



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**OSMOPRİMİNG UYGULAMASININ TEF (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)  
TOHUMLARININ DÜŞÜK SICAKLIK ŞARTLARINDAKİ ÇİMLENME  
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ**

**Nur TOPTAŞ**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. İskender TİRYAKİ**

**ÇANAKKALE – 2023**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ. ANABİLİM DALI

**OSMOPRİMİNG UYGULAMASININ TEF (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)  
TOHUMLARININ DÜŞÜK SICAKLIK ŞARTLARINDAKİ ÇİMLENME  
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ

Nur TOPTAŞ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İskender TİRYAKİ

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2022-3893

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



Nur TOPTAŞ tarafından Prof. Dr. İskender TİRYAKİ yönetiminde hazırlanan ve **20/06/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan **“Osmoprining Uygulamasının Tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) Tohumlarının Düşük Sıcaklık Şartlarındaki Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi”** başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

Prof. Dr. İskender TİRYAKİ

(Danışman)

Prof. Dr. Metin TUNA

Doç. Dr. Şemun TAYYAR

.....

.....

.....

Tez No : 10554757

Tez Savunma Tarihi : 20/06/2023

Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL  
Enstitü Müdürü

../../2023

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Nur TOPTAŞ

20/06/2023

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada konunun belirlenmesi, planlanması ve yürütülmesinde desteğini hiç esirgemeyen, her zaman yönlendirmeye açık olan ve mesleğime hazırlanmamı sağlayan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. İskender TİRYAKİ'ye,

Çalışmamı yürütme esnasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşıp her konuda destek veren bölümümüzün kıymetli hocası Dr.Öğr. Üyesi UĞUR SARI, doktora öğrencileri Enes Gökhan YILMAZ, Erman ÇAVUŞOĞLU, Selçuk ÇETİN ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Yusuf Can ALKAŞI, Deniz ALANTOR, Nazmiye Esin ARDICI, Sude MUTLU ve Nazan BEHÇAN'a,

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde maddi desteklerini esirgemeyen TABANLI, ÇAVDAR ve KARAKUŞ ailesine,

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, başta babam Ali TOPTAŞ olmak üzere sevgili aile üyelerime çok teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Nur TOPTAŞ

Çanakkale, Temmuz 2023

## ÖZET

### OSMOPRİMİNG UYGULAMASININ TEF (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) TOHUMLARININ DÜŞÜK SICAKLIK ŞARTLARINDAKİ ÇİMLENME PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Nur TOPTAŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Yeterlik Tezi

Danışman: Prof. Dr. İskender TİRYAKİ

20/06/2023, 63

Bu çalışma, osmopriming uygulamaları ile bazı bitki hormonlarının düşük sıcaklık şartlarındaki tef (*Eragrostis tef*) tohumlarının çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Tohumlar farklı konsantrasyonlardaki KNO<sub>3</sub>, gliserol, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, PEG ve NaNO<sub>3</sub> çözeltilerinde 1, 2 ya da 3 gün süreyle prime edilmişler ve devamında 10 ± 0,5 °C 'de aydınlık (280 µM m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) ya da karanlık şartlarda çimlendirme denemesine alınmıştır. Faktöriyel olarak tasarlanarak tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülen çimlendirme denemesinde çimlenme oranı (%), çimlenme hızı ve çimlenme homojenitesi parametreleri belirlenmiştir. Priming uygulanmayan tef tohumları aynı zamanda farklı konsantrasyonlardaki KAR<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, melatonin ve 24-epibrassinolid varlığında yukarıda belirtilen deneme deseni ve/fakat karanlık şartlarda çimlendirme denemesine alınmıştır. Veriler SAS paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklar en küçük önemli fark (LSD) kullanılarak %5 önem seviyesinde test edilmiştir. Çalışma sonuçları osmopriming uygulamalarının düşük sıcaklık stresinin çimlenme parametreleri üzerindeki etkisinin kullanılacak priming çözeltisi, priming süresi ve ışık varlığına bağlı olarak büyük oranda değiştiğini göstermiştir. Çalışma sonuçları aynı zamanda kullanılan hormonların karanlık ve düşük sıcaklık şartlarındaki çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerinin kullanılan hormon ve konsantrasyonuna bağlı olarak pozitif ya da negatif yönde etki edebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tef (*Eragrostis tef*), Soğuk Stresi, Çimlenme, Osmopriming KAR<sub>2</sub>, 24-epiBL

## ABSTRACT

### DETERMINATION The EFFECTS of OSMOPRIMING on GERMINATION PARAMETERS of TEF (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) SEEDS Under LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Nur TOPTAŞ

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Agricultural Biotechnology

Advisor: Prof. Dr. İskender TİRYAKİ

20/06/2023, 63

This study was conducted to reveal the effects of osmopriming and some plant hormones on germination parameters of tef (*Eragrostis tef*) seeds under low temperature conditions. Seeds were primed with various concentrations of KNO<sub>3</sub>, glycerol, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, PEG or NaNO<sub>3</sub> for 1, 2, or 3 days and were subsequently germinated at 10 ± 0.5 °C under light (280 µM m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) or dark conditions. Parameters including germination percentage, speed and homogeneity of germination were determined in a completely randomized block design with 4 replications after the treatments were adjusted as factorial. Unprimed seeds treated with various concentrations of KAR<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, melatonin or 24-epibrassinolide were also tested under same germination conditions given above under no light conditions. The data were subjected to variance analysis using the SAS package program. The differences between means were tested using the least significant difference (LSD) at a significance level of 5%. The results revealed that effects of osmopriming on germination parameters of seeds at low temperature stress conditions various based on priming solution, priming duration and the presence of light. The results also showed that the hormones used in the study might have negative or positive effects based on given hormone and its concentration on germination parameters under low temperature and dark germination conditions.

**Keywords:** Teff (*Eragrostis tef*), Cold Stress, Germination, Osmopriming, KAR<sub>2</sub>, 24-epiBL



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1

1.1. Tefin ( <i>Eragrostis tef</i> ) Bitkisel Özellikleri.....	2
1.1.1. Tefin Sınıflandırılması.....	2
1.2. Tef Bitkisinin Morfolojik Özellikleri.....	3
1.3. Tef Bitkisinin Besin Değeri ve Mineral Madde İçeriği.....	5
1.4. Tefin Yetiştirilme Koşulları.....	8
1.4.1. Türkiye’de Tef Yetiştiriciliği.....	9
1.5. Tef Bitkisinde Rastlanan Hastalık ve Zararlılar.....	9
1.5.1. Düşük Sıcaklık Stresi.....	10
1.6. Hormon Uygulamalarının Tohum Çimlenmesine Etkileri.....	11
1.7. Tohum Ön Çimlendirme Uygulamaları (Priming)’nın Etkileri.....	12

İKİNCİ BÖLÜM	14
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	20
MATERYAL ve YÖNTEM	

3.1. Materyal .....	20
3.2. Yöntem .....	20
3.2.1. Osmoprining Uygulamalarının Tef Tohumlarının Düşük Sıcaklık Şartlarındaki Çimlenme Performansı Üzerine Etkileri .....	20
Osmoprining Uygulaması .....	20
Çimlendirme Denemesi.....	23
Çimlenme Denemesinde Ölçülen Parametreler.....	24
3.2.2. Farklı Bitki Hormonlarının Çimlenme Evresindeki Tohumlarda Düşük Sıcaklık Stresinin Giderilmesi Üzerine Etkileri.....	25
3.2.3. Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi.....	26

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	27
ARAŞTIRMA BULGULARI	

4.1. Osmoprining Uygulamasının Aydınlık ve Karanlık Şartlarda Çimlendirilen Tohumların Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri.....	27
4.1.1. Osmoprining Uygulamasının Aydınlık Şartlardaki Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri.....	27
Aydınlık Şartların Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi.....	27
Aydınlık Şartların Çimlenme Hızı (Çim <sub>50</sub> ) Üzerine Olan Etkisi.....	29
Aydınlık Şartların Çimlenme Homojenitesi (Çim <sub>10-90</sub> ) Üzerine Etkisi..	31
4.1.2. Osmoprining Uygulamasının Karanlık Şartlardaki Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri.....	33

	Karanlık Şartların Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi.....	33
	Karanlık Şartların Çimlenme Hızı (Çim <sub>50</sub> ) Üzerine Olan Etkisi.....	35
	Karanlık Şartların Çimlenme Homojenitesi (Çim <sub>10-90</sub> ) Üzerine Etkisi..	37
4.1.3.	Osmoprining Uygulanan Tohumların Çimlendirme Ortamındaki Işık Faktörünün Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkisi .....	39
	Işık Faktörünün Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi.....	39
	Işık Faktörünün Çimlenme Hızı (Çim <sub>50</sub> ) Üzerine Olan Etkisi .....	41
	Işık Faktörünün Çimlenme Homojenitesi (Çim <sub>10-90</sub> ) Üzerine Etkisi.....	43
4.2.	Farklı Bitki Hormonlarının Düşük Sıcaklık ve Karanlık Şartlarındaki Tohum Çimlenme Performansı Üzerine Olan Etkileri.....	45
4.2.1.	Hormon Uygulamalarının Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi...	45
4.2.2.	Hormon Uygulamalarının Çimlenme Hızı (Çim <sub>50</sub> ) Üzerine Olan Etkisi.....	48
4.2.3.	Hormon Uygulamalarının Çimlenme Homojenitesi (Çim <sub>10-90</sub> ) Üzerine Olan Etkisi.....	50
	<b>BEŞİNCİ BÖLÜM</b>	
	<b>SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	52
	<b>KAYNAKÇA .....</b>	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$\mu\text{g}$	Mikrogram
g	Gram
M	Molar
$\mu\text{M}$	Mikromolar
mM	Milimolar
L	Litre
%	Yüzde oranı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$\text{NaNO}_3$	Sodyum nitrat
$\text{KNO}_3$	Potasyum nitrat
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	Potasyum dihidrojen fosfat
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Gliserol
PEG	Polietilen Glikol
KAR2	Karrikin 2
$\text{GA}_3$	Giberellik asit
24-epiBL	24-epibrassinolid
IAA	İndol-3-asetik asit

## TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Sorgum, buğday ve pirince kıyasla tef tanesinin ham protein ve amino asit bileşimi.	6
Tablo 2	Tef tohumlarının besin içeriği.	7
Tablo 3	Priming işlemleri sırasında kökçük çıkışı veren ve çimlenme denemesine priming alınmayan uygulamalar.	22
Tablo 4	Denemede kullanılan hormonlar ve konsantrasyonları.	25
Tablo 5	Osmoprining uygulanan tohumların aydınlık ortamdaki son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.	27
Tablo 6	Osmoprining uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.	29
Tablo 7	Osmoprining uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim <sub>10-90</sub> ) ait varyans analiz sonuçları.	31
Tablo 8	Osmoprining uygulanan tohumların karanlık şartlardaki son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.	33
Tablo 9	Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.	35
Tablo 10	Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim <sub>10-90</sub> ) ait varyans analiz sonuçları.	37
Tablo 11	Osmoprining uygulanan tohumların ışık faktörüne göre birlikte değerlendirildiğinde elde edilen son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.	39
Tablo 12	Osmoprining uygulanan tohumların ışık faktörüne göre birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.	41
Tablo 13	Osmoprining uygulanan tohumlarda ışık faktörü birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim <sub>10-90</sub> ) varyans analiz sonuçları.	43

<b>Tablo 14</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.	46
<b>Tablo 15</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.	48
<b>Tablo 16</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim <sub>10-90</sub> ) ait varyans analiz sonuçları.	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Salkım tipi değişkenliği gösteren <i>Erograstis tef</i> genotiplerine ait görsel	4
Şekil 2	Tohum kabuk renginin koyu kahverengiden beyaza kadar değişebildiğini gösteren farklı <i>tef</i> genotiplerine ait görsel.	4
Şekil 3	Araştırmada kullanılan <i>tef</i> genotipinin tohumlarına ait görsel.	20
Şekil 4	Kimyasal ilave edilen tohumlara ait genel görüntü.	21
Şekil 5	Priming işlemleri sırasında çimlenen tohumlara ait örnek görsel.	22
Şekil 6	Çalışmanın yapıldığı iklim dolabına ait genel görsel.	23
Şekil 7	Çimlenmiş olarak kabul edilen tohumlara ait görseller.	24
Şekil 8	Hormon uygulamalarında çimlenmiş olarak kabul edilen tohumlara ait örnek görsel.	26
Şekil 9	Osmopriming uygulanan tohumların aydınlık ortamdaki son çimlenme oranları (%).	28
Şekil 10	Osmopriming uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumlara ait çimlenme hızları (Çim <sub>50</sub> =gün).	30
Şekil 11	Osmopriming uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim <sub>10-90</sub> ).	32
Şekil 12	Osmopriming uygulanan tohumların karanlık şartlardaki son çimlenme oranları (%).	34
Şekil 13	Osmopriming uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim <sub>50</sub> =gün).	36
Şekil 14	Osmopriming uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim <sub>10-90</sub> ).	38
Şekil 15	Osmopriming uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde tohumlara ait son çimlenme oranları (%).	40
Şekil 16	Osmopriming uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim <sub>50</sub> =gün).	42
Şekil 17	Osmopriming uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim <sub>10-90</sub> ).	44

<b>Şekil 18</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme oranları (%).	47
<b>Şekil 19</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim <sub>50</sub> =gün).	49
<b>Şekil 20</b>	Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim <sub>10-90</sub> ).	51





## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Dünyada bilinen 50000'den fazla yenilebilir bitki vardır fakat küresel bitki kaynaklı gıdaların üçte ikisinde sadece 3 tahıl (mısır (*Zea mays*), buğday (*Triticum aestivum*) ve çeltik (*Oryza sativa*)) kullanılmaktadır (Cheng vd., 2017). Son yarım yüzyılda da bitkisel üretimdeki olağanüstü iyileştirmelere rağmen, buğday ve çeltik gibi başlıca tahıl ürünlerinin yıllık verim artış oranları yavaşlama eğilimi göstermektedir (Khoury vd., 2014; Waterworth vd., 2015). Ayrıca tahılların yetiştirilme koşulları göz önünde bulundurulduğunda, farklı bölgelerdeki verim kabiliyetleri farklılık göstermekte ve sonuç olarak aynı yoğunlukta yetiştiriciliği yapılmamaktadır. Bu yüzden farklı iklimlere sahip olan bölgelerde bahsedilen 3 tahıla alternatif olabilecek başka tahıl ürünleri de üretilmekte ve tüketilmektedir (Gürün, 2018). Bu bitkilerden biri de orijini Etiyopya olan (Vavilov, 1951) ve kökeni MÖ 4000 ila 1000'e kadar uzanan küçük bir tahıl olan tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) bitkisidir (Gürün, 2018; Ketema, 1997; Stallknecht vd., 1993). Tef diğer tahıllara kıyasla olumsuz çevre koşullarına (Assefa vd., 2015) ve depolama sırasında çeşitli zararlıların saldırılarına karşı daha toleranslıdır (Gebremariam vd., 2012).

*E. tef*, oldukça geniş bitki topluluğuna sahip *Eragrostis* cinsi içerisinde tanesi için yetiştiriciliği yapılan tek tür olarak bilinmesinin yanında, yem bitkisi (Assefa vd., 2015; Sari ve Tiryaki, 2018) ve konutlar için yapı malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Staniar vd., 2010). Tef yüksek oranda kendine tozlanan bir bitkidir (Ketema, 1993). Tohumları kavuzsuz (Kreitschitz vd., 2009) ve bin tane ağırlığı çoğunlukla 200-400 miligram olup en küçük tahıl boyu sahip olan bitkidir (Ketema, 1997; National Research Council (NRC), 1996). Allotetraploid ( $2n=4x=40$ ) kromozom yapısına sahip bir bitki olan ve C4 fotosentetik yolunu kullanan tef bitkisi günümüzde *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter olarak adlandırılmaktadır (Assefa vd., 2011; Miller, 2010). Tahmini genom boyutunun %87'sini kapsayan ilk genom taslağı da 2014 yılında yayınlanmıştır (Assefa vd., 2014). Tef diyet lifi, demir, kalsiyum ve protein açısından yüksek değerlere sahip olması nedeniyle insan beslenmesinde alternatif bitkisel bir üründür (Ketema, 1993). Unu injera (geleneksel dairesel, ince, fermente gözleme), kitta (mayasız ekmek), yulaf lapası, muk (bir çeşit çorba) ve talla (yerel bira) gibi gıda ürünlerinin yapımında kullanılır (Ebba, 1969). Tef bitkisinin

verimliliğinin düşük olmasına rağmen, Etiyopya'da yılda üç milyon hektardan fazla arazide, altı milyondan fazla küçük ölçekli çiftçi tarafından üretimi yapılmakta ve toplam tahıl alanının %30'undan fazlasını oluşturmaktadır (Assefa vd., 2015; Costanza vd., 1979).

### **1.1. Tefin (*Eragrostis tef*) Bitkisel Özellikleri**

Poaceae familyasından tek yıllık bir bitki olan tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter), tanesi için yetiştirilen bir bitki olmasının yanında yem bitkisi olarak kullanılma potansiyeli oldukça yüksektir (Sari ve Tiryaki, 2018). Gövde genellikle dikine gelişmekte fakat bitki zayıf bir gövde yapısına sahip olduğu için yatma durumu görülmektedir (Sari ve Tiryaki, 2018). Bazı çeşitlerinde de doğrudan yatık büyüme şekli gözlemlenebilmektedir (Assefa vd., 2011). Büyük oranda kendine tozlanan bitkinin tohumları oval şeklinde küçük, kavuzsuz ve çeşit ya da hatlara göre değişmekle birlikte gelişmiş mikroskoplarla görülebilen ağ şeklinde örülmüş liflerin meydana getirdiği düz tohum yüzeyine sahiptir (Ketema, 1993; Kreitschitz vd., 2009)

#### **1.1.1. Tefin Sınıflandırılması**

Poaceae familyası, Chloridoideae (Eragrostoideae) alt familyası, Eragrostidae takımı, Eragrostis cinsinin içinde olan tef bitkisinin yaklaşık 350 türü vardır ve bu türlerden tek ve çok yıllık olanlar mevcuttur (Assefa vd., 2015). Kültürü yapılan tef bitkisinin en çok kabul gören binom terminolojisi E. tef (Zucc.) Trotter'dır (Assefa vd., 2011). Toplam 14 yabani Eragrostis türü vardır ve genetik kanıtlardan elde edilen sonuçlara göre Eragrostis pilosa tefle yakından ilişkiliyken E. heteromera ve E. cilianensis daha uzaktan ilişkilidir (Ingram ve Doyle, 2003). Genetik kanıtlar da, E. pilosa'nın en olası yabani ata olduğuna işaret etmektedir (Ingram ve Doyle, 2003).

Sistemantik sınıflandırmada tef çeşitleri; tanelerin rengi, bitkinin habitusu, çiçek durumu ve başaktaki salkımlarının görünüşüne; ticari pazarlamada ise sadece tane renklerine (beyaz, kırmızı/kahve ve karışık) bakılarak sınıflandırılmaktadır (Ketema, 1997; National Research Council (NRC), 1996). *Eragrostis* cinsindeki türler genellikle diploidten ( $2x=2n=20$ ) hekzaploide ( $2x=6x=60$ ) kadar değişir (Assefa vd., 2011). Tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) iki farklı türün hibridizasyonu ve ardından diploidizasyondan oluşmuş allotetraploid, büyük oranda kendine döllen bir türdür ( $2n=4x=40$ ) (Assefa vd., 2017; Ketema, 1993).

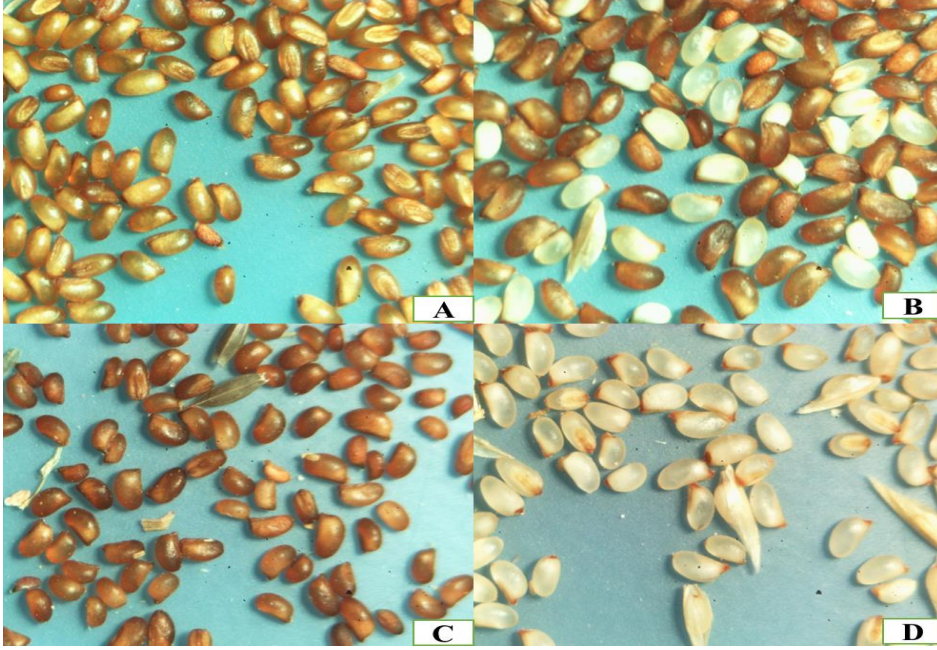
## 1.2. Tef Bitkisinin Morfolojik Özellikleri

Tef bitkisinin kök özellikleri çok çeşitlilik gösterebilmektedir. Kök sayısı 18,3-72,8 arasında değişebilmekle beraber (Ayele vd., 2001) ince yapılı ve liflidir (Ebba, 1969). Bitkinin salkım uçlarının büyümesi 25–81 gün, olgunlaşması 60–140 gün ve tane dolumu 29–75 gün sürmektedir (Assefa vd., 2017). Çok farklı salkım türleri sergileyen (Şekil 1) bitkinin başakçıklarında 2-12 arasında değişen çiçek sayısı bulunabilir (Miller, 2010; Woldeyohannes vd., 2020). Sıkı salkım yapısına sahip olan türler salkım başına yüksek tohum sayısına sahiptir ve genellikle daha uygun koşullar altında yetiştirilir (Woldeyohannes vd., 2020). Tef bitkisinin boyu, sapı (11–82 cm) ve salkımı (10–65 cm) dahil olmak üzere yaklaşık 20-155 cm arasında değişebilmektedir (Assefa vd., 2017).

Tef bitkisinin tohum kabuk rengi koyu kahverengiden beyaza (Şekil 2) kadar farklılık gösterebilmektedir (Woldeyohannes vd., 2020). Beyaz tohum kabuğuna sahip olan çeşitlerin genellikle daha yüksek piyasa değerine sahip olduğu bilinmektedir ve tohumla üretimi yapılan tef çeşitlerinin çoğunun beyaz renkli olduğu bildirilmiştir. Kahverengi tohum kabuk rengine sahip genotiplerin de alüminyum toksisitesine toleransı olduğu rapor edilmiştir (Abate vd., 2013). Tef bitkilerindeki yaprak boyutu bayrak yaprak alanı ( $2-26 \text{ cm}^2$ ), yaprak ayası uzunluğu (5-55 cm) ve bitkide ki toplam yapraklılık dahil olmak üzere büyük farklılıklar göstermektedir (Ebba, 1975; Ketema, 1993). *Eragrostis* cinsi genelinde, artan yaprak sayısı kuraklık toleransı ile ilişkilendirilmektedir (Balsamo vd., 2006).



Şekil 1. Salkım tipi değişkenliği gösteren *Erograstis tef* genotiplerine ait görsel (Woldeyohannes vd., 2020).



Şekil 2. Tohum kabuk renginin koyu kahverengiden beyza kadar değişebildiğini gösteren, Amerika Birleşik Devletleri Gen Bankası ve tohum firmasından (TR) temin edilen farklı tef genotipleri; A) Açık kahverengi tohum kabuk rengine sahip genotip (TR-Ticari) B) Karışık tohum kabuk rengine sahip genotip (ID No: PI 195938) C) Koyu kahverengi tohum kabuk rengine sahip genotip (ID No: PI 195935) D) Beyaz tohum kabuk rengine sahip genotip (ID No: PI 194926) (Orijinal, N. Toptas).

### 1.3. Tefin Besin Değeri ve Mineral Madde İçeriği

Yetiřtiricilik açısından dūřuk riskli bir tahıl olarak görülen tef bitkisi, hububat grubu içerisinde dünyanın en küçük tohumuna sahip olup, yavaş sindirilebilen nişasta yapısı ile kompleks karbonhidratlardan oluşmaktadır (Jansen vd., 1962; Sari ve Tiryaki, 2018). Dięer tahıllar ile kıyaslandığında benzer bir protein içeriğine sahip olan bitkinin en önemli özelliği gluten içermemesidir (Tablo 1) (FoodData Central Search Results, 2019). Dengelenmiř bir amino asit kompozisyonuna sahip olan tef bitkisi en sınırlayıcı amino asit olan lizin de dahil olmak üzere temel amino asitlerler (Jansen vd., 1962), yaę asitleri, lif, mineraller (zellikle kalsiyum ve demir), polifenoller ve fitatlar gibi fitokimyasal maddelerce zengin bir besin kaynağı olarak gösterilmektedir (Tablo 2). Tef bitkisi aynı zamanda hayvancılık açısından ülkemizde yaz aylarında ihtiyaç duyulan yeşil kaba yemin karşılanması açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir (Sari ve Tiryaki, 2018).

Tablo 1

Sorgum, buğday ve çeltiğe kıyasla tef tanesinin ham protein ve amino asit bileşimi (Barretto vd., 2021; Baye, 2014).

Besin Bileşimi	Tef	Buğday	Çeltik	Sorgum
Ham Protein (%)	11	11,7	7,3	8,3
<b>Amino Asit (g/16 g N)</b>				
Lizin	3,7	2,1	3,7	0,3
İzolösin	4,1	3,7	4,5	0,7
Lösin	8,5	7	8,2	2,1
Valin	5,5	4,1	6	0,8
Fenilalanin	5,7	4,9	5,5	0,9
Tirozin	3,8	2,3	5,2	0,7
Triptofan	1,3	1,1	1,2	0,2
Treonin	4,3	2,7	3,7	0,5
Histidin	3,2	2,1	2,3	0,4
Arginin	5,2	3,5	8,5	0,6
Metiyonin	4,1	1,5	2,7	0,3
Sistin	2,5	2,4	1,8	0,3
Asparagin	6,4	5,1	9	-
Serin	4,1	5	5	0,8
Glutamin + Glutamik Asit	21,8	29,5	17	-
Prolin	8,2	10,2	5	1,3
Glisin	3,1	4	4,5	0,5
Alanin	10,1	3,6	5,5	1,6

Tablo 2

Tef tohumlarının besin içeriği. Verilen değerler 100 g tohum üzerinden hesaplanan değerlerdir (FoodData Central Search Results, 2019).

Besin	Birim*	100 g Başına Değer
Su	g	8,82 g
Enerji	kcal	367 kcal
Protein	g	13,3
Toplam Lipit (Yağ)	g	2,38
Karbonhidrat	g	73.13
Lif, toplam diyet	g	8
Şekerler, Toplam	g	1,84
<b>Mineraller</b>		
Kalsiyum, Ca	mg	180
Demir, Fe	mg	7,63
Magnezyum, Mg	mg	184
Fosfor, P	mg	429
Potasyum, K	mg	427
Sodyum, Na	mg	12
Çinko, Zn	mg	3,63
<b>Vitaminler</b>		
Tiamin	mg	0.39
Riboflavin	mg	0.27
Niasin	mg	3.363
Vitamin B-6	mg	0.482
Vitamin A, IU	IU	9
Vitamin E (a-tocopherol)	mg	0.08
Vitamin K (Filokinon)	µg	1,9
<b>Lipitler</b>		
Yağ asitleri, toplam doymuş	g	0.449
Yağ asitleri, toplam tekli doymamış	g	0.589
Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış	g	1.071

\* Birim kısaltmaları sırası ile;

g: Gram, kcal: 1000 cal, mg: Miligram, IU: Uluslararası Birim, µg: Mikrogram

#### 1.4. Tefin Yetiştirilme Koşulları

Tef, tropik ve yarı tropik iklim bölgelerinde rahatlıkla yetiştirilebilen bir tahıldır. Etiyopya’da tef tohumları genellikle Temmuz ve Ağustos ayları arasındaki ana yağışlı yaz mevsiminde iyi sürülmüş bir toprağa serpilir ve üstleri az miktardaki toprakla örtülür (Assefa vd., 2011). Tohum oranının azaltıldığı ve fideler arasında daha fazla boşluk bırakıldığı sıra dikimleri, fideler arasındaki rekabeti azalttığı ve yabancı otları temizlemeye olanak verdiği için serpmeye göre daha iyi verim alındığı belirlenmiştir (Fufa vd., 2011).

Tefin, ağır bünyeli killi, yüksek rakımlı Etiyopya topraklarına iyi uyum sağladığı bildirilmiştir. Fakat, günümüzde marjinal toprak koşullarında da yetiştiriciliği yapılmaktadır (Sari ve Tiryaki, 2018). Tef bitkisi deniz seviyesinden 2800 m yüksekliğe kadar yetiştirilebilmektedir (Ketema, 1997). Yıllık 750-800 mm, vejetasyon döneminde 450-550 mm yağış alan, 10-27 °C arasındaki sıcaklık düzenine sahip bölgelerde en iyi gelişimi göstermektedir. Büyüme periyodunun uzunluğu 80 ila 130 gün arasında değişmektedir (Deckers vd., 2001).

Tef bitkisi genel olarak kuraklığa ve su basmalarına karşı toleranttır. Tohumların küçük olduğu da göz önünde bulundurularak; toprağın yapısına, yabancı ot durumuna ve drenaj sorunlarına göre 2-5 kez sürülerek iyi bir tohum yatağı hazırlığı gerektirmektedir (Sari ve Tiryaki, 2018).

Drenaj sorunu olan yerlerde tohum ekimi el veya makine ile yapılabilir. Ekim yapılırken toprak-tohum etkileşimini artıracak baskılama işleminin yapılmasıyla iyi bir tohum çimlenmesi ve iyi bitki örtüsünün oluşmasında önemlidir. Homojen tohum dağılımını elle ekim yapıldığında sağlamak daha zor olduğundan 5,5 kg/da tohum yeterlidir. Makinalı ekimde bu oran 1,5 kg/da’ a kadar düşebilmektedir (Sari ve Tiryaki, 2018).



#### 1.4.1. Türkiye’de Tef Yetiştiriciliği

Tef bitkisinin Türkiye’de kullanımını son yıllarda artma eğilimi göstererek, sağlıklı beslenme tarzında ilgi konusu haline gelmiştir. Tahıl olmasının yanında besin değeri yüksek olduğundan, hayvanlar için yem amaçlı yetiştiriciliği yapılmaya başlanmıştır. Ancak ülkemizde tef ile ilgili çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Yapılacak bilimsel çalışmalar bitkinin daha çok tanınmasına ve öneminin artmasıyla beraber daha çok yetiştiriciliğinin yapılmasına neden olacaktır (Özköse vd., 2022).

#### 1.5. Tef Bitkisinde Rastlanan Hastalık ve Zararlılar

Tef bitkisi diğer tahıllarla kıyaslandığında bitki hastalıklarına karşı kısmen toleranslı olarak kabul edilmektedir (Cheverton ve Chapman, 1989; Stallknecht vd., 1993). Tefte en önemli verim kayıplarına neden olan pas (*Uromyces eragrostidis*) hastalığı ve salkım yanıklığıdır (*Helminthosporium miyakei* Nisikado) (Cheverton ve Chapman, 1989; Stewart ve Yiroou, 1967; Tareke, 1981). Yüksek seviyede nemli olan bölgelerde bu hastalıkların daha da büyük zararlara neden olabileceği bildirilmiştir (Cheverton ve Chapman, 1989; Stewart ve Yiroou, 1967; Tareke, 1981). Fide çökerten hastalığı da (*Drechslera poae* Baudis) bitki yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda ve ekimin geç yapıldığı dönemde önemli verim kayıplarına neden olabilmektedir (Ketema, 1997).

Tef üretimini etkileyen farklı böcek türleri de bulunmaktadır. Bunlar sürgün sineği, tef çekirgesi ve karıncadır (Tesfaw vd., 2021). Bu böcekler, tef fidesinin erken döneminde yaygınlık göstermektedir. Çiftçiler, tef bitkilerinin erken evrelerinde böceklerden kaynaklanan verim kaybını önlemek için tavsiye edilen seviyenin üzerinde tohum oranları kullanırlar (Tesfaw vd., 2021). Bunlar dışında kırmızı tef kurdu (*Mentaxya ignicollis*) larva ve erginlerinin, bitkinin yaprak ve erken olum dönemindeki tanelere çok önemli zararlar verdiği tespit edilmiştir (Gebremedhin, 1987). Bu zararlıya karşı uygun zamanda yapılacak tek seferlik ilaçlamanın büyük verim kayıplarını ortadan kaldıracığı bildirilmiştir (Sari ve Tiryaki, 2018).

### 1.5.1. Düşük Sıcaklık Stresi

Stres; bitkinin metabolizmasını, gelişimini veya üremesini, genotipin potansiyelinin altına düşüren herhangi bir unsur olarak tanımlanabilir (Lichtenthaler, 1998; Mahmood, 2002). Düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel stresler bitkilerde büyümeyi ve üretkenliği olumsuz yönde etkileyerek, membran akışkanlığı, enzim aktiviteleri ve metabolizma homeostazının değişimleri dahil olmak üzere bitki yaşamını kesintiye uğratan morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişiklikleri tetiklemektedir (Ahmad ve Prasad, 2011; Bajwa vd., 2014; Hu vd., 2016).

Düşük sıcaklık stresinin etkisi, bitkinin strese karşı toleranslı olmasına bağlıdır. Tropikal veya subtropikal bölgelerde yetiştiriciliği yapılan bitkiler düşük sıcaklığa karşı çok hassas olup 15 °C'nin altındaki sıcaklıklarda zarar görebilirken (Steenbergen ve Tuinhof, 2009), ılıman bölgelerde yetiştirilen bitkilerde ise soğuğa alışma süreçleriyle beraber -30 °C'de dahi hayatta kalma yeteneğine sahip olabilmektedirler (Solanke ve Sharma, 2008).

Düşük sıcaklık stresine hassas olan bitkilerde stresin etkisi bitkinin strese maruz kaldığı gelişim dönemine, stresin şiddet ve süresine, strese maruz kalan bitkinin genotipine bağlı olarak değişmekle beraber en büyük olumsuz etkisi hücre zarlarında hasara neden olmasıdır (Turan ve Ekmekçi, 2008). Stresin etkisiyle membranlarda akışkanlık azalır ve buna bağlı olarak, bitkide su alma ile terleme arasındaki denge bozulur. Bunun sonucunda da sürgünlerde dehidrasyon meydana gelir ve stomaların açılıp kapanma mekanizmasının etkilenmesiyle beraber fotosentez hızı önemli ölçüde düşer (Allen ve Ort, 2001; Ding vd., 2017; Foyer vd., 2002). Ayrıca mitokondri ve kloroplast gibi organeller içindeki elektron taşıma sistemindeki bozulmalar nedeniyle reaktif oksijen türlerinin (ROS) fazla miktarlarda üretimine sebep olur (Cheng ve Song, 2006). Gerektiğinden yüksek miktarlarda üretilen ROS sonucunda da, membranlarda lipid peroksidasyonu, DNA zincirlerinde kırılma ve çeşitli enzimlerin inaktivasyonu gibi hasarlar meydana gelir (Cheng ve Song, 2006).

Tanesi için yetiştiriciliği yapılan ve sıcak iklim tahılı olan tef bitkisinin çimlenme aşamasında düşük sıcaklık stresine maruz kalması, çimlenme homojenitesi ve çimlenme gücünü azaltmaktadır (Evert vd., 2009). Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak veya etkileri en aza indirmek için, çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden etkin olarak kullanılan tohumlara hormon uygulamaları (Peleg ve Blumwald, 2011) ve tohum ön çimlendirme (priming) uygulamalarıdır (Jisha vd., 2013; Karakurt vd., 2010). Stres etkisinin giderilmesi için yapılan çalışmalara göre farklı stres çeşitlerine karşı bitki tepkileriyle ilişkili çok sayıda hormon ve sinyal molekülü tanımlanmıştır (Heidari vd., 2021). Ayrıca priming uygulamalarının bitkilere stres toleransı kazandırmada etkili bir yöntem olduğu, düşük toprak sıcaklıklarında çimlenme ve çıkış oranlarının arttığı, erken ve homojen fide çıkışı sağlandığı bildirilmiştir (Jisha vd., 2013; Karakurt vd., 2010).

#### **1.6. Hormon Uygulamalarının Tohum Çimlenmesine Etkileri**

Tohum ile üretimi yapılan bitkilerde başarılı bir çimlenme önem teşkil etmektedir. Başarılı bir çimlenmenin ardından iyi bir fide oluşumu hem ekonomik hem de ekolojik öneme sahip bitki türlerinin çoğalmasında belirleyici özelliklerden birisidir (Rajjou vd., 2012; Vishal ve Kumar, 2018). Abiyotik stresler, insanlığın beslenme ve diğer ihtiyaçlarını karşılayan en önemli tek çenekli bitki grubu olan tahılların büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir (Dolferus vd., 2011). Önemli verim kayıplarına neden olan bu streslere karşı bitkilerin tolerans geliştirmeleri bir dizi biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalar tarafından düzenlenmektedir (Cushman ve Bohnert, 2000).

Bitki hormonları, stres şartlarının varlığında bitkilerin tolerans seviyelerini yükselten fizyolojik ve moleküler tepkilerin düzenlenmesinde en önemli endojen maddeler olarak bilinmektedir (Kosakivska vd., 2022). Fitohormonlar birbirleriyle etkileşimde bulunarak biyosentez, metabolizma, taşıma ve sinyalleşme yollarının iç içe geçtiği kompleks bir ağ oluşturup bu sinyal iletim yollarını düzenleyerek, dış etkilere karşı bitkisel tepkilerin oluşmasını sağlarlar (Kazan, 2015; Kosakivska vd., 2022; Liu vd., 2017).

Hormonların abiyotik stres faktörlerine karşı bitki savunma mekanizmalarında sinyal iletim molekülleri olarak çok önemli rol oynadıkları hakkında farklı çalışmalar mevcuttur (Asgher vd., 2015; Harrison, 2012; Tayyab vd., 2020). Bu nedenle, ilgili stres etkisinin giderilmesi için tohumlara yapılacak hormon uygulamaları önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Peleg ve Blumwald, 2011).

### **1.7. Tohum Ön Çimlendirme Uygulamaları (Priming)'nın Tohum Çimlenmesine Etkileri**

Ekimi yapılan bitki tohumlarının, aynı anda hasat olgunluğuna ulaşması, uniform çimlenme ve çıkış göstermesi önem teşkil etmektedir (Evert vd., 2009). Küresel ısınma, çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerini içeren çevresel koşulların değişimine neden olduğu için bitkilerde giderek artan tehditler oluşturmaktadır (Pandey ve Senthil-Kumar, 2019). Abiyotik streslerden başta kuraklık, sıcaklık ve tuzluluk olmak üzere çok sayıdaki stres faktörü tarımsal ürünlerde verim kaybına neden olmaktadır. Verim kaybını önlemek amacıyla mevcut olan çeşitlerin stres toleransını arttırmak için tohum ön çimlendirme uygulamaları (priming) olarak bilinen ve farklı ozmotik çözeltilerin kullanıldığı osmopriming uygulamaları yapılmaktadır (Elmas, 2021; Saboor vd., 2019).

Priming yöntemi çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı daha toleranslı bitkilerin ortaya çıkmasına yol açan fizyolojik bir etki oluşturmaktadır (Jisha vd., 2013). Priming hormonların homeostazisini, tohum dormansinin kırılmasını (Bouriouğ vd., 2020) ve stres faktörlerinin etkilerini azaltarak reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerine karşı bitkiyi koruyan antioksidan enzimlerinin (peroksidaz, süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz ve katalaz) ekspresyonunu artırır (Paparella vd., 2015; Totkanli, 2022).

Tef bitkisi gibi tropik veya yarı tropik bölgelerde yetiştiriciliği yapılan bitkilerde düşük sıcaklık stresinin verdiği zararı indirgeyip verimini artırmak amacıyla kullanılan priming işlemlerinin, çiftçiler için ucuz ve etkili bir yöntem olduğu bildirilmektedir (Musa vd., 2001). Priming işlemleri, bitkinin ihtiyaç duyduğu optimum sıcaklıkların altında

yetiştirilen bitkilerde tohum çimlenme yüzdesini iyileştirdiği (McDonald, 2000) ve priming işlemlerinde verim artışlarının hızlı çimlenme ve çıkıştan kaynaklandığı bildirilmiştir (Harris vd., 1999; Musa vd., 2001). Priming sonrası tohumların maruz kaldığı düşük sıcaklıklarda tohum çimlenmesini ve fide oluşumunu iyileştirmek için osmopriming, hidropriming, matrispriming, holopriming, biyopriming, bitki büyüme düzenleyicileriyle priming gibi farklı yöntemlerle ekim öncesi tohum hazırlama işlemleri yapılabilmektedir (Aziz, 2018; Farooq vd., 2008).

Osmopriming, su alımının kontrolünü sağlamayı kolaylaştıran düşük su potansiyelinde ozmotik solüsyonlarla muameleyi içeren geniş çaplı bir ekim öncesi tohum uygulama prosedürüdür (Paparella vd., 2015). Uygulanan bu yöntem sayesinde stres etkisinde bulunan tohumlarda hızlı ve üniform tohum çimlenmesi ve fide çıkışı, devamında ise güçlü bir fide oluşumu sağlanabilmektedir (Talebian vd., 2008).

Bu çalışma osmopriming uygulamalarının tef tohumlarının düşük sıcaklık stresi şartlarındaki çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerinin belirlemek ve yeni grup bazı bitki hormonlarının düşük sıcaklık şartlarındaki tohum çimlenmesi üzerine olan etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür.

## İKİNCİ BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tiryaki ve Buyukcingil (2009) çalışmalarında, çimlenme ve fide oluşumu aşamasında soğuğa karşı hassas olan sorgum tohumlarının, 14 °C'deki stres etkisinin priming yöntemiyle ne kadar giderilebileceği araştırmışlardır. Bunun için tohumlar 25°C'de 1, 2 ya da 3 gün boyunca çeşitli konsantrasyonlarda PEG, NaCl, KNO<sub>3</sub>, gliserol ve borik asit içinde bekletilmişlerdir. Priming sonrasında 14°C'de ve karanlıkta çimlenmeye bırakılan tohumlardan elde edilen sonuçlara göre, kontrol tohumlarında en yüksek son çimlenme yüzdesi (FGP, %54,50) 300 g·L<sup>-1</sup> PEG'de 2 gün (%73,0) bekletilen tohumlardan elde edilmiştir. Aynı zamanda tohumlar çeşitli konsantrasyonlarda metil jasmonat, 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit, benzil adenin (BA), asetil salisilik asit, giberellik asit veya ilgili bitki hormonlarının ikili kombinasyonları ilave edilmiştir. Hazırlama ortamına 50µM BA'nın dahil edilmesi FGP'de (%89) ilave artışlara neden olmuştur. Çeşitli kimyasal ve hormonların kullanıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, sorgum tohumlarının 25°C'de 2 gün boyunca 300 g·L<sup>-1</sup> PEG'de prime edilmesinin düşük sıcaklık şartlarında tohumların çimlenme parametrelerinde önemli iyileşmelere neden olduğu sağtanmıştır.

Mısır bitkisinde düşük sıcaklık stresinin etkisinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada Guan vd. (2009), 15 °C'de %0,25, %0,50 ve %0,75 kitosan solüsyonları ile tohumları hazırlayarak 2 mısır hattında test etmişlerdir. Düşük sıcaklık stresi altında kitosan ile tohum hazırlamanın çimlenme yüzdesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varmışlardır. Uygulamalar, çimlenme yüzdesinde önemli etkiye sahip olmasa da her iki mısır hattında da çimlenme indeksini artırmış, ortalama çimlenme süresini (MGT) azaltmış ve sürgün yüksekliğini, kök uzunluğunu, sürgün ve kök kuru ağırlıklarını artırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre yaklaşık 60-64 saat boyunca %0,50 kitosan ile primingin en iyi etkilere sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, kitosan ile tohum hazırlamanın mısır tohumunun çimlenme hızını iyileştirebileceğini ve düşük sıcaklık stresi altında fide büyümesi için fayda sağlayabileceği belirtilmiştir.

Posmyk vd. (2009), düşük sıcaklık stresinde hıyar tohumlarında osmopriming, hidropriming ve bu yöntemlerin melatonin ile kombinasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla bu çalışmayı yürütmüşlerdir. Soğuk stresine hassas olan, 25°C'de iyi çimlenen (%99) tohumlar, 15°C'de sadece %30 çimlenme gösterirken 10°C'de neredeyse hiç çimlenme göstermemişlerdir (%4). Hidropriming uygulamasından elde edilen sonuçlara göre, tohum çimlenmesi 15°C'de %50-60'a kadar yükselmiş ve melatonin ilavesiyle çimlenme oranını daha da artırmıştır. Polietilen glikol içinde osmopriming, çimlenmeyi 15°C'de %78'e yükseltmiş ve 50 M melatonin ile kombinasyonunda ise %98 oranında çimlenme kaydedilmiştir. Osmopriming uygulanan tohumların 10°C'deki çimlenme oranı %43'e yükselirken, 50 M melatoninle kombinasyonundan elde edilen oran %83 olmuştur. IAA seviyesi 100 ve 500 M melatoninin hidroprimingle kombinasyonu ile muamele edilen tohumlarda artarken diğer uygulamaların yapıldığı tohumlarda genelde azalmıştır. Melatonin, soğuk stresinde olan tohumların membran yapısını peroksidasyona karşı korurken, tohumlardaki aşırı melatonin seviyeleri (~4 µg/g taze ağırlık) proteinlerde oksidatif değişikliklere neden olmuştur.

Gharib ve Hegazi (2010), yaygın olarak kullanılan altı fasulye çeşitinde, düşük sıcaklık stresinin sebep olduğu olumsuz etkileri salisik asit (SA) kullanarak ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Laboratuvar koşullarında yürütülen denemede fasulye çeşitlerine ait tohumlar, 6 saat boyunca su ve 10<sup>-4</sup> M havalandırılmış salisilik asit (SA) çözeltisinde bekletilmiştir. İşlem görmüş ve kontrol tohumları, sırasıyla 9 ve 30 gün boyunca kontrollü koşullar altında 25°C'de (optimal sıcaklık) ve 15°C'de (düşük sıcaklık stresi) karanlıkta çimlendirilmişlerdir. SA ile çimlendirme öncesinde yapılan tohum muameleleri, optimum ve düşük sıcaklık stres koşulları altında kontrol tohumlarına kıyasla çimlenme yüzdesini ve fide kriterlerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Buna göre, salisilik asitin, fasulyede soğuk stresinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırabileceği sonucuna varılmıştır.

Ekim öncesi tohum uygulamalarının düşük sıcaklık stresi altında olan çeltik tohumlarındaki etkilerini saptamak için Wang vd., (2016) yürüttükleri çalışmada, iki priming yöntemi ve iki tohum kaplama işlemi kullanılmıştır. Tarla ve iklimlendirme odasında yapılan çalışmalarının sonuçlarına göre selenyum veya salisilik asit ile tohum

hazırlama, işlenmemiş kontrol ile karşılaştırıldığında çeltik bitkisinde çıkış ve fide büyümesini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu olumlu etkiler, tohum kaplama işlemlerinde belirgin olarak gözlemlenmemiştir. Priming uygulanan ve düşük sıcaklık stresi altında büyüyen çeltik fidelerindeki gelişmiş  $\alpha$ -amilaz aktivitesi, daha yüksek çözünür şeker içeriği ve daha yüksek solunum hızı ile ilişkilendirilmiştir. Araştırma bulgularına göre, çift çeltik kırpma sisteminde doğrudan tohumlanmış erken çeltikte priming kaynaklı soğuk stresi toleransını anlamak ve ilerletmek için yeni yollar sağlayabileceği belirtilmiştir.

Nohut verimliliğini etkileyen başlıca abiyotik streslerden biri düşük sıcaklık stresidir. Farooq vd., (2017) yaptıkları çalışmada tohum hazırlamanın nohutta soğuk stresine karşı direnci artırmadaki potansiyel rolünü değerlendirilmiştir. Nohut tohumları 8 saat musluk suyunda, 18 saat havalandırılmalı damıtılmış suda (hidropriming) ve 18 saat  $\text{CaCl}_2$  çözeltisinde ( $\psi_s -1.25$  MPa; osmopriming) bekletilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ön uygulama yapılmış tohumlarda; büyüme, su ilişkileri, fotosentez,  $\alpha$ -amilaz aktivitesi, şeker metabolizması, antioksidan enzim aktivitesi, membran stabilitesi ve prolinin yaprak birikimi iyileşmiş ve soğuk stresinin olumsuz etkileri hafifletilmiştir. Priming aynı zamanda optimum (kontrol) koşullar altındaki nohut tohumlarının da performansını iyileştirmiştir. Tohum ön uygulamalarından (priming) genel anlamda soğuk stresine karşı dirençteki en iyi sonucu osmopriming vermiştir. Osmopriming, kontrol tohumlarına kıyasla fide kuru ağırlığını, spesifik yaprak alanını, yaprak  $\text{CO}_2$  net asimilasyon oranını, PSII'nin maksimum fotokimyasal etkinliğini,  $\alpha$ -amilaz aktivitesini, trehaloz içeriğini ve yaprak nispi su içeriğini sırasıyla %10, 22, 17, 20, 73, 48 ve 7 oranında iyileştirmiştir. Genel olarak tohum hazırlama, daha iyi çimlenme metabolizması ve oksidatif hasardan koruyan ve karbon asimilasyonunu ve fide büyümesini hem optimum sıcaklık koşulları hem de düşük sıcaklık stresi altında iyileştirmiştir.

Düşük sıcaklık stresi, tarlada yetiştiriciliği yapılan mısır fidelerinin oluşumu için önemli bir üretim sorunudur. Salisilik asit (SA), hidrojen peroksit ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ve kombinasyonlarının (SA +  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) tohum hazırlamada mısır tohumları üzerindeki etkilerini Li vd., (2017) bu çalışmada değerlendirmek istemişlerdir. Kullanılan hormon, kimyasal ve



ikisinin kombinasyonu, soğuk stresinde olan (13°C) mısır tohumlarında, hidropriming ve ön uygulama yapılmayan tohumlara kıyasla tohum çimlenme süresini kısaltarak tohum canlılığını ve fide büyümesini arttırmıştır. SA + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kombinasyonu ile priming, endojen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve SA içeriğini, antioksidan enzim aktivitelerini ve bunlara karşılık gelen genlerin ifade seviyelerini önemli ölçüde arttırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile mısır tohumlarını hazırlama, hormon metabolizmasını ve sinyal iletimini artırarak düşük sıcaklık stres toleransı ile yakından ilgili olan antioksidan enzim aktivitelerini desteklemiştir.

Düşük sıcaklıklarda zarar gören domates bitkisinin strese karşı toleransının artırılmasında eksojen melatoninin rolünü araştıran Ding vd., (2017) yaptıkları çalışmada melatonin ve domates tohumlarını ön işleme tabi tutmuşlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre soğuk stresi altındaki ön işleme tabi tutulmuş bitkilerde daha düşük seviyede malondialdehit (MDA) içeriği ve elektrolit sızıntı ölçülürken, yüksek antioksidan enzim aktiviteleri ve daha yüksek seviyelerde enzimatik olmayan antioksidanlar gözlemlenmiştir. Melatoninin soğuğa duyarlı genlerin ekspresyonunu (*SIICE*, *SICBF*, *SIP5CS*) büyük ölçüde desteklediği gen ekspresyon analizleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca fotosentetik karbon asimilasyonundaki artışın sebebi Calvin döngüsü enzimi olan sedoheptuloz-1,7-bifosfatazı (SBPase) kodlayan geni olan *SISBP*, melatonin ile işlenmiş bitkilerde soğuk stresi altında önemli ölçüde indüklenmiştir, bu da gözlenen artışla tutarlı bulunmuştur.. Melatonin ile ön işleme tabi tutulmuş bitkilerde soğuk işlemin ardından fotosentetik karbon asimilasyonu, poliaminler, sukroz ve prolin düzeylerinde önemli derecede artış gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre elde edilen veriler genel anlamda, domates bitkilerinde hasara neden olan soğuk stresinde eksojen melatoninin iyileştirici etkisinin olduğuna dair kanıt sağlanmıştır.

Melatonin (MT) ile tohum ön uygulamalarının mumsu mısırdaki düşük sıcaklık stresine (13°C) tolerans üzerindeki etkilerini araştırmak için Cao vd. (2019), mısır tohumlarını melatonin ile ön işleme tabi tutarak tohumların çimlenme özellikleri ve fizyolojik parametrelerini ölçmüşlerdir. Düşük sıcaklık şartlarında MT ile işlenmiş tohumlar kontrol tohumlarına kıyasla, çimlenme potansiyelini (%20,29 ve %50,71), çimlenme oranını (%20,88 ve %33,72), kökçük uzunluğunu (%90,73 ve %217,14), hipokotil uzunluğunu

(%60,28) %136,14), kök uzunluğunu (%74,59 ve %108,70) ve tohum canlılık indeksini (%46,13, %63,81) önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre MT uygulanan tohumlarda, kontrol tohumlarına kıyasla daha düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve malondialdehit konsantrasyonları, daha yüksek antioksidan enzim aktiviteleri ve nişasta metabolizması ölçülmüştür. MT ile tohum hazırlamanın, oksidatif hasardan koruyan antioksidan sistemini ve nişasta metabolizmasını olumlu yönde destekleyerek soğuk stresi altında mumsu mısır tohumlarında tolerans sağladığı bildirilmiştir.

Tef (*Eragrostis tef*) tohumlarında hasat sonrası dormansinin belirlenmesi ve giderilmesinde tef tohumlarının bekletileceği ön çimlendirme (priming) çözültisine ilave edilen farklı bitki hormonlarının etkilerini araştırmak amacıyla Tiryaki ve Kaplan (2019)'ın yürüttüğü çalışmada tef tohumlarını hasat sonrasında farklı konsantrasyonlardaki asetil salisilik asit (ASA; 1,0, 5,0, 10,0 ve 15,0 µM), metil jasmonate (JA-Me; 0,3, 0,6, 0,9 ve 1,2 µM), giberallik asit (GA<sub>3</sub>; 50, 100, 150 ve 200 µM) ve indol asetik asit (IAA; 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 µM) varlığında % 1'lik KNO<sub>3</sub> ile 24 saat süre ile 21 ± 0,5 °C'de karanlıkta ön çimlendirme işlemine alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tef tohumlarında hasat sonrası dormansinin var olduğunu ve dormansinin giderilmesinde ASA, JA-Me, GA<sub>3</sub> ve IAA bitki hormonlarının farklı etkilerinin olduğunu belirlenmiştir. Bu etkilerin kullanılan hormon tür ve konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği rapor edilmiştir.

Heidari vd., (2021) yaptıkları çalışmada, 24-epibrassinolide (24-epiBL)'in düşük sıcaklık stresi altında olan (9 °C) iki farklı domates türündeki (soğuğa duyarlı ve soğuğa dayanıklı türler) etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tohumları eksojen EBR ile muamelenin, soğuğa duyarlı türlerde giberellik asit (GA<sub>3</sub>) ve indol-3-asetik asit (IAA) içeriğini arttırdığını göstermiştir. Malondialdehit (MDA) ve prolin içeriği, düşük sıcaklık stresine yanıt olarak her iki türde de önemli ölçüde artmıştır fakat, 24-epiBL ile ön muamele MDA ve prolin içeriğini etkilememiştir. Ek olarak 24-epiBL uygulamasının etkisinin domates türlerinde farklı etki yarattığı; soğuğa dayanıklı olan türde katalaz (CAT) aktivitesini, hassas türde ise glutatyon peroksidaz (GPX) aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, düşük sıcaklığın oksidatif strese neden olduğunu, 24-epiBL uygulamasının ise artan antioksidan enzimlere verilen reaktif oksijen türleri (ROS) hasarını azaltabileceğini ve

oksin, gibberellin içeriğini etkileyerek domatesin büyüme hızını olumlu yönde etkilediği ortaya koyulmuştur.

Li vd., (2021) yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklık stresinin (20 °C) etkisinde olan *Oryza sativa* L. tohumlarına eksojen melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin) uygulamasının düşük sıcaklık stresinin neden olduğu çimlenme kaybı yüzdesini büyük ölçüde iyileştirdiğini bulmuşlardır. Çimlenme kaybının iyileşmesinin sebebi büyük ölçüde, aktivasyonu artırılmış antioksidan sisteme ve depolama maddesi kullanımında etkili olan enzimlerin aktivitelerine bağlı olduğu bildirilmiştir. Eksojen melatonin (MT) ayrıca gibberellin (GA) ve endojen MT'nin biyosentezini önemli seviyelerde artırırken, absisik asit (ABA) ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) seviyeleri aşağı çektiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak eksojen MT, *Oryza sativa* L. tohumlarında stresin etkisinin giderileceği mekanizmalarla sinerjistik etkileşimde olduğu tespit edilmiştir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, 2022-2023 Yılları arasında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Moleküler Genetik ve Biyoteknoloji Laboratuvarında yürütülmüştür.

#### 3.1. Materyal

Çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri Gen Bankası (USDA-GRIN)'ndan temin edilen, ID numarası PI195935 olan tef genotipi (Şekil 3) kullanılmıştır.



Şekil 3. Araştırmada kullanılan PI195935 tef genotipine ait görsel.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Osmoprining Uygulamalarının Tef Tohumlarının Düşük Sıcaklık Şartlarındaki Çimlenme Performansı Üzerine Etkileri

##### Osmoprining Uygulaması

Tohumlar farklı konsantrasyonlardaki potasyum nitrat ( $KNO_3$ ; %0,5, %1,0, %1,5), gliserol ( $C_3H_8O_3$ ; %15, %20, %25), potasyum dihidrojen fosfat ( $KH_2PO_4$ ; %0,5, %1,0,

%1,5), polietilen glikol (PEG; %10, %20, %25) ve sodyum nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ; %0,5, %1,0, %1,5) varlığında 1, 2 ya da 3 gün süreyle aşağıda belirtilen şartlarda ve şekilde prime edilmişlerdir.

Yapılan ön denemelerle belirlenen kimyasallar ve farklı konsantrasyonlarıyla farklı priming süreleri (1, 2 ya da 3 gün) için 0,75 g tohum tartılarak içlerinde çift katlı kurutma kağıdı bulunan kapaklı cam petri kaplarına (60 x 15 mm) alınmışlardır. Tohumlara farklı konsantrasyonlardaki potasyum nitrat ( $\text{KNO}_3$ ; %0,5, %1,0, %1,5), gliserol ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ; %15, %20, %25), potasyum dihidrojen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; %0,5, %1,0, %1,5), polietilen glikol (PEG; %10, %20, %25) ve sodyum nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ; %0,5, %1,0, %1,5)'ın her bir konsantrasyonundan 4 ml ilave edilmiştir (Şekil 4). Devamında kapakları kapatılan petri ler  $21 \pm 0,5$  °C'lik aydınlık ( $350 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) iklim dolabında 1, 2 ya da 3 gün süreyle bekletilmişlerdir. Priming süresince tohumlar kontrol edilmiş ve priming işlemleri sırasında kökçük (radikula) çıkışı (Şekil 5) gösteren uygulamalar çimlendirme denemesine alınmamışlardır (Tablo 3). Priming sonunda saf su ile yıkanarak kurutma kağıtları üzerinde oda sıcaklığında 2 saat kurumaya bırakılmış ve devamında çimlendirme denemesine alınmışlardır.



Şekil 4. Kimyasal ilave edilen tohumlara ait genel görüntü.

Tablo 3

Priming işlemleri sırasında kökçük çıkışı veren ve çimlenme denemesine priming alınmayan uygulamalar.

Priming Süresi (Gün)	Kimyasal	Konsantrasyon
3,2,1	KNO <sub>3</sub>	%0,5
3,2,1	KNO <sub>3</sub>	%1
3,2	KNO <sub>3</sub>	%1,5
3,2,1	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	%0,5
3,2,1	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	%1
3,2,1	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	%1,5
3,2	PEG	%10
3,2,1	NaNO <sub>3</sub>	%0,5
3,2,1	NaNO <sub>3</sub>	%1
3,2	NaNO <sub>3</sub>	%1,5



Şekil 5. Priming işlemleri sırasında çimlenen tohumlara ait örnek görsel.

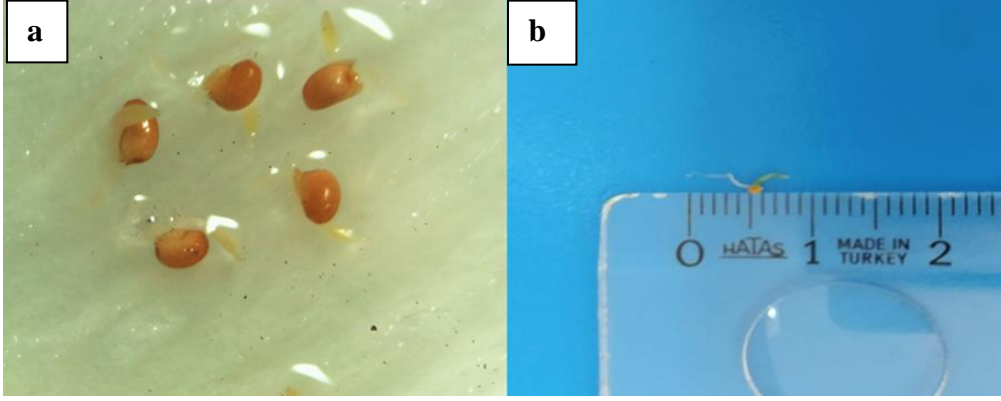
## Çimlendirme Denemesi

Çimlendirme denemeleri faktöriyel olarak düzenlenmiş tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak aydınlık ya da karanlık şartlarda yürütülmüştür. Her bir tekerrür için 50 adet tohum içlerinde çift katlı kurutma kâğıdı bulunan kapaklı cam petri kaplara (60 x 15 mm) yerleştirilmiş ve üzerlerine 3,5 ml dH<sub>2</sub>O ilave edilmiştir. Devamında kontrollü şartlarda 10 ± 0,5 °C de aydınlık (280 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) ya da karanlık şartlarda çimlenmeye bırakılmışlardır.

Belirlenen şartlarda çimlenmeye bırakılan tohumlar günlük olarak aynı saatte kontrol edilmiştir. Kontrollerde 3-4 mm kökçük çıkışı gösterenler tohumlar (Şekil 7) çimlenmiş olarak kabul edilip kayıt altına alındıktan sonra petri kaplarından uzaklaştırılmışlardır. Deneme, üç gün hiçbir petride çimlenme gözlemlenmeyene kadar (10 gün) devam etmiştir (Tiryaki, 2006). Çimlendirme denemeleri boyunca günlük olarak kayıt altına alınan değerlerin çimlenme parametreleri (çimlenme hızı, çimlenme oranı, çimlenme homojenitesi ), Tiryaki (2009) referans alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Çalışmanın yapıldığı iklim dolabına ait genel görsel.



Şekil 7. Çimlenmiş olarak kabul edilen tohumlara ait görseller;

- a) Işık mikroskobu altında elde edilen görüntü b) Çimlenen tohumların ölçümüne ait görsel.

### Çimlendirme Denemelerinde Ölçülen Parametreler

Çimlendirme denemesi boyunca günlük olarak kayıt altına alınan değerler, Tiryaki (2009) referans alınarak aşağıdaki parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

Çimlenme Oranı (%):  $[\text{Çimlenen tohum sayısı} / \text{Toplam tohum sayısı}] \times 100$  olarak hesaplanmıştır. (3.1)

Çimlenme Oranının (Arcsin) Transformasyonu [ÇimY]: ÇimY olarak belirlenen değerlerin açısal (arcsin) transformasyonu alınarak hesaplanmıştır.

Çim<sub>50</sub> (gün): Çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli gün sayısı.

Çim<sub>10-90</sub> (gün): %10 çimlenmeden %90 çimlenmeye ulaşmak için gerekli gün sayısı.



### 3.2.2. Farklı Bitki Hormonlarının Düşük Sıcaklık ve Karanlık Şartlarında Tohum Çimlenme Performansı Üzerine Olan Etkileri

Farklı bitki hormonlarının tef tohumlarının düşük sıcaklık ve karanlık şartlardaki çimlenme performansı üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan hormonlar ve konsantrasyonları Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4

Denemede kullanılan hormonlar ve konsantrasyonları.

	<b>Uygulama</b>	<b>Konsantrasyon</b>
1	Karrikin 2 (KAR2)	50 nM
2	Karrikin 2 (KAR2)	100 nM
3	Karrikin 2 (KAR2)	150 nM
4	Giberallik Asit (GA <sub>3</sub> )	100 µM
5	Giberallik Asit (GA <sub>3</sub> )	150 µM
6	Giberallik Asit (GA <sub>3</sub> )	200 µM
7	Melatonin (MT)	3 µM
8	Melatonin (MT)	6 µM
9	Melatonin (MT)	9 µM
10	24-Epibrassinolide (24-epiBL)	1 µM
11	24-Epibrassinolide (24-epiBL)	3 µM
12	24-Epibrassinolide (24-epiBL)	5 µM
13	dH <sub>2</sub> O (Kontrol)	0 mM

Her bir hormonun 3 farklı konsantrasyonu ve kontrol tohumları için denemeler, faktöriyel olarak düzenlenmiş tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her bir tekerrür için içlerinde çift katlı kurutma kâğıdı bulunan, 60 x 15 mm çapındaki petri kaplarına 100'er adet tohum eklenmiştir. Her bir petriye belirlenen hormon konsantrasyonundan 3 ml ilave edilmiştir. Kontrol olarak kullanılan tohumlara ise 3 ml dH<sub>2</sub>O ilave ve devamında 10 ± 0,5 °C'de karanlık şartlarda çimlendirmeye alınmıştır. Günlük olarak kontrol edilen tohumlardan 3-4 mm kökçük (radikula) çıkışı veren tohumlar (Şekil 8) kayıt altına alınmıştır. Deneme, üç gün hiçbir petride çimlenme gözlemlenmeyene kadar (10 gün) devam etmiştir (Tiryaki, 2006) ve çimlenme denemesinde ölçülen parametreler bölüm 3.2.1'de belirtildiği şekilde Tiryaki (2009) referans alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Hormon uygulamalarında çimlenmiş olarak kabul edilen tohumlara ait örnek görsel.

### 3.2.3 Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi

Çimlenen tohumlar üzerinden son çimlenme yüzdesi (FGP) ve bunun açışal transformasyonu (FGP ArcSin) ile çimlenme hızı (Çim<sub>50</sub>) ve homojenite (Çim<sub>10-90</sub>) verileri SAS paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Fisher'in en küçük önemli fark (LSD) testi ile P < 0,05 seviyesinde test edilmiştir.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Osmoprining Uygulamasının Aydınlik ve Karanlık Şartlarda Çimlendirilen Tohumların Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri

#### 4.1.1. Osmoprining Uygulamasının Aydınlik Şartlardaki Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri

##### Aydınlik Şartların Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi

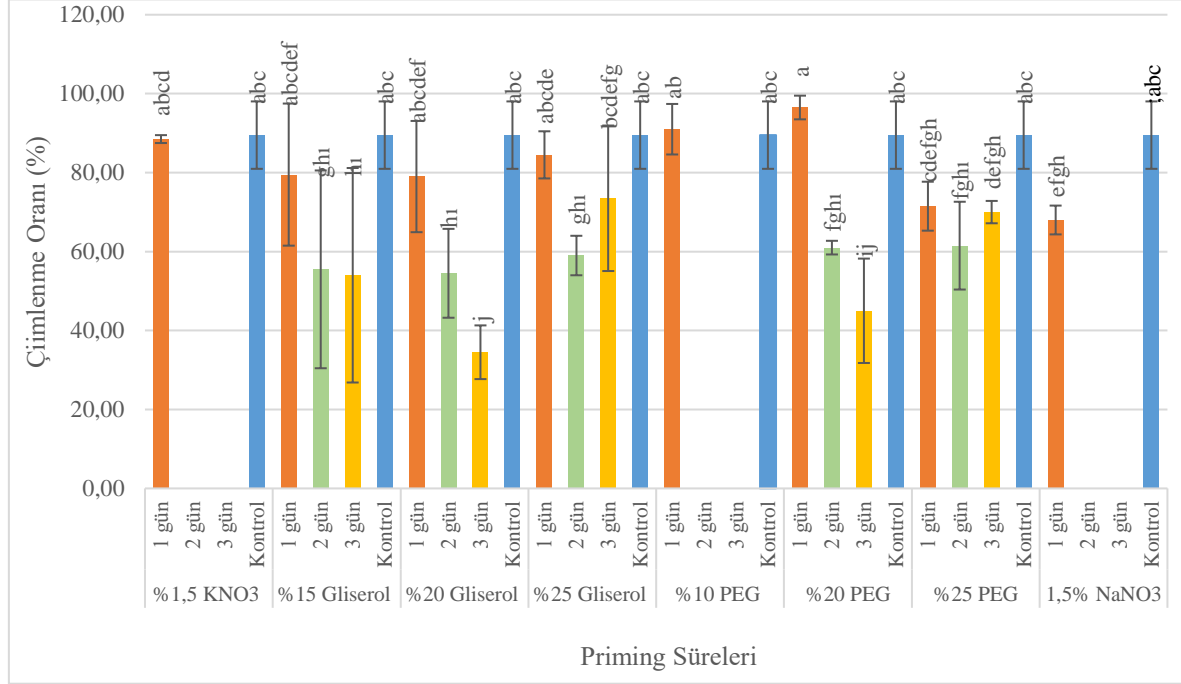
Aydınlik ortamda ( $280 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) çimlendirilen tohumlara ait çimlenme oranlarının açısıl transformasyon verilerinin varyans analiz sonuçları Tablo 5'te, çimlenme oranları Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 5

Osmoprining uygulanan tohumların aydınlık ortamdaki son çimlenme yüzdesinin açısıl (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	116,30	1,40	0,2536
Uygulama	18	567,21	6,81	0,0001
Hata	54	83,24	-	-
Varyasyon Katsayısı	15,77002	-	-	-

Sonuçlar priming uygulamalarının, aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme yüzdesinin açısıl (Arcsin) transformasyonuna ait veriler arasındaki farkın istatistiksel olarak çok önemli ( $p < 0,0001$ ) olduğunu göstermiştir (Tablo 5).



Şekil 9. Osmoprimering uygulanan tohumların aydınlık ortamdaki son çimlenme oranları (%). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir ( $n=4$ ).

Tohumlara uygulanan osmotik kimyasalların arasından en yüksek son çimlenme oranı %20 PEG varlığında bir gün süreyle prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 9). Kontrol tohumlarındaki çimlenme oranı %89,50 iken, %20 PEG solüsyonun içerisinde bir gün bekletilen tohumlarda çimlenme oranı %96,50, %10 PEG varlığında bir günlük süreyle prime edilen tohumlardaki son çimlenme oranı %91,00 olarak belirlenmiştir. %15 Gliserol, %20 Gliserol, %25 Gliserol ve %25 PEG solüsyonlarının varlığında bir, iki ya da üç gün prime edilen tohumlardan, %20 PEG varlığında iki ya da üç gün prime edilen tohumlardan ve %1,5 KNO<sub>3</sub> solüsyonu ile %1,5 NaNO<sub>3</sub> varlığında bir gün prime edilen tohumlardan kontrol grubundaki tohumlara kıyasla daha düşük son çimlenme oranları elde edilmiştir (Şekil 9).

## Aydınlık Şartların Çimlenme Hızı (Çim<sub>50</sub>) Üzerine Olan Etkisi

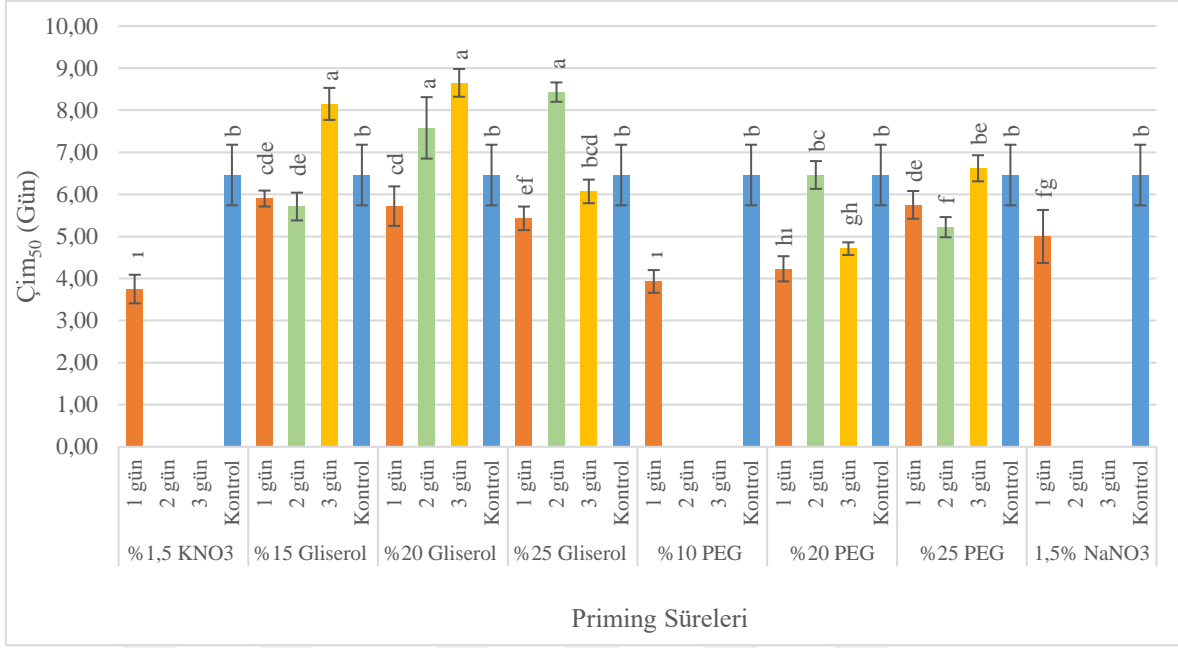
Aydınlık şartlarda çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye (gün) ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 6'da, tohumların çimlenme hızlarının oranları Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 6

Osmoprining uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	0,39	2,73	0,0528
Uygulama	18	8,70	60,96	0,0001
Hata	54	0,14	-	-
Varyasyon Katsayısı	6,230026	-	-	-

Sonuçlar priming işlemlerinin, aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme hızları (Çim<sub>50</sub>) arasında istatistiksel olarak çok önemli ( $p < 0,0001$ ) farklılıkların var olduğunu göstermiştir (Tablo 6).



Şekil 10. Osmoprimering uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumlara ait çimlenme hızları (Çim<sub>50</sub>=gün). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye (Çim<sub>50</sub>) ilişkin elde edilen sonuçlardan kontrol grubundaki tohumların çimlenme hızına (Çim<sub>50</sub>=6,46 gün) kıyasla en hızlı çimlenme, aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan %1,5 KNO<sub>3</sub> (Çim<sub>50</sub>=3,75 gün) ve %10 PEG (Çim<sub>50</sub>=3,93 gün) solüsyonlarında bir gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 10). Sonrasında priming gün sayısı ile beraber sırasıyla; %20 PEG solüsyonunda bir ya da iki gün, %1,5 NaNO<sub>3</sub> varlığında bir gün, %25 PEG varlığında iki gün, %25 Gliserol varlığında bir gün, %15 Gliserol varlığında iki gün, %20 Gliserol varlığında bir gün, %25 PEG varlığında bir gün, %15 Gliserol varlığında bir gün ve %25 Gliserol varlığında üç gün uygulamalarından elde edilmiştir. Kontrolle aynı (%20 PEG varlığında iki gün) veya daha fazla çimlenme gün sayısına (Çim<sub>50</sub>=6,46 gün>) sahip uygulamaların (Küçükten büyüğe sırasıyla; %25 PEG varlığında üç gün, %20 Gliserol varlığında iki gün, %15 Gliserol varlığında üç gün, %25 Gliserol varlığında iki gün, %20 Gliserol varlığında üç gün), çimlenme hızının üzerine bir etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 10).

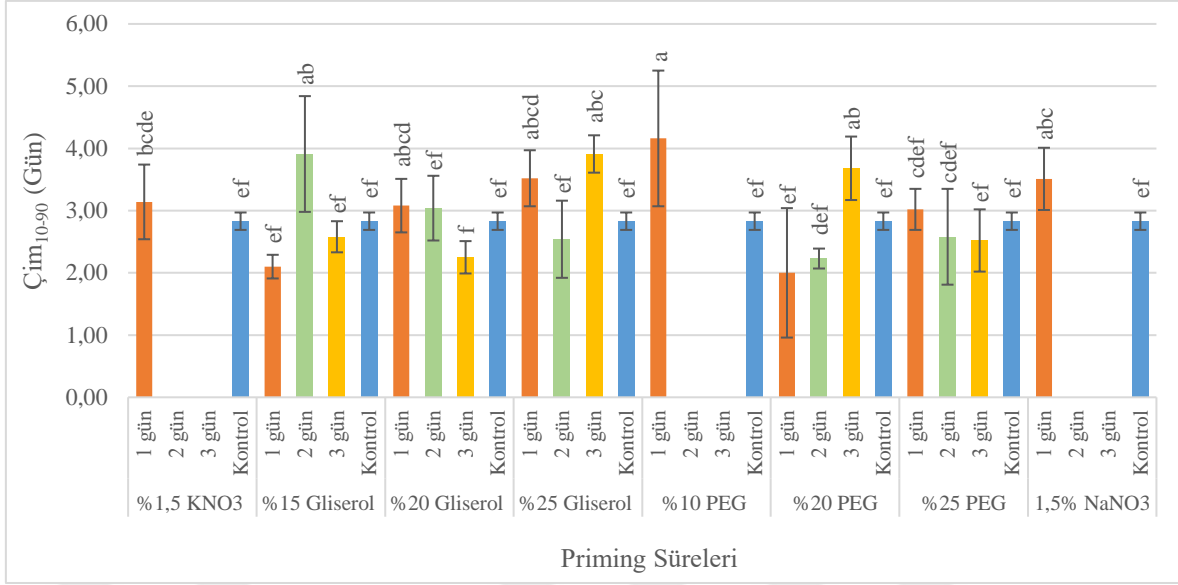
## Aydınlık Şartların Çimlenme Homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) Üzerine Etkisi

Aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi, tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenmeye ulaşabilmesi için geçen süre (Çim<sub>10-90</sub>) üzerinden hesaplanmıştır. Bu verilere ait varyans analiz sonuçları Tabla 7’de, çimlenme homojenitesinin oranları Şekil 11’de verilmiştir.

Tablo 7

Osmoprimum uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim<sub>10-90</sub>) ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	0,31	0,93	0,4332
Uygulama	18	1,58	4,75	0,0001
Hata	54	0,33	-	-
Varyasyon Katsayısı	19,59034	-	-	-



Şekil 11. Osmoprimering uygulanan ve aydınlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim<sub>10-90</sub>=gün). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Elde edilen varyans analiz sonuçlarına göre, uygulamalara bağlı olarak tohumların çimlenme homojeniteleri bakımından istatistiksel olarak çok önemli farklılıkların ( $p < 0,0001$ ) olduğunu, çimlenme homojenitesindeki bu farklılıkların, uygulanan farklı kimyasallar ve farklı konsantrasyonlarından kaynaklanarak çok önemli oranlarda değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 7).

Kontrol grubuna ait tohumlarındaki çimlenme homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) 2,83 gün iken, uygulamalar arasındaki en homojen çimlenmeyi (Çim<sub>10-90</sub>=2,00 gün) %20 PEG solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlar, en homojen olmayan çimlenmeyi (Çim<sub>10-90</sub>=4,16 gün) ise %10 PEG solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 11).



#### 4.1.2. Osmoprining Uygulamasının Karanlık Şartlardaki Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri

##### Karanlık Şartların Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi

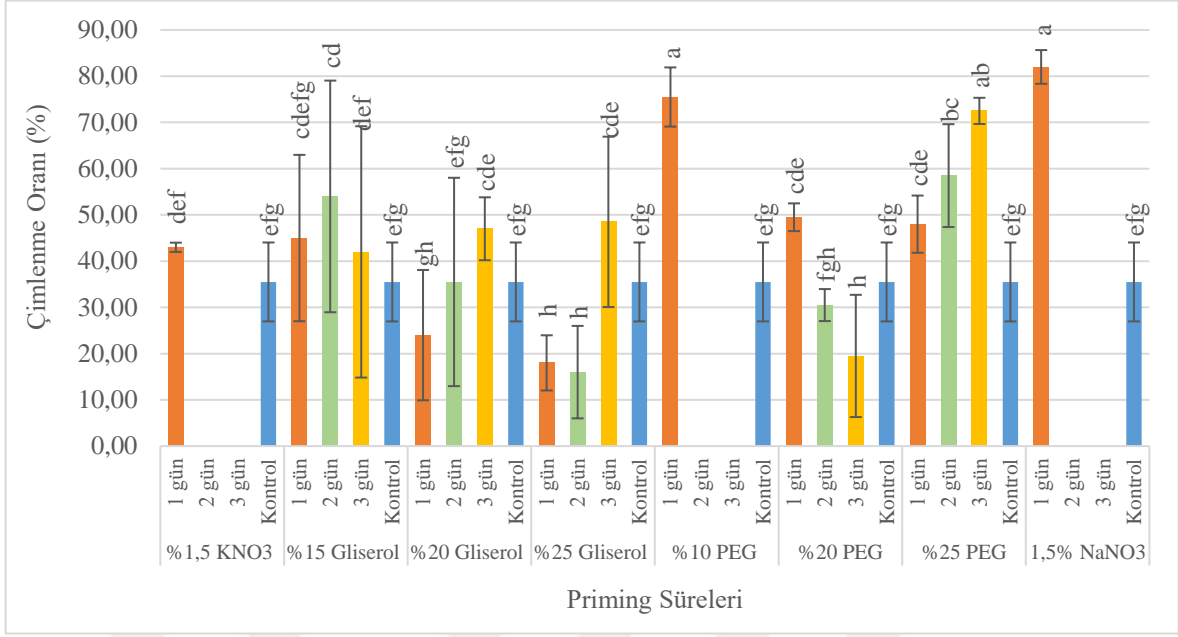
Karanlık şartlarda çimlendirilen tohumlara ait çimlenme oranlarının açısal transformasyon verilerinin varyans analiz sonuçları Tablo 8’de, çimlenme oranları Şekil 12’de verilmiştir.

Tablo 8

Osmoprining uygulanan tohumların karanlık şartlardaki son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]’na ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	33,30	0,79	0,5029
Uygulama	18	542,87	12,94	0,0001
Hata	54	41,97	-	-
Varyasyon Katsayısı	15,56459	-	-	-

Priming sonrası karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonuna ait veriler arasında istatistiksel olarak çok önemli farklar  $p<0,0001$  olduğunu göstermiştir (Tablo 8).



Şekil 12. Osmoprimering uygulanan tohumların karanlık şartlardaki son çimlenme oranları (%). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir ( $n=4$ ).

En yüksek son çimlenme oranlarını %82,00 ile %1,5 NaNO<sub>3</sub> ve %75,50 ile %10 PEG varlığında bir gün prime edilen tohumlardan elde edilirken, prime edilmemiş kontrol tohumlarında %35,50'lik bir son çimlenme oranı tespit edilmiştir (Şekil 12). En düşük son çimlenme oranlarını aralarında istatistiksel açıdan fark olmayan %25 Gliserol'de bir ya da iki gün prime edilen tohumlar ve %20 PEG varlığında iki gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir. Kontrolle aynı (%20 Gliserol varlığında iki gün) veya daha düşük çimlenme oranı veren tohumların (%20 Gliserol varlığında bir ya da iki gün, %25 Gliserol varlığında bir ya da iki gün ve %20 PEG varlığında iki ya da üç gün), karanlık şartlardaki çimlenmede etkisiz olduğu veya negatif etki yarattığı belirlenmiştir (Şekil 12).

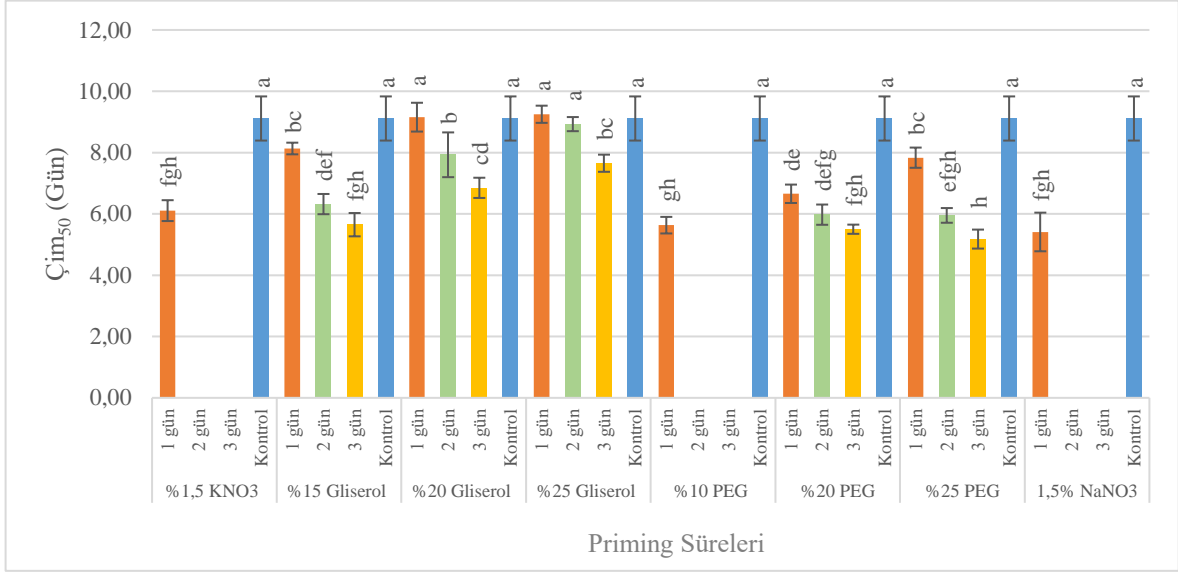
## Karanlık Şartların Çimlenme Hızı (Çim<sub>50</sub>) Üzerine Olan Etkisi

Karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 9'da, tohumların çimlenme hızlarının oranları Şekil 13'te verilmiştir.

Tablo 9

Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	0,13	0,47	0,7019
Uygulama	18	6,88	24,05	0,0001
Hata	54	0,29	-	-
Varyasyon Katsayısı	7,601795	-	-	-



Şekil 13. Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim<sub>50</sub>=gün). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Çalışma sonuçlarına göre, çimlenme öncesinde farklı osmotik kimyasallar ve farklı konsantrasyonlarıyla yapılan priming işlemlerinin, düşük sıcaklıkta ve karanlık şartlarda bulunan tohumların çimlenme parametrelerinden biri olan çimlenme hızları (Çim<sub>50</sub>) arasında istatistiksel olarak çok önemli ( $p < 0,0001$ ) farklılıklar oluşturduğunu, çimlenme hızındaki değişimin priming için kullanılan osmotik kimyasallara bağlı olarak önemli oranda değiştiğini göstermiştir (Tablo 9).

Kontrol tohumlarındaki çimlenme hızı (Çim<sub>50</sub>) 9,11 gün iken, uygulamalar arasındaki en hızlı çimlenme gün sayısı (Çim<sub>50</sub>=5,18 gün) %25 PEG varlığında üç gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 13). Sonrasında en hızlı çimlenme performansını priming bekleme süresiyle beraber sırasıyla; %1,5 NaNO<sub>3</sub> (1 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,41 gün, %20 PEG (3 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,50 gün, %10 PEG (1 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,63 gün, %15 Gliserol (3 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,65 gün, %25 PEG (2 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,95 gün, %20 PEG (2 gün priming) Çim<sub>50</sub>=5,98 gün, %1,5 KNO<sub>3</sub> (1 gün priming) Çim<sub>50</sub>=6,11 gün, %15 Gliserol (2 gün priming) Çim<sub>50</sub>=6,32 gün, %20 PEG (1 gün priming) Çim<sub>50</sub>=6,66 gün, %20 Gliserol (3 gün priming) Çim<sub>50</sub>=6,85 gün, %25 Gliserol (3 gün priming) Çim<sub>50</sub>=7,65 gün, %25 PEG (1 gün priming) Çim<sub>50</sub>=7,83 gün, %20 Gliserol (2 gün priming) Çim<sub>50</sub>=7,93

gün, %15 Gliserol (1 gün priming)  $\text{Çim}_{50}=8,13$  gün, %25 Gliserol (2 gün priming)  $\text{Çim}_{50}=8,93$  gün uygulamasından elde edilmiştir. Kontrolde daha fazla çimlenme gün sayısı ( $\text{Çim}_{50}=9,11$  gün>) veren uygulamaların (%20 Gliserol/1 gün priming  $\text{Çim}_{50}=9,16$  gün ve %25 Gliserol/1 gün priming  $\text{Çim}_{50}=9,25$  gün) çimlenme hızını yavaşlattığı tespit edilmiştir (Şekil 13).

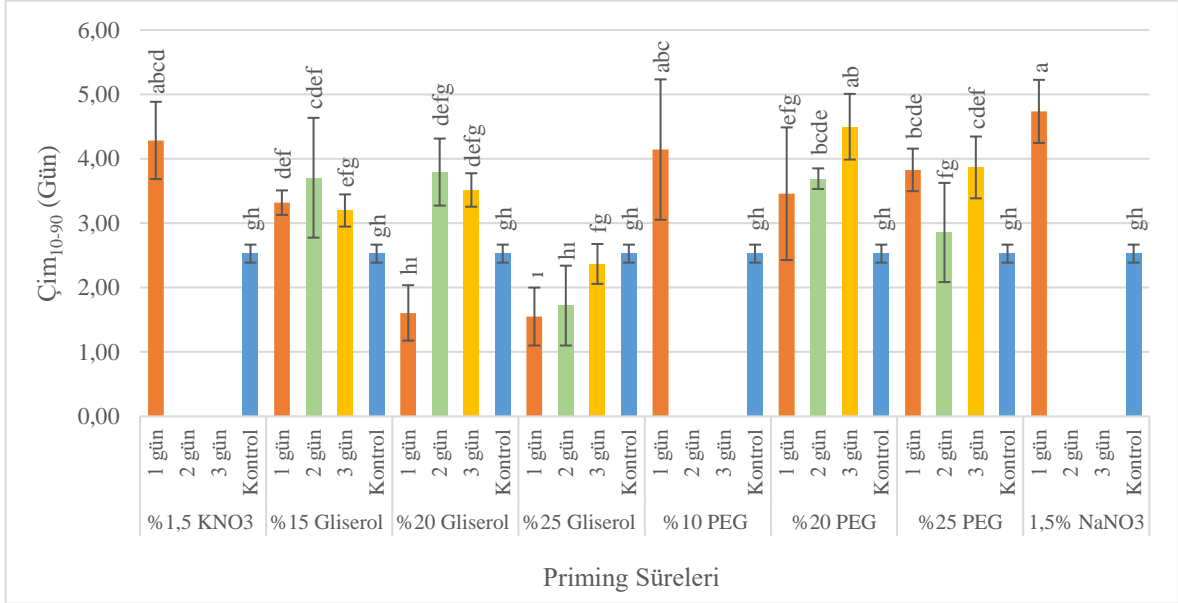
### Karanlık Şartların Çimlenme Homojenitesi ( $\text{Çim}_{10-90}$ ) Üzerine Etkisi

Karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi, tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenmeye ulaşabilmesi için geçen süre ( $\text{Çim}_{10-90}$ ) üzerinden hesaplanmıştır. Bu verilere ait varyans analiz sonuçları Tabla 10'da, çimlenme homojenitesinin oranları Şekil 14'te verilmiştir.

Tablo 10

Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine ( $\text{Çim}_{10-90}$ ) ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	75	-	-	-
Tekerrür	3	0,16	0,46	0,7117
Uygulama	18	3,20	9,31	0,0001
Hata	54	0,34	-	-
Varyasyon Katsayısı	18,22159	-	-	-



Şekil 14. Osmoprining uygulanan ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim<sub>10-90</sub>). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Elde edilen varyans analiz sonuçlarına göre, uygulamalara bağlı olarak tohumların çimlenme homojeniteleri bakımından istatistiksel açıdan çok önemli farklılıkların ( $p < 0,0001$ ) olduğunu, çimlenme homojenitesindeki bu farklılıkların, uygulanan farklı kimyasallar ve farklı konsantrasyonlarından kaynaklanarak çok önemli oranlarda değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 10).

Kontrol grubuna ait tohumlarındaki çimlenme homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) 2,53 gün iken, uygulamalar arasındaki en homojen çimlenmeyi (Çim<sub>10-90</sub>=1,55 gün) %25 Gliserol solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir. En homojen olmayan çimlenme (Çim<sub>10-90</sub>=4,74 gün) ise %1,5 NaNO<sub>3</sub> solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 14).

### 4.1.3. Osmoprining Uygulanan Tohumların Çimlendirme Ortamındaki Işık Faktörünün Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkisi

#### Işık Faktörünün Çimlenme Oranı (%) Üzerine Olan Etkisi

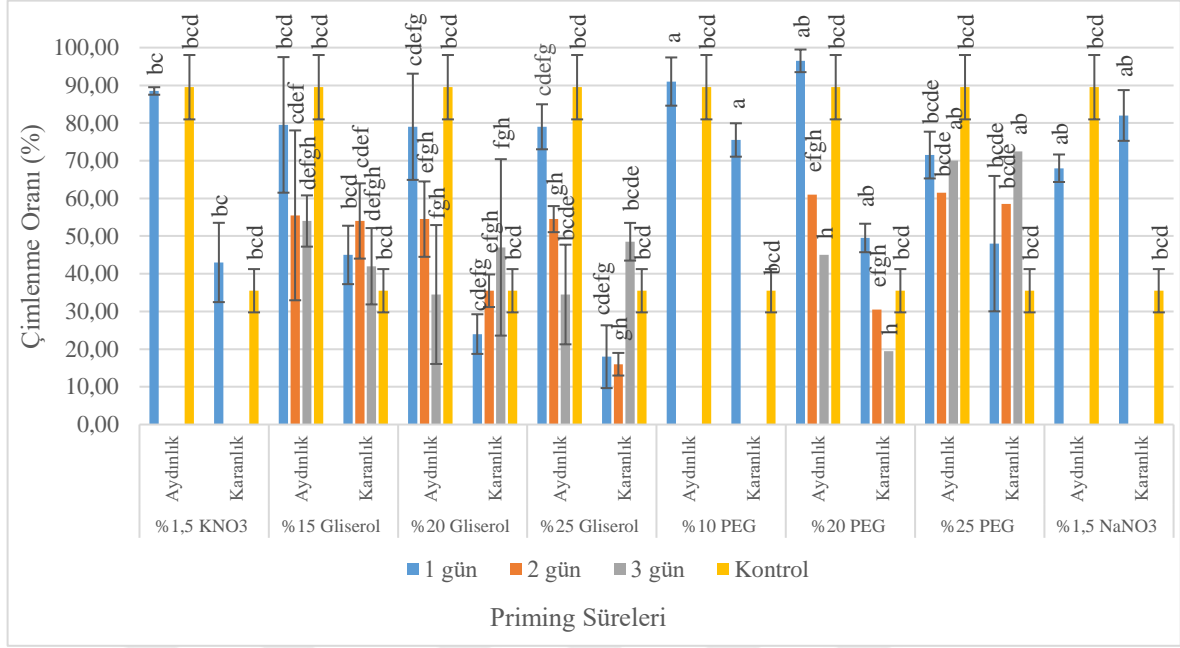
Işık faktörü göz önüne alınarak tohumların son çimlenme oranlarına ait açısal transformasyon verileri kullanılarak yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 11’de, çimlenme oranları da Şekil 15’te verilmiştir.

Tablo 11

Osmoprining uygulanan tohumların ışık faktörüne göre birlikte değerlendirildiğinde elde edilen son çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]’na ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	151	-	-	-
Tekerrür	3	71,96	0,60	0,6171
Uygulama	18	637,06	10,11	0,0001
Işık	1	10015,53	158,95	0,0001
Işık*Uygulama	18	473,02	7,51	0,0001
Hata	111	63,01	-	-
Varyasyon Katsayısı	15,95950	-	-	-

Elde edilen sonuçlara göre priming uygulanan ve düşük sıcaklıkta çimlendirilen tohumlardaki ışık faktörü (aydınlık/karanlık) birlikte değerlendirildiğinde, tohumlardaki çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonunda istatistiksel olarak çok önemli farklar ( $p < 0,0001$ ) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 11).



Şekil 15. Osmoprining uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde tohumlara ait son çimlenme oranları (%). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=8).

Priming sonrası çimlendirilen tohumlarda ışık ve karanlık faktörleri birlikte değerlendirildiğinde tohumların son çimlenme oranları %83,00 ve %32,25 arasında değişirken, kontrol tohumlarına ait son çimlenme oranı %62,50 olarak tespit edilmiştir (Şekil 15). Uygulamalar arasında en yüksek son çimlenme oranı (%83,00) %10 PEG varlığında bir gün prime edilen tohumlardan elde edilirken, en düşük son çimlenme oranı ise (%32,25) %20 PEG varlığında üç gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir. Kontrol tohumlarına göre daha yüksek son çimlenme oranı; (%75) %1,5 NaNO<sub>3</sub> ve (%73) %20 PEG varlığında bir gün, (%71,25) %25 PEG varlığında üç gün, (%66,75) %1,5 KNO<sub>3</sub> varlığında bir gün prime edilen uygulamalardan elde edilmiştir. Kontrol tohumlarından daha düşük son çimlenme oranı veren uygulamalar sırasıyla %15 Gliserol varlığında 1, 2 ya da 3 gün, %25 Gliserol varlığında 3 gün, %25 PEG varlığında 1 ya da 2 gün, %20 Gliserol varlığında 1, 2 ya da 3 gün, %25 Gliserol varlığında 1 ya da 2 gün, %20 PEG varlığında 2 ya da 3 gün uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 15).



## Işık Faktörünün Çimlenme Hızı (Çim<sub>50</sub>) Üzerine Olan Etkisi

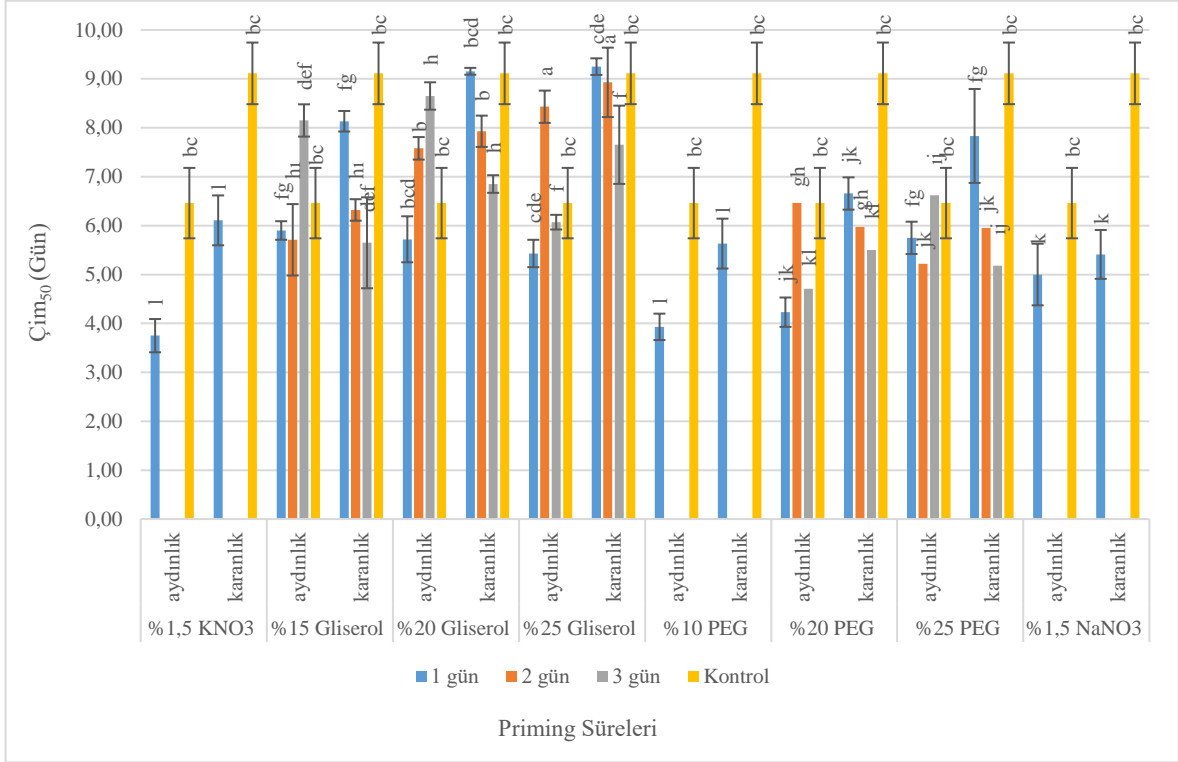
Işık faktörü birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 12'de tohumların çimlenme hızlarının oranları da Şekil 16'da verilmiştir.

Tablo 12

Osmoprining uygulanan tohumların ışık faktörüne göre birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	151	-	-	-
Tekerrür	3	0,17	0,77	0,5157
Uygulama	18	10,28	47,11	0,0001
Işık	1	35,99	164,83	0,0001
Uygulama*Işık	18	5,30	24,27	0,0001
Hata	111	0,22	-	-
Varyasyon Katsayısı	7,133067	-	-	-

Elde edilen sonuçlara göre priming uygulanan ve düşük sıcaklıkta çimlendirilen tohumlardaki ışık faktörü (aydınlık/karanlık) birlikte değerlendirildiğinde, tohumlardaki çimlenme hızlarının (Çim<sub>50</sub>) arasında istatistiksel olarak çok önemli farklar  $p<0,0001$ ) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 12).



Şekil 16. Osmoprimering uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim<sub>50</sub>=gün). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=8).

Primering sonrasındaki çimlenme denemelerinde ışık faktörü beraber değerlendirildiğinde kontrol tohumlarındaki çimlenme hızı (Çim<sub>50</sub>) 7,63 gün iken, uygulamalar arasındaki çimlenme hızları 8,68 gün ve 4,79 gün arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 16). Çimlenme hızları bakımından uygulamalar karşılaştırıldığında en hızlı çimlenmeler (Çim<sub>50</sub>=4,79 gün) %10 PEG ve (Çim<sub>50</sub>=4,79 gün) %1,5 KNO<sub>3</sub> kimyasallarında bir gün prime edilen tohumlardan elde edilirken, en yavaş çimlenme (Çim<sub>50</sub>=8,68 gün) %25 Gliserolde iki gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 16).

## Işık Faktörünün Çimlenme Homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) Üzerine Etkisi

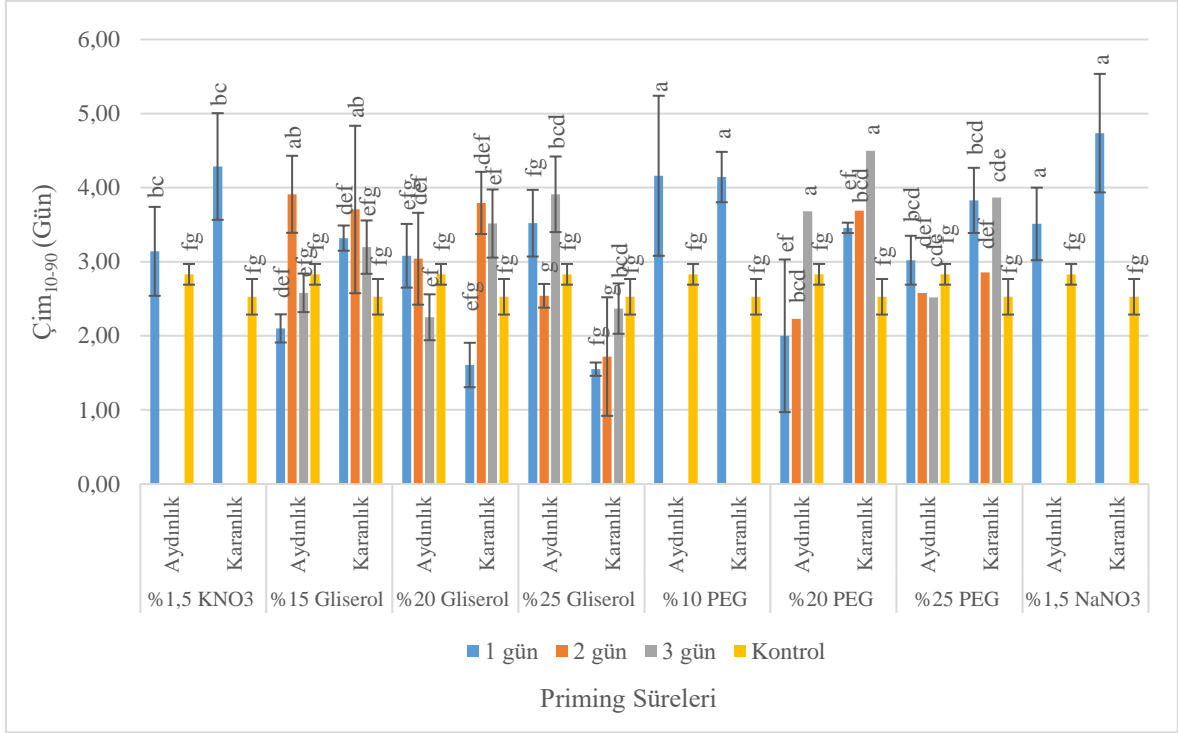
Çimlenme denemelerindeki tohumlarda ışık faktörü birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi, tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenmeye ulaşabilmesi için geçen süre (Çim<sub>10-90</sub>) üzerinden hesaplanmıştır. Bu verilere ait varyans analiz sonuçları Tabla 13'te, çimlenme homojenitesinin oranları da Şekil 17'de verilmiştir.

Tablo 13

Osmoprining uygulanan tohumlarda ışık faktörü birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim<sub>10-90</sub>) ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	151	-	-	-
Tekerrür	3	0,41	1,24	0,3004
Uygulama	18	3,02	9,13	0,0001
Işık	1	2,84	8,60	0,0041
Uygulama*Işık	18	1,76	5,33	0,0001
Hata	111	0,33	-	-
Varyasyon Katsayısı	18,66405	-	-	-

Priming uygulanan ve düşük sıcaklıkta çimlendirilen tohumlarda ışık faktörü birlikte değerlendirildiğinde, çimlenen tohumların çimlenme homojeniteleri (Çim<sub>10-90</sub>) bakımından istatistiksel olarak çok önemli farklar ( $p < 0,0001$ ) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 13).



Şekil 17. Osmoprimering uygulanan tohumlar ışık faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları ( $\text{Çim}_{10-90}$ ). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir ( $n=8$ ).

Primering sonrasındaki çimlenme denemelerinde aydınlık ve karanlık ortamdaki çimlenme homojeniteleri ( $\text{Çim}_{10-90}$ ) beraber değerlendirildiğinde kontrol tohumları ( $\text{Çim}_{10-90}=2,44$  gün) ve en homojen çimlenmeyi veren ( $\text{Çim}_{10-90}=2,06$  gün) %25 Gliserol varlığında iki gün bekletilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 17). En homojen olmayan çimlenmeleri ise aralarında istatistiksel bir fark bulunmayan ( $\text{Çim}_{10-90}=4,19$  gün) %1,5  $\text{NaNO}_3$  ( $\text{Çim}_{10-90}=4,12$  gün) ve %10 PEG varlığında bir gün ve ( $\text{Çim}_{10-90}=4,11$  gün) %20 PEG varlığında üç gün bekletilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 17).

## **4.2. Farklı Bitki Hormonlarının Düşük Sıcaklık ve Karanlık Şartlarındaki Tohum Çimlenme Performansı Üzerine Olan Etkileri**

Osmoprining uygulamalarının tef tohumlarının düşük sıcaklık şartlarındaki çimlenme performansı üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla aydınlık şartlarda yürütülen denemelerde %20 PEG solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlardan en yüksek çimlenme oranı (%96,50) elde edilirken prime edilmeyen kontrol tohumlarında son çimlenme oranı %89,50 olarak tespit edilmiştir. Buna karşın prime edilen tohumlar düşük sıcaklık ve karanlık şartlarda çimlendirildiklerinde tohumların son çimlenme oranlarında büyük bir varyasyon gözlenmiş ve bu şartlardaki kontrol tohumlarında son çimlenme oranı %35,50'lik olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle farklı bitki hormonlarının tef tohumlarının düşük sıcaklık şartlarındaki çimlenme performansı üzerine olan etkileri sadece karanlık çimlenme şartlarında aşağıda belirtildiği şekilde test edilmiştir.

### **4.2.1. Hormon Uygulamalarının Çimlenme Oranlarına Etkisi**

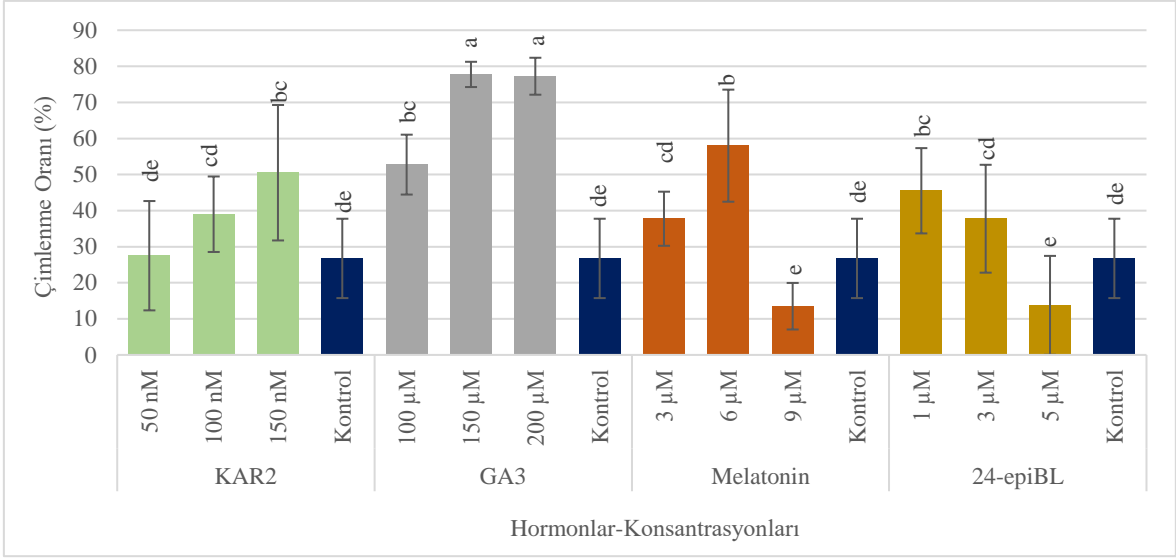
Farklı hormonların varlığında karanlık şartlarda çimlendirilen tohumlara ait çimlenme oranlarının açısız transformasyon verilerinin varyans analiz sonuçları Tablo 14'te, çimlenme oranları da Şekil 18'de verilmiştir.

Tablo 14

Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyonu [ÇimY]'na ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	51	-	-	-
Tekerrür	3	41,36	0,72	0,5477
Uygulama	12	683,63	11,87	0,0001
Hata	36	57,60	-	-
Varyasyon Katsayısı	18,81105	-	-	-

Priming sonrasında yapılan çimlenme denemesinden elde edilen sonuçlara göre, farklı hormonların varlığında, düşük sıcaklık ve karanlık şartlarda çimlendirilen tohumların çimlenme yüzdesinin açısal (Arcsin) transformasyona ait son çimlenme verileri arasındaki farklar istatistiksel olarak çok önemli ( $p<0,0001$ ) bulunmuştur (Tablo 14).



Şekil 18. Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme oranları (%). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Kontrol grubuna ait tohumların son çimlenme oranı %26,75 iken en yüksek çimlenme oranı 150 µM GA<sub>3</sub> (%77,75) ve 200 µM GA<sub>3</sub> (%77,25) uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 18). Kontrol tohumlarından daha yüksek çimlenme oranı veren diğer uygulamalar sırasıyla; 6 µM Melatonin (%58,00), 100 µM GA<sub>3</sub> (%52,75), 150 nM KAR2 (%50,50), 1 µM 24-epiBL (%45,50), 100 nM KAR2 (%39,00), 3 µM Melatonin, 3 µM 24-epiBL (%37,75) ve 50 nM KAR2 (%27,50) olmuştur. Ayrıca 5 µM 24-epiBL (%13,75) ve 9 µM Melatonin (%13,50) uygulamaları kontrol tohumlarından (%26,75) daha düşük son çimlenme oranlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Şekil 18).

#### 4.2.2.Hormon Uygulamalarının Çimlenme Hızı (Çim<sub>50</sub>) Üzerine Olan Etkisi

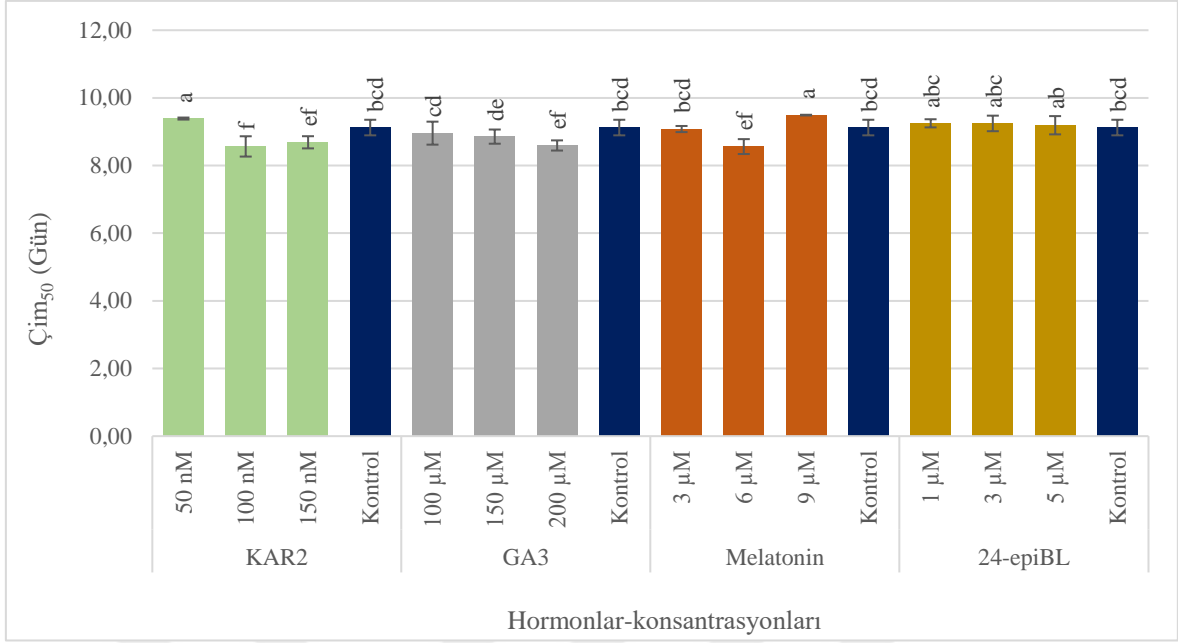
Farklı hormonların varlığında çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 15'te, uygulamalara ait çimlenme hızlarının oranı Şekil 19'da verilmiştir.

Tablo 151

Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların %50'sinin çimlenmesi için gerekli süreye ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	51	-	-	-
Tekerrür	3	0,03	0,81	0,4968
Uygulama	12	0,42	9,64	0,0001
Hata	36	0,04	-	-
Varyasyon Katsayısı	2,313116	-	-	-





Şekil 19. Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme hızlarının oranları (Çim<sub>50</sub>=gün). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Elde edilen sonuçlara göre, karanlık şartlarda ve düşük sıcaklıkta çimlendirilen tohumların çimlenme ortamına farklı hormonların ilave edilmesinin, çimlenme parametrelerinden biri olan çimlenme hızları (Çim<sub>50</sub>) arasında istatistiksel olarak çok önemli ( $p < 0,0001$ ) farklılıklar oluşturduğunu, çimlenme hızındaki değişimin çimlenme ortamına ilave edilen farklı hormon ve konsantrasyonlarına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Tablo 15; Şekil 19).

Kontrol tohumlarından %50'sinin çimlenmesi için geçen gün sayısına (Çim<sub>50</sub>=9,12 gün) göre uygulamalar arasında en hızlı çimlenmeyi 100 nM KAR2, en yavaş çimlenme hızını da 9 µM Melatonin (Çim<sub>50</sub>=9,49 gün) uygulaması vermiştir (Şekil 19). Kontrol tohumlarından daha yavaş çimlenmeye neden olan uygulamalar 3 µM ve 6 µM Melatonin, 100 µM, 150 µM ve 200 µM GA<sub>3</sub>, 100 nM ve 150 nM KAR2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 19).

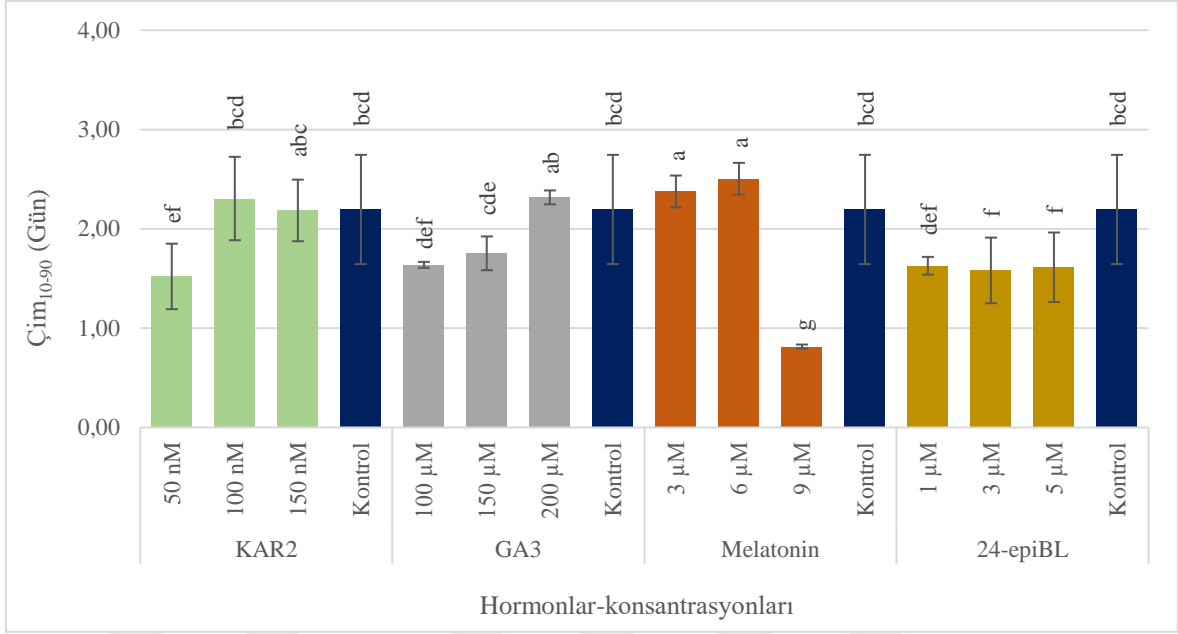
### 4.2.3. Hormon Uygulamalarının Çimlenme Homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) Üzerine Olan Etkisi

Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi, tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenmeye ulaşabilmesi için geçen süre (Çim<sub>10-90</sub>) sayısı üzerinden hesaplanmıştır. Bu verilere ait varyans analiz sonuçları Tabla 16'da, uygulamalara ait çimlenme homojenitesinin oranları ise Şekil 20'de verilmiştir.

Tablo 16

Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesi verilerine (Çim<sub>10-90</sub>) ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Genel	51	-	-	-
Tekerrür	3	0,01	0,07	0,9742
Uygulama	12	0,91	10,80	0,0001
Hata	36	0,08	-	-
Varyasyon Katsayısı	16,53168	-	-	-



Şekil 20. Farklı hormonların varlığında çimlendirilen tohumların çimlenme homojenitesinin oranları (Çim<sub>10-90</sub>). Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0,05$  seviyesinde önemli değildir. Bar çubuğu standart sapmayı göstermektedir (n=4).

Elde edilen varyans analiz sonuçlarına göre, uygulamalara bağlı olarak tohumların çimlenme homojeniteleri bakımından istatistiksel açıdan çok önemli farklılıkların ( $p < 0,0001$ ) var olduğu, çimlenme homojenitesindeki bu farklılıkların uygulanan farklı hormon ve hormon konsantrasyonlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Tablo 16; Şekil 20).

Kontrol tohumlarındaki çimlenme homojenitesi (Çim<sub>10-90</sub>) 2,20 gün iken, uygulamalar arasındaki en homojen çimlenmeyi 9 µM Melatonin (Çim<sub>10-90</sub>=0,82 gün), en homojen olmayan çimlenmeleri ise aralarında istatistiksel olarak bir fark olmayan (Çim<sub>10-90</sub>=2,50 gün) 6 µM Melatonin ve (Çim<sub>10-90</sub>=2,38 gün) 3 µM Melatonin uygulamaları vermiştir (Şekil 20).

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Tropik ve yarı tropik iklim bölgelerinin bir bitkisi olan ve çimlenme sıcaklık aralığı 15-25 °C aralığında değişen tef bitkisinin diğer bölge şartlarında yetiştirilebilmesinin en önemli şartlarından biri tohumların  $\leq 15$  °C altındaki sıcaklıklarda çimlenebilmelerinin sağlanmasıdır. Düşük çimlenme sıcaklığının bir stres faktörü olarak ele alındığı bu çalışmada tef tohumları farklı süre ve konsantrasyonlardaki ozmotik çözeltilerle priming işlemine (osmopriming) tabi tutulmuş ve devamında 10 °C'de ışık ya da karanlık şartlarda çimlenme denemesine alınmıştır. Çalışma sonuçları daha önce literatürde var olmayan çok önemli bulguların elde edilmesini sağlamıştır.

Priming sonrası ışık varlığında yapılan denemede kontrol grubuna ait tohumlarının son çimlenme oranına (%89,50) kıyasla en yüksek son çimlenme oranı %96,50 ile %20 PEG varlığında bir gün prime edilen tohumlardan ve en düşük son çimlenme oranı %34,50 ile %20 Gliserol varlığında üç gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 9).

Priming sonrası karanlık ortamda yapılan denemede ise kontrol grubuna ait tohumlarının son çimlenme oranına (%35,50) kıyasla en yüksek son çimlenme oranı %82 ile %1,5 NaNO<sub>3</sub> varlığında bir gün prime edilen tohumlarda ve en düşük son çimlenme oranı %16 ile %25 Gliserol varlığında iki gün prime edilen tohumlarda tespit edilmiştir (Şekil 12).

Priming uygulaması, karanlık ve ışık faktörü birlikte değerlendirildiğinde kontrol tohumlarının son çimlenme oranı %62,50 iken uygulamalar arasında en yüksek son çimlenme oranı %83 ile %10 PEG solüsyonunda bir gün prime edilen tohumlardan ve en düşük son çimlenme oranı ise %32,25 ile %20 Gliserol solüsyonunda üç gün prime edilen tohumlardan elde edilmiştir (Şekil 15).

Karanlık ortamda uygulanan ve düşük sıcaklık stresinin giderilmesi amacıyla tef tohumlarının çimlenme ortamına ilave edilen farklı konsantrasyonlardaki bitki

hormonlarından kontrol tohumlarında son çimlenme oranı %26,75 olurken, en yüksek son çimlenme oranı 150  $\mu\text{M}$  GA<sub>3</sub> (%77,75) ve 200  $\mu\text{M}$  GA<sub>3</sub> (%77,25) uygulamalarından elde edilmiştir. Buna karşın 5  $\mu\text{M}$  24-epiBL ve 9  $\mu\text{M}$  melatonin uygulamaları çimlenme parametrelerinde çok önemli gerilemelere neden olmuştur (Şekil 18).

Çalışma sonuçları ışık varlığında çimlenmenin pozitif yönde etkilendiği tef tohumlarında osmopriming uygulamalarının düşük sıcaklık ve karanlık şartlardaki tohumların çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerinin, düşük sıcaklık ve ışık varlığındaki çimlenme parametrelerine göre daha etkili olduğunu göstermiştir.

Çalışma sonuçları düşük sıcaklık stresinin (10 °C) tef tohumlarının çimlenme parametreleri üzerine olan olumsuz etkisinin giderilmesinde osmopriming uygulamalarının başarılı bir şekilde kullanılabileceğini, ancak osmopriming uygulama başarısının kullanılacak ozmotik çözelti ve konsantrasyonu ile priming süresi ve ışık varlığına bağlı olarak büyük oranda değişebileceğini göstermiştir.

Çalışma sonuçları tef tohumlarının düşük sıcaklık ve karanlık şartlardaki çimlenme parametrelerinin iyileştirilmesinde 150  $\mu\text{M}$  GA<sub>3</sub> ve 200  $\mu\text{M}$  GA<sub>3</sub>'in başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

## KAYNAKÇA

- Abate, E., Hussein, S., Laing, M. and Mengistu, F. (2013). “Quantitative responses of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] and weeping love grass [*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees] varieties to acid soil.” *Australian Journal of Crop Science*, 7 (12), 1854–1860.
- Ahmad, P. and Prasad, M.N.V. (eds.) (2011). *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. Springer Science: London.
- Allen, D. J. and Ort, D. R. (2001). “Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants.” *Trends in Plant Science*, 6 (1), 36–42. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01808-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01808-2).
- Asgher, M., Khan, M. I. R., Anjum, N. A. and Khan, N. A. (2015). “Minimising toxicity of cadmium in plants—role of plant growth regulators.” *Protoplasma*, 252 (2), 399–413. <https://doi.org/10.1007/S00709-014-0710-4/FIGURES/2>.
- Assefa, K., Cannarozzi, G., Girma, D., Kamies, R., Chanyalew, S., Plaza-Wuthrich, S., Blosch, R., Rindisbacher, A., Rafudeen, S. and Tadele, Z. (2015). “Genetic diversity in tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter].” *Frontiers in Plant Science*, 6 (3), 177. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00177>.
- Assefa, K., Chanyalew, S. and Tadele, Z. (2017). “Tef, *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter.” *Millets and Sorghum: Biology and Genetic Improvement*, 226–266. <https://doi.org/10.1002/9781119130765.CH9>.
- Assefa, K., Yu, J. K., Zeid, M., Belay, G., Tefera, H. and Sorrells, M. E. (2011). “Breeding tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) trotter]: conventional and molecular approaches.” *Plant Breeding*, 130 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0523.2010.01782.X>.
- Ayele, M., Blum, A. and Nguyen, H. T. (2001). “Diversity for osmotic adjustment and root depth in TEF [*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter].” *Euphytica*, 121, 237–249. <https://doi.org/10.1023/A:1012099914738>.
- Aziz, T. and Pekşen, E. (2018). “Improving Chilling Tolerance by Seed Priming in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) During Seed Germination and Early Growth Stages.” *Acta Physiologiae Plantarum volume*, 42, 139.

<https://doi.org/10.1007/s11738-020-03124-x>.

- Bajwa, V. S., Shukla, M. R., Sherif, S. M., Murch, S. J. and Saxena, P. K. (2014). “Role of melatonin in alleviating cold stress in *Arabidopsis thaliana*.” *Journal of Pineal Research*, 56 (3), 238–245. <https://doi.org/10.1111/JPI.12115>.
- Balsamo, R. A., Vander Willigen, C., Bauer, A. M., and Farrant, J. (2006). “Drought Tolerance of Selected *Eragrostis* Species Correlates with Leaf Tensile Properties.” *Annals of Botany*, 97 (6), 985–991. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCL068>.
- Barretto, R., Buenavista, R. M., Rivera, J. L., Wang, S., Prasad, P. V. V. and Siliveru, K. (2021). “Teff (*Eragrostis tef*) processing, utilization and future opportunities: a review.” *International Journal of Food Science & Technology*, 56 (7), 3125–3137.
- Baye, K. (2014). *Teff: nutrient composition and health benefits*. International Food Policy Research Enstitute: Ethiopia.
- Bourioug, M., Ezzaza, K., Bouabid, R., Alaoui-Mhamdi, M., Bungau, S., Bourgeade, P., Alaoui-Sossé, L., Alaoui-Sossé, B. and Aleya, L. (2020). “Influence of hydro-and osmo-priming on sunflower seeds to break dormancy and improve crop performance under water stress.” *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 13215–13226.
- Cao, Q., Li, G., Cui, Z., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L. and Kong, F. (2019). “Seed priming with melatonin improves the seed germination of waxy maize under chilling stress via promoting the antioxidant system and starch metabolism.” *Scientific Reports*, 9 (1), 1–12.
- Cheng, A., Mayes, S., Dalle, G., Demissew, S. and Massawe, F. (2017). “Diversifying crops for food and nutrition security – a case of teff.” *Biological Reviews*, 92 (1), 188–198. <https://doi.org/10.1111/BRV.12225>.
- Cheng, Y. and Song, C. (2006). “Hydrogen peroxide homeostasis and signaling in plant cells.” *Science in China: Series C Life Sciences*, 49 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11427-005-0066-2>.
- Cheverton, M. R. and Chapman, G. P. (1989). *Ethiopian T'ef: a Cereal Confined to its Centre of Variability*. Chapman and Hall: London (235–237).

- Costanza, S. H., Dewet, J. M. J. and Harlan, J. R. (1979). "Literature review and numerical taxonomy of *Eragrostis tef* (T'ef)." *Economic Botany*, 33 (4), 413–424. <https://doi.org/10.1007/BF02858337>.
- Cushman, J. C. and Bohnert, H. J. (2000). "Genomic approaches to plant stress tolerance." *Current Opinion in Plant Biology*, 3 (2), 117–124. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(99\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(99)00052-7).
- Deckers, J., Spaargaren, O. and Nachtergaele, F. (2001). "Vertisols: genesis, properties and soilscape management for sustainable development." *The Sustainable Management of Vertisols*, 3–20. <https://doi.org/10.1079/9780851994505.0003>.
- Ding, F., Liu, B. and Zhang, S. (2017). "Exogenous melatonin ameliorates cold-induced damage in tomato plants." *Scientia Horticulturae*, 219, 264–271.
- Ding, F., Wang, M. and Zhang, S. (2017). "Overexpression of a Calvin Cycle Enzyme SBPase Improves Tolerance to Chilling-Induced Oxidative Stress in Tomato Plants." *Scientia Horticulturae*, 214, 27–33. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2016.11.010>.
- Dolferus, R., Ji, X. and Richards, R. A. (2011). "Abiotic stress and control of grain number in cereals." *Plant Science*, 181 (4), 331–341. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2011.05.015>.
- Ebba, T. (1969). Tef (*Eragrostis tef*). The cultivation, usage and some of its known diseases and insect pests. Part I. *Expt. Sta. Bull*, 66.
- Ebba, T. (1975). *T'ef (Eragrostis Tef) Cultivars: Morphology and Classification Part 2*.
- Elmas, T. (2021). Bazı Priming Uygulamalarının Buğdayda Tohum Çimlenmesi ve Fide Gelişimine Etkileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Evert, S., Staggenborg, S. and Olson, B. L. S. (2009). "Soil temperature and planting depth effects on tef emergence." *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195 (3), 232–236. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00343.x>.
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S. M. A., Cheema, M. A. and Rehman, H. (2008). "Chilling Tolerance in Hybrid Maize Induced by Seed Priming with Salicylic Acid." *Journal*



*of Agronomy and Crop Science*, 194(2), 161–168. <https://doi.org/10.1111/J.1439-037X.2008.00300.X>.

Farooq, M., Hussain, M., Nawaz, A., Lee, D. J., Alghamdi, S. S. and Siddique, K. H. M. (2017). “Seed priming improves chilling tolerance in chickpea by modulating germination metabolism, trehalose accumulation and carbon assimilation.” *Plant Physiology and Biochemistry*, 111, 274–283. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2016.12.012>.

FoodData Central Search Results. (2019). Teff, uncooked. Retrieved: April 15, 2023, <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169747/nutrients>.

Foyer, C. H., Vanacker, H., Gomez, L. D. and Harbinson, J. (2002). “Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures: review.” *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (6–8), 659–668. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01425-0](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01425-0).

Fufa, B., Behute, B., Simons, R. and Berhe, T. (2011). *Strengthening Teff Value Chain in Ethiopia: Teff Diagnostic Report*. Addis Ababa:Ethiopia.

Gebremariam, M. M., Zarnkow, M. and Becker, T. (2012). “Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of gluten-free foods and beverages: a review.” *Journal of Food Science and Technology* 2012, 51 (11), 2881–2895. <https://doi.org/10.1007/S13197-012-0745-5>.

Gebremedhin, T. (1987). “The control of red tef worm, *Mentaxya ignicollis* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in Ethiopia.” *Tropical Pest Management*, 33 (2), 170–172. <https://doi.org/10.1080/09670878709371140>.

Gharib, F. A. and Hegazi, A. Z. (2010). “Salicylic Acid Ameliorates Germination , Seedling Growth , Phytohormone and Enzymes Activity in Bean ( *Phaseolus vulgaris* L .) under Cold Stress.” *Journal of American Science*, 6 (10), 675–683.

Guan, Y. Hu, J. Wang, X. J. and Shao, C. X. (2009). “Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress.” *Journal of Zhejiang University: Science B*, 10 (6), 427-433.

Gürün, A. S. (2018). Farklı Fosfor Seviyelerinin Yaz Otu (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)’nda Tane Verimi ve Bazı Verim Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Ön Araştırma. Ege

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tohumluk Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı, İzmir.

- Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P. and Sodhi, P. S. (1999). “On- Farm Seed Priming in Semi-Arid Agriculture: Development and Evaluation in Maize, Rice and Chickpea in India Using Participatory Methods.” *Experimental Agriculture*, 35 (1), 15–29. <https://doi.org/10.1017/S0014479799001027>.
- Harrison, M. A. (2012). “Cross-talk between phytohormone signaling pathways under both optimal and stressful environmental conditions.” *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants*, 9783642258299, 49–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-25829-9\\_2/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25829-9_2/COVER).
- Heidari, P., Entazari, M., Ebrahimi, A., Ahmadizadeh, M., Vannozzi, A., Palumbo, F. and Barcaccia, G. (2021). “Exogenous EBR Ameliorates Endogenous Hormone Contents in Tomato Species under Low-Temperature Stress.” *Horticulturae* , 7 (4), 84. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040084>.
- Hu, Z., Fan, J., Xie, Y., Amombo, E., Liu, A., Gitau, M. M., Khaldun, A. B. M., Chen, L. and Fu, J. (2016). “Comparative photosynthetic and metabolic analyses reveal mechanism of improved cold stress tolerance in bermudagrass by exogenous melatonin.” *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, 94–104. <https://doi.org/10.1016/J.plaphy.2016.01.008>.
- Ingram, A. L. and Doyle, J. J. (2003). “The origin and evolution of *Eragrostis tef* (Poaceae) and related polyploids: evidence from nuclear waxy and plastid rps16.” *American Journal of Botany*, 90 (1), 116–122. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.1.116>.
- Jansen, G. R., DiMaio, L. R., and Hause, N. L. (1962). “Amino acid composition and lysine supplementation of teff.” *Agricultural and Food Chemistry*, 10 (1), 62–64.
- Jisha, K. C., Vijayakumari, K. and Puthur, J. T. (2013). “Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview.” In *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (5), 1381–1396. Polish Academy of Sciences, Institute of Slavic Studies. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>.
- Tiryaki, İ. and Kaplan, Ş. A. (2019). “Enhanced germination performance of dormant seeds of *Eragrostis tef* in the presence of light.” *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*,

7(3), 244–251. [https://doi.org/10.17138/tgft\(7\)244-251](https://doi.org/10.17138/tgft(7)244-251).

- Karakurt, H., Aslantaş, R. and Eşitken, A. (2010). “Tohum Çimlenmesi ve Bitki Büyümesi Üzerinde Etkili Olan Çevresel Faktörler ve Bazı Ön Uygulamalar.” *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 115–128.
- Kazan, K. (2015). “Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance.” *Trends in Plant Science*, 20 (4), 219–229.
- Ketema, S. (1993). *Tef (Eragrostis tej) Breeding, genetic resources, agronomy, utilization and role in Ethiopian agriculture*. Institute of Agricultural Research:Ethiopia.
- Ketema, S. (1997). *Tef - Eragrostis Tef (Zucc.)*. International Plant Genetic Resources Institute: Ethiopia.
- Khoury, C. K., Bjorkman, A. D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L. H. and Struik, P. C. (2014). “Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (11), 4001–4006. [https://doi.org/10.1073/PNAS.1313490111/SUPPL\\_FILE/ST01.DOC](https://doi.org/10.1073/PNAS.1313490111/SUPPL_FILE/ST01.DOC).
- Kosakivska, I. V., Vedenicheva, N. P., Babenko, L. M., Voytenko, L. V., Romanenko, K. O. and Vasyuk, V. A. (2022). “Exogenous phytohormones in the regulation of growth and development of cereals under abiotic stresses.” *Molecular Biology Reports*, 49 (1), 617–628.
- Kreitschitz, A., Tadele, Z. and Gola, E. M. (2009). “Slime cells on the surface of Eragrostis seeds maintain a level of moisture around the grain to enhance germination.” *Seed Science Research*, 19 (1), 27–35. <https://doi.org/10.1017/S0960258508186287>.
- Li, R., Jiang, M., Song, Y. and Zhang, H. (2021). “Melatonin Alleviates Low-Temperature Stress via ABI5-Mediated Signals During Seed Germination in Rice (*Oryza sativa* L.)” *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.727596/BIBTEX>
- Li, Z. Xu, J. Gao, Y. Wang, C. Guo, G. Luo, Y. Huang, Y. Hu, W. Sheteiw, M. S. and Guan, Y. (2017). “The synergistic priming effect of exogenous salicylic acid and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on chilling tolerance enhancement during maize (*Zea mays* L.) seed germination.” *Frontiers in plant science*, 8, 1153.

- Lichtenthaler, H. K. (1998). "The stress concept in plants: an introduction." *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851, 187–198.
- Liu, J., Moore, S., Chen, C. and Lindsey, K. (2017). "Crosstalk Complexities between Auxin, Cytokinin, and Ethylene in Arabidopsis Root Development: From Experiments to Systems Modeling, and Back Again." *Molecular Plant*, 10 (12), 1480–1496. <https://doi.org/10.1016/J.MOLP.2017.11.002>.
- Mahmood, R. (2002). "In vitro effect of salt on the vigor of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets." *International Journal of Biotechnology*, 1, 73-77.
- McDonald, M. B. (2000). "Seed priming." *Seed Technology and Its Biological Basis*, 287–325.
- Miller, D. (2010). "Teff grass: crop overview and forage production guide." *Cal/West Seed Company. Woodland, CA, 95695*.
- Musa, A. M., Harris, D., Johansen, C. and Kumar, J. (2001). "Shor Duration Chickpea to Replace Fallow After Aman Rice: The Role of On-Farm Seed Priming in the High Barind Tract of Bangladesh." *Experimental Agriculture*, 37 (4), 509–521. <https://doi.org/10.1017/S0014479701000448>.
- National Research Council (NRC). (1996). "Lost Crops of Africa: Volume I: Grains" *Washington DC The National Academies Press*.
- Özköse, A., Acar, B., and Kamacı, M. (2022). "A NEW PLANT FOR TURKEY: TEFF." *I. International Conference on Sustainable Ecological Agriculture*, 161–170. March 8-10, Konya.
- Pandey, P. and Senthil-Kumar, M. (2019). "Plant-pathogen interaction in the presence of abiotic stress: What do we know about plant responses?" *Plant Physiology Reports*, 24 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1007/S40502-019-00483-7/FIGURES/2>.
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and Balestrazzi, A. (2015). "Seed priming: state of the art and new perspectives." *Plant Cell Reports*, 34, 1281–1293.
- Peleg, Z. and Blumwald, E. (2011). "Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants." *Current Opinion in Plant Biology*, 14 (3), 290–295.

<https://doi.org/10.1016/J.PBI.2011.02.001>.

- Posmyk, M. M., Bałabusta, M., Wieczorek, M., Sliwinska, E. and Janas, K. M. (2009). “Melatonin applied to cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds improves germination during chilling stress.” *Journal of Pineal Research*, 46 (2), 214–223. <https://doi.org/10.1111/J.1600-079X.2008.00652.X>.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C. and Job, D. (2012). “Seed germination and vigor.” *Annual Review of Plant Biology*, 63, 507–533.
- Saboor, A., Mustafa, G., Arshad, M., Ahmad, M., Hussain, S., Ahmed, N., Ahmad, S., Shahid, M. and Ali, M. A. (2019). “Seed Priming and Metal/Metalloid Stress Tolerance in Plants.” *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 287–311. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_14).
- Sari, U., ve Tiryaki, İ. (2018). “Alternatif Tahıl: Eskinin Unutulmuş Yeni Bitkisi Tef.” *KSU J. Agric Nat*, 21 (3), 447–456. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.328540>.
- Solanke, A. U. and Sharma, A. K. (2008). “Signal transduction during cold stress in plants.” *Physiology and Molecular Biology of Plants* 2008, 14 (1), 69–79. <https://doi.org/10.1007/S12298-008-0006-2>.
- Stallknecht, G. ., Gilbertson, K. M. and Eckhoff, J. L. (1993). *Teff: Food Crop for Humans and Animals*, 231–234.
- Staniar, W. B., Bussard, J. R., Repard, N. M., Hall, M. H. and Burk, A. O. (2010). “Voluntary intake and digestibility of teff hay fed to horses.” *Journal of Animal Science*, 88 (10), 3296–3303. <https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2668>.
- Steenbergen, F. V. and Tuinhof, A. (2009). “Stress Physiology in Plants.” *Angewandte Chemie International Edition*, 6 (11), 951–952.
- Stewart, R. B. and Yiroou, D. (1967). “Index of plant diseases in Ethiopia.” *Bull. Exp. Stn Coll. Agric. Halle Selassie Univ*, 30-95.
- Talebian, M. A., Sharifzadeh, F., Jahansouz, M. R., Ahmadi, A. and Naghavi, M. R. (2008). “Evaluation the effect of seed priming on germination, seedling stand and grain yield of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in three different regions in Iran.” *Ir. J. Crop Sci*, 39 (1), 145–154.

- Tareke, B. (1981). *Inheritance of lemma color, seed color and panicle form among four cultivars of Eragrostis tef (Zucc.) Trotter*, Univercity Microfilms International: London.
- Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M. N. and Roberts, T. H. (2020). “Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize.” *PLOS ONE*, 15 (5), <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0232269>.
- Tesfaw, Z., Zemedu, L. and Tegegn, B. (2021). “Technical efficiency of Teff producer farmers in Raya Kobo district, Amhara National Regional State, Ethiopia.” *Cogent Food & Agriculture*, 7 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1865594>.
- Tiryaki, I. (2006). “Priming and storage of amaranth seeds: Effects of plant growth regulators on germination performance at low temperature.” *Seed Science and Technology*, 34 (1), 169–179. <https://doi.org/10.15258/SST.2006.34.1.18>.
- Tiryaki, I. (2009). “Osmotic priming increases seed germination of *Amaranthus caudatus* L. at low temperature.” *Agrochimica*, 62 (3), 177–182.
- Totkanli, B. (2022). Yeşil sentezlenen magnetit nanopartikülün ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NP}$ ) domatesin (*Solanum lycopersicum* L.) çimlenme, büyüme ve fizyolojisi üzerindeki etkileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Turan, Ö. ve Ekmekçi, Y. (2008). “Soğuk Stresinin Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tolerans Mekanizmaları.” *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi - A : Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 9 (2), 177–198.
- Vavilov, N. I. (1951). “The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants :selected writings.” *Chronica Botanica*, 13.
- Vishal, B. and Kumar, P. P. (2018). “Regulation of Seed Germination and Abiotic Stresses by Gibberellins and Abscisic Acid.” *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.00838>.
- Wang, W. Chen, Q. Hussain, S. Mei, J. Dong, H. Peng, S. Huang, J. Cui, K. and Nie, L. (2016). “Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress.”

*Scientific reports*, 6 (1),

Waterworth, W. M., Bray, C. M. and West, C. E. (2015). “The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity.” *Journal of Experimental Botany*, 66 (12), 3549–3558. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERV080>.

Woldeyohannes, A. B., Accotto, C., Desta, E. A., Kidane, Y. G., Fadda, C., Pè, M. E. and Dell’Acqua, M. (2020). “Current and projected eco-geographic adaptation and phenotypic diversity of Ethiopian teff (*Eragrostis tef*) across its cultivation range.” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300.

