bulguları, literatürde yer alan verilerle paralellik göstermektedir. Ayçiçek bitkilerine % 60 su kısıtlanması uygulanmış ve bitkilerin gövde yaş ağırlığında artış sağlanılmıştır (Kosar vd., 2021). Buğday bitkilerine 10 mM trehaloz tuz stresi uygulamasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda gövde yaş ağırlığında etkili bir şekilde stresi hafiflettiğini tespit etmişlerdir. Trehaloz uygulamasının bazı koşullarda gövde kuru ağırlığını olumlu etkilediği görülsede, bu etkinin uygulama dozuna ve bitki çeşidine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Mostofa vd. (2015), çeltikte yaptıkları çalışmada 10 mM trehaloz uygulamasının, 100 µM bakır stresine maruz kalan fidelerin stres toleransı kontrole göre kıyaslama yapıldığında gövde kuru ağırlığını hafiflettiği görülmüştür. Kuraklık stresin yanı sıra tuzluluk stresi ile ilgili yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında trehalozun stres etkisini hafiflettiği rapor edilmiştir (Zia vd., 2021; İslam vd., 2023). Rehman vd. (2022) tarafından maş fasulyesinde trehalozun kadmiyum stresi uygulamalarında kök yaş ağırlığını hafiflettiğini kontrol ile kıyaslamasında kök yaş

ağırlığını arttığı bildirilmiştir. Trehaloz kuraklık stresinin çemen otu bitkisindeki uygulamada kök yaş ağırlığını artırdığını ve stres gruplarında azalttığı belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında trehaloz bitki biyokütlesini artırmada etkili olduğu bitkinin genel büyümesinde katkı sağladığı düşünülmektedir. Fakat çalışma sonuçları doğrultusunda trehaloz uygulaması fasulye bitkilerinde gelişime katkı sağladığını söyleyebilsekte kuraklık stresi altında daha net anlaşılabilmesi için detaylı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Trehaloz etkisi pektin ile ilişkilidir. Fenolik bileşikler ve pektin arasındaki etkileşimlere ilişkin model sistemlerin incelenmesi, etkileşimlerin karbonhidratın oksijen atomu ile fenolik hidroksil grubu arasındaki kooperatif hidrojen bağlarıyla meydana geldiğini göstermiştir (Eh vd., 2024). Hidrojen bağının yanı sıra, hidrofobik etkileşim de meydana gelebilir (Fernandez vd., 2010). Olefinik çift bağa benzer şekilde doymamış bağlara sahip bileşiklerin sulu çözeltilerde trehaloza bağlanabildiği, ancak diğer disakkaritlerle bağlanamadığı gözlemlenmiştir ve bu trehalozun benzersiz yapısıyla açıklanabilir (Kaur vd., 2024). Çalışmamızda da trehaloz uygulaması fenolik madde miktarında artışlara neden olmuştur. Bu durum trehalozun fenolik yolağındaki bileşikler ile etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

WRKY genleri bitkilerde gen ekspresyonun düzenleyen ve transkripsiyon faktörü olarak görev yapan bir gen ailesidir. Bitkiler çevresel uyaranlara göre verdiği yanıtta anahtar düzenleyici olarak rol oynamaktadır. Bu genler biyotik ve abiyotik streslere karşı aktif hale gelerek bitkilerin stres koşullarında nasıl tepki verdiğini anlamaya yardımcı eder. Savunma genlerin aktivasyonunda ya da baskılanmasını sağlamaktadır. Wu vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada *PvWRKY* genlerinin kuraklık stresine karşı yukarı regüle olduğunu ve bu sayede bitkinin su kaybını minimize ederek stres koşullarında adaptasyonunu ve dayanıklılığını artırdığını göstermişlerdir. Yapılan çalışmada WRKY75 gen ifadesinde Gina+kontrol+trehaloz uygulamasında yukarı yönde bir artış sağlanılmıştır. Trehaloz aktif olarak kuraklık stresinde etkin bir koruma sağlandığını düşünüyoruz.

TPS genleri bitkilerde trehalozun biyosentezinde sorumlu enzim ailesidir. TPS genleri tarafından sentezlenen enzimler trehaloz sentez yolunda anahtar basamak olarak rol almaktadır. Bu genler doğrudan trehaloz sentezini başlatır. Bitkilerde trehaloz hücre yapısını korur ve osmotik dengeyi düzenler. Acosta-Perez vd. (2020) yaptıkları

çalışmada, *TPS* genlerinin kuraklık stresine karşı erken yanıt göstererek stres toleransını artırdığını, dayanıklı bitki hatlarında bu genlerin daha hızlı aktive olduğunu ve bitkinin stres koşullarında daha dirençli hale geldiğini tespit etmişlerdir. Genel olarak *TPS* gen ailesi, bitkilerde erken transkripsiyonel yanıt oluşturmakta ve bu sayede bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırmaktadır. *TPS9* geninin çalışmamızdaki ifadesi de bu literatür bilgilerini destekler nitelikte olup, trehaloz uygulamasıyla birlikte kuraklık stresine karşı koruyucu bir rol üstlendiğini göstermektedir. *TPS* (Trehaloz-6-fosfat sentaz) geni, trehaloz biyosentez yolunun temel genlerinden biridir ve bitki metabolizmasının düzenlenmesinde kritik görevler üstlenir. *TPS* genleri, yalnızca trehaloz üretiminde değil, aynı zamanda bitkilerde karbon metabolizması, enerji homeostazı ve stres sinyalleme yollarının düzenlenmesinde önemli bir sinyal molekülü olarak görev yapar. Özellikle kuraklık stresi gibi abiyotik stres koşullarında, *TPS* genlerinin ifadesi artmakta ve bu durum bitkinin stres toleransını artırmada kritik rol oynamaktadır. Çalışmamızda özellikle Gevaş % 50 trehaloz uygulanmasında bir artış meydana gelmiştir.

ERF genleri bitkilerde sinyal yollarında görev yapan AP2/ERF transkripsiyon faktör ailesinde yer almaktadır. Stres genlerin ekspresyonunu düzenler. Bu genin ekspresyonu stres sinyalinin algılayıp antioksidan savunma genlerini ve osmotik düzenleyicileri aktive edebilir. Çalışmamızda Gina kontrol trehaloz, Gina % 30 trehaloz uygulaması ve Gevaş % 30 trehaloz uygulaması, *ERF35* gen ifadesinde anlamlı artış sağlanmıştır. Kavas vd. (2020), tütün ve fasulye bitkilerinde yürüttükleri çalışmada, tuz stresi uygulaması sonrası *PvERF35* geninin kontrol gruplarına kıyasla artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Sonuç

Bu tez çalışmasında, kuraklık stresine karşı trehaloz uygulamasının yerel Gevaş fasulye genotipi ve Gina fasulye çeşidi üzerindeki fizyolojik ve muhtemel moleküler etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda trehaloz dışsal (eksojen) uygulanmasının bitki büyüme parametrelerinde ve klorofil pigmentlerinde kuraklık stresine karşı anlamlı olarak artış sağladığı gösterilmiştir. Trehaloz uygulamasının her iki fasulye çeşidinde de kuraklık stresine karşı toleransı artırıcı bir etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle Gevaş fasulyesinde, trehalozun stres koşullarında daha dengeli bir fizyolojik yanıt oluşturduğu gözlenmiştir. Trehaloz ile uygulama yapılan bitkilerin strese karşı yukarı regülasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Gevaş fasulyesinin doğal stres yanıt mekanizmasıyla trehalozun bir etki gösterdiğini düşündürmektedir. Çalışmanın bulguları, hem trehalozun kuraklık stresine karşı daha etkili bir stres azaltıcı olduğunu hem de Gevaş fasulyesinin kuraklık koşullarındaki savunma mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağladığını göstermektedir. Bu kapsamda, trehalozun tarımsal uygulamalarda biyokoruyucu bir ajan olarak kullanımı ve Gevaş genotipin kuraklığa dayanıklı bir genetik kaynak olarak değerlendirilmesi ve tarımsal verimlilik açısından yükseltmeyi amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acosta-Pérez, P., Camacho-Zamora, B. D., Espinoza-Sánchez, E. A., Gutiérrez Soto, G., Zavala-García, F., Abraham-Juárez, M. J., Sinagawa-García, S. R. (2020). Characterization of trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase genes and analysis of its differential expression in maize (*Zea mays*) seedlings under drought stress. *Plants*, 9(3), 315.
- Anik, T. R., Chu, H. D., Ahmed, M. S., Ha, C. V, Gangurde, S. S., Khan, M. A. R., Le, T. D., Le, T. D., Abdelrahman, M., Tran, L. P. (2024). Genome-wide characterization of the *glutathione S-transferase* gene family in *Phaseolus vulgaris* reveals insight into the roles of their members in responses to multiple abiotic stresses. *Plant Stress*, 12,100489.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Polyphenoloxidase in Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Bao, M., Xi, Y., Wang, R., Ma, Y., Bai, M., Wei, G., Xu, Y., Wang, J., Feng, L. (2024). Trehalose signaling regulates metabolites associated with the quality of rose flowers under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 224(8), 105813.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Choudhary, A., Nepovimova, E., Rajput, V. D., Malik, T., Choudhary, M., Bhardwaj, N., Peter, L., Puri, S., Kimta, N. (2025). Mechanistic understanding of GABA and trehalose in modulating plant response to drought stress, *Plant Stress*, 16, 100838.
- Dalar, A., Türker, M., Konczak, I. (2012). Antioxidant capacity and phenolic constituents of *Malva neglecta* Wallr. and *Plantago lanceolata* L. from Eastern Anatolia Region of Turkey. *Journal of Herbal Medicine*, 2(2), 42-51.
- Drennan, P. M., Smith, M. T., Goldsworthy, D., Van-Staden, J. (1993). The occurrence of trehalose in the leaves of the desiccation-tolerant angiosperm *Myrothamnus Flabellifolius* Welw. *Journal Plant Physiology*, 142, 493–496.
- Eh, T., Jiang, Y., Jiang, M., Li, J., Lei, P., Ji, X., Kim, H., Zhao, X., Meng, F. (2024). The role of trehalose metabolism in plant stress tolerance. *Journal of Advanced Research*, 10, 10-16.
- Fernandez, O., Béthencourt, L., Quero, A., Sangwan, R. S., Clément, C. (2010) Trehalose and plant stress responses: friend or foe? *Trends Plant Science*, 15, 409–417.
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47(1), 39-50.
- Gu, H., Yang, Y., Xing, M., Yue, C., Wei, F., Zhang, Y., Zhao, W., Huang, J. (2019). Physiological and transcriptome analyses of *Opisthopappus taihangensis* in response to drought stress. *Cell Bioscience*, 9, 1–12.
- Hamad, D. R. (2024). Effect of trehalose treatment on growth, hydrogen peroxide, and antioxidant enzymes of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under drought stress. *Global Libyan Journal*, 2518, 5845.
- Hassan, M. U., Nawaz, M., Shah, A. N., Raza, A., Barbanti, L. (2022). Trehalose: A key player in plant growth regulation and tolerance to abiotic stresses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 6-4957.

- Islam, S., Mohammad, F., Siddiqui, M. H., Kalaji, H. M. (2023). Salicylic acid and trehalose attenuate salt toxicity in *Brassica juncea* L. by activating the stress defense mechanism. *Environment Pollution*, 1, 326, 121467.
- Islam, S., Firoz, M., Nasir, K., Francisco, J. C. (2025). Trehalose mitigates sodium chloride toxicity by improving ion homeostasis, membrane stability, and antioxidant defense system in Indian mustard. *Plant Stress*, 15, 100-743, ISSN 2667.
- Iturriaga, G., Suárez, R., Nova-Franco, B. (2009). Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling. *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 3793–3810.
- Luo, Y., Xie, Y., Li, W., Wei, M., Dai, T., Li, Z., Wang, B. (2021). Physiological and transcriptomic analyses reveal exogenous trehalose is involved in the responses of wheat roots to high temperature stress. *Plants*, 10, 2644.
- Martínez-Aguilar, K., Ramírez-Carrasco, G., Hernández-Chávez, J. L., Barraza, A., Alvarez-Venegas, R. (2016). Use of baba and ina as activators of a primed state in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Mohan, A., Kodigudla, A., Raman, D. R., Bakka, K., Challabathula, D. (2023). Trehalose accumulation enhances drought tolerance by modulating photosynthesis and ROS-antioxidant balance in drought sensitive and tolerant rice cultivars. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 29(12), 2035-2049.
- Jones, C., De Vega, J., Worthington, M., Thomas, A., Gasior, D., Harper, J., Doonan, J., Fu, Y., Bosch, M., Corke, F. (2021). A comparison of differential gene expression in response to the onset of water stress between three hybrid brachiaria genotypes. *Frontiers Plant Science*, 12, 393.
- Kang, Z., Babar, M. A., Khan, N., Guo, J., Khan, J., Islam, S., Shrestha, S., Shahi, D. (2019). Comparative metabolomic profiling in the roots and leaves in contrasting genotypes reveals complex mechanisms involved in post-anthesis drought tolerance in wheat. *PLoS ONE*, 14, e0213502.
- Kaur, A., Thind, S. K. (2023). Cytokinins along with osmoprotectant trehalose overcome the deleterious effect of drought stress on wheat. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, (10), 3770-81.
- Kaur, A., Singh, S., Sharma, S. C. (2024). Unlocking Trehalose's versatility: A comprehensive Journey from biosynthesis to therapeutic applications, *Experimental Cell Research*, 442(2), 114250,
- Kaur, A., Thind, S. K. (2020). Photosynthetic attributes and biological yield of wheat genotypes as influenced by exogenous trehalose and cytokinins under field drought stress. *Agricultural Research Journal*, 57(3), 2395-1435.
- Kavas, M., Gokdemir, G., Secgin, Z., Bakhsh, A. (2020). Ectopic expression of common bean ERFtranscription factor PvERF35 promotes salt stress tolerance in tobacco. *Plant Biology*, 1435-8603.
- Kosar, F., Akram, N. A., Ashraf, M., Ahmad, A., Alyemeni, M. N., Ahmad, P. (2021). Impact of exogenously applied trehalose on leaf biochemistry, achene yield and oil composition of sunflower under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 317-333.
- Li, C., Lu, X., Liu, Y., Xu, J., Yu, W. (2023) Trehalose alleviates the inhibition of adventitious root formation caused by drought stress in cucumber through

- regulating ROS metabolism and activating trehalose and plant hormone biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 205, 108159.
- Li, X., Pei, S., Zhang, Y., Jin, C., Guan, C. (2020). A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity, and stress-responsive genes expression. *Environmental and Experimental Botany*, 174, 104023.
- Liu, X., Chai, J., Zhang, Y., Zhang, C., Lei, Y., Li, Q., Yao, T. (2022). Halotolerant rhizobacteria mitigate the effects of salinity stress on maize growth by secreting exopolysaccharides. *Environmental and Experimental Botany*, 204, 105098.
- Livak, K. J., Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(T) (-Delta Delta C) method. *Methods*, 25(4), 402–408.
- Min, X., Lin, X., Ndayambaza, B., Wang, Y., Liu, W. (2020). Coordinated mechanisms of leaves and roots in response to drought stress underlying full-length transcriptome profiling in *Vicia sativa* L. *Plant Biology*, 20, 1–21.
- Mostofa, M. G., Hossain, M. A., Fujita, M., Tran, L. S. (2015). Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice. *Scientific Reports*. 15(5), 11433.
- Nemli, S., Kutlu, B., Tanyolac, B. (2015). Determination of the population structure of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) accessions using lipoxygenase and resistance gene analog markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 59, 107-115.
- Raza, A., Bhardwaj, S., Rahman, M. A., García-Caparrós, P., Habib, M., Saeed, F., Charagh, S., Foyer, C. H., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K. (2024). Trehalose: A sugar molecule involved in temperature stress management in plants, *The Crop Journal*, 12(1) 1-16.
- Razzaq, M., Akram, N. A., Chen, Y., Samdani, M. S., Ahmad, P. (2024). Alleviation of chromium toxicity by trehalose supplementation in *Zea mays* through regulating plant biochemistry and metal uptake. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(2), 105505.
- Rehman, S., Chattha, M. U., Khan, I., Mahmood, A., Hassan, M. U., Al-Huqail, A. A., Salem, M. Z. M., Ali, H. M., Hano, C., El-Esawi, M. A. (2022). Exogenously applied trehalose augments cadmium stress tolerance and yield of mung bean (*vigna radiata* l.) grown in soil and hydroponic systems through reducing cd uptake and enhancing photosynthetic efficiency and antioxidant defense systems. *Plants*, 11(6), 822.
- Rohman, M. M., Islam, M. R., Monsur, M. B., Amiruzzaman, M., Fujita, M., Hasanuzzaman, M. (2019). Trehalose protects maize plants from salt stress and phosphorus deficiency. *Plants*, 8(12), 568.
- Sadak, M. S., Taha, M. H. (2019). Physiological role of trehalose on growth, some biochemical aspects and yield of two flax varieties grown under drought stress. *Plant Archives*, 19, 2, 215-225.
- Salgado, O. G. G., Teodoro, J. C., Alvarenga, J. P., Oliveira, C., Carvalho, T. S., Domiciano, D., Marchiori, P. E. R., Guilherme, L. R. G. (2020). Cerium alleviates drought-induced stress in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Rare Earths*, 38, 324-331.

- Shahbaz, M., Abid, A., Masood, A., Waraich, E. A. (2016). Foliar-applied trehalose modulates growth, mineral nutrition, photosynthetic ability, and oxidative defense system of rice (*Oryza sativa* L.) under saline stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40, 584–599.
- Subramani, M., Urrea, C. A., Habib, R., Bhide, K., Thimmapuram, J., Kalavacharla, V. (2023). Comparative transcriptome analysis of tolerant and sensitive genotypes of common bean (*phaseolus vulgaris* l.) in response to terminal drought stress. *Plants*, 12, 210.
- Sun, Y., Xie, X., Jiang, C. J. (2024). Antioxidant agriculture for stress-resilient crop production: Field practice. *Antioxidants (Basel)*, 13.
- Wang, Y., Chen, X., Li, X. (2022). Exogenous application of 5-aminolevulinic acid alleviated damage to wheat chloro plast ultrastructure under drought stress by transcriptionally regulating genes correlated with photosynthesis and chlorophyll biosynthesis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44, 1–12.
- Weatherley, P. E. (1950). Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurements of water deficits in leaves. *New Phytologist* 49, 81.
- Wu, J., Chen, J., Wang, L., Wang, S. (2017). Genome-wide investigation of wrky transcription factors involved in terminal drought stress response in commonbean. *Frontiers in Plant Science*, 8, 380.
- Yakar, S., Tuna, A. L. (2023). Bazı yaygın insektisitlerin domates (*l. esculentum* mill.) bitkisinde lipid peroksidasyon ve antioksidatif sistem üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 38(1), 81-98.
- Yang, Y., Yao, Y., Li, J., Zhang, J., Zhang, X., Hu, L., Ding, D., Bakpa, E. P., Xie, J. (2022). Trehalose alleviated salt stress in tomato by regulating ros metabolism, photosynthesis, osmolyte synthesis, and trehalose metabolic pathways. *Frontier Plant Science*, 11(13), 772948.
- Yang, Z., Eticha, D., Albacete, A., Rao, I. M., Roitsch, T., Johannes, W. H. (2012). Physiological and molecular analysis of the interaction between aluminium toxicity and drought stress in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 3109–3125.
- Zafar, S., Khan, I. M., Ashraf, M. A., Zafar, M., Ahmad, M., Rasheed, R., Mehmood, A., Ahmad, K. S. (2024). Insights into trehalose mediated physiological and biochemical mechanisms in *Zea mays* L. under chromium stress. *Plant Biology*, 24.
- Zia, R., Nawaz, M. S., Siddique, M. J., Hakim, S., Imran, A. (2021). Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. *Microbiol Research*, 242, 126626.
- Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P. M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W., Hamed, K. B. (2021). Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. *Plants*, 10.
- Zhang, Y., Raza, A., Huang, H., Su, W., Luo, D., Zeng, L., Zou, X. (2022) Analysis of Lhcb gene family in rapeseed (*Brassica napus* L.) identifies a novel member “BnLhcb3. 4” modulating cold toler ance. *Environmental and Experimental Botanic*, 198, 104848.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Nazlı Özkurt

Eğitim Bilgileri

Lisans
Üniversite : Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Fakülte : Fen Edebiyat
Bölüm : Moleküler Biyoloji ve Genetik
Mezuniyet Yılı : 2019

Yüksek Lisans

Üniversite : Siirt Üniversitesi
Enstitü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Tarımsal Biyoteknoloji
Mezuniyet Yılı : 2022

Akademik Yayınlar

- Özkurt, N., Bektaş H., Bektaş Y. (2025). Enhancing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) resistance against bacterial canker disease (*Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*) via seed priming with β -aminobutyric acid (BABA). *Horticulture*, 11(6), 587.
- Özkurt, N., Bektaş, Y. (2022). Alleviation of salt stress with chitosan foliar application and its effects on growth and development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Turkish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 342- 351.
- Özkurt, N., Bektaş, Y. (2022). Comparative evaluation of salicylic acid (SA) and 2,4-dichloro 6-[(E)-[(3methoxyphenyl)imino]methyl} phenol (DPMP) on growth and salt stress tolerance in forage pea (*Pisum sativum* L. *arvense*). *Black Sea Journal of Agriculture*, 5(3), 329-335.
- Özkurt, N., Bektaş, Y. (2021). Chemical priming with β -aminobutyric acid (BABA) for seedling vigor in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1), 104-114.
- Ateş, M., Özkurt, N., Bektaş, Y. (2021). Comparative evaluation of two commercial propolis extracts as plant defense activator and antimicrobial agent against *pseudomonas syringae* pv. *tomato* (pst) strain DC3000. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 8(2), 213-219.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih 06/08/2025

Tez Başlığı: Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Yerel Gevaş Fasulyesinde Trehaloz Uygulamasının Fizyolojik ve Moleküler Etkilerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 57 (Elli yedi) sayfalık kısmına ilişkin, 31/07/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı %5 (Beştir) tir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Nazlı ÖZKURT

Öğrenci No: 22910001103

Anabilim Dalı: Moleküler Biyoloji ve Genetik

Programı: Moleküler Biyoloji ve Genetik

Statüsü: (X) Yüksek lisans () Doktora

DANIŞMAN
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

