

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ARTAN TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN KIRMIZI VE BEYAZ
PANCAR (*Beta vulgaris L.*) ÇEŞİTLERİNDE DIŞTAN MELATONİN
UYGULAMASININ BAZI TEMEL FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Leyla YILMAZ

NİSAN 2025

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ARTAN TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN KIRMIZI VE BEYAZ
PANCAR (*Beta vulgaris L.*) ÇEŞİTLERİNDE DIŞTAN MELATONİN
UYGULAMASININ BAZI TEMEL FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Leyla YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"YÜKSEK LİSANS (BİYOLOJİ)"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 02 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 18 / 04 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Faik Ahmet AYZ

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Artan Tuz Stresi Koşullarında Yetiştirilen Kırmızı Ve Beyaz Pancar (*Beta vulgaris L.*) Çeşitlerinde Dıştan Melatonin Uygulamasının Bazı Temel Fizyolojik Ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisinin İncelenmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAZ’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Nesrin ÇOLAK’a, teşekkür ederim. Tezimde yardımları ve desteğiyle yazım aşamasında emeği geçen Arş. Gör. Emine Duman Erbaş hocama çok teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bana desteklerini esirgemeyen Biyoloji Bölümü’ndeki tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Saadet YILMAZ ve babam Abdurrahman YILMAZ’a, abim Oğuz YILMAZ ve kardeşim Bilal YILMAZ’a teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Leyla YILMAZ

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Artan Tuz Stresi Koşullarında Yetiştirilen Kırmızı ve Beyaz Pancar (*Beta vulgaris L.*) Çeşitlerinde Dıştan Melatonin Uygulamasının Bazı Temel Fizyolojik Ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Faik Ahmet AYZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/04/2025.

Leyla YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLOLAR DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Stres ve Stres Çeşitleri.....	3
1.3. Tuz Stresi.....	4
1.4. Bitkilerin Tuzluluğa Cevabı	5
1.5. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Gelişmesine Etkisi	7
1.6. Tuz Stresinin Bitkilerdeki İyonik Etkileri	8
1.7. Tuz Stresinin Bitkideki Fotosentez Üzerine Etkileri.....	9
1.8. Tuz Stresinin Zar Kararlılığına Etkisi	9
1.9. Serbest Radikaller ve Reaktif Oksijen Türleri	10
1.10. Bitkilerde Antioksidan Savunma Sistemi.....	11
1.10.1. Enzimatik Antioksidanlar	11
1.10.2. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar	11
1.11. Melatonin (Mel) ve Bitki Büyüme ve Gelişmesindeki Rolü.....	12
1.12. Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeler (TBARS)	15
1.13. Pancar (<i>Beta vulgaris L.</i>) Bitkisi	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi.....	19
2.2. Yaprak Ozmotik Potansiyelinin (Ψ_s) Belirlenmesi.....	19
2.3. Yaprak Özütlerinin Pigment İçeriğinin Belirlenmesi.....	20
2.4. Yapraklarda Elektrolit Sızıntısının Belirlenmesi	20
2.5. Antioksidan Kapasite Değerlerinin Belirlenmesi.....	21

2.6. TBARS (Tiyobarbiturik Asit Reaktif Maddeleri) Düzeyinin Belirlenmesi	21
2.7. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriğinin Belirlenmesi.....	21
2.8. İstatiksel Analizler.....	22
3. BULGULAR.....	23
3.1. Tuz Stresine Maruz Bırakılan Kırmızı ‘Ruby Queen’ ve Beyaz ‘Rodeo’ Pancar Fideleri Yapılan Melatonin Uygulamasının Temel Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi.....	23
3.2. Tuz Stresi ve Mel Uygulamalarının Pancar Fidelerinin Yapraklarında Ozmotik Potansiyeli (Ψs) Üzerine Etkisi	24
3.3. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Klorofil Floresansına (Fv/Fm) Etkisi	26
3.4. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Klorofil (Chl) ve Karotenoid (Tkar) içeriğine Etkisi	28
3.5. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerindeki Elektrolit Sızıntı İçeriğine Etkisi	29
3.6. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Zar Kararlılığına Olan Etkisi.....	30
3.7. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Yapraklarında Stoma İletkenliğine Etkisi	31
3.8. Tuz Stresi ve Melatonin Uygulamasının Pancar Fidelerinin Yapraklarındaki Tiyobarbiturik Asit Reaktif Ürün (TBARS) Eşdeğerine Olan Etkisi.....	32
3.9. Tuz Stresi ve Melatonin Uygulaması Pancar Fidelerinin Yapraklarının Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Miktarına Etkisi	33
4. TARTIŞMA	35
5. SONUÇLAR.....	39
6. ÖNERİLER.....	40
7. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ARTAN TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN KIRMIZI VE BEYAZ PANCAR (*Beta vulgaris L.*) ÇEŞİTLERİNDE DIŞTAN MELATONİN UYGULAMASININ BAZI TEMEL FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Leyla YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ
2025, 45 Sayfa

Çalışma kapsamında 3 farklı tuz konsantrasyonuyla (50, 150, 250 mM NaCl) muamele edilen şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*)'nin iki çeşidinde (Ruby Queen ve Rodeo) melatonin hormonunun (100 uM) fotosentetik aktivite, osmotik potansiyel, stoma iletkenlik, elektrolit sızıntı, membran stabilite, klorofil floresans, H₂O₂ ile TBARS miktarında meydana gelen değişimler analiz edilmiştir. Kontrol olarak hiçbir uygulama yapılmayan ve melatoninle müdahale edilen şeker pancarları kullanılmıştır. Tuz uygulaması yapılan deney gruplarında kontrollere göre kıyasla fotosentetik aktivite, osmotik potansiyel, stoma iletkenlik, membran stabilite ve klorofil floresans değerlerinde azalma meydana gelirken, elektrolit sızıntı, H₂O₂ ve TBARS miktarlarında artış olduğu tespit edildi. Bununla birlikte, 3 farklı tuz konsantrasyonuyla tuzluluk stresi oluşturulan deney gruplarına melatonin uygulamasının deney gruplarına kıyasla fotosentetik aktivite, osmotik potansiyel, stoma iletkenlik, membran stabilite ve klorofil floresans değerlerinde artış olduğu, elektrolit sızıntı, H₂O₂ ve TBARS miktarlarında da azalma olduğu belirlendi. Sonuç olarak bu araştırma, tuz stresi koşullarında yetiştirilen şeker pancarına yapılan Mel müdahalesinin bitkide iyileştirici etkiye neden olduğunu ve bu nedenle tarımsal alanlarda artan tuzluluk seviyesine karşı bu hormonunun kullanılabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tuz stresi, Melatonin, *Beta vulgaris*

Master Thesis

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF EXTERNAL MELATONIN
ADMINISTRATION ON SOME BASIC PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL
PARAMETERS IN RED AND WHITE BEET (*Beta vulgaris* L.) CULTIVARS GROWN
UNDER INCREASING SALT STRESS CONDITIONS

Leyla YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Biology Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAN
2025, 45 Pages

Melatonin hormone (100 μ M) photosynthetic activity, osmotic potential, stomatal conductance, electrolyte, membrane temperature, chlorophyll temperature, H₂O₂ and TBARS amount of two varieties (Ruby Queen and Rodeo) of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) treated with 3 different salt study scopes (50, 150, 250 mM NaCl) were obtained in the current. Sugar beets treated with melatonin and not treated with any application were used as controls. In the experimental groups with salt application, a comparative decrease in photosynthetic activity, osmotic potential, stomatal conductance, membrane stability and chlorophyll flora was observed compared to controls, while an increase in electrolyte leakage, H₂O₂ and TBARS amounts was detected. However, in the comparison of 3 different salt temperature salinity stress experimental program, melatonin distribution experimental section, it was determined that there was an increase in photosynthetic activity, osmotic potential, stomatal conductance, membrane stability and chlorophyll flora values, and a decrease in electrolyte leakage, H₂O₂ and TBARS amounts. As a result, this research shows that the Mel intervention applied to sugar beet grown under salt stress conditions has a healing effect on the plant and thus the usability of this hormone against increasing salinity in management areas.

Key Words: Salt Stress, Melatonin, *Beta vulgaris* L.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Tuzlu, sodalı ve tuzlu-sodalı toprakların dünya genelindeki dağılışı (Wicke vd., 2011)	2
Şekil 2.	Bitkilerin maruz kaldığı çevresel stres faktörleri (Larcher, 1995B).....	4
Şekil 3.	Abiyotik stres faktörlerine karşı bitkilerin oluşturduğu cevap aşamaları (Kosová vd., 2011)	4
Şekil 4.	Bitkilerin tuzluluğa verdiği tepkiler.....	6
Şekil 5.	Bitkilerde tuza aşırı duyarlı sinyal yolu (SOS).....	9
Şekil 6.	Enzimatik antioksidanlar ve görevleri	12
Şekil 7.	Enzimatik olmayan antioksidanlar ve görevleri	12
Şekil 8.	A-Melatoninin Kimyasal Yapısı ve B- Melatonin Biosentezi.....	14
Şekil 9.	Tiyobarbitürük Asit ve Malondialdehit oluşum reaksiyonu.....	15
Şekil 10.	Kırmızı ‘Ruby Queen’ pancar kimyasal besin içeriği	17
Şekil 11.	Beyaz ‘Rodeo’ şeker pancar kimyasal besin içeriği	17
Şekil 12.	Ruby Queen ve Rodeo pancar çeşitlerine ait morfolojik görünüm.	24
Şekil 13.	Tuz stresi ve Mel uygulamasının kırmızı ‘Ruby Queen’ ve beyaz ‘Rodeo’ pancar fidelerinin yapraklarında ozmotik potansiyeli üzerine etkisi. Kolonlarda gösterilen farklı harfler Duncan çoklu aralık testine göre yapılmış olup, istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P<0,05$) göstermektedir.	25
Şekil 14.	Tuz stresi ve Mel uygulamasına maruz bırakılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarının klorofil floresansı (Fv/Fm) değerleri. Her bir kolondaki farklı harfler, Duncan çoklu aralık testine göre istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.....	27
Şekil 15.	Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında Tkl ve KLa değerleri. Kolonlarda gösterilen farklı harfler, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapılmıştır ve istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P<0,05$) göstermektedir.	28
Şekil 16.	Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında Tkar değerleri. Kolonlarda gösterilen farklı harfler, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapılmıştır ve istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P<0,05$) belirtmektedir.....	29
Şekil 17.	Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında elektrolit sızıntı değerleri.	

	Her bir kolondaki farklı harfler, Duncan çoklu aralık testine göre istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.....	30
Şekil 18.	Tuz stresi ve Mel uygulamasının kırmızı ‘Ruby Queen’ ve beyaz ‘Rodeo’ pancar fidelerinin yapraklarında zar kararlılığına olan etkisi. Her bir kolonda gösterilen farklı harfler Duncan çoklu aralık testine göre yapıldı ve istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.	31
Şekil 19.	Tuz stresi ve Mel uygulamasını Ruby Queen ve Rodeo pancar çeşitleri yapraklarındaki stoma iletkenlik değerleri. Her bir kolonda yer alan farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P < 0,05$) olduğunu göstermekte olup, Duncan çoklu aralık testine göre yapılmıştır.	32
Şekil 20.	Tuz stresi ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarına ait TBARS eşdeğerine etkisi. Kolonlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermekte olup, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapıldı.	33
Şekil 21.	Tuz stresi ve Mel uygulamasının Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında H_2O_2 miktarına olan etkisi. Her bir kolonda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir. Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapılmıştır.....	34

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Çeşitli Bitkilerinin Tuz Toleransı	7
Tablo 2. Çalışmada takip edilen uygulama grupları	19



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

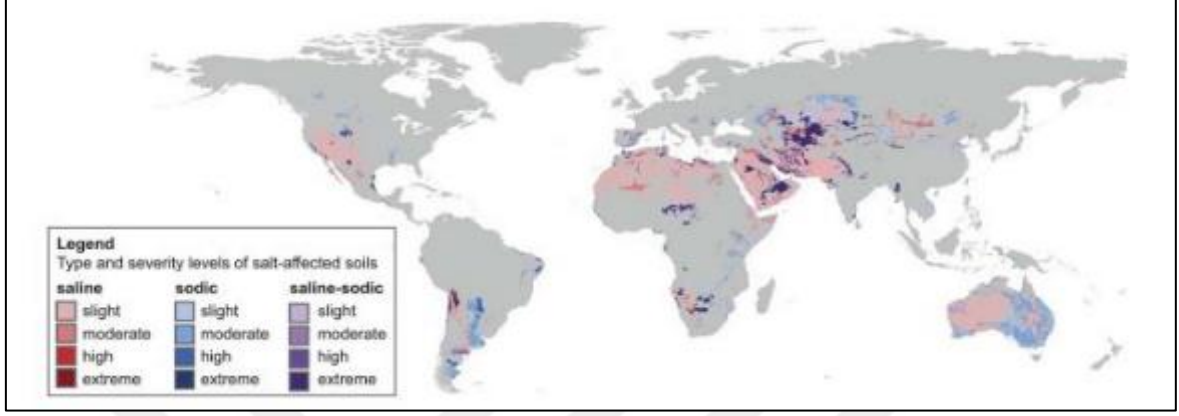
ES	: Elektrolit sızıntısı
GSH	: Glutasyon
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
IAA	: Indol-3-asetik asit
Kl	: Klorofil
Mel	: Melatonin
NaCl	: Sodyum Klorür
PSI	: Fotosistem I
PSII	: Fotosistem II
ROT	: Reaktif oksijen türleri
TBARS	: Tiyobarbitürik Asit Reaktif Ürünleri
Tkar	: Toplam karotenoid
Tkl	: Toplam klorofil
Ψs	: Ozmotik potansiyel

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar birçok medeniyet hayatta kalabilmek için farklı yaşam koşulları aramak zorunda kalmıştır. Çevre şartlarındaki değişimler yaşam koşullarını çeşitlendirmedeki faktörlerdendir. Avcılık, hayvancılık ve tarım medeniyetlerin geçim kaynağı haline gelmiştir. Tarım toplumun kendi ürünlerini yetiştirip temel beslenme ihtiyacını karşıladığı, maddi olarak kendilerine kazanç sağladığı bir alan olmuştur. Fakat gelişen olumsuz çevre koşulları tarım alanlarında başka sorunları da beraberinde getirmiştir. İklim değişikliği, kuraklık, deniz sularının seviyesindeki artış ve azalış topraktaki tuzluluk miktarının artmasına neden olmaktadır. Böylece tarım alanları daha tuzlu hale gelmekte ve bu durum dünya ölçeğinde çiftçilik yapan ailelerin geçimini, hayvanlarının beslenmesi için gerekli olan besinleri ve maddi kazanç döndürmek için kullandıkları ürünlerin üretimini zorlaştırmaktadır. Toprak tuzluluğu, dünya tarımı için 800 milyon hektar alanı etkileyen önemli bir çevresel sınırlamadır ve dünyanın toplam toprak alanının % 6'sından fazlasını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu oranın 397 milyon hektarını tuzluluk oluştururken 434 milyon hektarını ise tuzlulukla ilişkili ya da onu tetikleyen ilişkiler meydana getirmektedir. Pek çok yerde, tuzdan etkilenmiş topraklar ekilemez hale gelmektedir (Botella vd., 2005). Bu durum, küresel gıda güvenliği için ciddi bir tehdit olarak ortaya çıkmış ve halen devam etmektedir. Topraktaki tuz miktarının artması tuzlanmaya neden olur ve su kaynağı içerisinde çözülmüş tuz miktarı başlıca tuzlanma kaynağını oluşturur. Tuzlanmayı tetikleyen kaynaklar arasında tuzlu yeraltı sularının toprağa taşması, deniz suyunun sızıntı yapması ve deniz suyu yer almaktadır. Tuzlanmayı hızlandıran faktörlerden diğeri olan iklim değişikliğiyle deniz seviyesinde artış olabilir ve bu durum tuzlanmanın artışına neden olur. Yükselen deniz seviyeleri nedeniyle, eskiden ekilebilir arazilerin geniş alanları giderek daha tuzlu hale gelmekte buna bağlı olarak ekilebilir arazi alanı daralmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Dünyadaki çiftçilerin çoğu tuzlu tarıma aşina olmadığından, ortak inançları tuzlu toprağın mahsul yetiştirmek için uygun olmadığı yönündedir. Bu durum beraberinde çiftçiler için göç etme, açlık veya yoksulluk içinde yaşamak gibi zorlu nedenleri oluşturmaktadır. Dünya üzerindeki tarımı zorlaştıran tuzlu, sodalı ve tuzlu-sodalı toprakların dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Tarım alanlarının %17'si sulanmakta olup bu sulanan tarım alanlarının

yaklaşık %20'sinin (227 milyon ha) tuzdan etkilendiği bildirildi. Bu nedenle tuzdan etkilenen topraklarda tarımsal faaliyetler gün geçtikçe kısıtlanmaktadır (Pitman ve Läuchli, 2002; Tuteja, 2007).



Şekil 1. Tuzlu, sodalı ve tuzlu-sodali toprakların dünya genelindeki dağılışı (Wicke vd., 2011)

Tarım alanlarındaki bölgelere göre değişen tuzluluk miktarı, ekilebilir tarım alanlarında azalmaya neden olmaktadır. Tarım alanlarının azalması ve tuz stresi gibi çevresel faktörler ürün miktarını ve kalitesini azaltmaktadır. Azalan ürün miktarını ve kalitesini arttırmak için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar arasında gübreleme, içten veya dıştan hormon takviyesi gösterilebilir. Bitkilerde büyüme ve gelişmede rol alan hormonlar arasında melatonin hormonu da yer almaktadır (Fan vd., 2018).

Bir indolamin triptofan türevi olan melatoninin (Mel; N-acetyl-5-methoxytryptamine) sığır beyin üstü bezi (epifiz) dokusunda 1950'lerin sonlarında tanımlanması bilim dünyası için büyük bir keşif olmuştur (Lerner vd., 1958). Bu keşiften sonra Melatonin (Mel) hormonunun çeşitli bitkilerde de bulunduğu tespit edilmiştir (Badria, 2002). Bitkilerde bulunan Mel, tohum çimlenmesi, fide büyümesi, fotoperiyodik cevaplar, çiçek gelişimi ve senesensin ertelenmesi gibi çeşitli fizyolojik fonksiyonları düzenlemede görev yapar (Szafranska vd., 2016). Ayrıca Mel bitkilerde stres toleransının gelişmesinde önemli bir role sahiptir (Zhang vd., 2015; Nawaz vd., 2015; Salehi vd., 2019). Stres faktörlerine maruz kalan bitkilerde görülen Mel düzeyindeki geçici artışlar, özellikle oksidatif stresin neden olduğu zararlı etkilere karşı bitkileri korumaya yönelik olduğu bildirilmiştir. Stres koşullarında yetişen veya hayatlarının belli dönemlerinde herhangi bir stres faktörüne maruz kalan bitkilerde içsel melatonin seviyelerinde kayda değer oranlarda artışlar olduğu ve bu artışların

da strese karşı savunma mekanizmalarını harekete geçirmek amaçlı olduğu bildirildi. Melatonin içeren bitkiler bu indolamini sentezleyebilirler; ayrıca dıştan bitki büyüme ve yetiştirme ortamına yani toprağa ya da bitkinin kendisine (yaprağa) uygulanan Mel'i almaları da mümkündür (Reiter vd., 2001). Stresle başa çıkmada önemli bir görevi üstlenen melatonin, tuz stresine karşı büyüme parametlerinin düzenlenmesinde, çeşitli enzim aktivitelerindeki azalma veya artışın düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Bitkiler tuz stresine toleransları belirlendiğinde halofit ve glikofit bitkiler olarak gruplandırılırlar. Tuzlu alanlarda ekilebilen ve büyümesi sağlanan bitkiler halofit bitkiler olarak adlandırılırlar. Tuz stresinde tarıma elverişli olan bitkilere bakıldığında, bu bitkilerin başında *Beta vulgaris L.* gelmektedir (Ayers ve Westcot, 1989).

1.2. Stres ve Stres Çeşitleri

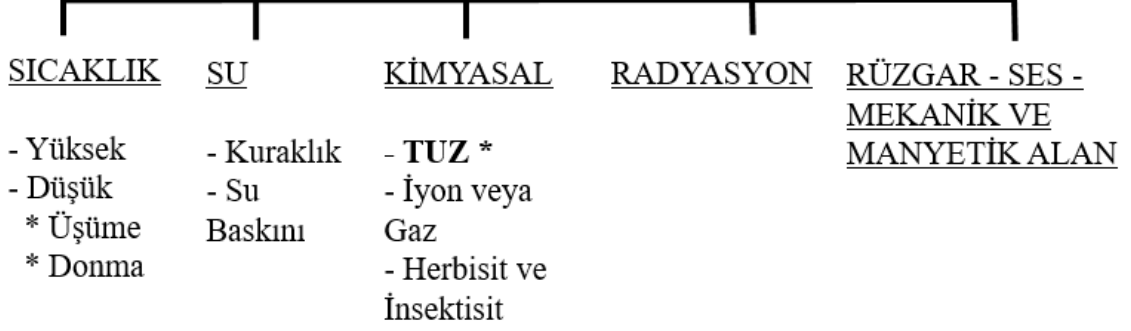
Bitkiler yaşamları boyunca yaşam alanlarında büyüme ve gelişmelerini engelleyen veya kısıtlayan birçok olumsuz çevre şartlarıyla (besin maddesi eksikliği, su eksikliği, düşük veya yüksek sıcaklık, UV, tuzluluk, hastalık ve zararlılar) karşılaşılırlar. Bitkilerin karşılaştığı büyüme, gelişme ve metabolizmayı etkileyen veya engelleyen durumlara bitkisel stres denir. Bitkiler strese çoklu olarak veya dönemsel olarak maruz kalabilirler (Yılmaz vd., 2011). Bitkilerin maruz kaldıkları stres faktörleri abiyotik ve biyotik stres olmak üzere iki çeşittir (Şekil 2). Strese neden olan şartların sebep olduğu zarar bitkinin türüne, tolerans ve adaptasyon yeteneğine bağlı olarak değişmektedir (Büyük vd., 2012). Bitki araştırmalarında, bitkilerin abiyotik strese verdikleri cevaplar önemli bir yer kapsamaktadır. Bitkilerin abiyotik strese karşı verdiği cevaplar başlangıç alarm seviyesi, aklimasyon seviyesi, onarım evresi, tükenme evresi şeklinde dört aşamalı olarak gerçekleşmektedir (Kosová vd., 2011; Şekil 3).

STRES FAKTÖRLER

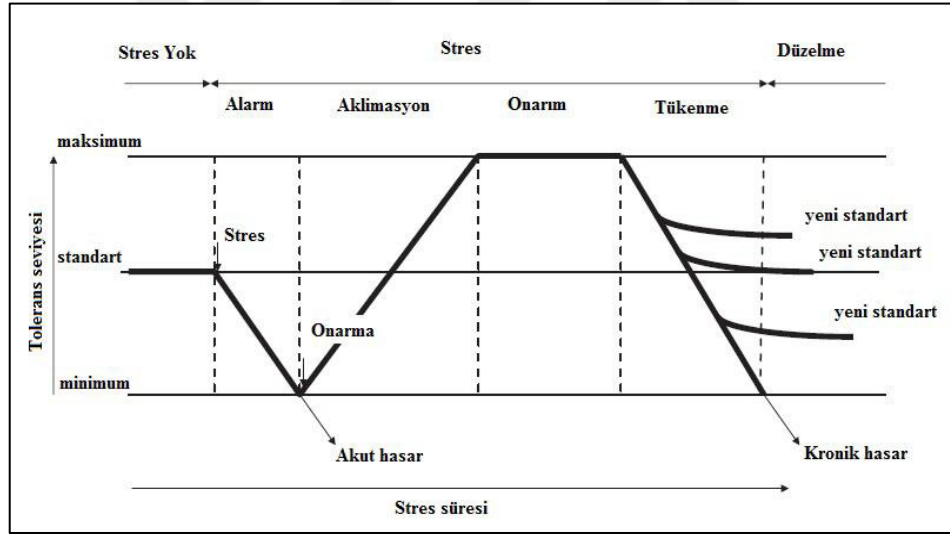
BIYOTİK FAKTÖRLER

- Rekabet
- Alleopati
- Böcekler
- Hastalıklar

ABIYOTİK FAKTÖRLER



Şekil 2. Bitkilerin maruz kaldığı çevresel stres faktörleri (Larcher, 1995B)



Şekil 3. Abiyotik stres faktörlerine karşı bitkilerin oluşturduğu cevap aşamaları (Kosová vd., 2011)

1.3. Tuz Stresi

Bitkiler sürekli çevresi ile etkileşim halinde bulunan canlı grupları içerisinde yer alır. Bu etkileşim sürecinde birçok çevresel strese maruz kalır. Bunların başında tuz stresi gelmektedir. Tuz stresi bitkiler üzerinde bir takım zararlara neden olurlar. Bu zararlar arasında; osmotik potansiyelde azalma, besin alınımında azalma, büyümenin yavaşlaması, proteinlere, membran lipitlerine, karbonhidratlara ve DNA yapısına zarar veren reaktif

oksijen türleri ve radikallerin oluşumuna neden olur (Zhao vd., 2019). Tuzluluk bitkilerin köklerinde büyüme oranını azaltabilmekte ya da geçici olarak durdurabilmektedir. Köklerde büyüme lateral ve apikal büyüme olarak ikiye ayrılır. Tuz stresi bitkinin kök yapısında lateral büyümeyi, apikal büyümeye oranla azaltabilmektedir. Yani tuz stresi bitki kökünün kalınlaşmasını engelleyici özellik göstermektedir. Yaprak üzerinde ise kalınlaşmaya neden olmakta ve buna bağlı olarak CO₂ asimilasyonunu azaltmaktadır (Sönmez ve Kaplan., 1997).

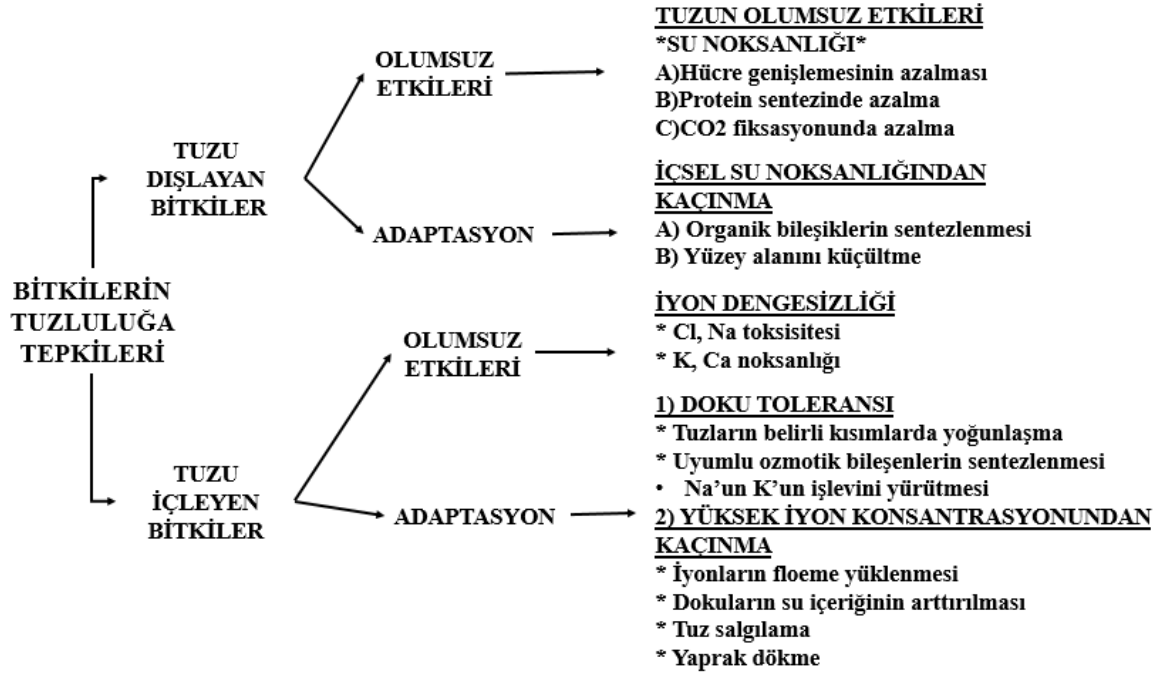
Toprakta bulunan tuz miktarındaki artışın nedenleri şu şekilde sıralanabilir (Ergene, 1996; Terry, 1997);

- Okyanuslarla birleşen delta ovaları, gel-git olayları, deniz serpintileri ve tuzlu suyun arazilere ulaşması,
- Daha önce deniz tabanı olup jeolojik olaylar sonucu suyu çekilen bölgelerde uzun yıllar tuzlu deniz suyuna maruz kalan deniz orijinli kayaların, ana kayada mevcut olan tuzların, sular ve diğer bazı fiziksel ve kimyasal etkilerle ayrışması,
- Kapalı havzalar, taban suyu akışını engelleyen geçirimsiz tabakaların sebep olduğu yüksek taban suyu, taban suyunun kapillar yükselmesi ve buharlaşması,
- Kurak ve yarı kurak bölgelerde, yetersiz yağış sebebiyle, tuzların yıkanması ve taban suyuna karışmaması ve yer altı sularının açık denizlere ulaşmaması,
- Belli zamanda belli hacimdeki suyun bıraktığı toplam tuz miktarı olan tuz yükünün fazla olması,
- Aşırı ve hatalı sulama ve aşırı gübre kullanımı,
- Tek tip (Monokültür) ürün yetiştirilmesi

topraklarda tuz yoğunluğu artışına ve tuzluluğa neden olmaktadır.

1.4. Bitkilerin Tuzluluğa Cevabı

Topraktaki tuzlanma karşı bitkiler çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir. Bu mekanizmalar bitkinin fazla tuzu dışlaması veya kendi bünyesinde içlemesine şeklinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 4). Tuzluluğa karşı adapte olamayan bitkiler ise bu durumdan olumsuz olarak etkilenmektedir (Güneş vd., 2010).



Şekil 4. Bitkilerin tuzluluğa verdiği tepkiler (Güneş vd., 2010)

Tuzluluğa tolerans bakımından bitkiler glikofitler (tuza hassas bitkiler) ve halofitler (tuza dayanıklı bitkiler) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Glikofit bitkiler genellikle tuz konsantrasyonları 100- 200 mM'lık alanlarda bile canlılıklarını sürdüremeyen bitki gruplarıdır. Bundan dolayı tuzluluğa duyarsız bitki grupları olarak bilinirler (Doğru ve Canavar, 2020). Glikofit bitkilerde topraktaki tuz sınırı aşıldığında bir takım olumsuz etkiler gözlenmektedir. Büyümede duraklama, yaprak renginde solma, bitki kuru ağırlığında azalma bu olumsuz etkiler arasında olduğu belirtilmektedir (Kara, 2013). Halofitler ise 300-400 mM gibi oldukça yüksek tuz konsantrasyonuna sahip olan topraklarda dahi büyüeyebilen ve yaşam döngülerini tamamlayabilen bitki türlerini içermektedir. Tuzluluğa karşı duyarlı olan bu bitkiler, filogenetik adaptasyon süreçleri boyunca tuz toleransı geliştirdikleri için aşırı tuzlu topraklarda büyüeyebilmektedir (Doğru ve Canavar, 2020).

Tuz bakımından yüksek konsantrasyona sahip topraklar bitkiler için farklı bir ekolojik alan oluştururlar. Toprağın besin elementleri miktarı, tuzluluk gibi kimyasal madde içeriği bitkinin büyüme ve gelişmesini sınırlayıcı özellik göstermektedirler. Tuz miktarı fazla olan topraklarda tuz değeri %2-2 arasındadır ve toprak pH'sı 8,5'den daha azdır. Tuz miktarı orta seviyede olan topraklarda ise toprak pH 8,5-10 arasındadır ve genelde kurak veya yarı kurak alanlarda rastlanan toprak yapısıdır. Tuzlu topraklarda yaşayan, halofit bitkiler tuz stresine toleranslı bitki grupları olarak bilinirler. Büyüme gelişme süreçlerinde, çimlenme de dâhil

olmak üzere tuz stresinden etkilenmeden gelişimine devam edebilmektedir. Ayrıca tuzlu topraklarda yaşamaya adapte olduklarından dolayı oksijen yetersizliğine karşıda bir adaptasyon gösterirler. Halofit bitkilerin tuza karşı göstermiş oldukları tolerans farklılık gösterebilmektedir (Güneş vd., 2010; Tablo 1).

Tablo 1. Çeşitli Bitkilerinin Tuz Toleransı (Güneş vd., 2010)

YÜKSEK	İYİ	ORTA	ZAYIF
Arpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Pırasa (<i>A. ampeloprasum</i> L.)	Havuç (<i>Daucus carota</i> L.)	Çilek (<i>Fragaria vesca</i> L.)
Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Karnabahar (<i>Brassica oleracea</i> 'Botrytis')	Bezelye (<i>Pisum sativum</i>)	Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
Şeker pancarı (<i>Beta vulgaris sacchariferae</i>)	Domates (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Turp (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Marul (<i>Lactuca sativa</i> L.)
Kolza (<i>Brassica napus</i> L.)	Ispanak (<i>Spinacia oleracea</i>)	Kabak (<i>Semen Cucurbita</i>)	Tilki kuyruğu (<i>Amaranthus caudatus</i>)
İtalyan çimi (<i>Lolium Multiflorum</i> L.)	Yonca (<i>Medicago sativa</i> L.)	Patates (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Kırmızı üçgül (<i>Trifolium sp.</i>)
Kamışı yumak (<i>Festuca arundinaceae</i> L.)	Soğan (<i>Allium cepa</i> L.)	Tütün (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	Aleksandra üçgülü (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)
	Çavdar (<i>Secale cereale</i> L.)	Fiğ (<i>Vicia sativa</i> L.)	
	Kırmızı Lahana (<i>Brassica olerace</i> L.)	Sarı taş yoncası (<i>Melilotus officinalis</i> L.)	

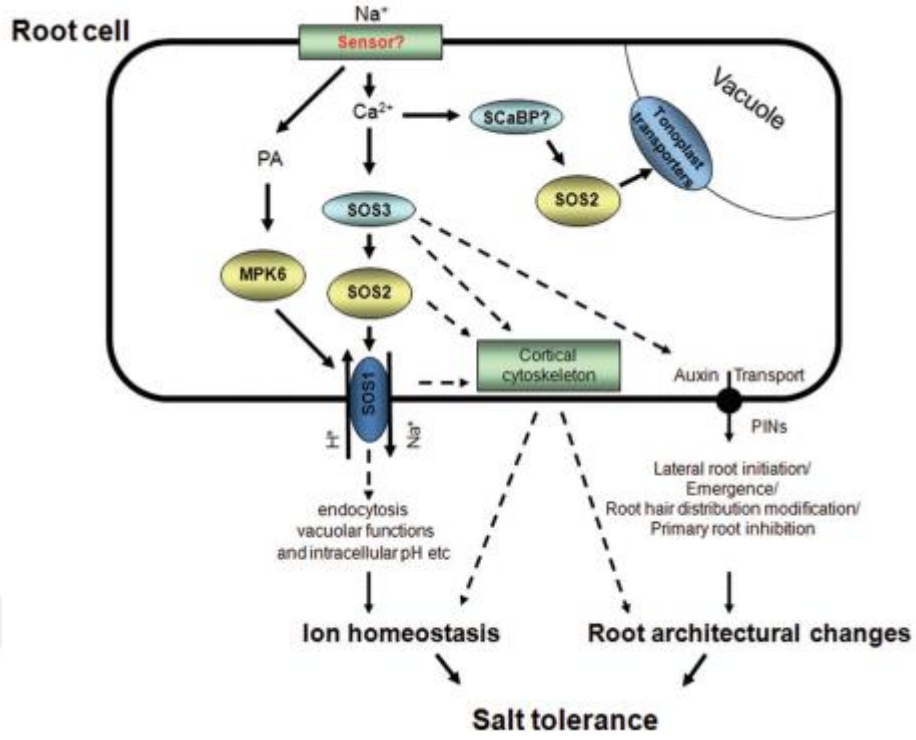
1.5. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Gelişmesine Etkisi

Bitki, büyüme ve gelişmesi için iç olaylarını dengede tutmaya çalışır. Bunlardan biri de iyon dengesidir. Tuz stresi koşullarında bitkinin hücre çeperinde fazla Na⁺ iyonu birikir ve bitkide toksik etkiye neden olur. Bu toksik etki de bitkinin iyon homeostazisinin bozulmasına neden olur. Tuz stresi bitkide su kaybına neden olan başlıca faktörlerden biridir. Tuz stresi koşulunda yetişen bitkide hem iyon dengesizliği hem de su kaybı yaşandığından dolayı bu durum bitkide ozmotik strese neden olmaktadır. Ozmotik stres sonucunda bitkide turgor basıncı, hücre membranında büzülme, hücre duvarında sızıntı gibi değişiklikler görülmektedir. Bununla birlikte, tuz stresine bağlı olarak bitki prolin ve şeker gibi ozmolitleri biriktirir (Doğru vd., 2020). Ayrıca, tuz stresi koşullarında fitohormonlar bitkinin

büyüme ve gelişmesini düzenlemektedir. Bu hormonlar büyümeyi destekleyen hormonlar ve stres cevap hormonları olarak ikiye ayrılır. Bitkilerde çeşitli hormonlar tespit edilmesine rağmen, temel olarak oksin, sitokinin, giberellin (GA) büyümeyi teşvik eden; absisik asit (ABA) ve etilen ise büyümeyi engelleyen hormonlardır (Çatak vd., 2020).

1.6. Tuz Stresinin Bitkilerdeki İyonik Etkileri

Tuzluluğun bitkilerde besin maddesi alınımını yavaşlattığı, dağılımlarını olumsuz etkilediği bu nedenle de beslenme sorunlarına yol açtığı tespit edilmiştir (Munns ve Tester, 2008; Talaat ve ark., 2015). Bitki mekanizmasına bakıldığında tuzlulukla beraber osmotik basıncın artmasıyla su alım hızı düşmekte böylelikle bitki beslenmesi durur veya yavaşlar. Bitkilerde NaCl içeriğinin artmasıyla hücrelerdeki su potansiyeli azalır bu durumda iyon dengesi bozulur ve bitkinin büyümesi negatif yönde etkilenir (Hao ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2021). Tuzluluğun artması sonucunda iyonik ve osmotik stres etkisiyle oksidatif stres meydana gelir (Liang vd., 2018). Toprakta tuz miktarının artmasıyla Na⁺ ve Cl⁻ gibi çözünür tuzların bitkilerce alınmasıyla toksik etki yaratarak ‘spesifik iyon toksisitesine’ neden olur (Shahzad vd., 2019). Bitkide biriken toksik iyonlar sonucunda potasyum (K⁺), kalsiyum (Ca⁺²), azot (N), fosfor (P), magnezyum (Mg) gibi elementlerin alınımını sınırlayarak bitkide besin eksikliğine ve dengesizliğine neden olur (Parihar vd., 2015). SOS (Tuza Aşırı Duyarlılık) sinyal mekanizması bozulan iyon homeostazının dengelenmesi ve tuz toleransının kontrol edilmesinde önemli işlevi vardır. Ayrıca SOS proteinleri (SOS1, SOS2, SOS3) ile tuz toleransının gelişmesinde mekanizmadaki ana bileşenlerdendir (Park vd., 2016). Şekil 5’ de SOS sinyal mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 5. Bitkilerde tuza aşırı duyarlı sinyal yolu (SOS) (Ji vd., 2013)

1.7. Tuz Stresinin Bitkideki Fotosentez Üzerine Etkileri

Tuzluluğun artması fotosentetik dokularda bitişik grana membranlarında yığılmanın artmasına, klorofillerin parçalanmasına ve hücre membranlarının büzülmesine neden olmaktadır. Tuzluluğun artmasıyla tilakoidlerde elektron taşıma sisteminin aktivitesi azalmaktadır. Tuz stresi bitkilerde transpirasyon seviyesini, fotosentez oranını ve stoma iletkenliğini azaltırken, stomanın direncini artırmaktadır (Ashraf, 2004). Tuz içeriğinin artması bitkilerde klorofil içeriğini azaltmakta ve fotosentez hızını düşürmektedir (Dajic, 2006; Bertamini vd., 2007). Fotosentez hızındaki düşmenin nedeni ise tuza bağlı olarak azalan yaprak alanındaki azalmayla ilişkili olarak ışıktan daha az yararlanma, stomaların kapanması, klorofil içeriğinin düşmesi ve enzim aktivitelerinin azalmasıdır.

1.8. Tuz Stresinin Zar Kararlılığına Etkisi

Abiyotik stres faktörlerinden olan tuz stresinin olumsuz etkilerinin görülmeye başlanmasının ilk işareti spesifik olarak hücre membranının zarar görmesidir. Tuz stresinin membranda neden olduğu değişimler arasında plazma membranında kıvrılma ve bozulmanın olması, hücrelerdeki sitoplazma membranına bağlı olarak keseciklerin oluşması sayılabilir

(Gupta, 2007). Tuz stresiyle metabolizmada substrat oksitlenir ve reaktif oksijen türleri (ROT) oluşumu hızlanır (Shahzad vd., 2015). ROT'un olumsuz etkileri arasında membranda lipid peroksidasyonu, karbonhidrat peroksidasyonu, DNA ve RNA hasarı, pigment yıkımı, programlı hücre ölümünde artış ve enzim inhibisyonu gösterilir (Hossain vd., 2016). ROT'lar bitki membran yapısındaki çoklu doymamış yağ asitleriyle (Polyunsaturated Fatty Acids-PUFA) tepkimeye girerek lipid peroksidasyonuna neden olur. Bitki membranındaki seçici geçirgenliğin azalması, sızıntısının artmasına bağlı olarak Membran akışkanlığının bozulması PUFA peroksidasyonudur (Munns, 2002).

1.9. Serbest Radikaller ve Reaktif Oksijen Türleri

Radikaller çok reaktif maddeler olup çeşitli tepkimelerde oksidan ve redüktan olarak görev yapmaktadırlar. Serbest radikaller üç farklı yol ile oluşabilirler. Bu yollar;

- Bir molekülün kovalent bağının molekülün her bir parçasında eşleşmiş elektronlardan bir tanesinin kalacak biçimde (homolitik) bölünmesiyle ($A - B \rightarrow A \cdot + B \cdot$),
- Bir molekülden tek bir elektron kaybıyla ($A \rightarrow A^{\cdot+} + e^-$),
- Bir moleküle tek bir elektron eklenmesiyle ($A + e^- \rightarrow A^{\cdot-}$) oluşmaktadırlar.

ROT yani reaktif oksijen türleri, serbest radikal olan ya da hücrede serbest radikallerle çevrili oksijen içeren yapılar olarak bilinirler. Kullandığımız oksijenin %3-%5 kadarı oksijen serbest radikallerine dönüşürler. RNOT, oksijen ile beraber azot de içeren reaktif yapılardır. Serbest radikaller proteinler, lipitler ve nükleik asitler üzerinde etkili olmaya çalışırlar (Sözmen vd., 2002).

Serbest radikal [süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$), hidroksil radikali ($OH\cdot$), perhidroksil radikali ($HO_2\cdot$), alkoksi radikalleri ($RO\cdot$), nitrik oksit (NO)] ve radikal olmayan moleküller [hidrojen peroksit (H_2O_2), singlet oksijen ($1 O^{\cdot-}$), hidrokloröz asit ($HOCl$), nitroz oksit (HNO_2), alkil peroksinitratlar ($RONOO$)] bitki ve hayvanlarda özellikle solunum gibi normal fizyolojik süreçlerde üretilmektedir. Serbest radikal süperoksit, O_2 'den farklı yollarla üretilir ve ayrıca $OH\cdot$, $1 O^{\cdot-}$, vb. gibi daha reaktif ROT oluşumunu tetikler (Halliwell vd., 2006). Normalde bitkilerin klorofil pigmenti ile ilişkilendirilen tekli oksijenin, hücre ölümünü tetikleyebilen tüm fotosentetik mekanizmanın yanı sıra PSI ve PSII üzerinde güçlü zarar verici etkiye sahip olduğu rapor edildi (Wagner vd., 2004). Hidrojen peroksit ve süper oksit radikalleri tek başlarına daha az zararlı olarak bilinirler. Hidroksil radikallerini

oluşturabilirler, hidroksil radikalleri ise lipid peroksidasyonunu başlatabilirler, protein, DNA veya küçük moleküllere saldıran radikallerdir. Peroksitnitrit radikali (ONOO⁻), oksidatif stres koşullarında süperoksit iyonu ve nitrik oksit iyonunun tepkimeye girmesiyle oluşur.

Bitkilerde reaktif oksijen türleri, normal şekilde büyüme ve metabolizmasında özellikle yüksek enzimatik redoks döngüsüne sahip olan hücre altı lokasyonlarda oluşur. Bitkilerde kullanılan oksijenin %1-2 kloroplast, mitokondri veya peroksizomlarda reaktif oksijen türleri üretmek için birbirlerini takip ettikleri düşünülmektedir. Antioksidanlar bitkilerde meydana gelen oksidatif strese tepki olarak oksijen temizleyici, peroksit ayrıştırıcı, serbest radikal temizleyicisi, enzim inhibitörleri ve sinerjist gibi görev üstlenirler.

1.10. Bitkilerde Antioksidan Savunma Sistemi

Bitkiler serbest radikallere ve bunların oluşturduğu zararları en aza indirmek için son derece sıkı denetimli bir savunma sistemine sahiptir. Bu savunma sistemi antioksidan savunma sistemi (ASS) olarak bilinmektedir. Antioksidanlar serbest oksijen radikalleriyle reaksiyona girme, aktivitelerini engelleme, serbest radikal üreten enzimlere etki ederek oksidatif stresi azaltırlar. Antioksidanlar DNA, lipit, protein gibi oksitlenebilir maddelerin oksitlenmesini geciktirmek veya engellemek üzere görevlidirler. Antioksidanlar endojen kaynaklı veya eksojen kaynaklı olabilirler. Endojen kaynaklı antioksidanlar; enzimatik olan ve enzimatik olmayan antioksidanlar, eksojen kaynaklı antioksidanlar; vitaminler ve ilaç antioksidanlara olarak ayrılırlar (Ahmad vd., 2016).

1.10.1. Enzimatik Antioksidanlar

Askorbat peroksidaz (APX), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) ve glutatyon redüktaz (GR) enzimatik antioksidanlardandır (Karabulut vd., 2016). Şekil 6'da görevleri verilmiştir.

1.10.2. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar

Melatonin (MEL), seruloplazmin, transferrin, laktoferrin, glutatyon (GSH), metilglioksal, sistein, ürik asit, albümin ve bilirubin enzimatik olmayan antioksidanlardandır (Aydemir vd., 2009). Şekil 6 ve Şekil 7' de görevleri verilmiştir.

Antioksidan	Reaksiyonu
Süperoksit Dismutaz (SOD)	Süperoksit serbest radikalinin ($O_2^{\cdot -}$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) radikallerinin moleküler oksijene dönüşümünü katalizleyen antioksidan enzimdir. ($2O_2 + 2H \longrightarrow H_2O_2 + O_2$)
Glutatyon Peroksidaz (GSH-Px)	Hidroperoksitlerin indirgenmesinden sorumludur. Özellikle eritrositlerde oksidatif strese karşı en etkili antioksidan enzimdir. $H_2O_2 + 2GSH \longrightarrow GSSG + 2H_2O$
Glutatyon Redüktaz	GSH-Px vasıtasıyla hidroperoksitlerin indirgenmesi sonucu oluşan Okside Glutatyonu (GSSG) tekrar indirgenmiş Glutatyona (GSH) dönüşümünü kataliz eder.
Glutatyon S-Transferaz (GST)	Lipid peroksitlere karşı GSH-Px aktivitesi göstererek antioksidan savunma mekanizması oluştururlar.
Katalaz	Hidrojen peroksidi (H_2O_2) ve hidroksil (OH) radikallerinin oluşumunu önlemek için bunları suya ve oksijene parçalar.
Mitokondriyal Sitokrom Oksidaz	Solunumun zincirinin son enzimi olup, Süperoksidi ($O_2^{\cdot -}$) detoksifiye eder.

Şekil 6. Enzimatik antioksidanlar ve görevleri (Aydemir vd., 2009)

Antioksidan	Reaksiyonu
Melatonin	Lipofilik özellik göstermesinden dolayı hücrenin hemen hemen bütün organellerine hatta hücrelerine kadar ulaşarak geniş bir dağılım gösteren melatonin, hidroksil ve süperoksit radikallerini tutarak antioksidan etki gösterir.
Seruloplazmin	Ferro demiri (Fe^{2+}) ferri demire (Fe^{3+}) yükseltgeyerek fenton reaksiyonunu ve hidroksil radikali oluşumunu engeller.
Transferrin	Serbest demir iyonlarını bağlayarak fenton reaksiyonunu önler
Laktoferrin	Düşük pH'lı ortamlardaki demir iyonlarını bağlar.
Glutatyon (GSH)	Karaciğerde sentezlenen bir tripeptitdir. Hemoglobinin oksitlenerek methemoglobine dönüşmesini önler. Eritrositleri, lökositleri, göz lensini oksidatif hasara karşı korur.
Sistein	Süperoksit ve hidroksil radikali toplayıcısıdır.
Ürik asit	Genelde metal bağlayıcı olarak çalışırken değişik radikalleride toplar.
Glikoz	Hidroksil radikali gidericisidir.
Albumin	HOCl radikali toplar. Proteini ve metal iyonlarını bağlar.
Bilirubin	Önemli bir peroksil radikali toplayıcısıdır.

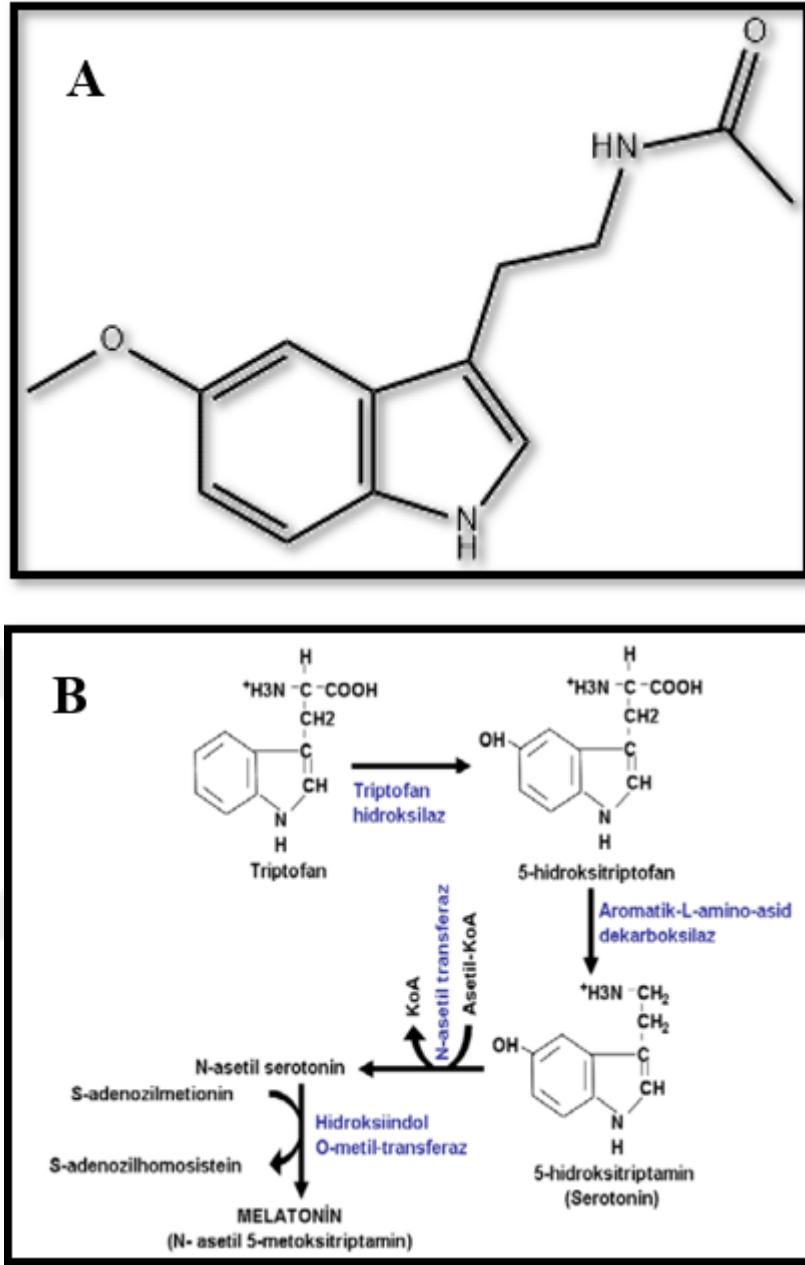
Şekil 7. Enzimatik olmayan antioksidanlar ve görevleri (Aydemir vd., 2009)

1.11. Melatonin (Mel) ve Bitki Büyüme ve Gelişmesindeki Rolü

Melatonin (N-asetil-5-metoksi-triptamin) düşük moleküler ağırlığa sahip, amfifilik özellik gösteren, indolik yapıda bir hormondur. 1950'lerin sonuna doğru sığır beyin üstü

dokusunda keşfedilmiştir. Keşfi ile bilim dünyasında birçok yeni çalışmanın önünü açmıştır. Melatonin bir indolamin türevi olup, triptofan (trp) öncülünde sentezlenir (Fan vd., 2018). Serbest radikallerin etkisini azaltan Mel, direkt olarak serbest radikal süpürücüsü olarak bilinmesine ek olarak dolaylı yoldan antioksidan olarakta işleve sahiptir. Antioksidan özelliği ise yapısında bulunan pirol halkasından kaynaklanmaktadır (Şekil 7). Antioksidan özelliğinden biri olan lipofilik özelliği sayesinde hücrenin tüm bölümlerine kolayca ulaşır. Böylece geniş bir alanda antioksidan özelliği gösterir. Bitkide hücre içi bölümlerde oksidatif hasara azaltmada önemli bir role sahiptir. Melatonin SOD, CAT, GR, GPx gibi enzimatik antioksidan olan antioksidanları uyarıcı etki gösterir. GSH seviyesindeki azalmayı γ -glutamilsistein sentazın uyarılması sonucunda sağlar.

Canlılar için önemli bir yere sahip olan Mel, aromatik bir aminoasit olan triptofan (trp) öncülünde sentezlenir ve bitki, hayvan, bakteri, algler de dahil olmak üzere tüm canlılarda bulunur. Bitkilerde Mel meyve, yaprak, gövde, kök ve tohum gibi organlarda dağılmış halde bulunur. Melatonin biyosentezi birçok etken tarafından uyarılabilir. Bu etkenler arasında ısı, soğuk, kuraklık, tuz, radyasyon stres çeşitleri de yer almaktadır. Triptofan öncülünde sentezlenen Mel, triptofan dekarboksilaz (TDC) aracılığıyla katalizlenir ve triptamine dönüştürülür, daha sonra triptamin 5-hidroksilaz (T5H), triptamini iki adımda melatonine dönüştürülecek olan serotonini katalizler. Serotonin, serotonin *N*-asetiltransferaz (SNAT)/arilalkilamin *N*-asetiltransferaz (AANAT) ve ardından *N*-asetil-serotonin metiltransferaz (ASMT)/hidroksiindol-O-metiltransferaz (HIOMT), *N*-asetil-serotonin'i melatonine katalize eder. Böylece biyosentez sağlanmış olur (Fan vd., 2018).



Şekil 8. A-Melatoninin Kimyasal Yapısı ve B- Melatonin Biyosentezi (Günhan, 2021)

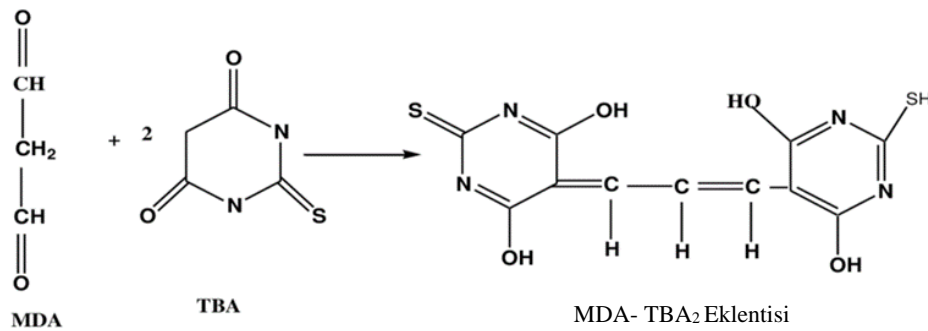
Melatoninin bitkilerdeki en temel rollerinden biri bitki büyüme ve düzenleyicisi olmasıdır. Melatonin ve IAA arasındaki yapısal benzerliğe ve ortak biyosentez yoluna bakılırsa melatonin oksin gibi hareket edebilmektedir. Melatonin abiyotik ve biyotik streslere karşı başa çıkmada önemli bir rol üstlenmiştir. Ağır metal, ultraviyole ışık, radyasyon, kuraklık, tuz ve sıcaklık dalgalanmalarına karşın tolerans gösteren bir hormondur. Melatonin çevresel ve içsel oksidatif hasarları azaltır, oksidatif hasarın azaltılmasında görevli süpürücü enzimlerin aktivitesini teşvik etmede önemli görev üstlenir. Hücre çeperinde dayanıklılığı arttırmada etkili olup, antioksidan savunma sisteminde de

etkilidir. Tuzluluğun artmasıyla H_2O_2 birikimi ABA sentezinin Na^+ ve Cl^- artışıyla K^+ azalır ve stoma kapanmasını teşvik eder. Melatoninde H_2O_2 birikimi azaltarak stoma kapanmasını inhibe eder, klorofilin yapısını korur, ışık absorpsiyonunu ve fotosentetik aktiviteyi artırır (Yakupoğlu vd., 2018)

1.12. Tiyobarbitürük Asit Reaktif Maddeler (TBARS)

Lipitler serbest radikal hasarlarına karşı daha korumasızdırlar. Yapılarında malondialdehit (MDA) bulunur. Yağların parçalanması sırasında açığa çıkan ve tiyobarbitürük asitle floresan kırmızı renkli kompleks oluşturan maddelerdir (Pihlanto, 2006). Düşük molekül ağırlığına sahiptirler. Hidroksil radikali hidrojen peroksit ile geçiş metal iyonlarının reaksiyonuyla gerçekleşir. Bu reaksiyonlarla hidroksil radikali oluşumunun kanıtı deoksiribozun bozulmasıdır. Oluşan hidroksil radikali deoksiriboza hidrojen verme mekanizması yoluyla saldırarak TBA (Tiyobarbitürük Asit) reaktif maddeler (TBARS) oluşturur. TBARS ürünüde Fenton reaksiyonuyla üretilen hidroksil radikallerinin 37 °C'lik inkübasyon sırasında uyarıcı molekül deoksiriboza saldırması sonucunda oluşan malondialdehit düşük pH'da ısıtıldığında iki molekül TBA ile reaksiyona girerek bir kromojen ürün (TBA₂-MDA) oluşturur (Bektaşoğlu, 2007).

- $OH^\cdot + \text{Deoksiriboz} \rightarrow \text{MDA}$
- $2 \text{TBA} + \text{MDA} \rightarrow \text{kromojen ürün}$



Şekil 9. Tiyobarbitürük Asit ve Malondialdehit oluşum reaksiyonu (Dessalegn vd., 2015)

1.13. Pancar (*Beta vulgaris L.*) Bitkisi

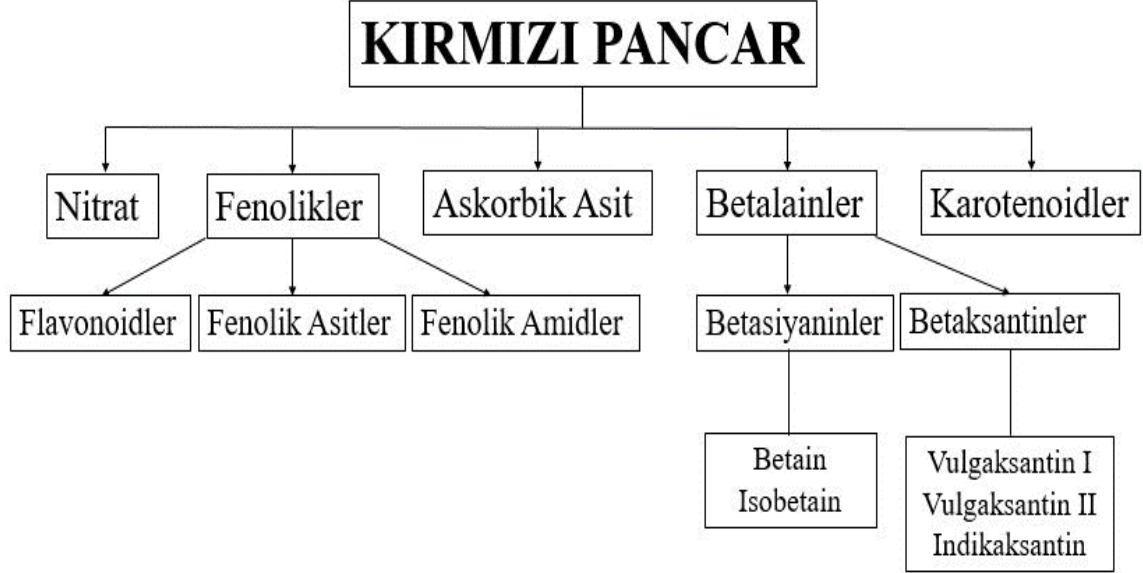
Geçmişten bugüne kadar hayatımızın birçok alanında yer alan pancar (*Beta vulgaris L.*) tarih öncesi çağlarda yabancı pancarların büyümesiyle ortaya çıkan bitkidir. Besin olarak

tüketimi için ilk yaprakları seçilmiştir, kökler besin olarak tüketimde işlenerek sonraki dönemlerde yerini almıştır. Zamanla pancardaki yüksek şeker değeri belirlendikçe tüketim değeri artmaya başlamıştır. Şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*) ve eski adı Chenopodiaceae (ıspanakgiller), yeni adı Amaranthaceae familyasına ait bir bitkidir. Amaranthaceae familyası tek veya çok yıllık, hermafrodit, dioik, monoik veya poligam otsu, sarılıcı bitkilerden, çalı veya nadiren ağaçlardan oluşan geniş bir familyadır. Dünyada ise geniş bir yayılış alanına sahiptir. Bazı üyeleri çöllerde, nehir ağzlarında veya alkalın bölgelerde, tropik alanlarda ve bazı ılıman bölgelerde yaygındır. Şeker pancarı gıda, tıbbi amaçlı veya kozmetik alanında kullanılan bir bitkidir. Kullanım alanı yaygın olan şeker pancarı ekonomik önem oluşturur. Zamanla üretiminin artmasıyla Avrupa, Amerika ve Asya'da yaygın olarak yetiştirilmektedir (Chawla vd., 2016). Üretimi, tüketimine ve besin içeriğine bakacak olursak pancarlar kırmızı ve beyaz pancar çeşitleri olmak üzere ayrılmaktadır. Şeker pancarı Dünya'da 4 milyon ha ekim alanına, 229 milyon üretime ve 5 ton/da verime sahip iken, Türkiye'de 323.000 ha ekim alanına, 1,7 milyon ton üretime ve 5.3 ton/da verime sahiptir (Anonymous, 2009a). Genel olarak ülkemizin iç bölgelerine uyum sağlayan şeker pancarının verim ve kalitesi oldukça iyidir. Ankara, Eskişehir, Kayseri ve Konya gibi illerde tarımla ilgili sanayisine de önemli katkılar sağlamaktadır. Bu iller arasında, sınırları içerisinde dört adet şeker fabrikası bulunduran Konya (Ilgın, Ereğli, Konya ve Çumra) ili 1026 m rakımı ve gece gündüz sıcaklıkları arasındaki farkı ile şeker pancarı yetiştiriciliği için belki de Dünya'daki en uygun koşullara sahip olan yerler arasındadır. Şeker pancarı, yüksek biyokütle ve etanol dönüşüm oranı ve çevreye uyum sağlama konusunda güçlü bir yeteneğe sahip, gelişmekte olan yenilenebilir enerji mahsulüdür. Bu özelliğinden dolayı tarıma elverişli ekonomik bir ürün bitkisidir (Altunbay vd., 2016).

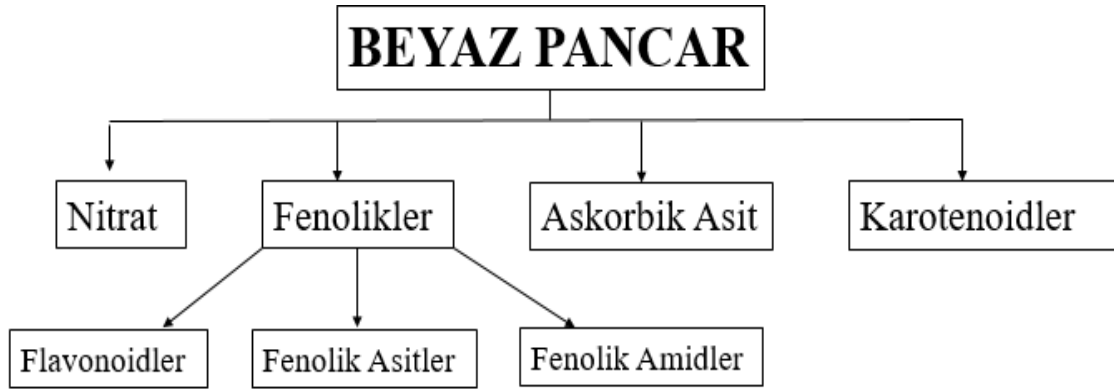
Ülkemizde kırmızı pancar üretimine bakıldığında, 2014 yılında 7 bin ton, 2015'de 7 bin ton, 2016'da 7 ton, 2017'de 7 ton ve 2018'de 8 ton olarak belirlenmiştir. 2018 yılı en yoğun üretimi yapılan il verilerine bakıldığında sırasıyla, Samsun (3 ton), Bursa (1 ton), İzmir (1 ton), Balıkesir (1 ton) ve Denizli (352 ton) yer almaktadır (TÜİK, 2018).

Ülkemizde kozmetik, ilaç sektöründe kullanımın yanı sıra pancar besin maddesi olarakta kullanılmaktadır. Bakıldığında çiğ tüketiminin yanında turşu, salata, çorba, sebze yemeği, kavurma yapılarak tüketilmektedir. Pancar yaprağının besin değerinin yanı sıra kökünde de zengin lif, manganez ve folat yer almaktadır. C vitamini, potasyum ve magnezyum açısından zengin olması tüketimini yaygınlaştıran etkenlerdendir. Pancarın tüketiminin bu kadar yaygın olmasında azot içeren suda çözünebilir bitki pigmenti olan

‘Betalainler’in (kırmızı-mor betasiyaninler ve sarı betaksantinler) etkisinde bulunmaktadır. Kırmızı pancar en zengin betalain kaynağını oluşturur (Esatbeyoglu vd., 2015). Beyaz pancar kırmızı ve sarı renkten sorumlu olan betalainleri içermez. Kırmızı ‘Ruby Queen’ ve beyaz ‘Rodeo’ şeker pancarına ait besin içeriği Şekil 10 ve 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Kırmızı ‘Ruby Queen’ pancar kimyasal besin içeriği (Ninfali vd., 2013)



Şekil 11. Beyaz ‘Rodeo’ şeker pancar kimyasal besin içeriği

Yapılan bu çalışmada tarımsal ve insan beslenmesi açısından önemli bir yere sahip olan biri kırmızı diğeri beyaz olmak üzere iki adet şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*) çeşidi dıştan Mel uygulaması yapılarak ve tuz stresi koşullarında yetiştirildi. Büyüme koşullarında besin çözeltisine artan tuz konsantrasyonları eklenerek, kontrolleriyle birlikte bitki morfolojisi ile ilgili temel fizyolojik parametreler incelendi. Tuz stresi koşullarında iki farklı

çeşitteki pancar bitkilerine ait su içeriğinin korunması için, zar membran kararlılığının sağlanması, iyon dengesinin düzenlenmesi, stoma iletkenliğinin ve ozmotik potansiyelin kontrolü gibi mekanizmalar üzerindeki aktiviteler belirlendi. Mekanizmaların aktivitelerinin dıştan Mel uygulaması ile nasıl değişkenlik gösterdiğinin araştırılması amaçlandı.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi

Çalışmada kullanılan pancar tohumlarına ait çeşitler (kırmızı ‘Ruby Queen’ ve beyaz ‘Rodeo’) kırmızı Anderson Tohum ve Bahçe (Utah, USA), beyaz Beta Ziraat ve Ticaret A.Ş (Altınekin, Konya) alındı. Bu çalışmada kullanılacak kırmızı ve beyaz pancar tohumları yetiştirilmek üzere ekim ortamına alınarak vermikülitte saksılara ekim yapıldı. Ekim yapılan saksılar çimlendirilmek üzere 1 hafta boyunca karanlık ortamda bırakıldı ve saf su ile sulama başlatıldı. Çimlendirme bittikten sonra 16 saat ışık (25 °C ve %65 nem) ve 8 saat karanlık (20 °C sıcaklık ve %70 nem) fotoperiyot koşullarında 1/2 Hoagland ortamında yetiştirilmeye başlandı. Fidelerin ilk yaprakları belirdikten sonra standart fide elde etmek için pancar fideleri arasında eleme yapıldı ve sağlıklı fideler daha geniş saksılara alınarak tam Hoagland ortamında büyütülmeye devam edildi. 3. yaprak ortaya çıkana kadar (45 gün boyunca) büyütülmeye devam edildi. Sonrasında Tablo 2’de verilen deney gruplarının oluşturuldu. 8 hafta deney gruplarına ait fideler iki günde bir, 6 gün boyunca hidroponik ortam değiştirildi? 7. günde ise hasat gerçekleşti. Hasat edilen yapraklar analizler yapılana kadar depolanmak üzere öncelikle sıvı azotla (-196° C) muamele edildi ve ardından -80° C’de saklandı.

Tablo 2. Çalışmada takip edilen uygulama grupları

Uygulama grupları	<i>Beta vulgaris</i> ‘Ruby Queen’	<i>Beta vulgaris</i> ‘Rodeo’
1	Kontrol (0)	Kontrol (0)
2	Mel (100 µM)	Mel (100 µM)
3	50 mM NaCl	50 mM NaCl
4	150 mM NaCl	150 mM NaCl
5	250 mM NaCl	250 mM NaCl
6	50 mM NaCl + Mel (100 µM)	50 mM NaCl + Mel (100 µM)
7	150 mM NaCl + Mel(100 µM)	150 mM NaCl + Mel(100 µM)
8	250 mM NaCl + Mel(100 µM)	250 mM NaCl + Mel(100 µM)

2.2. Yaprak Ozmotik Potansiyelinin (Ψ_s) Belirlenmesi

Pancar fidelerinin yaprakları hasat edildikten sonra, yapraklar homojenaratör kullanılarak minisantrifüj tüpleri içerisinde parçalanarak ekstre edildi. Elde edilen ekstrakt

5 dakika boyunca 15,000 rpm'de santrifüj edilerek, süpernatantlar osmotik potansiyel ölçümünde kullanıldı. Osmotik potansiyel ölçümü (Ψ_s) osmometre (Wescor Vapro Pressure Osmometer 5600, Logan, USA) kullanılarak MPa olarak hesaplandı.

2.3. Yaprak Özütlerinin Pigment İçeriğinin Belirlenmesi

Yaprakların klorofil içerikleri (kl a, kl b, Tkl) Arnon'a (1949) göre, toplam karotenoid içeriği ise Jaspars'a (1965) göre belirlendi. Buna göre pancar yapraklarından 0,5 gr tartılarak %80 C₃H₆O (aseton) ve %20 d H₂O çözeltisinde havan içerisinde ekstre edildi. Ekstre edilen örnekler 10 dakika boyunca 15,000 rpm'de santrifüj edildi. Santrifüj sonrası elde edilen süpernetantlar UV-Vis spektrofotometre (Thermo e-201, England) cihazında sırasıyla 663 nm, 645 nm, 450 nm dalga boylarında absorpsiyon değerleri alındı. Aşağıda belirtilen formüller yardımıyla klorofil a (kl a), klorofil b (kl b), toplam klorofil (tkl) ve toplam karotenoid (Tkar) içerikleri hesaplandı. Pigment içeriği 100 g⁻¹ taze ağırlık (TA) olarak ifade edildi.

$$Kl\ a = \Delta A_{663} \times 12,7 - \Delta A_{645} \times 2,69 \quad (1)$$

$$Kl\ b = \Delta A_{645} \times 22,9 - \Delta A_{663} \times 4,68 \quad (2)$$

$$Tkl = 20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663} \quad (3)$$

$$Tkar = (\Delta A_{450} \times 4,07) - [(0,0435 \times kl\ a) + (0,3367 \times kl\ b)] \quad (4)$$

2.4. Yapraklarda Elektrolit Sızıntısının Belirlenmesi

Yapraklardaki elektrolit sızıntı Lutt vd. (1996)'ya göre belirlendi. Yaprak alanı birbirine yakın olan yapraklar seçilerek saf su ile yıkandı. Bu işlem üç defa tekrar edildi. Yıkanan yapraklar tüplere alınarak 10 ml distile su içerisinde 24 saat boyunca 25°C'de inkübe edildi. İnkübasyon sonrası yaprakların içerisinde bulunduğu saf su kullanılarak elektrik iletkenliği (Lt) ölçüldü. Ardından tüpler 20 dakika boyunca 120°C'de otoklavlandı. Otoklav süreci bitince tüplerin sıcaklığı 25°C'ye kadar soğutuldu ve son elektrik iletkenliği (L0) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Elektrolit Sızıntı (\%)} = Lt/L0 \times 100 \quad (5)$$

2.5. Antioksidan Kapasite Değerlerinin Belirlenmesi

Yapılan hasat sonucunda enzim aktivitelerinin belirlenmesi için stoklanan yapraklardan 0,5 gr tartılarak, soğuk ortam şartlarını devam ettirmek amacıyla sıvı azot (-196 °C) içerisinde havanda toz haline getirildi. Yaprak örnekleri polivinilpirolidon (PVP, %1) ve 1 mM EDTA (etilendiamin tetraasetik asit) içeren fosfat tamponuyla (50 mM; pH 7,0) homojenize edildi. Elde edilen ekstrakt 15,000 rpm ve + 4°C santrifüjlendi. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatant TBARS ve H₂O₂ analizlerinde kullanıldı.

2.6. TBARS (Tiyobarbiturik Asit Reaktif Maddeleri) Düzeyinin Belirlenmesi

Lipid peroksidasyonun belirlenmesi TBARS seviyesinin ölçülmesiyle gerçekleştirildi. TBARS içeriği belirlenirken 1 gr taze pancar yaprağı %1 TCA (trikloroasetik asit) ile homojenize edildi. Homojenize edilen örnekler 10,000 rpm'de 15 dk santrifüjlendi. Santrifüjden elde edilen 1 ml süpernatant taze hazırlanmış, 4 ml %0,5 TBA (Tiyobarbiturik asit) ile karıştırıldı. Bu karışım 95°C'de 30 dk inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon süresi bittikten sonra reaksiyonun durması için 10 dk buzda bekletildi. Böylelikle örneğin soğuması sağlandı. Buzda bekletme süresi bittikten sonra örnekler oda sıcaklığında 10,000 rpm'de 5 dk santrifüj edildi. Süpernatant kısmı alınarak UV-Vis spektrofotometrede 520 ve 600 nm'de ölçüm yapıldı. Elde edilen sonuçlar 155 mM⁻¹cm⁻¹ katsayısı kullanılarak TBARS içeriğinin hesaplamasında kullanıldı (Mahava-Rao ve Stresty, 2000).

2.7. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriğinin Belirlenmesi

H₂O₂ içeriği Liu vd. (2000)'ne göre belirlendi. Taze yaprak örneği (1 gr) %5 TCA kullanılarak homojenize edildi. Homojenize edilen örnekler +4°C 10,000 rpm'de 30 dakika santrifüjlendi. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatant kısmı 0,22 µm filtreden geçirildi. Filtrasyon sonrasında 1 ml ekstrakt, 0,5 ml %0,1 TiCl₄ ile karıştırıldı. Hazırlanan karışım 410 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometrede ölçüldü. Sonuçlar nmol/g taze ağırlık (TA) olarak ifade edildi.

2.8. İstatiksel Analizler

Çalışmada tüm yetiştirmeler, ekstraksiyonlar ve ölçümler üç tekrarlı (n=3) olarak gerçekleştirildi. Ölçüm sonuçları aritmetik ortalama ve standart hata (ortalama \pm std) olarak ifade edildi. Ölçüm sonuçlarına göre ortalamalar arasındaki farklılıklar Statistical Package for Social Sciences (SPSS Statistics Ver. 22.0, Chicago, USA) program paketi içinde yer alan tek-yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılarak analiz edildi. Dunnett testi ve Duncan çoklu aralık testi ile verilerin ortalamalardaki farkı $P < 0,05$ önem seviyesine göre karşılaştırıldı.



3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında tuz stresi koşullarında büyütülen pancar fidelerine dıştan Mel uygulamasına bağlı olarak gelişen temel fizyolojik ve biyokimyasal bazı parametrelerdeki değişimler tespit edildi. Bu deney koşullarında büyütülen kırmızı ve beyaz pancar bitkilerine ait bazı örnek uygulamalar resimlendi (Şekil 11). Yaprak osmotik potansiyelleri, pigment içerikleri ve Fotosentetik verim, elektrolit sızıntı, zar kararlılık indeksi, stoma iletkenliği, MDA ve H₂O₂ içerikleri grafikler halinde sunuldu.

3.1. Tuz Stresine Maruz Bırakılan Kırmızı ‘Ruby Queen’ ve Beyaz ‘Rodeo’ Pancar Fideleri Yapılan Melatonin Uygulamasının Temel Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi

Şekil 12’de kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin kontrol ve tuz stresi uygulama koşullarında gösterdiği morfolojik değişiklikler gösterilmektedir. Morfolojik olarak kırmızı ve beyaz pancar türlerine bakıldığında tuz stresi uygulamalarında yaprak alanında azalma olduğu ve dıştan melatonin uygulaması ile yaprak alanında artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, kırmızı (Scarlet) ve beyaz (Ansa) pancar çeşitlerinde artan tuz stresi uygulamasıyla yaprak büyümesinin kısıtlandığı, dıştan melatonin uygulamasıyla yaprak büyümesinin arttırıldığı tespit edilmiştir (Colak vd., 2024). Yapılan başka bir çalışmada 100-150 mM NaCl uygulamasında buğday, mısır, çavdar, pirinç, tere gibi bitki çeşitlerinde yaprak alanındaki azalmaya bağlı olarak biyokütlelerde azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada deniz börülcesi bitkisinin tuz stresine duyarlı olduğu tuz stresi koşullarında büyümesinin etkilenmediği belirlenmiştir, ancak 400 mM üzeri tuz stresi koşullarında büyümenin azaldığı belirlenmiştir (Soltabayeva vd., 2021).

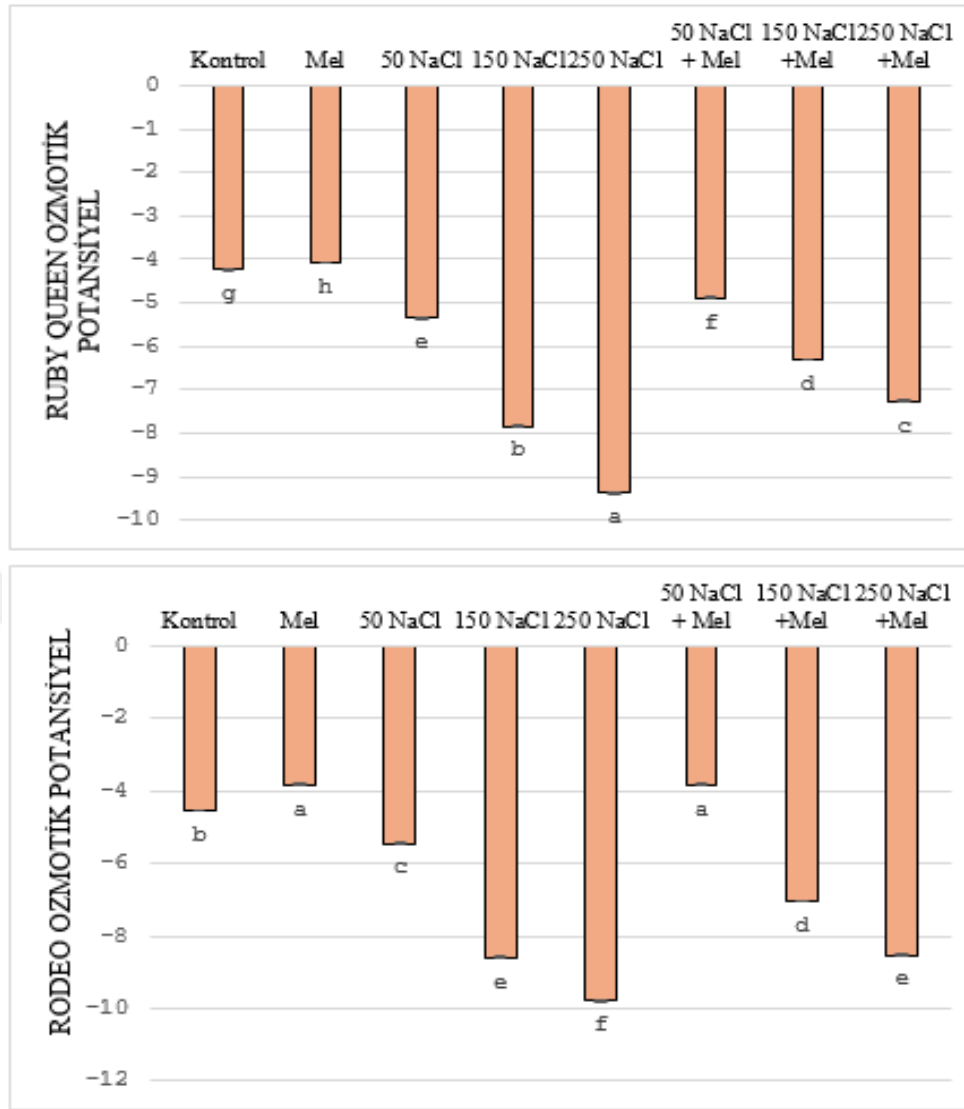


Şekil 12. Ruby Queen ve Rodeo pancar çeşitlerine ait morfolojik görünüm.

A-Rodeo saksı görünüm, B-Ruby Queen saksı görünüm, C-Rodeo kontrol, D-Rodeo 50 mM NaCl, E-Rodeo 150 mM NaCl, F-Rodeo 250 mM NaCl, G-Ruby Queen kontrol, H-Ruby Queen 50 mM NaCl, I-Ruby Queen 150 mM NaCl, J-Ruby Queen 250 mM NaCl

3.2. Tuz Stresi ve Mel Uygulamalarının Pancar Fidelerinin Yapraklarında Ozmotik Potansiyeli (Ψ_s) Üzerine Etkisi

Tuz stresi ve melatonin uygulamasına maruz bırakılan her iki pancar çeşidine ait pancar yaprak ozmotik potansiyeli Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Tuz stresi ve Mel uygulamasının kırmızı ‘Ruby Queen’ ve beyaz ‘Rodeo’ pancar fidelerinin yapraklarında ozmotik potansiyeli üzerine etkisi. Kolonlarda gösterilen farklı harfler Duncan çoklu aralık testine göre yapılmış olup, istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P<0,05$) göstermektedir.

Kırmızı ‘Ruby Queen’ pancar çeşidine ait fidelerin yapraklarında ozmotik potansiyel artan tuz stresine bağlı olarak kontrol grubuna kıyasla önemli düzeyde ($P<0,05$) azalma gösterdi. Kontrol grubuna ait fidelerin yapraklarında $-4,22$ MPa olan Ψ_s artan tuz stresiyile sırasıyla 50 NaCl ‘de $-5,33$ MPa’dan, 250 NaCl’de $-9,37$ MPa’a kadar kademeli olarak azalma gösterdiği belirlendi. Yalnızca Mel uygulaması yapılan fidelerin yapraklarında tuz stresi Mel ile kombine edildiğinde 50 NaCl+Mel’de $-4,87$ MPa’dan, 250 NaCl+Mel’de $-7,25$ MPa kadar azaldığı görüldü. Sadece tuz stresi uygulama gruplarına kıyasla NaCl+Mel

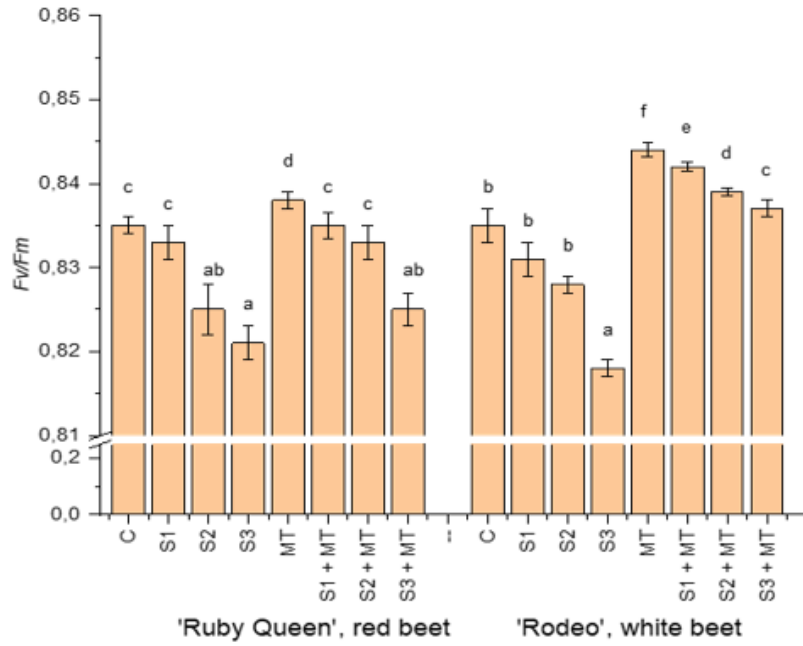
uygulama gruplarında Mel uygulamasının tuz stresi etkisini azalttığıнын göstergesi olarak, en yüksek yüksek Ψ_s değerin Mel uygulama grubunda belirlendiği ortaya konuldu.

Rodeo pancar çeşidi yapraklarında artan tuz stresi yaprak Ψ_s olarak önemli düzeyde ($P < 0,05$) azaldığı tespit edildi. Buna göre kontrol grubunda -4,55 MPa olan Ψ_s artan tuz uygulamalarıyla 50 NaCl'de -5,44 MPa'dan, 250 NaCl'de -9,78 MPa'a kadar kademeli olarak azalma gösterdi. Yalnızca Mel uygulaması yapılan fidelerin yaprakları Ψ_s -3,83 MPa iken artan tuz stresinin Mel ile kombine edildiği uygulamalarda 50 NaCl + Mel'de -3,82 MPa'dan, 250 NaCl + Mel'de -8,52 MPa kadar azaldığı belirlendi. Yalnızca tuz stresi uygulama gruplarına kıyasla NaCl + Mel uygulama gruplarında Mel uygulamasının tuz stresinin zararlı etkisini azaltabilecek etki göstererek Ψ_s arttırdığı tespit edildi. Ayrıca en yüksek Ψ_s değeri diğer uygulama gruplarına kıyasla Mel uygulama grubunda belirlendi.

Her iki pancar çeşidi kıyaslandığında kırmızı pancar (Ruby Queen) çeşidinin beyaz pancar (Rodeo) çeşidine kıyasla daha yüksek Ψ_s sergilediği görüldü.

3.3. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Klorofil Floresansına (Fv/Fm) Etkisi

Artan dozlarda tuz stresi ve tuz stresiyle uygulanan Mel uygulamasının Rodeo ve Ruby Queen pancar fidelerinin yapraklarına ait klorofil floresans (Fv/Fm) değerlerine olan etkisi Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Tuz stresi ve Mel uygulamasına maruz bırakılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarının klorofil floresansı (F_v/F_m) değerleri. Her bir kolondaki farklı harfler, Duncan çoklu aralık testine göre istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.

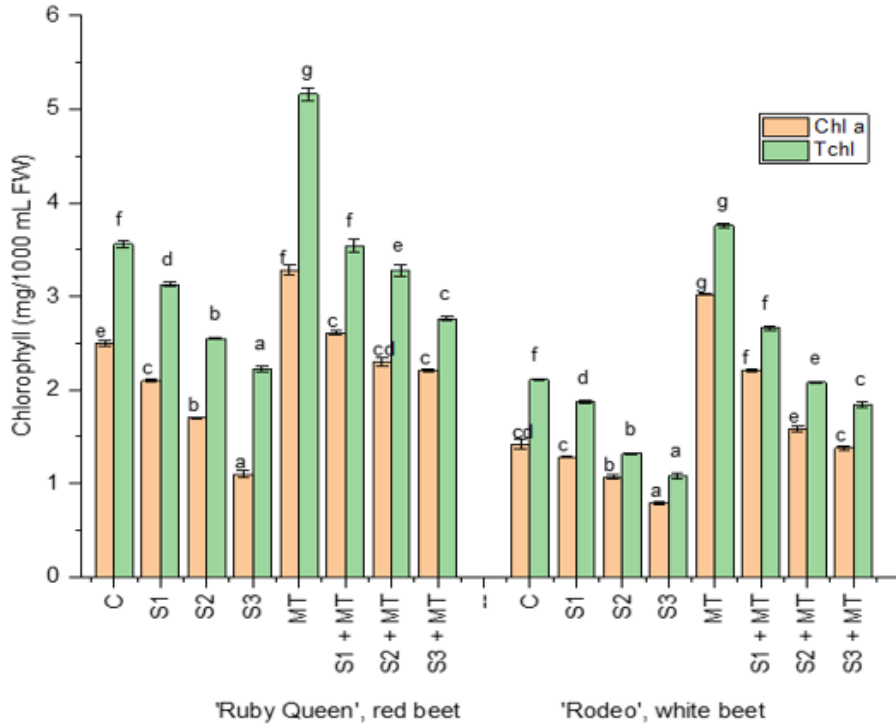
'Ruby Queen' kırmızı pancar çeşidinde ise kontrol grubuna kıyasla (0,834) F_v/F_m değeri tuz stresi gruplarında azalma gösterirken, diğer uygulama gruplarında önemli düzeyde ($P < 0,05$) artışlar belirlendi. En yüksek artış Mel uygulama grubunda (0,838) tespit edildi. F_v/F_m değerinde en fazla azalma 250 mM NaCl uygulama grubunda (0,821) tespit edildi. F_v/F_m değeri tuz stresi Mel uygulamasıyla kombine edildiğinde önemli düzeyde ($P < 0,05$) azalma gösterdi.

'Rodeo' beyaz pancar yapraklarında Fotosistem II (PS II) olarak belirtilen klorofil floresansının (F_v/F_m) NaCl uygulama gruplarında kontrol grubuna (0,834) kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek düşüş 250 mM NaCl uygulama grubunda (0,812) tespit edilmiştir. NaCl+Mel uygulama grupları, Mel uygulama grubu ile kıyaslandığında azaldığı fakat kontrol grubu ile kıyaslandığında arttığı belirlenmiştir. En fazla artışın Mel uygulama grubunda (0,845) olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada domates ve tere bitkisinin 75-200 mM NaCl stresi koşullarında klorofil floresans değerinin azalırken; ayçiçeği, mısır, buğday, pirinç bitkilerinin ise 30-100 mM NaCl stres koşullarında klorofil floresans değeri azaldığı belirlenmiştir (Gautam vd., 2009).

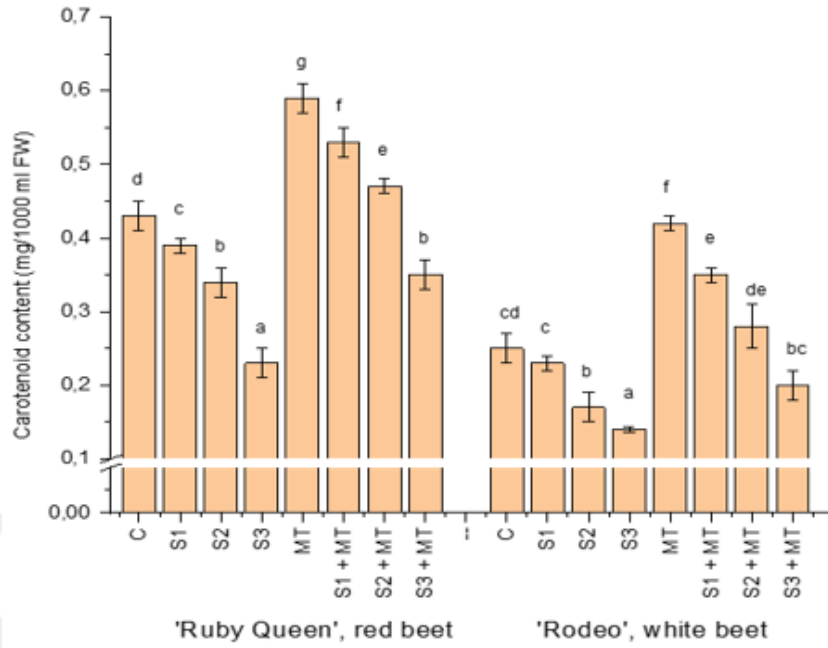
3.4. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Klorofil (Chl) ve Karotenoid (Tkar) İçeriğine Etkisi

Tuz stresi ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarına ait Tkl ve KLa içeriği Şekil 15'te gösterilmektedir. Tkar içeriği ise Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 15. Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında Tkl ve KLa değerleri. Kolonlarda gösterilen farklı harfler, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapılmıştır ve istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.

Her iki pancar çeşidi yapraklarında KLa ve Tkl içeriğinin NaCl uygulanan gruplarda kontrol grubuna kıyasla azaldığı belirlendi. En fazla azalmanın 250 mM NaCl uygulama grubunda olduğu tespit edildi. Mel uygulaması tuz stresıyla kombine edildiğinde KLa ve Tkl içeriğinin doz bağımlı olarak azaldığı tespit edildi. Uygulama gruplarına bakıldığında ise en fazla Tkl ve KLa içeriğinin Mel uygulama grubunda önemli düzeyde farklılık gösterdiği belirlendi.

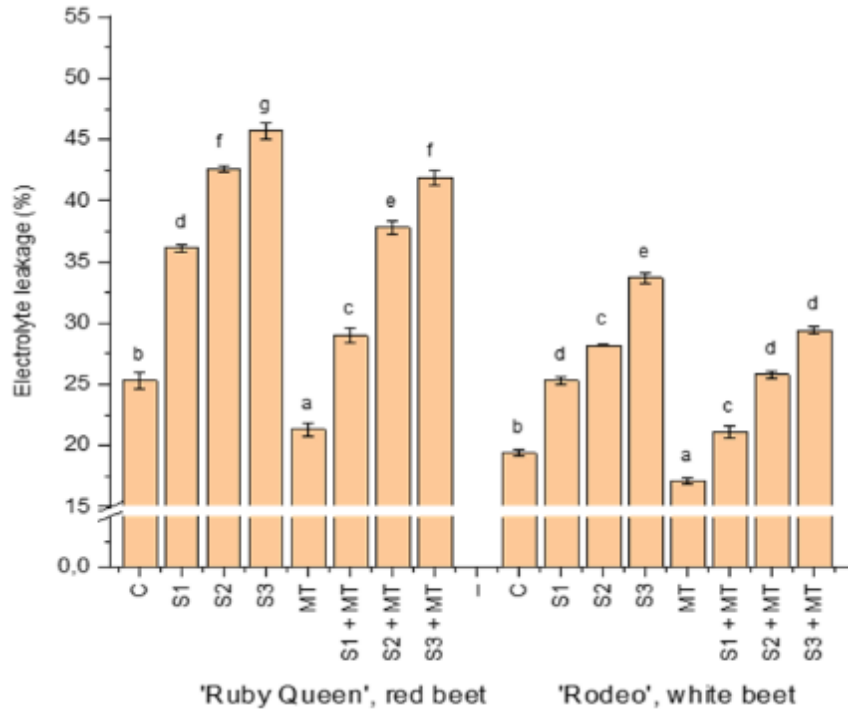


Şekil 16. Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında Tkar değerleri. Kolonlarda gösterilen farklı harfler, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak tapılmış olup, her harf istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) belirtmektedir.

Kırmızı 'Ruby Queen' ve beyaz 'Rodeo' pancar fidelerinin yapraklarındaki Tkar içeriği tuz stresinde doz bağımlı olarak kontrol grubuna kıyasla azaldığı belirlendi. En yüksek Tkar içeriği Mel uygulama grubuna ait yapraklarda belirlendi. Mel uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde Tkar miktarının kademeli olarak azaldığı tespit edildi. Her iki türde Tkar içeriği 250 mM NaCl uygulama grubunda diğerlerine kıyasla daha da azaldığı belirlendi.

3.5. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerindeki Elektrolit Sızıntı İçeriğine Etkisi

Şekil 17 tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin yapraklarına ait elektrolit sızıntı değerlerini göstermektedir.



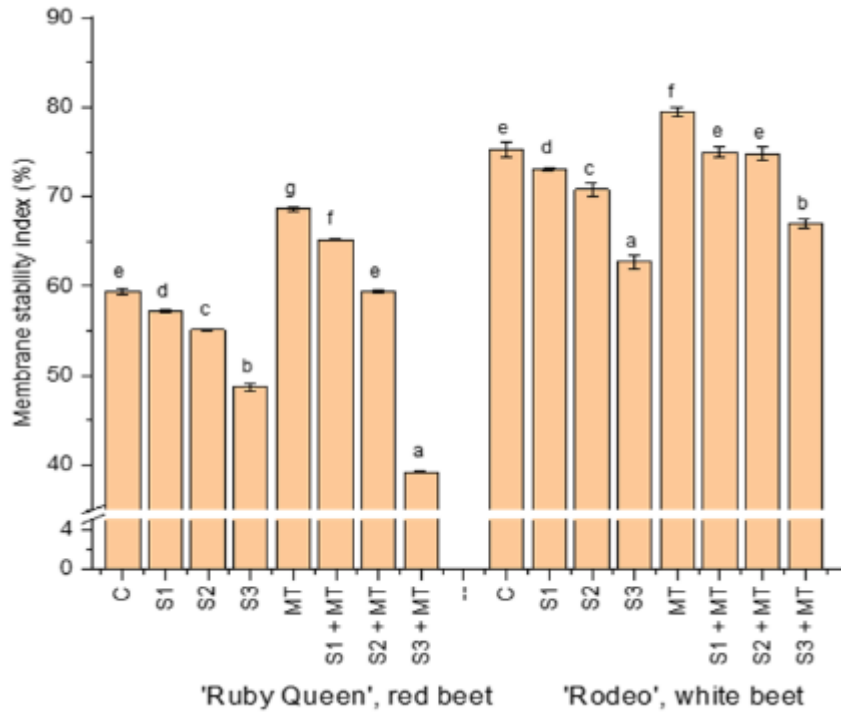
Şekil 17. Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında elektrolit sızıntı değerleri. Her bir kolondaki farklı harfler, Duncan çoklu aralık testine göre istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermektedir.

'Ruby Queen' ve 'Rodeo' pancar çeşitlerinin fidelerine ait yaprakların elektrolit sızıntı içeriği kontrol grubuna kıyasla artan tuz stresinde doz bağımlı olarak artış gösterdi. Her iki çeşit kıyaslandığında en fazla sızıntının 250 mM NaCl uygulama grubundaki fidelerde olduğu belirlendi yalnızca Mel uygulanan bitkilerde ise elektrolit sızıntısının en düşük düzeyde olduğu tespit edildi. Her iki pancar çeşidinde de Mel uygulaması tuz stresinin etkisini azaltacak şekilde azalmaya neden oldu.

Yapılan diğer bir çalışmada domates, pirinç, mısır, ayçiçeği bitkilerinde 50-150 mM aralığında tuz stresi koşullarında elektrolit sızıntının ilk günden başladığı ve ilerleyen günlerde elektrolit sızıntı değerinin arttığı tespit edilmiştir (Lefèvre vd., 2001).

3.6. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Zar Kararlılığına Olan Etkisi

Tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan kırmızı ve beyaz pancar çeşitlerine ait zar kararlılık değerleri Şekil 18'de görülmektedir.

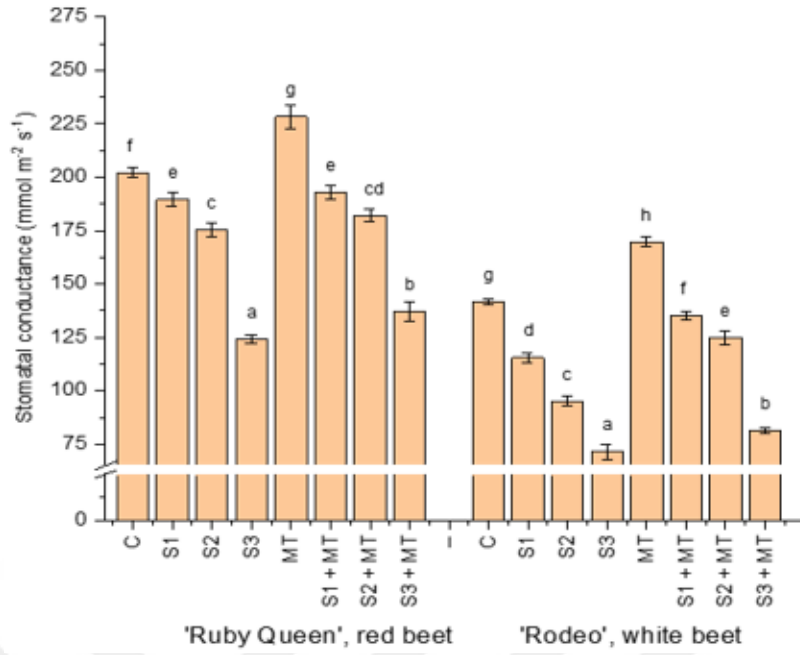


Şekil 18. Tuz stresi ve Mel uygulamasının kırmızı 'Ruby Queen' ve beyaz 'Rodeo' pancar fidelerinin yapraklarında zar kararlılığına olan etkisi. Her bir kolonda gösterilen farklı harfler Duncan çoklu aralık testine göre yapıldı ve istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P<0,05$) göstermektedir.

Her iki pancar çeşidinde zar kararlılık değerleri tuz stresinde kontrol grubuna kıyasla doz bağımlı olarak azalma gösterdiği gözlemlendi. En düşük zar kararlılık değeri 'Ruby Queen'de 250 mM NaCl+Mel uygulama grubu fidelerinde, 'Rodeo'da ise 250 mM NaCl uygulama grubunda olduğu tespit edildi. Kontrol, tuz stresi ve tuz+Mel uygulama grupları kıyaslandığında en yüksek zar kararlılık değerinin Mel uygulamasında olduğu belirlendi. Bu sonuçlara dayanarak tuz stresi Mel uygulamasıyla kombine edildiğinde, Mel uygulamasının zar kararlılığını artış yönünde uyardığı görülmektedir.

3.7. Tuz Stresi ve Mel Uygulamasının Pancar Fidelerinin Yapraklarında Stoma İletkenliğine Etkisi

Tuz stresine ve Mel uygulaması koşullarında yapılan kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin yapraklarına ait stoma iletkenlik değerleri (Şekil 19) tuz stresi ve tuz+Mel uygulama gruplarında önemli farklılıklar gösterdi.

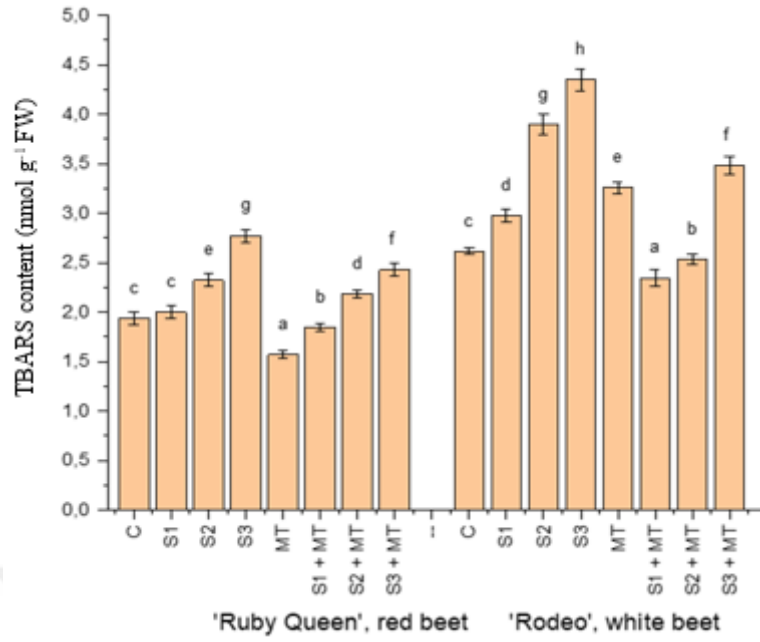


Şekil 19. Tuz stresi ve Mel uygulamasını Ruby Queen ve Rodeo pancar çeşitleri yapraklarındaki stoma iletkenlik değerleri. Her bir kolonda yer alan farklı harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P < 0,05$) olduğunu göstermekte olup, Duncan çoklu aralık testine göre yapılmıştır.

Her iki pancar çeşidinde de stoma iletkenlik değeri kontrol grubuna kıyasla doz bağımlı tuz stresi uygulamalarında azalma görüldü. En yüksek stoma iletkenlik içeriği Mel uygulama grubunda, tuz stresi Mel uygulamasıyla kombine edildiğinde doz bağımlı artan tuz stresi koşullarında stoma iletkenlik içeriği kademeli olarak azalma gösterdiği tespit edildi. Her iki pancar çeşidinde de stoma iletkenlik içeriğinin en az olduğu grubun 250 mM NaCl uygulama grubu olduğu belirlendi.

3.8. Tuz Stresi ve Melatonin Uygulamasının Pancar Fidelerinin Yapraklarındaki Tiyobarbiturik Asit Reaktif Ürün (TBARS) Eşdeğerine Olan Etkisi

Artan tuz stresi ve Mel uygulaması kırmızı 'Ruby Queen' ve beyaz 'Rodeo' pancar fidelerinin yapraklarına ait TBARS eşdeğerine üzerine olan etkisi Şekil 20'de verilmiştir.

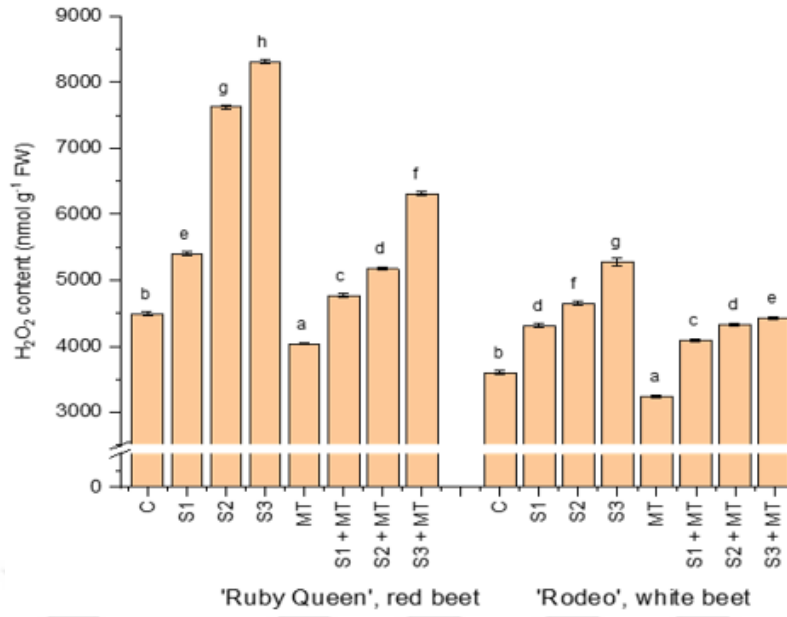


Şekil 20. Tuz stresi ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarına ait TBARS eşdeğerine etkisi. Kolonlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları ($P < 0,05$) göstermekte olup, Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapıldı.

Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında MDA(Malondialdehit) içeriği kontrol grubuna kıyasla tuz stresinde doz bağımlı olarak kademeli artış gözlemlendi. Her iki çeşitte de en fazla MDA içeriğinin 250 mM NaCl uygulama grubundaki bitkilerin yapraklarında olduğu tespit edildi. Yalnız Mel uygulaması yapılan bitkilerde ise MDA düzeyinin en düşük olduğu belirlendi. Her iki pancar çeşidinde de Mel uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde MDA değeri üzerinde iyileştirici etki gösterdiği ortaya konuldu.

3.9. Tuz Stresi ve Melatonin Uygulaması Pancar Fidelerinin Yapraklarının Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Miktarına Etkisi

Artan dozlarda tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması yapılan Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarına ait H_2O_2 miktarı Şekil 21’de görülmektedir.



Şekil 21. Tuz stresi ve Mel uygulamasının Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerinin yapraklarında H₂O₂ miktarına olan etkisi. Her bir kolanda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları (P<0,05) göstermektedir. Duncan çoklu aralık testi kullanılarak yapılmıştır.

Ruby Queen ve Rodeo pancar fidelerine ait yapraklarında H₂O₂ içeriği kontrol grubuna kıyasla tuz stresinde doz bağımlı olarak artış gösterdiği belirlendi. Her iki çeşide de en fazla H₂O₂ içeriğinin 250 mM NaCl uygulama grubunda olduğu tespit edildi. Yalnız Mel ve Mel+tuz stresi uygulama gruplarında ise H₂O₂ miktarının düşük seviyede olduğu belirlendi. Her iki pancar çeşidinde de Mel uygulamasının tuz stresinin doğal çıktısı olan H₂O₂ artışını azalma yönünde teşvik ettiği görüldü.

4. TARTIŞMA

Günümüzde küresel ısınma ve iklim değışikliği sıcaklık, susuzluk ve tuzluluk gibi çeşitli stres faktörlerine neden olmaktadır. Bahsedilen stres faktörleri ise verimli toprak arazilerinin, bitki biyoçeşitliliğinin, bitkisel ürünlerde kalite ve miktarın azalmasına neden olmaktadır (Vermeulen vd., 2012; Campillo vd., 2012; Schmidhuber ve Tubiello 2007). Araştırmalar bitkilerde biyotik ve abiyotik stres sonucunda verim kaybının %65-90'a ulaştığını rapor etmektedir. Abiyotik stres faktörleri arasında kuraklık, sıcaklık, UV radyasyon ve tuzluluk gibi çevreye bağılı etkenler yer almaktadır (Büyük vd., 2012). Bu faktörlerden olan tuzluluk dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerde tarım arazilerinin %20'si için tehdit oluşturmakta ve bu alanlar için gerekli önlemler alınmazsa ilerleyen zamanlarda 20 yıl içerisinde %50'lere ulaşacağı tahmin edilmektedir (Hasanuzzaman vd., 2013). Topraktaki tuzluluk problemi tüm dünyada yaygın olduğu gibi ülkemizde de yaygın bir hal almıştır (Yılmaz vd., 2011). Ülkemizde tarım arazilerinin çoğunluğu yarı kurak iklim alanlarında bulunmaktadır. Bu alanlarda doğru sulama yöntemleri kullanmadığı zaman toprak tuzluluğu meydana gelmektedir (Çullu, 2011). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre tuzluluk dünyadaki tarım alanlarının %6'sını, Türkiye'de 1,5 milyon hektarlık alanı kapsamaktadır (FAO, 2022). Türkiye'deki tuzlu alanlar ülkemizin yüzölçümünün %2'sini ve toplam ekilebilir alanların %5,48'ine denk gelmektedir. Tuzlu alanların %74'ü tuzlu, %25,5'i tuzlu-alkali ve %0,5'i alkali topraklardan meydana gelmektedir (Sönmez, 2011). Tuzluluğu maruz kalan bitkilerin büyüme ve gelişmelerinin olumsuz etkilenmesi, dahası ölümlerin olmasına neden olmaktadır (Zahra vd., 2020).

Bitkiler stres koşullarında çeşitli fizyolojik mekanizmaları kullanarak stresle mücadele etmeye çalışırlar. Stres koşullarında bitkilerde meydana gelen önemli metabolik aktivitelere biri düzenleyici ve uyarıcı hormonları sentezlemesidir. Bu ana hormonların etkileşimi bitkide düşük miktarda sentezlenen melatonin de eşlik etmektedir. Soğuk, kuraklık, tuzluluk, ısı, UV radyasyon gibi çevre stresleri Mel biyosentezini uyarmaktadır (Byeon vd., 2014). Birçok çeşitli bitki türlerinde Mel biyosentezi triptofan öncülüğünde başlar (Posmyk vd., 2009). Ayrıca indolamin 2,3-dioksijenaz (IDO) bitkideki Mel metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynar (Okazaki vd., 2010). Bitkilerin stresle mücadelesinde hormonal düzenlemeye ek olarak ozmotik düzenleme, fotosentetik koruma, oksidatif koruma, moleküler sinyalleşme ve gen düzenlemesi gibi çeşitli koruyucu

mekanizmaların olduğu da bilinmektedir (Siddiqui vd., 2019b). Bitkiler ozmotik dzenleme sayesinde hcrelere su alımını kolaylaştırıp hcre içi su dengesini korurlar. Bu durum bitkide ozmotik potansiyel değişikliklerine neden olmaktadır (Tariq vd., 2018; Mahmood vd., 2020).

Bitkilerdeki tuz birikimin artmasıyla, bitki morfolojisi, fizyolojisi, biyokimyası ve ürün verimliliğinde azalma gibi sonuçlarla karşılaşılır (Shrivastava ve Kumar, 2015). Yapılan bir çalışmada nane bitkisi kullanılmış ve artan dozlarda tuz stresine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda doza bağımlı olarak bitki yapraklarında taze ve kuru ağırlıklarda azalma olduğu rapor edilmiştir (Yu vd., 2015). şalgam bitkisi kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada, 50-100-150 mM NaCl uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonrasında bitkinin kök ve sürgünlerinin taze ve yaş ağırlıklarında artan tuz stresi uygulamasına bağlı olarak önemli bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Jan vd., 2016). Bu çalışmada artan tuz stresine maruz bırakılan ve Mel uygulaması ile müdahale edilen kırmızı ve beyaz pancar çeşidi kullandı. İki çeşitte de artan doz bağımlı olarak tuz uygulaması sonucunda yaprakların taze ve kuru ağırlıklarında azalma olduğu, Mel uygulaması ile tuz stresine uygulamasına kıyasla ağırlıklarda artışın meydana geldiği belirlendi.

Tuz stresinin olumsuz etkilerinden biri de klorofil içeriğindeki değişikliklerdir. Ayrıca, tuz stresine bağlı olarak yaprak alanında meydana küçülme karotenoid/klorofil seviyesinde azalma ve fotosistemdeki elektron akışının bozulma gibi olumsuz etkilere sahiptir (Koyro, 2006). Yapılan bir çalışmada tuz stresine maruz kalan şeker pancarının toplam klorofil ve toplam karotenoid içeriğinde azalma meydana geldiğini belirlemiştir (Türkmen, 2019). Kloroplast aktivitesinde meydana gelen azalma, fotosentez oranında azalmaya neden olur. Bu durumda klorofilaz enzim aktivitesinin azalması, solunumun artması ve klorofil içeriğinin azalmasını sağlar (Taheri vd., 2020). Domates bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak kontrol grubuna kıyasla azalma olduğu belirlenmiştir (Roşca vd., 2023). Diğer bir çalışmada Teksas cevizi bitkisine artan dozlarda tuz uygulaması yapılmış ve toplam klorofil içeriği ve karatenoid içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Ji vd., 2022). Bu çalışmada doz bağımlı tuz uygulaması sonucunda kırmızı ve beyaz pancar çeşitlerinde toplam klorofil, klorofil a ve toplam karateoid miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada pirinç bitkisi kullanılmış ve 60-120 mM NaCl uygulaması yapılmış 24-312 saatlik zaman diliminde klorofil floresans içeriğine bakılmış. İlerleyen saatlerde tuz uygulamalarında floresans içeriğinde azalma olduğu ve yüksek tuz konsantrasyonunda azalmanın daha fazla olduğu tespit edildi (Senguttuvel vd.,

2014). Kırmızı ve beyaz pancar çeşitleri kullandığımız çalışmamızda kontrol grubuna kıyasla doz bağımlı tuz uygulamasında klorofil floresans içeriğinde azalma olduğu ve Mel uygulaması sonucunda floresans içeriğinin arttığı belirlendi.

Bitkiler tuz stresiyle mücadele etmek için pek çok karmaşık metabolik aktivite gerçekleştirmektedirler. Özellikle osmotik dengede meydana gelen bozulmalar, su eksikliğine neden olmaktadır. Bu durum özellikle süperoksit ($O_2 \cdot^-$) hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil radikalleri ($OH \cdot$) ve tekil oksijen (O_2) gibi çeşitli reaktif oksijen türlerinin birikmesine ve antioksidan kapasitenin aşılmasına neden olmaktadır (Parida vd., 2005). Tuzluluk stresine bağlı olarak ortaya çıkan osmatik potansiyel değişiklikleri tilakoidlerin büzülmesi, klorofillerin parçalanması ve bitişik grana membranlarındaki yığılmanın artmasına (Ashraf, M., 2004); fotosistem I ve II reaksiyon merkezlerinde tilakoidlerin pigment-protein yapılarında bozulmalara; elektron taşıma sistemi aktivitelerinde azalmaya neden olmaktadır (Parida vd., 2003). Pirinç bitkisi kullanılarak yapılan bir çalışma farklı konsantrasyonlarda tuz uygulaması yapılmış ve ozmotik potansiyelin kontrol grubuna oranla doz bağımlı olarak azaldığı tespit edildi (Senguttuvel vd., 2014). Bizim çalışmamızda kırmızı ve beyaz bitkilerinin yapraklarının kontrol gruplarına bakıldığında doz bağımlı olarak tuz stresi uygulama gruplarında kademeli olarak ozmotik potansiyelde azalma olduğu ve tuz stresi Mel uygulaması ile kombine edilen gruplarda ozmotik potansiyelin arttığı saptandı.

Bununla birlikte, beyaz ve kırmızı pancar çeşitlerinde artan tuz konsantrasyonlarında stoma iletkenliği ve membran stabilitede azalma olduğu görülmektedir. Bu çalışmayla benzer olarak, *Dactylis glomerata* L.'da tuz stresi koşullarında hücre membranındaki bozulmalarla, kıvrımların gerçekleştiği ve plazma membranında keseciklerin oluştuğu tespit edilmiştir (Gupta, S.D., 2007). Benzer olarak *Citrus sinensis*'de tuz uygulamasının stoma iletkenliğinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Gomez-Canedes vd., 2003). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) ve buğday (*Triticum vulgare* L.) bitkileriyle yapılan çalışmalarda ise kaya ve deniz tuzunun artan konsantrasyonlarına bağlı olarak elektrolit sızıntısının arttığı belirlenmiştir (Kaya vd., 2023). Bu durum tuzluluk stresine bağlı olarak bitkilerde hücre membran yapısının bozulması ve elektrolit kaybının oluşmasıyla ilgilidir (Holmberg vd., 1998). Yapılan bu çalışmada tuz stresine maruz bırakılan kırmızı ve beyaz pancar çeşitlerinde doz bağımlı olarak membran kararlılığının azalması, elektrolit sızıntısının artması ve stoma iletkenliğinin azalması sonuçları elde edildi. Ancak, tuz stresi koşullarında yetişen pancarlara Mel muamelesinin elektrolit sızıntı, stoma iletkenliği ve membran stabilitesinin

kontrol seviyelerine doğru yaklaştırması, Mel hormonunun tuzluluk stresine karşı koruyucu etkisi olduğunu göstermektedir.

Bitkiler ROT'tan korunmak için askorbat, glutatyon, karotenoidler, α -tokofenol gibi antioksidanları ve CAT, SOD, POX, GR gibi oksidatif enzimleri kullanmaktadır (Zhu, J-K., 2005). Tuzluluğun, farklı bitkilerde antioksidatif sistem üzerine etkileri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Karpuzda 100 mM NaCl uygulaması, SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinde artışa neden olmuştur (Yaşar vd., 2008). 100 mM NaCl, kültür çeşidi *Lycopersicon esculentum* (Lem) ve yabani toleranslı çeşit *L. pennelii* (Lpa)'ye uygulanmış, Lpa'da lipit peroksidasyonu ve CAT ile GR aktivitesinin azaldığı, SOD, APX ve DHAR aktivitesinde ise Lem'e göre artış olduğu bulunmuştur (Shalata vd., 1998). Bu çalışma kapsamında da artan tuz konsantrasyonlarının TBARS ve H₂O₂ içeriklerinde artışa neden olduğu görülmektedir. Bu durum, tuz artışına bağlı olarak azalan osmatik potansiyel başta olmak üzere elektrolit sızıntıda meydana gelen artışla ilişkili olabilir. Tuzluluk stresi o koşullarında yetiştirilen pancar türlerine Mel uygulamasının iyileştirici etkisi antioksidan savunmanın da iyileşmesine neden olmaktadır. Böylece reaktif oksijen türlerinde ve lipid peroksidasyonunun oluşmasında azalma olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

1. Kırmızı ve beyaz pancar çeşidinde kontrol grubuna kıyasla tuz stresi uygulamasında doza bağımlı olarak yaprak alanında küçülme, taze ve kuru ağırlıklarda azalma tespit edildi. Ancak NaCl+Mel kombine edilen gruplarda Mel olumlu etki göstererek kontrol grubundaki verilere yakın sonuçlar elde edilmesini sağladı.
2. Çalışmada kullanılan kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin yapraklarına bakıldığında tuz stresi uygulama gruplarında kontrol grubuna kıyasla artan dozlarda Fv/Fm içeriğinde azalma olduğu tespit edildi. Mel uygulamasıyla tuz stresinin negatif etkisi azaltılarak kontrole yakın sonuçlar elde edildi.
3. Kullanılan iki pancar çeşidinde de K_{la}, T_{kl} ve T_{kar} içerikleri tuz stresinde doz bağımlı olarak azaldığı, Mel+NaCl uygulama gruplarında Mel iyileştirici etki göstermesiyle içerik değerlerinde artış olduğu tespit edildi.
4. Artan konsantrasyonlarda tuz stresi uygulanan kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin yapraklarına ait ozmotik potansiyel değeri incelendiğinde doz bağımlı olarak Ψ_s kademeli olarak kontrol grubuna oranla azalmıştır. Mel ve NaCl ikili kombine edilen gruplarda Mel Ψ_s değerinde artmaya neden oldu.
5. Kırmızı ve beyaz pancar fidelerinde artan tuz stresi koşullarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında stoma iletkenliği ve membran kararlılığında azalma olduğu, elektrolit sızıntı değerinin arttığı tespit edildi. Mel uygulaması, NaCl ile kombine edildiğinde azalmalar artış, artışın azalmalara neden olduğu tespit edildi.
6. Çalışmada kullanılan kırmızı ve beyaz pancar fidelerinin yapraklarında artan tuz stresi uygulamalarında TBARS eşdeğeri ve H₂O₂ değerlerinin kontrol grubuna kıyasla arttığı tespit edildi. Mel tuz stresi uygulama gruplarıyla kombine edildiğinde azalmaların olduğu ve kontrol grubuna yakın değerler gözlemlendi.
7. Yapılan bu çalışmada ölçülen farklı değerler karşılaştırıldığında Ruby Queen ve Rodeo türlerinde adaptasyonları farklılık göstermektedir. Ruby Queen ozmotik potansiyel, klorofil pigment içeriği, stoma iletkenliğindeki değerlerdeki artış ve TBARS birikiminin az olması gibi sonuçlara ulaşılırken; Rodeo klorofil floresans ve zar kararlılığında değerlerinde artma, H₂O₂ ve elektrolit sızıntı değerlerindeki azalma ile daha iyi adaptasyon gösterdi.

6. ÖNERİLER

Tuz (NaCl) bitkilerin büyüyüp gelişmesi için en önemli çevresel faktörlerden biridir. Tuzluluğun bitkiler üzerindeki etkisinin bilinmesi bitkilerde stres fiziyojisi ve ziraat alanı için çok faydalı olup, fiziyojisi ve tarım alanındaki gelişmelerle ilgili önem arz etmektedir. Dünyada ve ülkemizde tuzlu toprak yapısının ve sulama sularındaki tuz miktarının fazla olması nedeniyle bitkilerin tuzluluktan ne denli etkilendiğine dair birçok çalışma yapılmıştır. Fakat tuzluluğun bitkiler üzerindeki olumsuz sonuçları tolere etmek için yapılan çalışmalar gün geçtikçe arttırılmaktadır. Yapılan bu çalışmada artan dozlarda (50-150-250 mM) NaCl uygulandı ve Mel uygulaması yapılan pancar fidelerinde, enzimatik olan ve olmayan antioksidan savunma sistemindeki etkileri NaCl'nin neden olduğu oksidatif hasarla ilişkilendirilip çözüme kavuşturulmaya yönelik yaklaşımlar sunulmaya çalışıldı.

Mel uygulamasının tuz stresinin neden olduğu oksidatif hasarın iyileştirilmesinde veya azaltılmasında etkili bir hormon olduğu belirlenmiştir.

1. Toprak yapısının tuzluluğuna dikkat edilerek fidelere dıştan Mel uygulamasının uygun konsantrasyonda yapılması, bitkilerin tuzluluğa karşı daha dirençli olmasını sağlayabilir. Böylelikle tuzluluk oranı fazla olan ekim alanlarında da çeşitli bitki büyütmesi sağlanabilir.
2. Mevcut sonuçlar ve ileride yapılacak olan tuzlu ekim alanlarında bitki yetiştirme çalışmalarında şeker pancarı için en uygun dozlarda NaCl konsantrasyonunun seçilmesine katkı sağlayabilir. Yapılan bu çalışmayla bitkilerde NaCl stresinin azaltılmasına dair bilgi eksikliğinin kapatılmasında yardımcı olabilecek veriler sağlanmaya çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmada ulaşılan sonuçlara göre tarım alanlarında kırmızı pancar türünün (Ruby Queen) ekilebilir alanlarda kullanılması teşvik edilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant Responses To Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Ada, R., & Akınerdem, F. (2011). Farklı Zamanlarda Hasat Edilen Şeker Pancarında (Beta Vulgaris Saccharifera L.) Verim, Kalite Veve Hasat Kayıplarının Belirlenmesi. *Selcuk Journal Of Agriculture & Food Sciences/Selcuk Tarım Veve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1).
- Akan, S., Horzum, Ö., & Güneş, N. T. (2019). Fonksiyonel Gıda Kaynağı 'Kırmızı Pancar'. In *Proceedings Book Of 5th International Eurasian Congress On Natural Nutrition, Healthy Life & Sport* (Pp. 02-06).
- Altınışık, M., & Ad, A. T. F. B. (2000). Serbest Oksijen Radikalleri Veve Antioksidanlar. *Adü Tıp Fakültesi, Biyokimya Ad., Aydın*.
- Altunbay, S. G., Kangal, A., & Gürel, S. (2016). Şeker Pancarından Biyoetanol Üretimi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı-2), 334-339.
- Ashraf, M. (2004)., "Some Important Physiological Selection Criteria For Salt Tolerance In Plants", *Flora*, 199: 361-376 (2004).
- Aydemir, B., & Sarı, E. K. (2009). Antioksidanlar Veve Büyüme Faktörleri İle İlişkisi. *Kocatepe Veterinary Journal*, 2(2), 56-60.
- Badria, F. A. (2002). Melatonin, Serotonin, And Tryptamine İn Some Egyptian Food And Medicinal Plants. *Journal Of Medicinal Food*, 5(3), 153-157.
- Badria, F. A. (2002). Melatonin, serotonin, and tryptamine in some Egyptian food and medicinal plants. *Journal of medicinal food*, 5(3), 153-157.
- Büyük, İ., Soydam-Aydin, S., & Aras, S. (2012). Bitkilerin Stres Koşullarına Verdiği Moleküler Cevaplar. *Turkish Bulletin Of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen Veve Deneysel Biyoloji*, 69(2).
- Byeon, Y., Back, K. (2014). Melatonin Synthesis İn Rice Seedlings İn Vivo İs Enhanced At High Temperatures And Under Dark Conditions Due To Increased Serotonin N-Acetyltransferase And N-Acetylserotonin Methyltransferase Activities. *J. Pineal Res.* 2014, 56, 189–195.
- Çelebi, A. (2021). İyonlaştırıcı Radyasyon Stresine Maruz Bırakılan Buğday (Triticum Aestivum L.) Tohumlarında Dıştan Melatonin Uygulamasının Antioksidan Savunma Sistemi Üzerindeki Rolünün İncelenmesi. *K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon*.

- Çolak, N. (2017). Buğday Bitkisinde (*Triticum Aestivum* L.) N-Asetilsistein'in Ağır Metal Toksisitesine Karşı İyileştirici Etkisinin Araştırılması. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Çulha, Ş., & Çakırlar, H. (2011). Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri Veve Tuz Tolerans Mekanizmaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Veve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2), 11-34.
- Doğru, A., & Canavar, S. (2020). Bitkilerde Tuz Toleransının Fizyolojik Veve Biyokimyasal Bileşenleri. Academic Platform-Journal Of Engineering And Science, 8(1), 155-174.
- Dölarıslan, M., & Gül, E. (2012). Toprak Bitki İlişkileri Açısından Tuzluluk. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, (2), 56-59.
- Fan, J., Xie, Y., Zhang, Z., & Chen, L. (2018). Melatonin: A Multifunctional Factor İn Plants. International Journal Of Molecular Sciences, 19(5), 1528.
- Fan, J., Xie, Y., Zhang, Z., & Chen, L. (2018). Melatonin: a multifunctional factor in plants. International Journal of Molecular Sciences, 19(5), 1528.
- Fanti, G., Schwartz, B., Accetta, A., Botella, J. A., Buenaobra, B. J., Carreira, M., ... & Zugibe, F. (2005, September). Evidences for testing hypotheses about the body image formation of the Turin Shroud. In Third Dallas International Conference on the Shroud of Turin: Dallas, Texas.
- Güneş, A., Alpaslan, M., İnal, A. (2010). Bitki Besleme Veve Gübreleme. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1581, Ders Kitabı:533. Isbn:978-975-482-878-8, Ankara.
- Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J., & Chen, S. (2021). A Review On Plant Responses To Salt Stress And Their Mechanisms Of Salt Resistance. Horticulturae, 7(6), 132.
- Jan, S. A., Shinwari, Z. K., & Rabbani, M. A. (2016). Agro-Morphological And Physiological Responses Of Brassica Rapa Ecotypes To Salt Stress. Pak. J. Bot, 48(4), 1379-1384.
- Ji, X., Tang, J., & Zhang, J. (2022). Effects Of Salt Stress On The Morphology, Growth And Physiological Parameters Of Juglans Microcarpa L. Seedlings. Plants, 11(18), 2381.
- Kangasjarvi S., Lepistö A., Hännikäinen K., Piippo M., Luomala E.M., Aro E.M., Rintamäki E. (2008). Diverse Roles For Chloroplast Stromal And Thylakoidbound Ascorbate Peroxidases İn Plant Stress Responses. Biochemistry Journal, 412: 275-285.
- Kantarci, M. D., 2000. Toprak İlmi. Or. Fak. F. Yayın No:462, İ.Ü. Yayın No:4261, Isbn: 975-404- 588-7, İstanbul.
- Kara, A., Varol, T., Elveren, M., & Osma, E. Kaya Tuzu İle Deniz Tuzu Stresinin Buğday (*Triticum vulgare* L.) Ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Üzerindeki Etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Veve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 547-554.

- Karabulut, H., & Gülay, M. Ş. (2016). Antioksidanlar. *Veterinary Journal Of Mehmet Akif Ersoy University*, 1(1), 65-76.
- Karaoğlu, M., & Yalçın, A. M. (2018). Toprak Tuzluluğu Veve İğdir Ovası Örneği. *Journal Of Agriculture*, 1(1), 27-41.
- Kınay, A., & Erdem, H. (2022). Tuz Stresi Altındaki Tütün Bitkisine Yapaktan Silisyum (Si) Uygulamalarının Etkileri. *Harran Tarım Veve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3), 380-388.
- Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2017). Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar Responses Of Plants To Abiotic Stress Factors.
- Lerner, A. B., Case, J. D., Takahashi, Y., Lee, T. H., & Mori, W. (1958). Isolation of melatonin, the pineal gland factor that lightens melanocyteS1. *Journal of the american chemical society*, 80(10), 2587-2587.
- Mahajan, S., And Tuteja, N., (2005). “Cold, Salinity And Drought Stress: An Overview”, *Archives Of Biochemistry And Biophysics*, 444: 139-158. (2005)
- Marta, B., Szafrńska, K., & Posmyk, M. M. (2016). Exogenous melatonin improves antioxidant defense in cucumber seeds (*Cucumis sativus* L.) germinated under chilling stress. *Frontiers in plant science*, 7, 575.
- Meral, R., Doğan, İ. S., & Kanberoğlu, G. S. (2012). Fonksiyonel Gıda Bileşeni Olarak Antioksidanlar. *Journal Of The Institute Of Science And Technology*, 2(2), 45-50.
- Mittler R. (2002). Oxidative Stress, Antioxidants And Stress Tolerance. *Trends İn Plant Science*. 7: 405-410.
- Munns, R. (2002)., “Comparative Physiology Of Salt And Water Stress”, *Plant, Cell And Environment*, 25: 239-250 (2002).
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651-681.
- Noctor, G., Foyer C. H. (1998). Ascorbate And Glutathione: Keeping Active Oxygen Under Control. *Annual Review Of Plant Physiology And Plant Molecular Biology*, 49: 249-279.
- Okazaki, M.; Higuchi, K.; Aouini, A.; Ezura, H. (2010). Lowering İntercellular Melatonin Levels By Transgenic Analysis Lemof İndoleamine 2,3-Dioxygenase From Rice İn Tomato Plants. *J. Pineal Res.* 2010, 49, 239–247.
- Özkan A, Fışkın K. (2004). Serbest Oksijen Radikalleri, Karsinogenez Veve Antioksidant Enzimler. *Türk Hematoloji Onkoloji Dergisi*. 2004; 14: 52-60.
- Pandey, P., Singh, J., Achary, V. M. M., & Reddy, M. K. (2015). Redox Homeostasis Via Gene Families Of Ascorbate-Glutathione Pathway. *Frontiers İn Environmental Science*, 3, 25.

- Parida, A.K., Das, A.B., And Mitra, B., “Effects Of NaCl Stress On The Structure, Pigment Complex Composition, And Photosynthetic Activity Of Mangrove *Brugueira Parviflora* Chloroplasts”, *Photosynthetica*, 41 (2): 191-200 (2003).
- Pitman, M. G., & Läuchli, A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems. *Salinity: environment-plants-molecules*, 3, 20.
- Posmyk, M.M.; Janas, K.M. Melatonin In Plants. *Acta Physiol. Plant* 2009, 31, 1.
- Ren, M., Zhang, Z., Wang, X., Zhou, Z., Chen, D., Zeng, H., ... & Peng, N. (2018). Diversity and contributions to nitrogen cycling and carbon fixation of soil salinity shaped microbial communities in Tarim Basin. *Frontiers in microbiology*, 9, 431.
- Roşca, M., Mihalache, G., & Stoleru, V. (2023). Tomato Responses To Salinity Stress: From Morphological Traits To Genetic Changes. *Frontiers In Plant Science*, 14, 1118383.
- Salem, A., Talaat, W., Kamel, M. H., & Hassan, N. (2015). Assessing Professionalism among Residents: Peer and Self-assessment. *Intel Prop Rights*, 3(1), 148-53.
- Shalata, A., And Tal, M., “The Effect Of Salt Stress On Lipit Peroxidation And Antioxidants In The Leaf Of The Cultivated Tomato And Its Wild Salt Tolerant Relative *Lycopersicon Pennellii*” *Physiologia Plantarum*, 104: 169-174 (1998).
- Sönmez, S., & Kaplan, M. (1997). Toprak Tuzluluğunun Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. *Akdeniz University Journal Of The Faculty Of Agriculture*, 10(1), 323-335.
- Sözmen Ey. “Radikal Kavramı ve Oksijen Serbest Radikalleri”. *İnsan Biyokimyası*. Onat T, Emerk K, Sözmen Ey (Ed.). 2002; 666-674.
- Thatoi, H. N., Patra, J. K., & Das, S. K. (2014). Free Radical Scavenging And Antioxidant Potential Of Mangrove Plants: A Review. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 561-579.
- Türkmen, R. Tuzlu Koşullarda Yetiştirilen Farklı Şeker Pancarı (*Beta Vulgaris L.*) Çeşitlerinin Strese Dayanımlarının ve Mineral Beslenme Performanslarının Belirlenmesi (Master's Thesis, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü). 2019.
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt Tolerance Mechanisms Of Plants. *Annual Review Of Plant Biology*, 71(1), 403-433.
- Vergari, E., Knudsen, J. G., Ramracheya, R., Salehi, A., Zhang, Q., Adam, J., ... & Rorsman, P. (2019). Insulin inhibits glucagon release by SGLT2-induced stimulation of somatostatin secretion. *Nature communications*, 10(1), 139.
- Wicke, S., Schneeweiss, G. M., Depamphilis, C. W., Müller, K. F., & Quandt, D. (2011). The evolution of the plastid chromosome in land plants: gene content, gene order, gene function. *Plant molecular biology*, 76, 273-297.

- Yang Y., W., Newton, R.,J., M llerf, R., 1990. Salinity Tolerance  n Sorghum. I Hole Plant Response To Sodium Chloride  n S. Bicolor And S. Halepense. Crpo Sci. 30: 755-781.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, ř.,  zpay, T., And Uzal,  . (2008). ‘‘Tuz Stresinin Karpuzda (Citrullus Lanatus (Thunb.) Mansf.) Antioksidatif Enzim (Sod, Cat, Apx ve Gr) Aktivitesi  zerine Etkisi’’, Y z nc  Yıl  niversitesi, Ziraat Fak ltesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), 18 (1): 61-65
- Yılmaz, E., Tuna, A. L., & B r n, B. (2011). Bitkilerin Tuz Stresi Etkilerine Karşı Gelistirdikleri Tolerans Stratejileri-Tolerance Strategies Developed By Plants To The Effects Of Salt Stress. Celal Bayar University Journal Of Science, 7(1), 47-66.
- Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y., & Li, W. (2015). The Effects Of Salinity Stress On Morphological Characteristics, Mineral Nutrient Accumulation And Essential Oil Yield And Composition  n Mentha Canadensis L. Scientia Horticulturae, 197, 579-583.
- Zhang Y., Yang J., Lu S., Cai J., Guo Z. 2008. Overexpressing Sgnced1  n Tobacco Increases Aba Level, Antioxidant Enzyme Activities, And Stress Tolerance. Journal Of Plant Growth And Regulation, 27: 151-158.
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation Of Plant Responses To Salt Stress. International Journal Of Molecular Sciences, 22(9), 4609.
- Zhu, J-K., ‘‘Understanding And Improving Salt Tolerance  n Plants’’, Crop Science, 45: 437-448 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğretimini Nuripazarbaşı İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Gaziantep Lisesi'nde tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ), Fatih Eğitim Fakültesi, Biyoloji Öğretmenliği'nden mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı Bitki Fizyolojisi ve Biyokimyası alanında yüksek lisans eğitimine başladı.

