

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZ STRESİ ALTINDAKİ MISIR (*Zea mays L.*) BİTKİLERİNDE BAKIR VE  
MANGAN İÇEREN BAZI BİLEŞİKLERİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep GÖÇMEN

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOLOJİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞRU

Temmuz 2022

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZ STRESİ ALTINDAKİ MISIR (*Zea mays L.*) BİTKİLERİNDE BAKIR VE  
MANGAN İÇEREN BAZI BİLEŞİKLERİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep GÖÇMEN

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOLOJİ

Bu tez 01.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.  
Jüri Başkanı

Doç. Dr.  
Üye

Dr. Öğr. Üyesi  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Zeynep GÖÇMEN

01.05.2022

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamı yöneten, tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen tecrübelerinden ve bilgilerinden yararlandığım saygıdeğer danıőman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvardaki çalışmalarım esnasında deneyimlerini ve bilgilerini esirgemeyen Arő. Gör. Dr. Sezen TOKSOY KÖSEOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisansım süresince yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans dönem arkadaşım, değerli Uğur GÜZEL'e çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen eőim Mert GÖÇMEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım süresince, desteklerini esirgemeyen ablam ve anneme en içten teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ .....	8
2.1. Bitki Büyümesi ve Gelişimi .....	8
2.1.1. Bitki hücresinin kimyasal bileşimi.....	8
2.2. Stres.....	9
2.2.1. Tuz stresi .....	10
2.2.2. Oksidatif stres .....	13
2.2.2.1. Aktif oksijen türleri .....	13
2.2.2.2. Antioksidanlar .....	14
2.3. Bitkilerde Besin Elementleri .....	17
2.3.1. Bitkilerde mangan elementinin önemi .....	18
2.3.2. Manganın kimyasal yapısı ve biyokimyasal etkileri.....	19
2.3.3. Bitkilerde mangan eksikliği .....	19
2.3.4. Bitkilerde bakır elementinin önemi.....	20
2.3.5. Bakırın kimyasal yapısı ve biyokimyasal etkileri .....	20

2.3.6. Bitkilerde bakır eksikliği.....	21
2.4. Klorofil <i>a</i> Floresansı .....	22
2.4.1. Klorofil <i>a</i> floresans indüksiyon kinetikleri .....	24
2.5. Mısır .....	27
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Bitki Materyali .....	30
3.2. Yöntem .....	30
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler .....	30
3.2.2. Bitki yetiştirme yöntemi.....	31
3.3. Analizler .....	32
3.3.1. Fotosentetik pigment miktarının belirlenmesi .....	32
3.3.2. Klorofil <i>a</i> floresansı ölçümleri.....	33
3.3.3. İstatistik analizler .....	33
BÖLÜM 4.	
BULGULAR.....	34
4.1. Tuz Stresinin Fotosentetik Aktivite Üzerine Etkisi.....	34
4.1.1. Bakır (Cu) uygulamasının fotosentetik aktivite üzerine etkisi.....	34
4.1.2. Mangan (Mn) uygulamasının fotosentetik aktivite üzerine etkisi	41
4.2. Tuz ve Bakır Uygulamalarının Fotosentetik Pigment Üzerine Etkisi.....	47
4.3. Tuz ve Mangan Uygulamalarının Fotosentetik Pigment Üzerine Etkisi.	48
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	50
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AOT	: Aktif oksijen türleri
APOD	: Askorbat peroksidaz
GPOD	: Guaiakol peroksidaz
GR	: Gluttayon redüktaz
SOD	: Süperoksit dismutaz
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	: Hidrojen peroksit
LP	: Lipid peroksidasyonunu
O <sub>2</sub> -	: Süperoksit radikali
OH-	: Hidroksil radikali
Ppm	: Milyonda bir birim
FSI	: Fotosistem I
FSII	: Fotosistem II
Cu1	: 0,2 ppm'lik bakır sülfat çözeltisi
Cu2	: 0,3 ppm'lik bakır sülfat çözeltisi
Mn1	: 3,6 ppm'lik mangan klorür çözeltisi
Mn2	: 5,4 ppm'lik mangan klorür çözeltisi
NaCl	: Sodyum klorür

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Fotosentezde oksidatif stres oluşumu (Yavaş ve diğ., 2020). .....	12
Şekil 2.2. OJIP eğrisi ve önemli zaman noktaları (Govindje, 2004).....	25
Şekil 4.1. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	35
Şekil 4.2. Tuz stresi ve bakır uygulamalarının ADA- 9510 genotipinde klorofil a floresansı indüksiyon eğrisi (OJIP eğrisi) üzerine etkisi. ....	36
Şekil 4.3. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	37
Şekil 4.4. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	39
Şekil 4.5. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi. ....	40
Şekil 4.6. NaCl, Cu1, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipinin fotosentetik birimlerindeki reaksiyon merkezlerinin durumu üzerine etkisi (boş daireler sağlam, dolu daireler ise hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir. ....	41
Şekil 4.7. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi. ....	42
Şekil 4.8. Tuz stresi ve mangan uygulamalarının ADA-9510 genotipinde klorofil a floresansı indüksiyon eğrisi (OJIP eğrisi) üzerine etkisi. ....	43
Şekil 4.9. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	44
Şekil 4.10. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	45
Şekil 4.11. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi .....	46



Şekil 4.12. NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipinin fotosentetik birimlerindeki reaksiyon merkezlerinin durumu üzerine etkisi (boş daireler sağlam, dolu daireler ise hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir) .....	47
Şekil 4.13. NaCl, Cu1, Cu2, Cu1+ NaCl ve Cu2+ NaCl uygulamalarının (a) klorofil a (b) klorofil b, (c) toplam klorofil ve (d) toplam karotenoid miktarı üzerine etkisi. ....	48
Şekil 4.14. NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+ NaCl ve Mn2+ NaCl uygulamalarının (a) klorofil a (b) klorofil b, (c) toplam klorofil ve (d) toplam karotenoid miktarı üzerine etkisi. ....	49

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Mutlak gerekli makro ve mikro elementler.....	2
Tablo 2.1. JIP testinden elde edilen bazı parametreler ve tanımları (Kalaji, 2011).	26
Tablo 2.2. Dünya mısır verileri .....	28
Tablo 3.1. ADA-9510 genotipli mısır bitkisine ait bazı bilgiler (Anonim, 2022)...	30
Tablo 3.2. Hoagland besin çözeltisi (Hoagland, 1920) .....	31

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Fotosentetik aktivite, klorofil a floresansı, mangan, bakır, mısır, tuz stresi, *Zea mays* L.

Bu çalışmada tuz (NaCl; 150 mM), bakır (Cu1; 0,2 ppm ve Cu2; 0,3 ppm), mangan (Mn1; 3,6 ppm ve Mn2; 5,4 ppm), bakır+tuz (Cu1; 0,2 ppm +NaCl; 150 mM, Cu2; 0,3 ppm;+NaCl; 150 mM) ve mangan+tuz (Mn1; 3,6 ppm +NaCl; 150 mM, Mn2; 5,4 ppm +NaCl; 150 mM) uygulamalarının ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde neden olduğu fizyolojik ve biyokimyasal değişimler araştırılmıştır. Klorofil *a* floresansı verilerine göre tuz stresi altında Cu1 ve Cu2 uygulamaları ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde fotosistem I ve fotosistem II aktivitesini olumlu şekilde etkilediği söylenebilir. Özellikle Alan (OJIP eğrisinin üzerinde kalan bölge), N ( $F_m$ ' ye ulaşıncaya kadar geçen sürede  $Q_A$ ' nın indirgenme sayısı),  $\phi_{E_0}$  ( $Q_A$ ' dan  $P_Q$ ' ya elektron taşınımının kuantum verimi),  $\Psi_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ ' dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği),  $\Psi_0/(1-\square_0)$  (ışığa bağımlı olmayan reaksiyonların performans göstergesi),  $S_M$  (tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji) değerlerindeki değişimler tuz stresinin neden olduğu hasarları bir ölçüde iyileştirdiği söylenebilir. Mangan uygulamaları sonucu ise Mn1+NaCl uygulamasının ADA-9510 genotipinde rekasyon merkezlerinden  $Q_A$ ' ya doğru gerçekleşen elektron taşınımını belirli derecede inhibe ettiği ancak NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları sonucu taşınımın uygun şekilde devam ettiği söylenebilir.

Sonuç olarak ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde sadece tuz, bakır+tuz ve mangan+tuz uygulamaları sadece bakır ve sadece mangan uygulamalarına göre fotosentetik pigment miktarında meydana gelen değişiklikler sonucunda bitki tuz stresine girdiği ve fotosentetik aktivitenin etkilendiği gözlemlenmiştir. Ancak bakır ve mangan uygulamaları, tuz stresine rağmen bitki gelişimini devam ettirdiği için, fotosentetik pigmentteki olumsuz etkilerin verdiği hasarları iyileştirdiği söylenebilir.

## **INVESTIGATION OF THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL EFFECTS SOME COMPOUNDS CONTAINING COPPER AND MANGANESE IN CORN (*Zea Mays L.*) PLANTS UNDER SALT STRESS**

### **SUMMARY**

Keywords: photosynthetic activity, chlorophyll a fluorescence, manganese, copper, maize, salt stress, *Zea mays L.*

In this study salt (NaCl; 150 mM), copper (Cu1; 0.2 ppm and Cu2; 0.3 ppm), manganese (Mn1; 3.6 ppm and Mn2; 5.4 ppm), copper+salt (Cu1; 0.2 ppm+NaCl; 150 mM, Cu2; 0.3 ppm+NaCl; 150 mM) and manganese+salt (Mn1; 3.6 ppm+NaCl; 150 mM, Mn2; 5.4 ppm+NaCl; 150 mM) physiological and biochemical changes caused by ADA-9510 genotype *Zea mays L.* plant were investigated. According to the chlorophyll a fluorescence data, it can be said that Cu1 and Cu2 applications under salt stress positively affect photosystem I and photosystem II activities in ADA9510 genotype *Zea mays L.* plant. Specifically, area (the region above the OJIP curve), N (the number of reductions of  $Q_A$  until  $F_m$  is reached),  $\phi_{E_0}$  (quantum efficiency of electron transport from  $Q_A$  to  $P_Q$ ),  $\Psi_0$  (one electron of a captured excitation,  $Q_A$ ) it can be said that the changes in the values of  $\Psi_0/(1-\phi_0)$  (performance indicator of non-light-dependent reactions), SM (energy required for the closure of all reaction centers) to some extent ameliorate the damage caused by salt stress. As a result of manganese applications, it can be said that Mn1+NaCl application inhibited electron transport from reaction centers to  $Q_A$  in ADA-9510 genotype to a certain extent, however, as a result of NaCl, Mn1, Mn2, and Mn2+NaCl applications, the transport continues properly.

As a result, it was observed that only salt, copper+salt and manganese+salt applications in ADA-9510 genotype *Zea mays L.* plant, as a result of changes in the amount of photosynthetic pigment compared to only copper and only manganese applications, the plant entered salt stress and photosynthetic activity was affected. However copper and manganese applications can be said to improve the negative effects of the damage caused by the negative effects on the photosynthetic pigment, as the plant continues to grow despite the salt stress.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Bitkiler değişen çevre şartlarına (ışık, sıcaklık, su ve besin mevcudiyeti gibi abiyotik faktörlerdeki değişikler) sürekli uyum sağlamaya çalışan, sessil organizmalardır (Etienne ve diğ., 2018).

Bitkiler yaşadıkları çevreden değişik şekillerde kendileri için gerekli olan maddeleri alarak bu maddeleri kendi yapısal maddelerine benzer hale getirir ve böylelikle yaşamlarını devam ettirir (Eriş, 2007). Bitki yaşamını devam ettirip gelişebilmesi için havadan karbondioksite (CO<sub>2</sub>), güneşten ışığa, topraktan ise su, mineral ve diğer besin elementlerine ihtiyaç duyar (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

Bitkiler optimal olarak büyüme ve gelişme sağlayabilmesi için mutlak gerekli besin elementlerine gereksinim duymaktadır. Mutlak besin elementleri, bitkinin yaşamı için gerekli olan, yerine başka element kullanılmayan ve metabolizma için doğrudan gerekli olan, başka bir deyişle yokluğunda bitki yaşamını tehdit eden elementler olarak tanımlanmaktadır (Bolat ve Kara, 2017). Bitki bünyesinde çok fazla elementin bulunmasına rağmen bu elementlerden yalnızca 17 tanesi mutlak gereklidir. Bu mutlak gerekli elementlerde mikro elementler ve makro elementler (Tablo 1.1.) olarak sınıflanmaktadır (Kacar ve Katkat, 2021).

Bitki vejetasyonu boyunca büyür, gelişir ve farklılaşarak, belli doku ve organların oluşmasıyla kendine özgü şeklini alır. Büyüme ve gelişmenin normal bir şekilde oluşabilmesi için bir kısım iç ve dış faktörler birlikte hareket eder (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Çeşitli ortam şartları ve bitkinin kendine özgü özellikleri bitkinin büyümesinde ve gelişmesinde önemli etkenlerdir. Çeşitli ortam şartlarına bağlı olan etmenler eksojen (dışsal), kendine özgü özelliklerden kaynaklanan etmenler de endojen (içsel) faktörler olarak tanımlanır (Vardar, 1985).

Tablo 1.1. Mutlak gerekli makro ve mikro elementler

Makro Elementler	Mikro Elementler
azot (N)	bakır (Cu)
demir (Fe)	bor (B))
fosfor (P)	çinko (Zn)
hidrojen (H)	klor (Cl)
kalsiyum (Ca)	mangan (Mn)
karbon (C)	molibden (Mo)
kükürt (S)	sodyum (Na)
magnezyum (Mg)	
oksijen (O)	
potasyum (K)	

Bitkiler, doğal ortamlarında sürekli olarak çeşitli biyotik ve abiyotik streslere maruz kalır. Bu koşullar altında hayatta kalabilmek için bitkiler, dış sinyalleri algılamak için karmaşık mekanizmalar geliştirir ve çevresel koşullara en iyi şekilde yanıt verilmesini sağlar (Fujita ve diğ., 2006). Bitkiler çevrelerinden algıladıkları abiyotik stres faktörlerine karşı geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz olarak yanıtlar oluşturur. Bitkinin genetik veya ontojenik özelliklerine göre, oluşan stres faktörünün etki derecesine bağlı olarak değişik yanıtlar geliştirebilmektedir. Böylece bitkiler strese karşı verdikleri yanıtlarla yaşamlarını sağlayabilmek için buldukları çevrenin etkilerine karşı uyum gösterebilmektedir (Korkmaz ve Durmaz, 2017).

“Çevre şartlarının bir bitkinin normal büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyecek kadar değişmesi halinde bitkide meydana gelen duruma stres” denir. Bitkiler yaşamları devam ettiği süre içinde birçok stres faktörüne maruz kalmaktadır. Lewitt’e göre stres faktörleri biyotik ve abiyotik olmak üzere iki şekildedir. Biyotik olan faktörler; organizmada hastalık yapan mikrop, virüs, parazit gibi mikroorganizmaların enfeksiyonu ve hayvanların zarar vermesi sonucu meydana gelen stres faktörleridir. Abiyotik faktörler ise su, sıcaklık, radyasyon, kimyasallar, manyetik ve elektriksel alanlar gibi çevresel faktörlerdir (Büyük ve diğ., 2012).

Abiyotik stres, bitki büyümesini ve üretkenliğini sınırlayabilen herhangi bir çevresel faktöre karşılık gelir. Tarihsel olarak, abiyotik stres, insan popülasyonlarındaki hızlı büyüme nedeniyle (küresel gıda güvenliğini tehdit eden) son yarım yüzyılda bitki bilimcilerinin ve agronomistlerin odak noktası haline gelmiştir. Artan gıda talebi,

genellikle göz ardı edilecek olan mahsul üretiminin azalmasının nedenlerinin araştırılmasını kaçınılmaz hale getirmektedir (Imran ve diğ., 2021).

Tuz, kuraklık, aşırı sıcaklık, radyasyon ve ağır metaller gibi abiyotik stres faktörleri dünya genelinde tarımsal verimliliğin azalmasına sebep olur. Mantarlar, virüsler ve bakteriler gibi patojenler de biyotik streslerin nedenidir (Anonim, 2021). Tuzluluk, kuraklık, aşırı sıcaklık, toksik metaller/metaloidler, sel/su basması dâhil çevresel stresler, şiddetli ve sert iklim değişikliği nedeniyle yaygındır. Bu tür birçok abiyotik streslerin şiddetlenmesi, sürdürülebilir mahsul üretimi için büyük bir tehdit haline gelmektedir. Bununla birlikte, serbest radikaller (süperoksit anyonu,  $O_2^-$ ; hidroperoksil radikali,  $HO_2$ ; alkoksi radikali,  $RO$ ; ve hidroksil radikali,  $OH^-$ ) ve radikal olmayan molekülleri de ihtiva etmek üzere aktif oksijen türlerinin (AOT) aşırı birikmesi bitkilerde oksidatif strese yol açar (Hasanuzzaman ve diğ., 2020). Oluşan serbest radikallerin oksijen merkezli olması nedeniyle antioksidan kapasiteyi aştığı zaman hücrelerde bulunan DNA, protein, enzim, lipit gibi bileşiklere zarar verme olasılığı yüksektir (Altınar ve diğ., 2018). Bitkilerde birçok çevresel faktör sonucu (abiyotik ve biyotik stres faktörleri) meydana gelen AOT'ler nedeniyle sekonder bir stres olarak tanımlanan oksidatif stres oluşmaktadır. Tuzluluk, besin eksikliği, ağır metaller, herbisit, patojen saldırısı gibi çevresel stres faktörleri hücre içinde reaktif ve toksik etkilere sahip olan AOT'lerin hızlı bir şekilde artmasına neden olur (Doğru, 2020).

Tuzluluk kimyasal stres gruplarından olup, bitkinin bulunduğu ortamın tuz yönünden sorunlu olması, bitkilerde enzim aktivasyon bozukluğu, metabolizmada aksaklıklar, bitkiye su alımındaki dengesizliklerden kaynaklı ozmotik düzensizlikler, oksidatif stres, büyüme ve gelişmede sınırlamalar gibi olumsuz etkiler sonucu stres meydana getirebilmektedir (Yakıt ve Tuna, 2006).

Ağır metaller tarafından toprak ve su kirliliği ciddi bir çevre sorunudur. Ağır metaller toprakta doğal olarak nadir elementler olarak bulunsalar da tarımsal uygulamalar, çöp dökümü, metalurji ve imalat, bunların çevreye yayılmasına katkıda bulunur (Dalcorso ve diğ., 2010). Ağır metaller topraktan yeraltı suyuna süzülür veya toprak yüzeyinde

birikir. Ağır metal stresinin ciddi yönlerinden biri, biyolojik olarak parçalanamamasıdır (yani, doğal yollarla çevreden yok edilemez). Ağır metal stresinin enzimler üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır ki enzimleri etkisiz hale getirirler veya denatüre eder. Özellikle kaspari şeritleri tarafından tıkanmaları veya kök hücre duvarları tarafından yakalanmaları nedeniyle köklerde ağır metallerin birikmesi, bitkilerdeki fizyomorfolojik fonksiyonları bozar ve bu da sonuçta mahsul verimliliğini sınırlar (Imran ve diğ., 2021).

Bitkilerde besinler birbirleriyle olan etkileşimleri, bir besinin alımının diğer besinlerin emilimini ve kullanımını etkilediğinde meydana gelir. Bu tür bir etkileşim, bir besin elementi bitkinin bulunduğu büyüme alanında aşırı konsantrasyonda olduğu zaman çok yaygındır. Besin etkileşimleri kök yüzeyinde veya bitki içinde meydana gelebilir ve iki ana kategoride sınıflandırılabilir. İyonlar kimyasal bir bağ oluşturabildikleri için iyonlar arasında meydana gelen etkileşimler birinci kategoride yer alır. Bu durumda etkileşimler, çökeltilerin veya komplekslerin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Örneğin, bu tür bir etkileşim, asitli toprakların kireçlenmesinin molibden hariç hemen hemen tüm mikro besin elementlerinin konsantrasyonunu azalttığı durumlarda meydana gelir. Fakat bu azalma besinden besine değişiklik gösterir. Örneğin bakır (Cu), çözünür organik madde ile çinkodan (Zn) daha güçlü bir şekilde kompleksleşir ve artan toprak pH'sının etkileri, Zn alımı üzerinde, bitkiler tarafından bakır alımından daha belirgindir. İkinci kategoride etkileşim şekil olarak, kimyasal özellikleri bakımından, adsorbsiyon, absorbsiyon, taşımadaki ve bitki kök yüzeylerinde veya bitki dokularındaki işlev için rekabet edebilecek kadar birbirine benzer olan iyonlar arasındadır. Bu tür etkileşimler, benzer boyut, yük, koordinasyon geometrisi ve elektronik konfigürasyondaki besin elementleri arasında daha yaygındır. Bu tür etkileşim kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), potasyum (K) ve sodyum (Na) elementleri arasında yaygındır. (Fageria, 2001). Büyüme ortamında bulunan konsantrasyonu fazla olan demir (Fe) elementi bitkiler tarafından mangan (Mn) emilimini engelleyebilirken Fe yetersizliğinde ise toprakta Mn ve Zn gibi besin elementlerinin konsantrasyonunun fazla olmasıyla gelişir (Taşan ve Demir, 2017).



Strese neden olan abiyotik ya da biyotik faktörlerin mekanizmalarının aydınlatılabilmesi için bitkinin bu stres faktörlerine verdiği fizyolojik tepkilerin, etki edilme zamanı ve çeşitleri, hücre ve gen düzeyindeki işlevleri, dayanıklılık mekanizmaları, verilen tepkinin ilerleyişi, bitkide oluşan fizyolojik tahribatın süresi ve kalıcılığının ortaya çıkarılması önemlidir (Örs ve Ekinci, 2015).

Tarım topraklarının her geçen yıl erozyon kaynaklı kaybedilmesi, yoğun ve bilinçsizce sürdürülen tarımsal faaliyetler sonucunda bitki besin elementlerinin topraklardaki miktarlarının azalması, bilinçsiz gübreleme faaliyetleri ise bu elementlerin birbirini etkilemesine neden olmaktadır (Yavuz ve diğ., 2020). Mutlak gerekli olan besin elementlerinden makro besin elementlerinin bitki gelişimde ve ürün veriminde oldukça etkili olmasına bağlı olarak bu makro elementlerin kullanımı tarım alanlarında giderek artmasıyla birlikte tarım alanlarında birikmesinden dolayı kirlilik boyutuna ulaşmaktadır. Mutlak gerekli elementlerden mikro besin elementleri ise, yaygın olarak ülkemizde kullanılmakta olan ticari gübrelerin yapısında genellikle olmadığından, makro besin elementleri gibi düzenli bir şekilde toprağa verilememektedir. Ayrıca, yanlış tarım uygulamaları, yağmur ve sulama gibi faaliyetler sonucu toprağın aşırı yıkanması, gübre uygulamalarının tek yönlü olması gibi etmenler de toprakta mikro besin elementlerinin gerekli olan miktarlarının azalmasına sebep olmaktadır. Sonuçta toprakta bulunan makro besin elementleri ile mikro besin elementleri arasındaki denge giderek bozulmakta ve bitkilerin bu mikro besin elementlerinden faydalanma oranı azalmaktadır (Özyazıcı ve diğ., 2015).

Mikro besin elementleri, bitkilerde ve topraklarda makro besin elementlerine göre çok daha düşük konsantrasyonlarda bulunmalarına rağmen, toprakta gerektiği kadar olmadığı veya bitkilerde eksikliğinde bitki gelişimini olumsuz etkilediğinden dolayı insan ve hayvan sağlığı açısından problemlere yol açmaktadır. Mikro besin elementleri bakımından fakir topraklarda yetiştirilen bitkilerde büyüme ve gelişme geriler, sonuçta verim kayıpları ortaya çıkar (Günel, 2014).

Mikro besin elementlerinden bakır (Cu) biyolojik sistemlerde önemli bir redoks ajanıdır. Elektron taşıyıcılarının çoğunun temel bileşeni olan bakır, kloroplast ve

mitokondride indirgeyici ve oksidatif elektron taşıma yollarında yer alır (Tewari ve diğ., 2006). Bakır elementi bitkiler için her ne kadar gerekli bir element olsa da yüksek konsantrasyonda bitkide bulunmaları toksik etki yapmaktadır. Bakır, enzim faaliyetini meydana getirmede, lipit ve karbohidrat metabolizmasında, DNA ve RNA sentezinde, hastalık ve zararlılara karşı direnç geliştirilmesinde önemli rol oynar. Yüksek dozda alınan bakır bitkilerde fizyolojiyi bozarak besin elementlerinin alınmasını, protein sentezini, membran stabilitesini ve solunumu olumsuz yönde etkiler (Yerli ve diğ., 2020). Fazla bakır, bitkinin kök uzamasını engeller ve kök hücre zarının geçirgenliğini olumsuz yönde etkiler, diğer besin maddelerinin emilme kapasitesine müdahale eder. Fazla bakır ayrıca kloroplast zarının bütünlüğü üzerinde yıkıcı bir etkiye sahiptir ve fotosentetik aktivitede bir azalma meydana getirir (Fageria, 2001).

Bakır, bitkinin besin alımında ve metabolizmada önemli bir rol oynar. Bakır, fotosentez için önemli olan kloroplastların tilakoid zar yapısının korunmasında önemli bir besin elementidir. Bakırın baklagil köklerinde bulunan bakterilerin azotu fikse etmesinde önemli bir yeri vardır. Bakırın fotosentezde önemli olmasının bir nedeni de, sitokrom oksidazın bileşenlerinden biri olmasıdır (Kafkasyalı, 2021).

Bakır gibi ağır metallerin proteinlerin ve enzimlerin katalitik ve yapısal bileşenleri olarak, bir bitkinin normal bir şekilde büyüüp gelişebilmesi için kofaktör etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bakır eksikliğinden dolayı fizyolojik olaylarda meydana gelen anormalliklerde, bakırın dolaylı olarak rol oynadığı düşünülmektedir (Okcu ve diğ., 2009).

Bitkiler için mutlak gerekli mikro besin elementlerinden biri olan Mn, bitkilerde yaşamsal faaliyetler için çok önemli olan enzimlerin aktivasyonu (dekarboksilaz, dehidrogenaz ve oksidaz enzimleri) için gerekli bir besin elementidir. Süperoksit dismutaz enziminin yapısına katılır. Fotosentezde suyun hidrolizinde rol almaktadır. Azot metabolizmasında ve azot asimilasyonunda işlevseldir. Fe, Ca ve Mg'nin emiliminde önemlidir. Klorofilin meydana gelmesinde Fe ile beraber hareket eder. Meyve olgunlaşmasında ve tohum çimlenmesinde hızlandırıcı etkiye sahiptir (Yılmaz, 2019).

Mn bitkilerde esas olarak fotosentez, lipit biyosentezi ve oksidatif stres ile ilgili olan ana metabolik faaliyetlerde kofaktör olarak rol almaktadır. Mangan bitkilerde ATP ile enzim kompleksleri için bağ kuran önemli bir mikro elementtir. Fotosentezde, oksijen döngüsünde ve suyun hidrolizinde bitkiler Mn'ye gereksinim duymaktadır. Mn eksikliğinde bitkilerde büyüme ve ürün azalırken patojenlere ve don olaylarının yol açtığı tahribata karşı hassasiyet artmaktadır. Mn eksikliği ve toksisitesi ile indol-3-asetik asit oksidaz (IAA oksidaz) aktivitesi arasında bir ilişki vardır. Mn eksikliğinde IAA oksidaz aktivitesi artmakta ve buna bağlı olarak bitki dokularındaki oksin miktarı azalmaktadır. Oksinin azalması bitkilerde büyümeyi yavaşlatır ve yaprak absisyonu meydana getirir. Mn toksisitesinde ise IAA oksidaz aktivitesi bozulur, Ca eksikliği oluşur ve apikal dominansi elimine olurken yan sürüngenlerde büyüme hızı artar. Mn eksikliğine kireçli, yüksek pH'lı topraklarda sıkça rastlanmaktadır. Topraktaki Mn miktarı, aynı ortamda bir yetiştirme periyodu boyunca hem eksiklik hem de toksisiteye neden olacak şekilde değişkenlik gösterebilir (Sevilmiş ve diğ., 2020; Sönmez ve Öktüten 2005).

Toprak çözeltisindeki Mn miktarı mevsime bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Asit koşullar ile düşük indirgeme ve yükseltgeme şartlarında toprak çözeltisi içeriğindeki Mn miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Bitki türlerinin veya aynı türün varyetelerinin Mn eksikliğine karşı hassasiyetleri değişken olabilmektedir. Örnek olarak yulaf, buğday ve soya fasulyesi daha hassas olmasına rağmen; mısır ve çavdar hassas değildir. Bu durumun aksine bitkilerin kritik eksiklik seviyesi birbirine çok yakındır ve bitki türü ve çeşidi ile çevre şartlarından bağımsız şekilde değişir (Taşdemir, 2010).

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ**

### **2.1. Bitki Büyümesi ve Gelişimi**

Canlılık için gerekli olan büyüme ve gelişme, biyolojik bir süreçtir. Canlılarda hücrelerin sayısının ve hacminin artışı sonucu büyüme olayı gerçekleşirken, çok hücreli canlılarda zigottan ergin birey meydana gelmesiyle hücresel olayları kapsayan süreçte gelişme meydana gelmektedir. Tek hücrelilerde gelişme hücre farklılaşması olarak basit seviyede, çok hücrelilerde gelişme hücre bölünmesini ve hücre farklılaşmasını içeren kompleks bir süreçtir (Sağlam ve diğ., 2020). Farklılaşma, genetik yapıları aynı olan hücrelerin köken aldıkları meristematik hücrelerin ve kendilerinden farklı olan hücrelerin oluşma sürecidir. Farklılaşma genellikle hücre boyutunun enine büyümesi ile birlikte başlamaktadır. (Gündüz ve Türkan, 2014).

Bitki hücreleri, hücre çeperi ve protoplazma olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Hücre çeperi cansızken hücre protoplastı canlılık özelliği gösteren en küçük birimdir. Protoplastın içeriği ise protoplazma olarak isimlendirilirken protoplazmanın içeriğinde su %75-85, protein %10-20, lipid %2-3, karbohidrat %1 ve inorganik maddeler de %1 oranında bulunur (Kadıoğlu, 2011).

#### **2.1.1. Bitki hücresinin kimyasal bileşimi**

Bitkilerin taze ağırlığının büyük bir bölümünü su, küçük bir kısmını ise mineraller meydana getirmektedir. Bitkiden suyun uzaklaştırılmasından sonra geriye kalan inorganik ve organik maddeler bitkinin kuru maddesi olarak ifade edilmektedir. Bitki 70°C'de bir veya iki gün boyunca kurutulup daha yüksek sıcaklıklarda yakıldığı zaman geriye kalan kül kısmı mineralleri içerir.

Bitkilerin kuru ağırlıkları kısmen topraktan aldıkları iyon miktarına bağlıdır ayrıca iyon miktarındaki farklılık türün kendi içinde ve türden türe değişiklik gösterebilmektedir (Kadioğlu, 2011).

Bitkiler güneş enerjisini kullanarak ve topraktan su ve mineralleri absorbe edip yapılarına katarak hayatlarını devam ettirir. Fakat dışarıdan absorbe ettikleri bu maddeler toprak içerisinde dağınık ve düzensiz bir şekilde bulunduğu ve bitkilerin hareket kabiliyeti olmadığından bu tür maddelere ulaşmaları zorlaşmaktadır. Bununla birlikte bitkilerde büyüme ve gelişmede etkili olan ana içsel faktörler vardır ve bu faktörler kimyasal niteliktedir. İçsel faktörler, çok az konsantrasyonlarda büyüme, gelişme ve başka birçok fizyolojik süreçleri tek başına ya da beraber olumlu veya olumsuz şekilde etkileyebilen, meydana geldikleri dokularda ya da diğer bitki kısımlarına etki edebilen organik maddelerdir. Bitki tarafından meydana getirilip, bitki büyüme ve gelişmesini düzenleyen bu maddeler fitohormonlar (bitki hormonları) olarak adlandırılmaktadır (Kumlay ve Eryiğit, 2011; Gündüz ve Türkan, 2014).

Fitohormonlardan oksinlerin en genel özelliği büyümeyi teşvik edici olmalarıdır. Oksinlerin görevi bitki hücrelerinde (subapikal uzamayı sağlayan hücreler) uzamanın belirginleşmesini sağlamak, bununla birlikte kambiyum gelişimini başlatarak ksilem ve floem kısımlarının oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Oksin ayrıca kök oluşumunu da sağlamaktadır. Sitokininler hücre bölünmesini uyaran fitohormonlardır. Sitokininler birçok dikotil bitkide kotiledonu oluşturan hücrelerin enine büyümesini sağladığından kotiledonun gelişimine katkı sağlar (Başat, 2008). Giberellinler (GA), gelişmiş bitkilerde tohum çimlenmesi, gövde uzaması, çiçeklenme ve meyve oluşumu gibi olaylarda görev alan bir hormondur (Meraklı ve Memon, 2020).

## **2.2. Stres**

Stres bitkinin fizyolojik süreçlerini (büyüme ve fotosentez hızı) etkileyen, maksimum hızının altına düşüren çevresel faktörler olarak tanımlanmaktadır. Stres faktörleri abiyotik ya da biyotik süreçler tarafından meydana gelebilmektedir. Tuzluluk, düşük azot miktarı, komşu bitkiler tarafından gölgelenme ve ağır metaller stres faktörlerine

örnek verilebilir. Bitkinin strese olan ilk cevabı performansında bir azalma olmasıdır (Lambers ve diğ., 2008).

Bitkiler strese en az üç farklı zaman ölçeğinde cevap oluşturmaktadır. İlk olarak bitkinin strese olan tepkisi; bir stresin bitkinin fizyolojik süreci üzerindeki ani zararlı etkisidir. Bu genellikle saniyeler ile günler arasında değişen bir zaman ölçeğinde gerçekleşir. İkinci olarak aklımasyon (strese alışma); ilk stres tepkisini takiben performanstaki düşüşü telafi etmek için tek tek bitkiler tarafından sergilenen morfolojik ve fizyolojik uyumdur. Strese alışma, bir bireyin yaşamı boyunca sürebileceği gibi, genellikle günler veya haftalarca devam edebilmektedir. Üçüncü cevap olarak adaptasyon ise, stresin neden olduğu performans düşüşünü telafi eden popülasyonlardaki genetik değişikliklerden kaynaklanan evrimsel tepkidir. Fizyolojik tepki mekanizmaları genellikle aklımasyona benzerdir, çünkü her ikisi de biyokimyasal bileşenlerin aktivitesinde veya sentezinde değişiklikler gerektirir ve bireysel fizyolojik süreçlerin, büyüme hızının ve morfolojide değişikliklere neden olur (Lambers ve diğ., 2008).

Dünyadaki tarım arazilerinin yaklaşık olarak % 25'inin kuraklıktan, yaklaşık olarak % 5-7'sinin de tuzluluktan etkilendiği öngörülmektedir (Almaca ve Küçük, 2020).

### **2.2.1. Tuz stresi**

Tuzlanma, dünyadaki toplam kara parçalarının %6'sından daha fazlasında etkili olmaktadır (dünya genelinde yaklaşık olarak 0,8 milyar hektar alan). Doğal şekilde oluşan tuzlanma, temelde yer altı sularının yüzeye sızıntıları sonucu su seviyesinin yükselmesi ve ardından tuzlu yeraltı suyunun buharlaşmasından kaynaklanır. Bununla birlikte, insan etkisiyle ortaya çıkan tuzlanma çok yaygındır. Özellikle kurak bölgelerdeki sulanan araziler tuzlanmaya karşı oldukça hassastır. Ayrıca yetersiz sulama yapılması, yanlış gübreleme ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan kirlenmelerden kaynaklı toprak tuzluluğu artmıştır. Yüksek orandaki tuzluluk, genellikle toprak içeriğindeki yüksek Na konsantrasyonlarından kaynaklanır, bu da bitkinin topraktan su ve besinlerin emilimini engelleyen hiperozmotik ve hiperiyonik

şartların oluşmasına neden olur. Bitkiler, sessil yapıları nedeniyle, uzun evrimsel süreç boyunca yüksek tuzlu ortamlara uyum sağlamak için uygun mekanizmalar geliştirmek zorunda kalmışlardır (Nawaz ve diğ., 2010; Yang ve Guo, 2018).

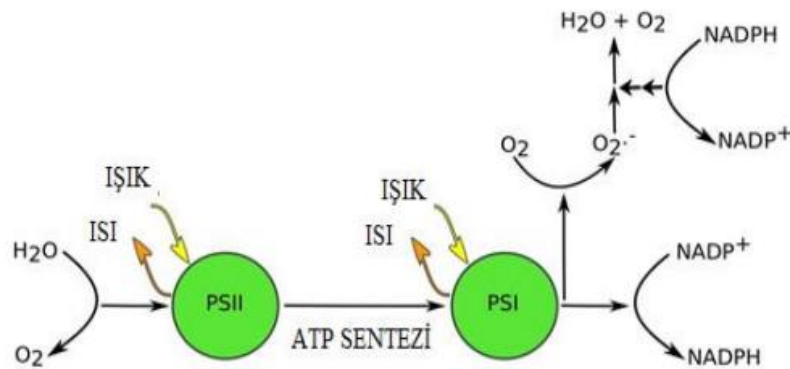
Tuzluluk kimyasal stres gruplarından olup, bitkinin bulunduğu ortamın tuz yönünden sorunlu olması, bitkilerde enzim aktivasyon bozukluğu, metabolizmada aksaklıklar, bitkiye su alımındaki dengesizliklerden kaynaklı ozmotik düzensizlikler, oksidatif stres, büyüme ve gelişmede sınırlamalar gibi olumsuz etkiler sonucu stres meydana getirebilmektedir (Yakıt ve Tuna, 2006). Tuz stresinin olumsuz etkisi bitkinin bütün yaşamı düzeyinde kendini gösterir ve çimlenme, fide ve vejetatif aşamalar dâhil tüm gelişim aşamalarında ortaya çıkar. Bununla birlikte, tuz stresine karşı tolerans, farklı bitki gelişim aşamalarında ve ayrıca türden türe değişiklik gösterir. Tuz stresi bitkide yaşamı olumsuz bir şekilde etkileyen bir olay olarak ortaya çıkar, sürekli veya zaman zaman etkisini gösterir ve daha sonra gelişim sırasında herhangi bir aşamada giderek daha şiddetli hale gelir. Bitki, hücrel hiperosmolariteyi ve iyon dengesizliğini dengelemek için koordinasyon içinde çalışan çeşitli süreçlerle tuz stresine yanıt verir. Ayrıca tuz stresinin nükleik asitler, proteinler, karbohidratlar ve amino asitler gibi birçok hücre içi molekülü etkilediği görülmüştür (Ahmad ve diğ., 2013).

Tuzluluk stresinin bitkilerde hücre düzeyinde etkileri hücre duvarı ile ilgilidir. Bitkilerde hücreyi koruyan ve hücreye şekil veren hücre duvarı, hücreyi en dıştan sarmaktadır. Yapısında oligosakkaritler ve başka bazı polimerler bulunmaktadır. Bitkiler tuz stresine maruz kaldıklarında apoplasttaki  $Na^+$  iyonu miktarı artış gösterir. Apoplasttaki artmış  $Na^+$  iyonu konsantrasyonu burada bulunan enzimleri olumsuz şekilde etkilemekte veya hücre duvarındaki pektin gibi yapıların iyonik ilişkilerini bozmaktadır. Böyle bir durumda hücre duvarı ana görevlerini yerine getiremeyebilir. Tuz stresinin bitkilerde hücrel boyutta neden olduğu başka bir olumsuz etkisi de hücre zarı ile ilgilidir. Hücre zarı seçici geçirgen olan çift tabakalı fosfolipit yapıdadır. Bu tabakaya gömülü şekilde proteinler bulunmaktadır. Tuz stresine sebep olan iyonlar hücre zarındaki bu lipit tabakasının yapısında değişiklikler meydana getirmektedir. Meydana gelen bu değişimle beraber lipit sentezinde rol oynayan enzimlerde yapısal ve fonksiyonel bozulmalar veya fosfolipitlerin yıkımında artışlar olmaktadır. Sonuç

olarak hücre zarının seçici geçirgen ve akışkanlık özelliği bozulabilmektedir. Bununla birlikte hücre zarında bulunan fosfolipitlerin miktarının artışı ve oksidatif stres sonucu oluşan aktif oksijen türlerinin burada bulunan lipitlere saldırmasıyla lipit peroksidasyonuna sebep olmaktadır (Çulha ve Çakırlar, 2011).

Tuzluluk stresinin bitkilerde organ düzeyinde etkileri arasında, hücre bölünmesinde etkili olarak hücre uzamasını sınırlaması, kök ve gövdede bulunan hücrelerin sayısında ve mitotik aktivitede azalmalar sayılabilir. Bununla birlikte yaprak sayısının azalması, yapraklardaki mumsu tabakanın ve kutikulanın incilmesi, vasküler doku modifikasyonu ve bitki gelişiminde azalma olmaktadır (Çulha ve Çakırlar, 2011).

Tuzluluğun fotosentez üzerine etkisi ise, sürekli strese maruz kalan bitkilerde gözlenen fotoinhibisyon olayıdır. Fotoinhibisyon olayında yüksek tuzlulukta stomaların kapanmasından kaynaklanan sınırlamalar, stomadan kaynaklı olmayan sınırlamalar ya da her iki nedenden dolayı fotosentetik aktivitenin yavaşlaması söz konusudur. Kuraklık stresiyle birlikte stomalarını kapatan bitkilerde düşük CO<sub>2</sub> alımı nedeniyle fotosentez de yavaşlamaktadır. Fotoinhibisyon olayı fotosistem II'nin (FSII) aktivitesinde belli oranda azalmaya yol açar (Şekil 2.1.) Fotoinhibisyonun seviyesi de FSII'nin hasar uğraması ile onarım mekanizmaları arasındaki ilişkiye bağlıdır (Ashraf, 2004; İlker ve Yavaş, 2020).



Şekil 2.1. Fotosentezde oksidatif stres oluşumu (Yavaş ve diğ., 2020).



### 2.2.2. Oksidatif stres

Bitkinin tüm kısımlarında ya da çeşitli organlarında olgunlaşma sonucu hızlanan yaşlanma, biyotik stresler ve abiyotik stresler canlıda indirgenmiş oksijen türevlerinin birikimine katkı sağlamaktadır (Sivritepe, 2001). Bitkisel hücrelerde suyun parçalanmasıyla oluşan oksijen; ihtiyaç duyulan enerji miktarını karşılarken, oksijenin indirgenme işleyişinin tam bir şekilde olmaması sonucunda ise neredeyse tamamen reaktif olan ve hücrede önemli makromoleküllere (DNA, protein gibi) zarar veren aktif oksijen türlerinin veya serbest radikallerin meydana gelmesine neden olur (Doğru, 2020).

#### 2.2.2.1. Aktif oksijen türleri

Serbest radikaller bir ya da birden fazla bağ kurmamış elektrona sahip olan, ömürleri kısa, kararsız, düşük molekül ağırlıklı ve çok aktif olan moleküllere verilen isimdir. Hidroksil, süperoksit, nitrik oksit ve lipit peroksit gibi radikaller serbest radikallere örnektir. Biyolojik olarak serbest radikaller içinde en önemli olanlar, oksijenden meydana gelen radikallerdir (Mercan, 2004).

Tüm aerobik canlılar için atmosferdeki serbest oksijen (O<sub>2</sub>) miktarı çok önemlidir. Atmosferik oksijen normal şartlar altında bitkiler açısından büyüme ve gelişmeleri için gerekli olmasına rağmen, miktarının artması durumunda, hücresel bozukluklar (protein denaturasyonu, DNA mutasyonlarını kapsayan oksidatif bozukluklar, lipit peroksidasyonu) ve ölüm olayı gerçekleşebilmektedir. Bunun nedeni ise, moleküler oksijenin canlı hücrelerde sürekli olarak indirgenerek çok farklı aktif oksijen türevlerinin meydana gelmesidir (Çulha ve Çakırlar, 2011; Koç ve Üstün, 2008).

Aktif oksijen, suyun meydana gelmesiyle son bulan bir dizi elektron taşınımı sırasında, dioksijenden (O<sub>2</sub>) bir elektronun redüksiyonu ile oluşmaktadır. Aktif oksijenin oluşumu olayı enzimler aracılığıyla [ksantin oksidaz, NADP(H) oksidaz gibi] katalizlenebildiği gibi; enzimler aracı olmadan, kloroplastlarda ışık enerjisi sayesinde kendiliğinden de oluşabilmektedir (Sivritepe, 2001).

### 2.2.2.2. Antioksidanlar

“Antioksidanlar düşük konsantrasyonlarda oksidasyon yapabilen ve diğer bir substratın oksidasyonunu azaltan (elektron aktarımıyla) veya engelleyen yani oksidasyona karşı mücadele eden maddelerdir” (Büyük ve diğ., 2012). Canlılarda serbest radikallerin dokularda birikimi sonucu meydana gelen oksidatif stres gibi olumsuz durumları engellemek için antioksidanlar gibi savunma mekanizmaları gelişmiştir (Emsen ve diğ., 2019). Antioksidanlar serbest radikallere kolay bir elektron hedefi sağlayarak serbest radikallere elverişli elektronun tutunmasına yardım ederek kararlı bir yapı meydana getirir (Aydemir ve Karadağ Sarı, 2009).

Antioksidanlar, enzimatik olanlar ve enzimatik olmayanlar olarak ikiye ayrılır. Enzimatik olanlar süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPX) ve askorbat peroksidaz (APX) enzimleridir. Enzimatik olmayanlar ise; bazı mineraller (selenyum; Se, Zn), askorbik asit (vitamin C), tokoferoller (vitamin E), karotenoidler (likopen,  $\beta$ -karoten, lutein, zeaksantin), glutatyon, ve fenolik bileşiklerdir (Yılmaz, 2010; Büyük ve diğ., 2012).

Süperoksit dismutaz (SOD); reaktif oksijen molekülleriyle savaşan ilk savunma hattıdır. Süperoksit dismutaz, süperoksit radikali olan  $O_2^{\cdot-}$ 'yi hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve moleküler oksijene ( $O_2$ ) katalizleyen enzimatik olan antioksidandır. Ortamda bulunan hidrojen peroksit en son, CAT veya GPX ile detoksifiye edilir (Karabulut ve Gülay, 2016).

Katalaz hidrojen peroksiti ( $H_2O_2$ ) su ve moleküler yapıdaki oksijene çevirmektedir. Katalaz enziminin substrata ilgisi düşük olmakla beraber yüksek düzeyde katalitik aktivite sağlamaktadır. Bunun için de  $H_2O_2$ 'yi bağlamakla görevli iki aktif bölgesi bulunmaktadır. Ayrıca katalazın yokluğu kloroplastlarda Calvin-Benson döngüsünde thiol-düzenleyici enzimlerin korunmasız hale gelmesine neden olmaktadır (Koç ve Üstün, 2008).

Glutasyon peroksidaz (GPX) enziminin, hidrojen peroksidin oluşunu katalizlerek lipit peroksidasyonu olayının denetiminde önemli bir görevi vardır. Bu enzimin GPX-1 ve GPX-4 olmak üzere iki tane izozimi vardır (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015).

APX, gelişmiş bitkileri de kapsayan çoğu canlıda aktif oksijen türlerinin detoksifikasyonunda en işlevsel antioksidanlardan bir tanesidir. Su-su döngüsü ve askorbat-glutasyon döngüsünde yer alan APX hidrojen peroksidin parçalanmasında görev alır (Doğru, 2019).

Zn hücreleri oksidatif stresten korur ve serbest radikal oluşumuna engel olur. Redoks durağan olan çinko, hücrenel ve ekstrasellüler bölgelerde demir gibi reaktif metallerin yerini alır. Bununla birlikte Zn antioksidan etkiye sahip süperoksit dismutazın ve metalotiyoneinlerin yapısına katılır (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015).

Se bitki hücrelerine doğrudan alınamaz ancak inorganik selenyum şeklinde veya selenosistein (SeCys) ve selenometionin (SeMet) gibi organik olarak alabilmektedir. Oksidasyon seviyesi ve toprak pH'sı yükseldikçe Se bitkiler tarafından daha kolay emilmektedir. Bitkilerde Se ilavesi, SOD aktivitesini olumlu yönde etkilemektedir (Yavaş ve diğ., 2020).

Askorbik asit (vitamin C), bitki büyümesi, gelişmesi ve farklılaşmasında önemli payı olmakla birlikte bazı AOT'lerin indirgeyicisi olarak işlev görmekte, bu nedenle oksidatif stresin yol açabileceği zararları da durdurmaktadır (Sivritepe, 2001). Etkisi güçlü olan bir indirgeyici ajan olarak iş gören askorbik asit, süperoksit ve hidroksil radikalleriyle birlikte çok basit bir biçimde reaksiyona girerek onları etkisiz duruma getirir. Doku oluşumunda ve hasarların iyileştirilmesinde işlev görür (Çimen, 2012). Bitki hücrelerinde mitokondriler askorbik asit metabolizmasında etkin rol alır. Mitokondriler, askorbik asit sentezi sağladıkları gibi, bu molekülün indirgenmiş şeklinin yeniden yapılandırılmasında da görevlidir (Szarka ve diğ., 2007). İndirgenmiş olan askorbik asidin rejenerasyonu bitki metabolizması için çok önemlidir. Çünkü okside haldeki askorbik asit (dehidro askorbik asit; DHA), indirgenmediği zaman oldukça kısa bir süre içinde parçalanabilir. Askorbik asit etkisi çok büyük olan AOT

temizleyicisi olarak bilinir. Çünkü birçok enzimatik ve enzimatik olmayan tepkimeye ihtiyaç duydukları elektronları askorbik asit tedarik etmektedir. Ayrıca askorbik asit O<sub>2</sub>- ve OH- radikallerini detoksifiye ederek ve tokoperoksi radikallerinden  $\alpha$ -tokoferol meydana gelmesini sağlayarak, zararları AOT'lerin sebep olabileceği zararlara karşı korur. Başka bir şekilde de askorbik asit, violoksantin deepoksidaz enzimi için kofaktör olarak rol oynamaktadır ve emildikten sonra kullanılmayan ve fotosentetik birimlere zarar verebilen fazla ışık enerjisinin harcanmasını sağlar (Smirnoff, 2000). Yapraklarda bulunan askorbik asit seviyesi ile bitkilerin stres faktörlerine dayanıklılık dereceleri arasında bir bağlantı olduğu belirtilmiştir. Örnek olarak yapraklarındaki askorbik asit seviyesi yüksek olan tütün ile kavak bitkilerinde oksidatif stres zararlarının azaldığı kaydedilmiştir (Aono ve diğ., 1993; Foyer ve diğ., 1995). Doğru (2014), tuz stresinin bazı mısır genotiplerinin yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit miktarını artırırken, okside şekildeki askorbik asit seviyesini azalttığını belirlemiştir. Agarwal ve Shaheen (2007) de tuz stresine maruz kalmış *Momordica charantia* bitkilerinin yapraklarında bulunan askorbik asit seviyesinin kontrol grubuna kıyasla arttığını ifade etmiştir. Farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalar da tuz stresinin yapraklardaki askorbik asit miktarını artırdığını göstermiştir (Panda ve Upadhyay, 2004; Parida ve diğ., 2004).

E vitamini de çok etkili bir antioksidandır ve hücre zarı fosfolipitlerindeki doymamış yağ asitlerinin serbest radikal zararlarına karşı korunmasını sağlar. Radikalleri ortadan kaldırır ve lipid peroksidasyonunu önler (Çimen, 2012).

Karotenoidler yağda çözünebilen pigmentlerdir ve çoğunun ana yapısı poliizoprenoidden meydana gelmektedir. Karotenoidler insan vücudunda A vitaminine çevrilir ve antioksidan olmalarından dolayı çok fazla etkili AOT temizleyicileridir. Karotenoidlerin antioksidan özelliği yapılarındaki konjuge çifte bağlardan kaynaklanmaktadır (Çimen, 2012; Aydemir ve Karadağ Sarı, 2009). Antioksidan özelliklerinin çok etkili olduğu düşünülen en önemli karotenoidler likopen,  $\beta$ -karoten ve luteindir (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015).

Glutasyon, neredeyse tüm ökaryotik hücrelerde sentezlenmektedir. Bu yüzden hücrelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Glutasyon bir antioksidan olarak davranmaktadır ve ek olarak hücrenin redoks durumunu korumada, detoksifikasyon işleyişinin devam etmesinde, eikosonoidlerin üretilmesinde, hücrenin sinyal düzeneğinin tanzim edilmesinde, gen ekspresyonunda ve programlanmış hücre ölümünde de işlev görmektedir (Karabulut ve Gülay, 2016).

Fenolik bileşikler enzimatik olmayan antioksidanların en önemli sınıfını meydana getirmektedir. Fenolik bileşikler bitkilerin bütün kısımlarında bulunan polifenolik bileşiklerdir. En genel bitkisel fenolik antioksidan bileşikler ilk olarak flavonoidler sonrada sinamik asit türevleri, tokoferoller, fenolik asitler ve kumarinlerdir (Deveci ve diğ., 2016).

### **2.3. Bitkilerde Besin Elementleri**

Canlı hücrelerin çevreden aldıkları maddeleri kendi hücresel bileşenlerinin sentezi veya bir enerji kaynağı olarak kullanabilmeleri yaşamın göze çarpan bir özelliğidir. Büyüme ve metabolizma için gerekli kimyasal bileşiklerin temini ve emilimi, besin olarak adlandırılan bir organizmanın ihtiyaç duyduğu beslenme ve kimyasal bileşikler olarak tanımlanabilir. Besinlerin hücresel bileşenlere dönüştürüldüğü veya enerjik amaçlar için kullanıldığı mekanizmalar metabolik süreçlerdir. Metabolizma terimi, canlı bir hücrede yaşamı ve büyümeyi sürdürmek için meydana gelen çeşitli reaksiyonları kapsar. Beslenme ve metabolizma bu nedenle çok yakından ilişkilidir (Mengel ve Kirkby, 2001).

Gelişmiş bitkilerin ihtiyaç duyduğu temel besinler çoğunlukla inorganiktir karaktere sahiptir; bu organizmaları insan, hayvan ve ayrıca enerji sağlamak için ek olarak organik gıda maddelerine ihtiyaç duyan birçok mikroorganizma türünden ayıran bir özelliktir. Buna karşılık, bitkiler güneş ışınlarından ışık enerjisini emer ve organik bileşikler şeklinde kimyasal enerjiye dönüştürürken, aynı zamanda büyüme için gerekli olan kimyasal elementleri sağlamak için mineral besinleri de alır. Bir unsurun

temel olarak tanımlanabilmesi için üç kriterin karşılanması gerekir (Mengel ve Kirkby, 2001). Bunlar:

1. Elementin eksikliği bitkinin yaşam döngüsünü tamamlamasını imkânsız hale getirmelidir.
2. Eksiklik, söz konusu olan elemente özgü olmalıdır.
3. Element, bitkinin beslenmesinde doğrudan yer almalıdır.

Gelişmiş bitkiler için gerekli olan besin elementleri; azot (N), bakır (Cu), bor (B), çinko (Zn), demir (Fe), fosfor (P), hidrojen (H), kalsiyum (Ca), karbon (C), klor (Cl), kobalt (Co), magnezyum (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni) oksijen (O), potasyum (K), silisyum (Si), kükürt (S) ve sodyumdur (Na) (Mengel ve Kirkby, 2001).

Bitkilerde mineral madde beslenmesinin yeterli olup olmadığının anlaşılması amacıyla üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar toprak analizleri, yaprak analizleri ve bitkinin görsel olarak değerlendirilmesidir. Toprak ve yaprak analizleri, toprağın bitkilerde büyüme ve gelişme için gerekli olan elementlerin miktarı bakımından durumunun araştırılmasını sağlarken, yaprak analizleri bitkilerin toprakta bulunan mineral maddeleri absorblama yeteneklerinin de anlaşılmasını sağlar (Denizhan ve diğ., 2021).

### **2.3.1. Bitkilerde mangan elementinin önemi**

Mn çeşitli birincil kayalarda ve özellikle ferromagnezyen malzemelerde bulunur. Bu kayalardan bozuşma yoluyla salınan Mn, en belirginleri piroluzit ( $Mn^{IV}O_2$ ) ve manganit [ $Mn^{III}O(OH)$ ] olmak üzere bir dizi ikincil mineral oluşturur. Toplam Mn seviyeleri topraklar arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilir ve 20-3000  $\mu g$  Mn/g aralığındadır (Mengel ve Kirkby, 2001).

### 2.3.2. Manganın kimyasal yapısı ve biyokimyasal etkileri

Biyokimyasal fonksiyonlarında  $Mn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ 'ye benzer. Her iki iyon türü de ATP'yi enzim kompleksi (fosfokinazlar ve fosfotransferazlar) ile bağlar. Trikarboksilik asit (TCA) döngüsünün dekarboksilazları ve dehidrojenazları da  $Mn^{2+}$  tarafından aktive edilir, ancak çoğu durumda  $Mn^{2+}$ 'nin bu enzimler için özellikli olmadığı ve  $Mg^{2+}$  ile ikame edilebildiği görülmektedir (Mengel ve Kirkby, 2001).

RNA polimeraz aktivasyonu,  $Mn^{2+}$  veya  $Mg^{2+}$  tarafından sağlanır, ancak düşük konsantrasyonlarda  $Mn^{2+}$  bu konuda çok daha etkilidir.  $Mn$ , Fosfoenol püriyat (PEP) karboksilaz enzimini aktive ettiği için  $C_4$  ve CAM bitkilerinin  $CO_2$  asimilasyonu için esastır.  $Mn$  eksikliği bitkilerde katalaz aktivitesini fazla etkilemez ancak peroksidaz aktivitesini artırır. Peroksidaz aktivitesindeki bu artış muhtemelen  $Mn$  eksikliği altındaki bitkilerde bulunan yüksek IAA oksidaz aktivitesi ile ilişkilidir (Mengel ve Kirkby, 2001).

### 2.3.3. Bitkilerde mangan eksikliği

Bitkilerde gelişim için önemli olan mikrobesein elementlerinden  $Mn$  enzim reaksiyonları ve klorofilin yapısı için gereklidir. Bitkilerde eksiklik durumunda yapraklarda sarı leke oluşumu meydana geldiği görülmektedir (Westermann, 1993).

Bitkide klorofil sentezi için  $Mn$  gereklidir.  $Fe$ ,  $Ca$  ve  $Mg$ 'nin bitkiler tarafından topraktan alınmasında rol almaktadır.  $Mn$  eksikliğinde; büyüme normal şekilde gerçekleşmez, tohum oluşumu durur ve yapraklarda sararmalar meydana gelmektedir.  $Mn$  eksikliğinde birçok bitki kısa kalmaktadır ve büyümeleri durmaktadır. Kısa boylulukla beraber üst yapraklarda renk tonunda açılma ve yaprak lekeleri görülmektedir.  $Mn$  eksikliği domates üretiminde özellikle toprak pH'sının yüksek olduğu ve iyi bir şekilde havalanmayan topraklarda görülmektedir. Eksiklik belirtileri ilk olarak genç yapraklarda daha sonra ise yaşlı yapraklarda gözlenir. Yaprak ayasında bulunan ince damarlar arasında büyük lekeler şeklinde renk açılır, yeşil renk sarı-beyaz şekline dönüşür.  $Mn$  eksikliği,  $Mg$  eksikliğine benzese de  $Mg$  eksikliği ilk olarak yaşlı

yapraklarda etkili olur. Genç yapraklarda yaprak boyutunda azalmayla beraber görülen Zn eksikliğinden ise, Mn eksikliğinde yaprak küçülmesinin görülmemesiyle ayırt edilir. Mn toksisitesi altındaki bitkilerin yapraklarında ise kahverengi koyu leke oluşumları meydana gelmektedir (Gülser, 2020).

Fotosentetik reaksiyonlarda Mn elementi önemli bir rol oynarken çoğu enzimin aktivasyonunu sağlar. Mn eksikliği söz konusu olduğunda fotosentez etkileneceğinden üretim de sınırlanabilir. Bitkilerde N eksikliğinde yapraklarda soluklaşma gözükür, aynı şekilde Mn eksikliğinde de yapraklarda bu durum görülür ve ayrıca küçük klorotik lekeler meydana gelir. Direkt yaprak üzerine yapılan uygulamalarla veya fertigasyonla sülfür ya da sülfürik asit uygulamasıyla toprak pH'sı düşürülebilir ve noksanlık giderilebilir (Denizhan ve diğ., 2021).

#### **2.3.4. Bitkilerde bakır elementinin önemi**

Bitkilerde klorofil oluşumunda Cu önemli bir yardımcı elementtir. Cu noksanlığı bitki yapraklarında kloroza sebep olur ve büyüme-gelişme yavaşlar. Toprak çözeltisinde Cu elementinin fazla bulunması bitkinin topraktan Fe almasını zorlaştırır, bu da bitkilerde Fe eksikliğine yol açar. Toprakta Cu eksikliği varsa bu topraklardaki bitkilerin üzerine bakır sülfat püskürtülerek eksiklik giderilir (Seven ve diğ., 2018).

#### **2.3.5. Bakırın kimyasal yapısı ve biyokimyasal etkileri**

Cu oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarında kolay bir şekilde elektron transfer edebilmesi nedeniyle çok önemli bir elementtir. Cu'nun kimyasal yapısı ve canlının büyüklüğüne göre canlılık üzerindeki etkisi değişmektedir. Büyük olan canlılarda Cu canlının temel yapısına katılırken basit yapı ve küçük olan canlılarda toksik özellik göstermektedir. Bu nedenle tarım için zararlı olan küçük ve basit yapıdaki canlılarla mücadelede antibakteriyel madde ve böcek ilacı olarak Cu bileşikleri kullanılmaktadır. (Küçük ve Karaoğlu, 2017).



Cu toprakta neredeyse sadece iki değerlikli halde bulunur. Cu'nun en büyük fraksiyonu genellikle birincil ve ikincil minerallerin kristal kafeslerinde bulunur. Ayrıca yüksek oranda Cu toprakta bulunan organik maddeler tarafından bağlanır. Cu iyonu, inorganik ve organik negatif yüklü grupları çok sever ve toprak çözeltisinde  $Cu^{2+}$  ve organik Cu kompleksleri olarak bulunur. Cu, özellikle karbonatlara, toprak organik maddesine, fillo silikatlara ve Al, Fe ve Mn'nin sulu oksitlerine adsorbe edilir. Toprak çözeltisinin Cu konsantrasyonu genellikle çok düşüktür ve  $10^{-5}$ - $6 \times 10^{-4}$  mol/ $m^3$  aralığındadır. Toprak çözeltisindeki  $Cu^{2+}$  konsantrasyonu artan pH ile hızlı bir şekilde azalırken, toprak çözeltisindeki organik Cu komplekslerinin konsantrasyonu toprak pH'sına daha az bağlıdır. Daha yüksek pH, organik Cu komplekslerinin çözünme durumunu etkileyebilir (Mengel ve Kirkby, 2001).

Cu birçok biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesindeki rolünden dolayı hayati öneme sahip önemli bir elementtir. Redoks reaksiyonlarını gerçekleştirebilme yeteneği elektron transferi gerektiren tepkimelerde rol almasından kaynaklanır. Bazı enzimlerin (sitokrom oksidaz, katalaz ve SOD gibi) aktive edilmesine rol alır. Memelilerde  $Cu^{+2}$ , kırmızı kan hücrelerinin oluşturulmasında görev almasından dolayı önemlidir. Oksijenin transferinde de önemli rol oynamaktadır. Cu bitkilerde; canlılığın devamı, klorofil pigmentinin yapısı ve enzimlerin sorunsuz bir şekilde çalışması için iz miktarlarda kesinlikle bulunması gereken elementlerdir (Ustaoglu ve diğ., 2015).

### **2.3.6. Bitkilerde bakır eksikliği**

Cu konsantrasyonu kontamine olmamış topraklarda 2-40 ppm arasında iken, kontamine olmuş topraklarda 1000 ppm civarındadır. Cu toprakta organik maddelerce, Mn ve Fe oksitlerce adsorbe edilmiş olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte silikatlarla bağ kurmuş şekilde, az miktarda da çözünebilir ve değişkenlik gösterebilir formda toprakta bulunabilir. Fe ve Mn oksitlerce ayrıca organik maddelerce adsorbe edilerek Cu'nun çoğunluğu çok kuvvetli bir şekilde bağlanmış ve değişkenliği zor olan bir şekilde bulunmaktadır (Sönmez diğ., 2006).

Mikrobesin elementlerinden biri olan Cu da diğer iz elementlerin çoğu gibi bitkinin klorofil sentezine yardımcı olur. Cu eksikliğinde bitkide renk değişimi ve büyümede yavaşlama meydana gelir. Tahıllarda Cu eksikliği belirtileri kardeşlenme evresinde ve ilk olarak yaprak uçlarında görülür. Cu eksikliğinde yaprakların uç kısımları beyazlaşmaya başlar, yapraklar kısalır ve uzun eksen yönünde bükülmeler görülür. Tahıllarda Cu eksikliği bitkilerin çalimsı şekil almasıyla kendini gösterir. Benzer şekilde tahıllardaki gibi meyve ağaçlarında da Cu eksikliği en çok çiçeklenme evresinde kendini gösterir ve bu durum da meyve oluşumunu etkiler (Gülser, 2020).

Cu elementi, bitkilerdeki çoğu enzimin yapısında bulunurken enerji metabolizmasında da görev almaktadır. Cu floemde hareketsiz bir yapı sergilerken noksanlığı daha çok genç yaprakları etkilemektedir. Noksanlık belirtileri yazın başlarında görülmektedir. Noksanlık görülen sürgün kısmının uç yaprakları soluk bir şekil alır ve yanık bir durumda görülür. Bu durumdan sonra da yaprak dökümü görülür. Yapraklarda görülen bu tür değişiklikler Zn noksanlığına benzese de noksanlık belirtileri farklı dönemlerde meydana gelir (Denizhan ve diğ., 2021).

#### **2.4. Klorofil *a* Floresansı**

Bitki verimliliğine etki eden her çeşit çevresel strese maruz kalma fotosenteze de etki etmektedir. Buna bağlı olarak stres fizyolojisi içerisinde incelemelere en fazla konu olan olay fotosentez olmuştur. Şimdiye kadar fotosentez hızının belirlenmesine dair birçok yöntem bulunmuştur. Bu metotlar yaygın olarak gaz değişiminin, dış ortamdan alınan CO<sub>2</sub> miktarının, atmosfere verilen O<sub>2</sub> miktarının ya da fotosentez sonucu meydana gelen karbohidratlardan dolayı ağırlıktaki artışın ölçümü kuralına dayanmaktadır (Kacar ve diğ., 2006).

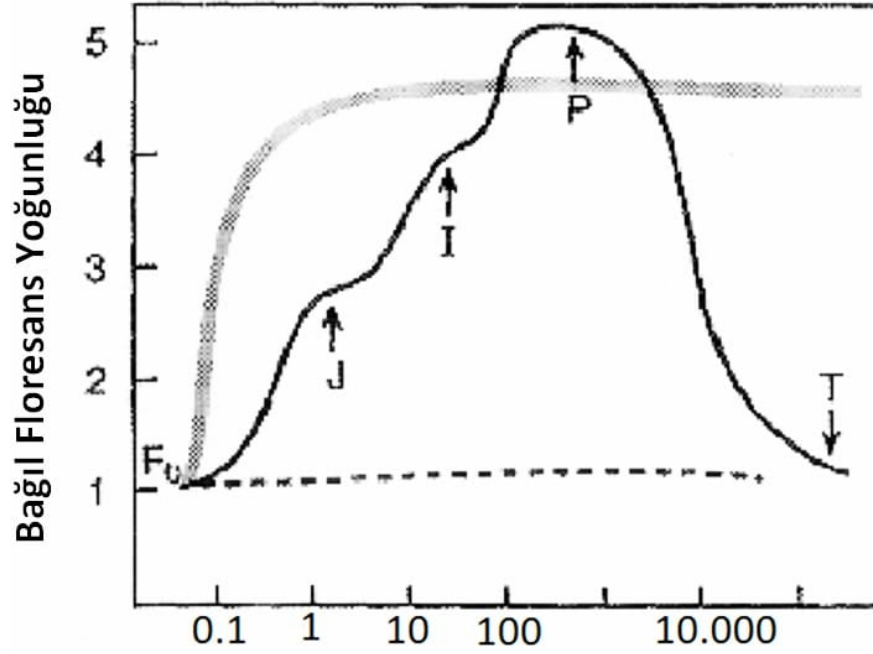
Fotosentez hızının ölçümü için kullanılmakta olan en modern ve hassas yöntem, güncel olarak, klorofil *a* floresansıdır (Maxwell ve Johnson, 2000; Hunt, 2003; Baker ve Rosenqvist, 2004). Klorofil *a* floresans üretkenliğinde bazı değişimlerin ortaya çıktığını ilk olarak gözlemleyen araştırmacılar Kautsky ve arkadaşları (1960) olmuştur. Kautsky ve arkadaşları fotosentetik materyalin karanlık bir yerden aydınlık bir yere

konulduğu anda çok kısa bir zaman içerisinde klorofil *a* floresansı üretkenliğinde artış meydana geldiğini gözlemişlerdir. Klorofil *a* floresans yönteminin ana prensibi oldukça basittir. Klorofil pigmentlerinin absorbladığı ışık enerjisi bitki yapraklarında üç yol izlemektedir. Absorbe edilen ışık enerjisi ya elektron taşınım tepkimelerinin oluşması için harcanır ya da etrafa ısı veya ışık şeklinde geri döner. Absorbe edilen ışığın bulunan çevreye dalga boyu daha uzun olan ışık şeklinde geri verilmesi durumu “floresans” olarak tanımlanmaktadır. Bu olay kloroplast organellerinde bulunan klorofil *a* pigmentleri sayesinde meydana geldiği için genelde “klorofil *a* floresansı” şeklinde tanınmaktadır. Bu üç durum her zaman birbiriyle rekabet etmekte ve üç durumdan birinin faaliyetindeki artış, diğerlerinin faaliyetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Böylelikle klorofil floresans ölçümüyle fotokimyasal reaksiyonların faaliyeti ve ısı şeklinde bulunduğu çevreye geri aktarılan enerji miktarıyla ilgili bir görüş ifade edilebilmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000). Klorofil *a* floresans ölçüm tekniği FS II'nin durumuna yönelik bilgi sağlamaktadır. Klorofil pigmentlerinin emdiği ışığın enerjisinin fotosistem II tarafından hangi miktarda kullanıldığı ve absorblanan fazla ışık enerjisinin FS II'de meydana getirdiği zararının ölçütü gibi konularda bilgi edinmemizi sağlamaktadır. FS II'de gözlenen elektron hareketleri, tüm fotosentez hızına yönelik etkinin belirlenmesini sağlamaktadır. FS II ayrıca, ışığın neden olduğu farklı zararların oluştuğu fotosentetik organelin en hassas bölgesi olarak tanınmaktadır. Çeşitli stres faktörlerinin etkilediği birincil bölgenin de FS II olduğu belirtilmiştir (Maxwell ve Johnson, 2000). Bu yöntemin sağladığı en büyük yararlarından biri de, stres faktörlerinden herhangi birinin gözle görünür etkilerinin ortaya çıkmasından çok öncesinde stres etkilerinin belirlenmesini sağlamasıdır. Bir bitkinin fotosentetik performansı hakkında klorofil *a* floresansı ölçümü sayesinde kayda değer bilgiler elde edilmektedir. Bununla birlikte bu yöntemin asıl avantajı, diğer yöntemlerle elde edilemeyen çoğu bilgileri bize sağlamasıdır. Klorofil *a* floresans analizi özellikle bitkilerin herhangi bir stres faktörüne dayanıklı olabilme yeteneği ve maruz kalınan stresin fotosentetik organel üzerinde sebep olduğu zararın boyutları hakkında bilgi vermektedir.

### 2.4.1. Klorofil *a* floresans indüksiyon kinetikleri

Klorofil *a* floresans indüksiyon kinetikleri, çeşitli çevresel stres etmenlerinin fotosenteze olan etkilerinin incelenmesi için kullanılan oldukça hassas ve modern bir yöntemdir (Kalaji ve diğ., 2011). Klorofil floresans ölçümlerinde en dikkat çeken bölge, FS II'nin birincil elektron akseptörü olarak bilinen kinon A'nın ( $Q_A$ ) redoks halidir.  $Q_A$  okside halde iken floresans düşük seviyede,  $Q_A$  indirgenmiş halinde ( $Q_A^-$ ) ise floresans yüksek seviyededir. Böyle bir durumda klorofil floresans verimi  $Q_A$ 'nın net yoğunluğu ile ilgilidir (Govindjee, 2004).

Klorofil *a* floresans kinetikleri için yapılan ölçümlerden önce, bitki yapraklarına özel klipsler sayesinde 45-60 dakika süresince karanlık ortama uyumu sağlanmaktadır. Bu sayede elektron taşınım reaksiyonları tam anlamıyla durdurulur ve bütün bileşenler okside şekle geçirilir. Sonrasında yaprak yüzeyine yüksek konsantrasyonda ışık verildiğinde floresans sinyalleri "O" kısmından ( $F_0$ ; minimum floresans) "J" kısmına ( $F_j$ ) geçmiş olur. Yaklaşık olarak 3 ms içerisinde oluşan bu artışın sebebi,  $Q_A$ 'nın FS II'ye geçmesiyle indirgenmesidir. Sonrasında ise floresans sinyalleri hemen hemen 30 ms civarında "I" noktasına geçer ( $F_1$ ). Çünkü "I" noktasında plastokinon havuzu tümüyle indirgenmiştir. Son olarak da floresans sinyalleri 300 ms aralığında FS I'in elektron akseptör kısmı tamamıyla indirgendiğinden "P" noktasına ulaşmaktadır ( $F_m$ , maksimum floresans) ve sonrasında birkaç dakika süresince floresans azalmaya başlar. "O" kısmında tüm  $Q_A$  molekülleri okside haldeyken, tepkime merkezleri açıktır ve birincil fotokimyasal tepkimeler hızlıdır. "P" kısmında ise bütün  $Q_A$  molekülleri indirgenmiş durumdayken, tepkime merkezleri kapalıdır. Sonuçlanan floresans sinyalleriyle zamanın logaritmik değerleri arasındaki bağlantıyı ortaya koyan grafiğe "OJIP eğrisi" denilmektedir (Govindjee, 2004). Bu eğrinin formu klorofil *a* ihtiva eden bütün fotosistemler için aynıdır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. OJIP eğrisi ve önemli zaman noktaları (Govindje, 2004)

OJIP eğrisinin değişik konumlarındaki klorofil *a* floresansı sinyallerinden yararlanılarak iyileştirilen “JIP testine” zamanımızda bitki stres fizyolojisi dalında fotosentetik aygıtın dışsal etmenlerde oluşan değişimlere karşı oluşturduğu cevapların incelenmesinde genel olarak başvurulmaktadır (Yusuf ve diğ., 2010). JIP testi, Strasser (1981)’in bulduğu “biyomembranlardaki enerji akış teorisini” temel alan ve ışık tutulan bütün fotosentetik organizmalarda görülebilen polifazik ve hızlı floresans kinetiklerinin incelenmesine yarayan bir kavramdır. JIP testi inceleme yapan kişilere FS II çalışma mekanizması, floresans sinyalleri ve hepsinin analitik şekilde tanımlanması arasındaki bağlantıları inceleme şansı sağlamaktadır (Bussotti ve diğ., 2007). Bu teknik FS II’nin kendi içerisinde oluşan enerji alışverişleri arasında kurulan dengeyi tanımlayan basit eşitlikleri temel alır. Bu sayede JIP testi hem absorbe edilen ışık enerjisinin fotosentetik elektron taşınım sisteminde takip ettiği yol ve bu enerjinin akıbeti için hem de stres altındaki bitkilerde FS II’nin yapısı ve işlevi hakkında bilgiler vermektedir. JIP testinin kullanılmasıyla tanımlanan bazı parametreler reaksiyon merkezi (reaction center; RC) başına ya da yaprak birim alanı (cross section; CS) başına ışık enerjisinin absorbe değeri (absorbtion; ABS) hakkında enerji geçişleri, eksitasyon enerjisinin tutulması (trapping; TR) ve elektron taşınımı (electron transport; ETR) hakkındadır. Fakat terminolojik olarak kolaylık adına tepkime merkezi başına

hesaplananlar “spesifik enerji akışları”, yaprak birim kapsamı başına hesaplananlar da “fenomenolojik enerji akışları” şeklinde isimlendirilmektedir. Bunların oluşmasında, bir kısmı ölçülen bir kısmı da hesaplanmış olan parametrelerden yararlanılmaktadır. JIP testi ayrıca FS II’nin içerisinde bulunan ikincil elektron alıcısı olarak bilinen kinon B’yi ( $Q_B$ ) indirgeyemeyen tepkime merkezlerinin oranının ve FS II yapısındaki elemanlarda oluşan enerji akışlarına ilişkin bilgi vermektedir. JIP testi ile elde edilen ve bitki stres fizyolojisi alanında yararlanılan önemli parametreler Tablo 2.1.’de ifade edilmiştir.

Tablo 2.1. JIP testinden elde edilen bazı parametreler ve tanımları (Kalaji, 2011).

Floresans parametresi	Tanımı
F	Herhangi bir zaman noktasındaki gerçek floresans
F <sub>0</sub>	Karanlık adaptasyonu sağlanmış örnekte tüm FS II reaksiyon merkezlerinin açık olduğu andaki minimum floresans (t=0 noktasında)
F <sub>j</sub>	OJIP eğrisinin “J” noktasındaki floresans (t=3 ms)
F <sub>i</sub>	OJIP eğrisinin “I” noktasındaki floresans (t=30 ms)
F <sub>m</sub>	Karanlık adaptasyonu sağlanmış örnekte tüm FS II reaksiyon merkezlerinin kapalı olduğu andaki maksimum floresans
F <sub>v</sub>	Fotokimyasal olmayan tüm prosesler minimum seviyede iken maksimum değişken floresans
F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	FS II’ nin ışık toplayıcı anten molekülleri tarafından kimyasal enerjiye dönüştürülmek üzere absorblanan ışığın maksimum verimi yani FS II’ nin maksimum kuantum etkinliği
F <sub>v</sub> /F <sub>0</sub>	FS II’ nin donör bölgesinde fonksiyonel olan fotoliz olayının etkinliği
ABS/RC	Reaksiyon merkezi başına FS II’ nin ortalama anten boyutu
ET <sub>0</sub> /RC	FS II’ de reaksiyon merkezi başına Q <sub>A</sub> ’ dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı (t=0 noktasında)
TR <sub>0</sub> /RC	FS II’ de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve Q <sub>A</sub> ’ nin indirgenmesini sağlayan maksimum enerji (t=0 noktasında)
DI <sub>0</sub> /RC	FS II’ de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi (t=0 noktasında)
RC/ABS Alan	FS II’ deki anten klorofilleri başına aktif reaksiyon merkezi miktarı OJIP eğrisinin üzerinde kalan, F <sub>0</sub> ile F <sub>m</sub> arasında bulunan ve indirgenmiş plastokinon (PQ) havuzunun boyutunu ifade eden bölge (şekil 2.2.’deki taralı alan)
tF <sub>m</sub>	F <sub>m</sub> ’ ye ulaşılması için gereken zaman
$\Delta V/\Delta t_0$	Kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı
V <sub>j</sub>	OJIP eğrisinin “J” noktasındaki değişken floresans (t=3 ms noktasında)
k <sub>N</sub>	Uyarılmış antenlerdeki fotokimyasal olmayan reaksiyonlar için deeksitasyon katsayısı

Tablo 2.1. (Devamı)

$kP$	Uyarılmış antenlerdeki fotokimyasal reaksiyonlar için de-eksitasyon katsayısı
$N$	$F_m$ 'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı
$PI_{ABS}$	Performans indeksi
$SFI_{ABS}$	FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü
$S_M$	Tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji
$SumK$	Fotokimyasal ve fotokimyasal olmayan hız sabitlerinin toplamı ( $kN+kP$ )
$\Psi_0$	Yakalanan bir eksitonun bir elektronu QA'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği
$\phi_{Do}$	Termal dissipasyonun kuantum verimi
$\phi_{Eo}$	QA'dan PQ'ya elektron taşınımının kuantum verimi
$\phi/(1-\phi)$	Fotokimyasal (aydınlık) reaksiyonların performans göstergesi
$\Psi_0/(1-\Psi_0)$	Işığa bağımlı olmayan (karanlık) reaksiyonların performans göstergesi
$\phi_{Ro}$	PQ'dan FS I' in son elektron akseptörüne elektron taşınımının kuantum verimi
$\Delta_{Ro}$	Elektronların sistemler arası elektron taşıyıcılarından FS I' in akseptör bölgesine taşınım hızı

## 2.5. Mısır

Türkiye milli hâsılasında sanayi ve hizmet sektörünün payı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde tarımla uğraşan nüfus %50'yi geçmektedir ve bu oran insanların temel gıda ihtiyacı olduğu sürece korunacak belki daha da artacaktır. Ülkemizde insanların en çok ihtiyaç duyduğu gıda maddesi ekmektir ve ekmeğin temel unsuru tahıllardır. Tahıllar arasında da en çok tüketilen ve ilk sırayı alan buğday olmasına rağmen ülkemizde bazı bölgelerde (Karadeniz) mısır ekmeği tercih edilmektedir ve yaygın bir şekilde tüketimi gerçekleşmektedir. Ayrıca mısırdan sadece tanelerinden değil otsu gövdesinden de hayvancılıkta yem olarak yararlanılmaktadır (Şahin, 2001). Morfolojik özellikleri sebebiyle mısır bitkisi yedi alt türe kategorize edilmiştir. Bunlar;

1. Atdışi mısır (*Zea mays* indendata)
2. Sert mısır (*Zea mays* indurata),
3. Patlak mısır (*Zea mays* everta)
4. Şeker mısır (*Zea mays* saccharata Sturt)
5. Mumsu mısır (*Zea mays* ceratina)

6. Unlu mısır (*Zea mays amylaceae*)
7. Kavuzlu mısır (*Zea mays tunicata*) (Arı, 2021).

Dünya mısır üretimi ve tüketimi son 5 piyasa yılında 1,1 milyar ton civarındadır. Artan hayvansal üretime bağlı yemlik kullanımın yanı sıra endüstriyel kullanımdaki artış ile ortaya çıkan yüksek talep düzeyi üretimin bu seviyelerde kalmasını sağlamaktadır. Son 5 yıllık dönemde, dünya mısır ekiliş alanları incelendiğinde Arjantin’de 2,4 milyon ha, Brezilya’da 2,1 milyon ha, Ukrayna’da 815 bin ha ve Hindistan’da 694 bin ha alan artışı görülmektedir. Neticede 2015-16 üretim sezonunda 187 milyon ha (Tablo 2.2.) olan ekiliş alanında %2,2 oranında bir artış ile 2019-20 sezonunda 192 milyon ha olması beklenmektedir (Anonim, 2022b).

Tablo 2.2. Dünya mısır verileri

	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020*
Alan (bin ha)	187.822	194.623	191.935	191.263	191.63
Üretim (bin ton)	1.014.203	1.125.209	1.078.080	1.122.171	1.102.164
Verim (ton/ha)	5.4	5.78	5.62	5.87	5.75
Tüketim (bin ton)	1.000.912	1.060.588	1.091.281	1.120.064	1.126.660
Yılsonu Stokları (bin ton)	311.673	351.354	339.551	329.547	295.956
İthalat (bin ton)	139.222	135.577	149.966	164.084	167.047
İthalat Değeri (milyar \$)	33.1	31.7	32.9	37.1	-
İhracat (bin ton)	120.155	160.517	148.568	176.195	167.438
İhracat Değeri (milyar \$)	28.7	29.3	30.3	33.9	-

Mısır bitkisinin tohumları genellikle 10-11°C’de çimlenmeye başlamakta olup toprak derinliği 5-10 cm olduğunda ve toprak sıcaklığı 15°C’yi bulduğunda çimlenme hızı artmaktadır. Çimlenme esnasında kök-sap uzama miktarı ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki vardır ve genellikle 10-30°C ideal sıcaklık değerleridir. Sıcaklık 32°C’yi bulduğunda kök-sap uzamasında ani bir düşüş meydana gelmekte ve sıcaklığın 40°C’ye ulaşması durumunda çimlenme durmaktadır. Ayrıca döllenmeden sonraki ilk günlerde verimi etkileyen diğer faktörler gibi ışıklandırma da verim üzerine etkilidir (Biber ve Kara, 2006).

C4 bitkileri içerisinde yer alan mısır bitkisi güneş ışığını en iyi şekilde kullanır ve verim olarak kuru madde içeriği yüksektir. Bununla birlikte, kuru madde verimi C3 bitkilerine kıyasla daha hızlıdır ve topraktan çok daha fazla besin elementi absorbe



eder. Besin elementlerine daha çok ihtiyaç duymalarından dolayı topraktaki besin elementlerinin eksikliğinden daha çok etkilenmektedir (Arı, 2021).

## BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Bitki Materyali

Tez çalışmasında mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin ADA-9510 genotipi kullanılmıştır. ADA-9510 genotipine ait tohumlar Sakarya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir ve genotipe ait bazı özellikler Tablo 3.1.'de verilmiştir

Tablo 3.1. ADA-9510 genotipli mısır bitkisine ait bazı bilgiler (Anonim, 2022)

ADA-9510 Genotipi
İslah Eden Kuruluş: Sakarya Tarımsal Araştırma Ens.
Üretici Kuruluş: Sakarya Tarımsal Araştırma Ens.
Morfolojik Özellikler:
Bitki boyu, 250 – 350 cm
Sağlam sap, yarı dik orta geniş yaprak
Koçan 125-150 cm yükseklikte, silindirik ve uzun
Taneler sarı atdışi
Tarımsal Özellikler:
Orta geççi (FAO 650-700)
Olum müddeti 13-135 gün
Silaj için uygundur
Makinelili hasada uygun
Verim:
Ana ürün silaj verimi 5-9 ton/da ve ikinci ürün silaj verimi 4,5-6,5 ton/da
Hastalık ve Zararlı Durumu:
Yaprak yanıklığına dayanıklı, sap ve koçan çürüklüğüne orta dayanıklı
Tavsiye Edilen Bölgeler:
Tüm bölgelere silajlık olarak

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Tez çalışmasında kullanılan araç gereçler, hassas terazi olarak (Radwag AS220/C/12), santrifüj cihazı (Centurion Scientific K3 Series), manyetik karıştırıcı (DragonLab MS-H-Pro), saf su cihazı (Elga), spektrofotometre (Shimadzu mini UV 1240) ve

HandyPEA klorofil florometresi (Hansatech Instruments Ltd. Pentney, King's Lynn, Norfolk, England) şeklindedir.

### 3.2.2. Bitki yetiştirme yöntemi

Temin edilen tohumlar büyüklük ve sağlamlık bakımından seçilerek distile su ile üç defa yıkandıktan sonra oda sıcaklığında ve karanlıkta 24 saat boyunca saf su içerisinde imbibisyona bırakılmıştır. Tohumlar ertesi gün 9 cm çapındaki cam petri kaplarında bidistile saf su ile ıslatılmış kurutma kâğıtları arasına konulmuştur. Petri kapları 24°C sıcaklık ve %40-50 nem oranına sahip olan Sakarya Üniversitesi Araştırma-Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (SARGEM) iklimlendirme odasında üç gün boyunca karanlık ortamda çimlendirilmiştir. Üç gün boyunca çimlenen tohumlar daha önceden hazırlanmış olan Hoagland besin çözeltisi ihtiva eden kaplara aktararak su kültürüne alınmıştır. 18/25 °C sıcaklık (gece/gündüz), 16 saat gündüz (ışık)/8 saat gece (karanlık), % 50±5 nem oranına sahip ve 200  $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddetindeki iklimlendirme odasına yerleştirilerek büyümeye bırakılmıştır. Bitkilerin bulunduğu kaplardaki Hoagland besin çözeltisi, iki günde bir azalan miktarda ilave edilmiştir. Kullanılan Hoagland besin çözeltisinin içeriği aşağıda belirtilmiştir (Tablo 3.2.).

Tablo 3.2. Hoagland besin çözeltisi (Hoagland, 1920)

Bileşikler	Stok Çözeltiler	½ Hoagland Çözeltisi
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	118,1 g L <sup>-1</sup>	50 mL
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	26,6 g L <sup>-1</sup>	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	16,4 g L <sup>-1</sup>	37,5 $\mu\text{L}$
KNO <sub>3</sub>	50,4 g L <sup>-1</sup>	
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .18H <sub>2</sub> O	0,1050 g 25 mL <sup>-1</sup>	
KI	0,0139 g 25mL <sup>-1</sup>	
KBr	0,0139 g 25 mL <sup>-1</sup>	
SnCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,0139 g 25 mL <sup>-1</sup>	
LiCl	0,0139 g 25 mL <sup>-1</sup>	
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,1944 g 25 mL <sup>-1</sup>	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,3055 g 25 mL <sup>-1</sup>	
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,0494 g 25 mL <sup>-1</sup>	
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,0277 g 25 mL <sup>-1</sup>	10 mL
NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,0297 g 25 mL <sup>-1</sup>	
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	0,0277 g 25 mL <sup>-1</sup>	
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,0834 g 100 mL <sup>-1</sup>	
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub> (Tartarik asit)	0,0450 g 100 mL <sup>-1</sup>	

On gün boyunca büyütülen bitkiler farklı gruplara ayrılarak gruplar aşağıdaki uygulamalara tabi tutulmuştur:

- 1 Kontrol (NaCl içermeyen besin çözeltisi)
- 2 3,6 ppm Mangan (Mn1;  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ )
- 3 5,8 ppm Mangan (Mn2;  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ )
- 4 0,2 ppm Bakır (Cu1;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )
- 5 0,3 ppm Bakır (Cu2;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )
- 6 150 mM Sodyum klorür (NaCl)
- 7 (3,6 ppm) Mangan (Mn1) + 150 mM Sodyum Klorür (NaCl)
- 8 8,5,8 ppm Mangan (Mn2) + 150 mM Sodyum Klorür (NaCl)
- 9 0,2 ppm Bakır (Cu1) + 150 mM Sodyum Klorür (NaCl)
- 10 0,3ppm Bakır (Cu2) + 150 mM Sodyum Klorür (NaCl)

Yapılan uygulamalar yedi gün boyunca sürdürülmüş ve daha sonra yapraklarda klorofil *a* floresansı tekniği ile fotosentetik aktivite ölçülmüştür.

### 3.3. Analizler

#### 3.3.1. Fotosentetik pigment miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularında bulunan “klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil (klo  $a+b$ ) ve toplam karotenoid ( $x+c$ )” miktarları Lichtenthaler (1987)’ye göre analiz edilmiştir. Yapraklardan elde edilen 0,5 cm çapındaki 3 tane diskin tartımı yapıldıktan sonra, cam deney tüplerine konularak üstüne 3 mL saf aseton eklenmiş ve bir hafta buzdolabında (4 °C) saklanmıştır.

Daha sonra özüt 10.000 rpm’de 10 dakika süresince santrifülenerek süpernatantın absorbans değerleri 661,6, 644,8 ve 470 nm’de spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) olarak ölçülmüştür.

### 3.3.2. Klorofil *a* floresansı ölçümleri

Klorofil *a* floresans parametreleri hem kontrol grubunda hem de tuz stresine maruz bırakılan bitkilerin yapraklarında “bitki verimlilik analizatörü” (HandyPEA florometresi, Hansatech Instruments Ltd., Pentney, King’ s Lynn, Norfolk, England) aracılığıyla yapılmıştır. Yaprakların, yaprak klipsleri yardımıyla 45-60 dakika karanlığa uyumu sağlanmıştır. Sonrasında yaprak yüzeylerine  $3,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  yoğunluğunda ışık şiddeti uygulanmış ve elde edilen parametrelerin yorumlanması PeaPlus adlı programla uygulanan JIP testi ile sağlanmıştır (Strasser ve diğ., 2000).

### 3.3.3. İstatistik analizler

Tez çalışması boyunca elde edilen verilerin aritmetik ortalama ve standart hataları hesap edilip, daha sonra elde edilen bu verilere SPSS 20.0 paket programı yardımıyla, istatistiksel varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Her biri ayrı ayrı ANOVA testine tabi tutulan bağımsız değişkenler için yapılan uygulamaların kontrole göre neden olduğu farkın önem kontrolü (LSD, least significant difference; AÖF, anlamlı önemli fark) %5 düzeyinde hesaplanmıştır.

## **BÖLÜM 4. BULGULAR**

### **4.1. Tuz Stresinin Fotosentetik Aktivite Üzerine Etkisi**

#### **4.1.1. Bakır (Cu) uygulamasının fotosentetik aktivite üzerine etkisi**

Tuz stresi uygulanmış olan ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde yapılan fotosentetik aktivite ölçümleri klorofil-*a* floresans tekniği ile gerçekleştirilmiştir.

Cu1 ve Cu2 uygulamaları tFm (F<sub>m</sub>'ye ulaşılması için gereken süre) değerini ADA-9510 genotipinde kontrole göre önemli derecede etkilemezken (P>0,05), NaCl, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları önemli derecede arttırmıştır (P<0,05) (Şekil 4.1. a).

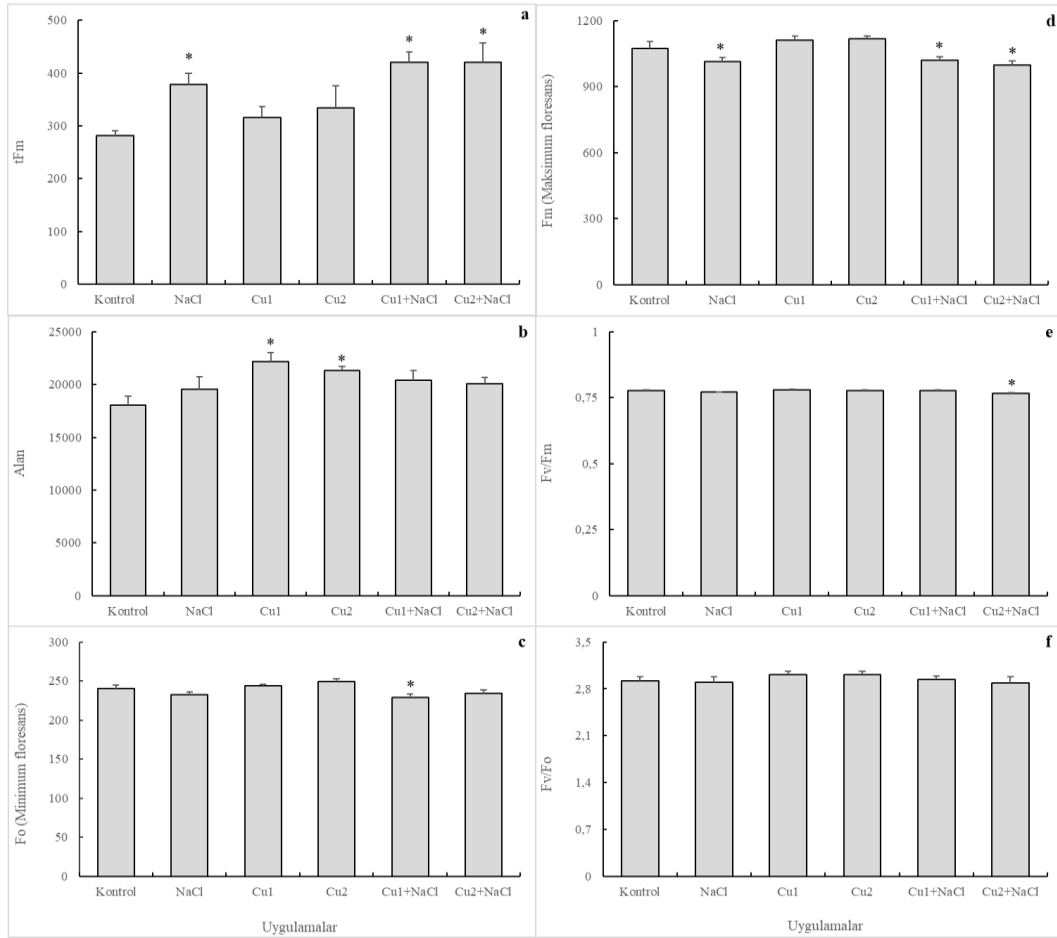
Alan (OJIP eğrisinin üzerindeki ve Fo ile Fm arasında kalan bölge) parametresi ADA-9510 genotipinde NaCl, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede etkilemezken (P>0,05), Cu1 ve Cu2 uygulamaları önemli derecede arttırmıştır (P<0,05) (Şekil 4.1. b) (Şekil 4.1. b).

Tuz uygulamaları ADA-9510 genotipinde NaCl, Cu1, Cu2 ve Cu2+NaCl Fo (minimum floresans) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken (P>0,05), kontrole göre Cu1+NaCl önemli derecede azaltmıştır (P<0,05) (Şekil 4.1. c).

ADA-9510 genotipinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları Fm (maksimum floresans) değerini önemli derecede etkilemezken (P>0,05), NaCl, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları önemli derecede azaltmıştır (P<0,05) (Şekil 4.1.d).

ADA-9510 genotipinde  $F_v/F_m$  oranı (FS II'nin maksimum kuantum etkinliği) NaCl, Cu1, Cu2 ve Cu1+NaCl uygulamaları ile kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ), Cu2+NaCl uygulaması ile önemli derecede düşürülmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.1.e).

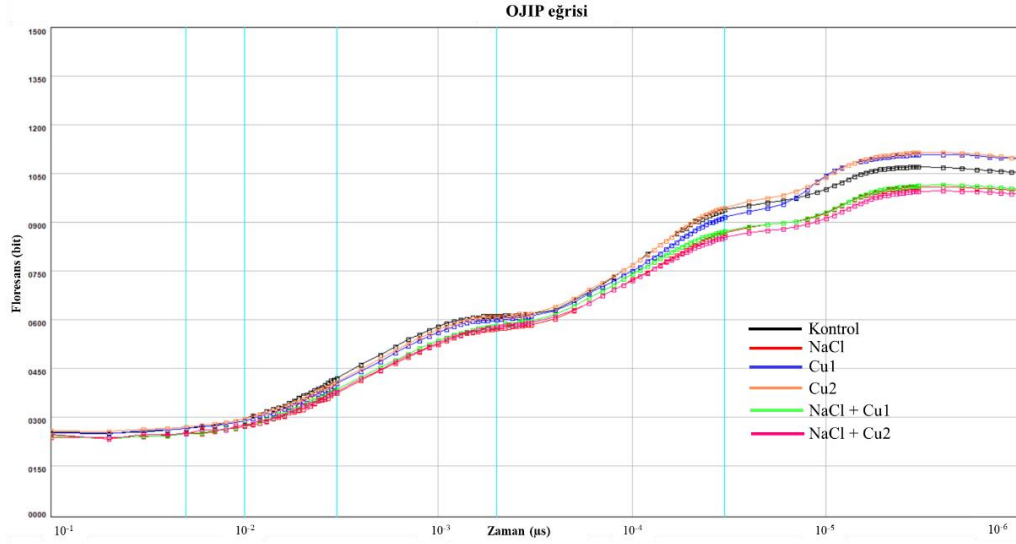
$F_v/F_o$  oranını (Hill reaksiyonu etkinliği) ADA-9510 genotipinde tuz uygulamaları sonucu kontrole göre önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.1.f).



Şekil 4.1. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

(a. tFm: Fm' ye ulaşılması için gereken süre, b. Alan: OJIP eğrisinin üzerindeki ve Fo ile Fm arasında kalan bölge, c. Fo: minimum floresans, d. Fm: maksimum floresans, e. Fv/Fm: FS II' nin maksimum kuantum etkinliği, f. Fv/Fo: Hill reaksiyonu etkinliği). \* işareti kontrole göre  $P=0,05$  seviyesinde anlamlı önemli farkı, barlar  $\pm$  standart hata

değerlerini göstermektedir. Bu açıklamalar bundan sonraki tüm grafikler için geçerlidir.



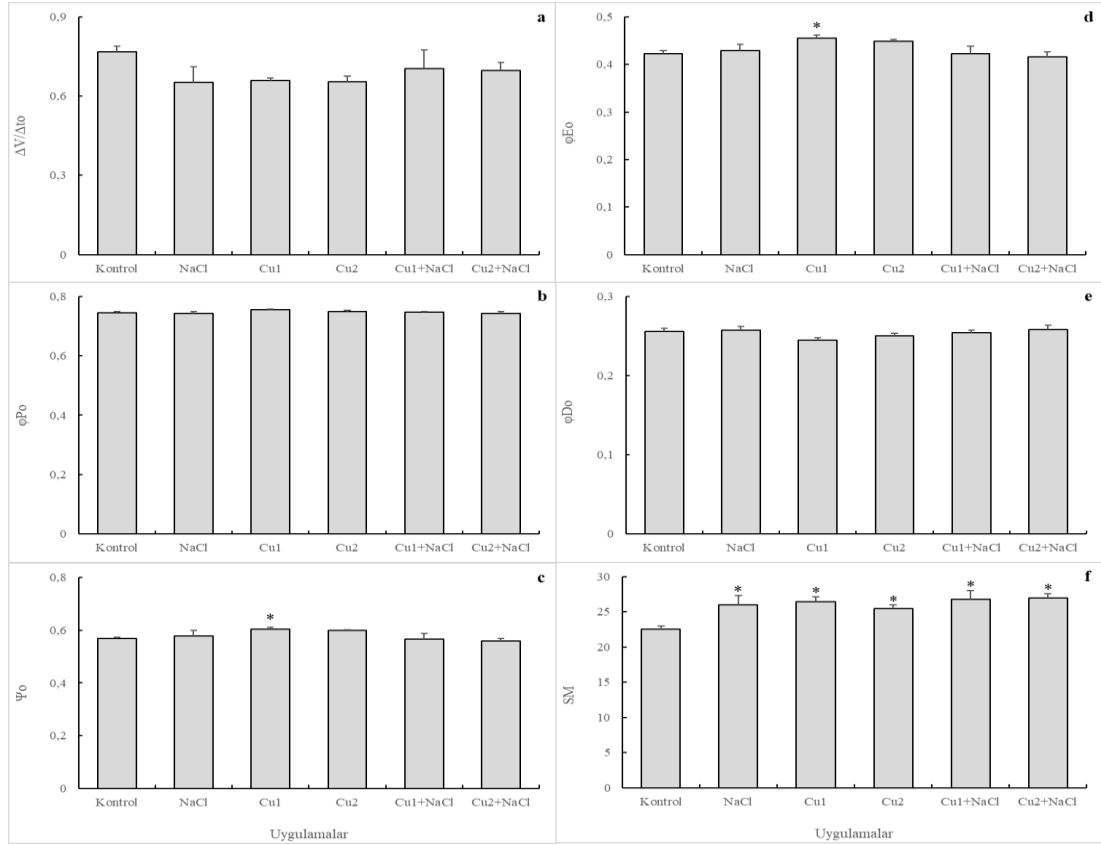
Şekil 4.2. Tuz stresi ve bakır uygulamalarının ADA- 9510 genotipinde klorofil a floresansı indüksiyon eğrisi (OJIP eğrisi) üzerine etkisi.

Uygulamalar ADA-9510 genotipinin yapraklarındaki  $\Delta V/\Delta t_0$  (kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı),  $\phi P_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ 'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği) ve  $\phi D_0$  (termal enerji dağıtımının kuantum verimi) değerlerini kontrole göre istatistiksel olarak etkilememiştir ( $P > 0,05$ ) (Şekil 4.3. a, b ve e).

$\Psi_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ 'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği) ve  $\phi E_0$  ( $Q_A$ 'dan  $PQ$ 'ya elektron taşınımının kuantum verimi) parametreleri ADA-9510 genotipinde NaCl, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları sonucu kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P > 0,05$ ), Cu1 uygulaması sonucu kontrole göre önemli derecede artmıştır ( $P < 0,05$ ) (Şekil 4.3.c ve d).

Tüm uygulamalar ADA-9510 genotipinin yapraklarındaki  $S_M$  (tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji) değerini kontrole göre önemli derecede arttırmıştır ( $P < 0,05$ ) (Şekil 4.3.f).





Şekil 4.3. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

(a.  $\Delta V/\Delta t_o$ : kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı, b.  $\phi P_o$ : PQ' dan FS I'in son elektron akseptörüne elektron taşınımının kuantum verimi, c.  $\Psi_o$ : yakalanan bir eksitonun bir elektronu QA'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği, d.  $\phi E_o$ : QA'dan PQ'ya elektron taşınımının kuantum verimi, e.  $\phi D_o$ : termal enerji dağıtımının kuantum verimi, f. SM: tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji)

ADA- 9510 genotipinde NaCl, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları N (Fm'ye ulaşılıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı) parametresini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P > 0,05$ ), Cu1 uygulaması kontrole göre önemli derecede arttırmıştır ( $P < 0,05$ ) (Şekil 4.4.a).

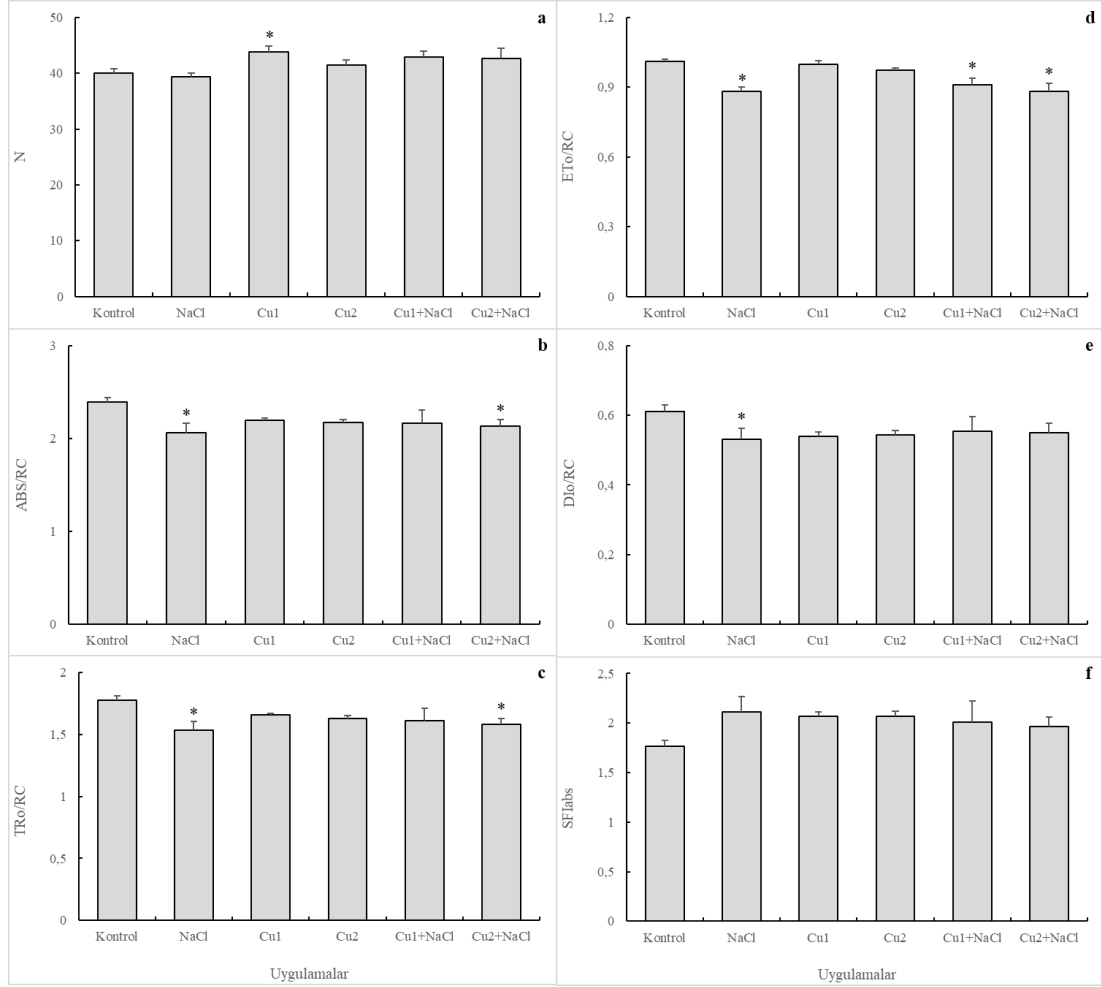
ADA-9510 genotipinde Cu1, Cu2 ve Cu1+NaCl uygulamaları; ABS/RC (reaksiyon merkezi başına FS II'nin ortalama anten boyutu) ve TRo/RC (FS II'de reaksiyon

merkezi başına yakalanan ve  $Q_A$ 'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji) parametrelerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl ve Cu<sub>2</sub>+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede düşürmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4.b ve c).

ADA-9510 genotipinde Cu<sub>1</sub>, Cu<sub>2</sub> uygulamaları, ETo/RC (FS II'de reaksiyon merkezi başına  $Q_A$ 'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl, Cu<sub>1</sub>+NaCl ve Cu<sub>2</sub>+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede düşürmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4.d).

ADA-9510 genotipinde Cu<sub>1</sub>, Cu<sub>2</sub>, Cu<sub>1</sub>+NaCl ve Cu<sub>2</sub>+NaCl uygulamaları DIo/RC (FS II'de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl uygulaması kontrole göre önemli derecede düşürmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4.e).

ADA-9510 genotipinde uygulamalar  $SFI_{ABS}$  (FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü) değerini kontrolle karşılaştırıldığında önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.4.f).

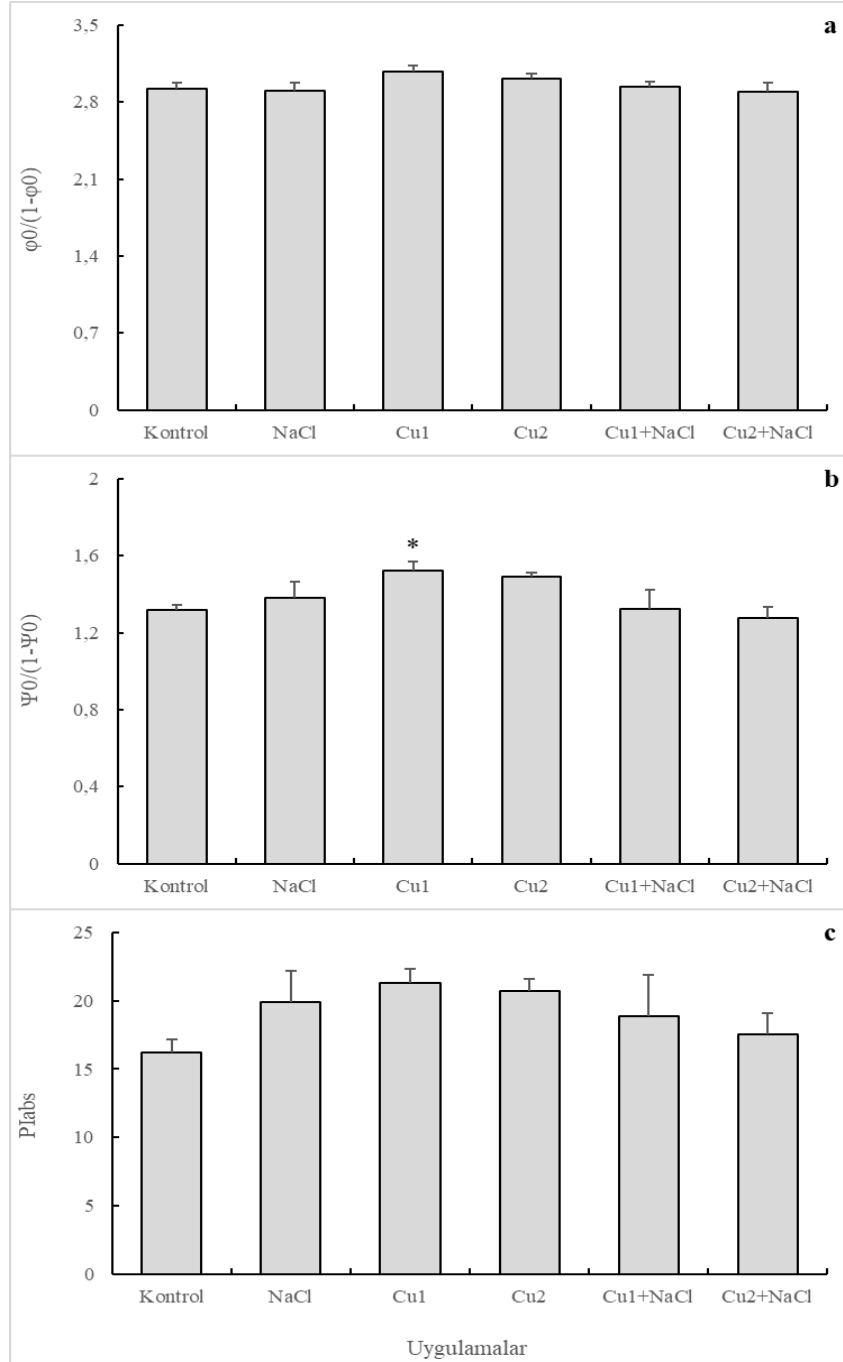


Şekil 4.4. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

(a. N: Fm'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı, b. ABS/RC: reaksiyon merkezi başına FS II'nin ortalama anten boyutu, c. TRo/RC: FS II'de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve QA'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji, d. ETo/RC: FS II'de reaksiyon merkezi başına QA'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı, e. DIo/RC: FS II'de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi, f. SFI<sub>ABS</sub>: FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü)

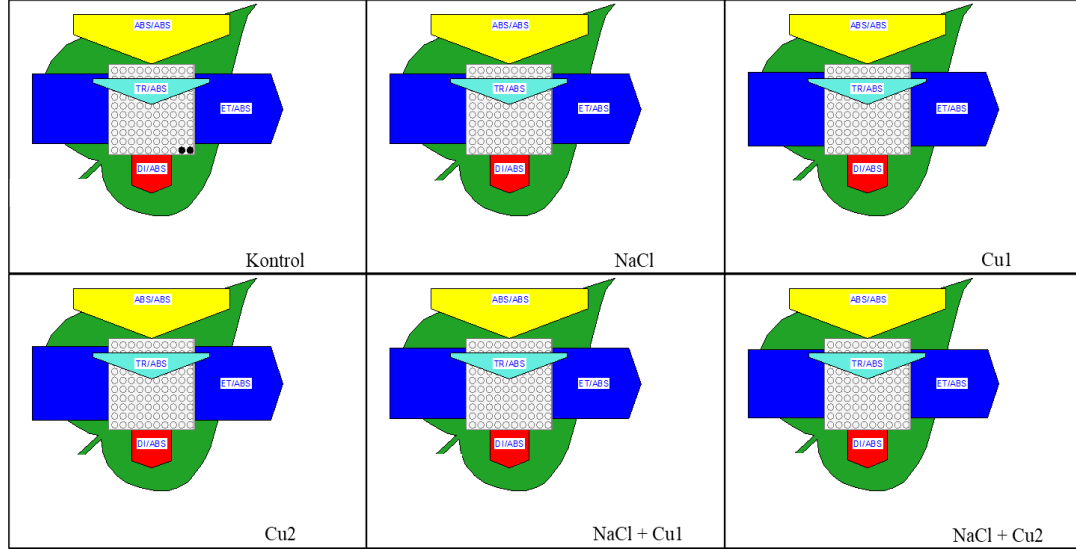
ADA-9510 genotipinde uygulamalar  $\phi/(1-\phi)$  (fotokimyasal (aydınlık) reaksiyonların performans göstergesi) ve  $PI_{ABS}$  (performans indeksi) parametrelerini kontrole göre önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.5.a ve c). ADA-9510 genotipinde NaCl, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları  $\Psi_0/(1-\Psi_0)$  (ışığa bağımlı olmayan

(karanlık) reaksiyonların performans göstergesi) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P > 0,05$ ), Cu1 uygulaması kontrole göre önemli derecede arttırmıştır ( $P < 0,05$ ) (Şekil 4.5.b).



Şekil 4.5. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde bakır uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi.

(a.  $\phi/(1-\phi)$ : fotokimyasal (aydınlık) reaksiyonların performans göstergesi, b.  $PI_{ABS}$ : performans indeksi, c.  $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ : ışığa bağımlı olmayan (karanlık) )



Şekil 4.6. NaCl, Cu1, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipinin fotosentetik birimlerindeki reaksiyon merkezlerinin durumu üzerine etkisi (boş daireler sağlam, dolu daireler ise hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir).

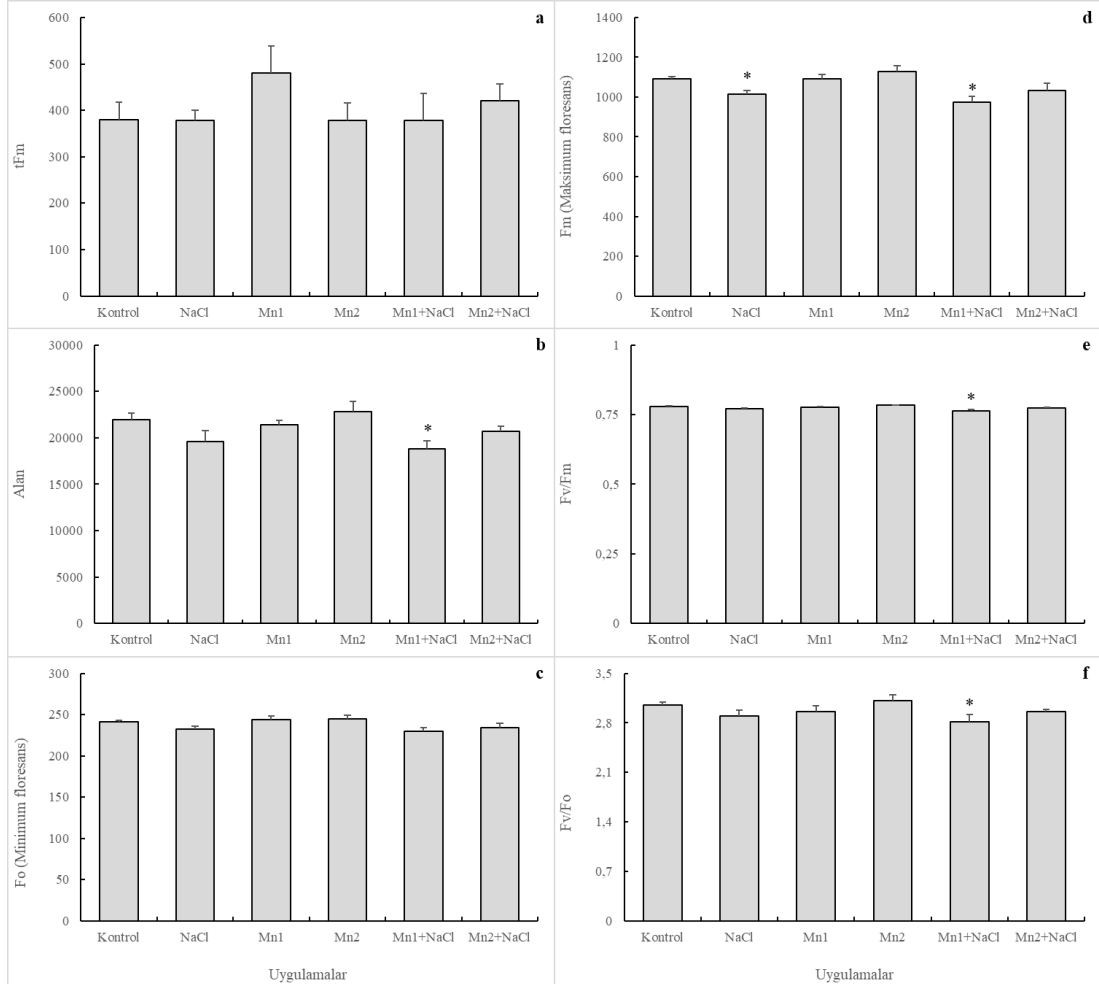
#### 4.1.2. Mangan (Mn) uygulamasının fotosentetik aktivite üzerine etkisi

ADA-9510 genotipinde tFm ( $F_m$ 'ye ulaşılması için gereken süre) ve Fo (minimum floresans) parametreleri NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamaları sonucunda kontrole göre önemli derecede etkilenmemiştir ( $P>0,05$ ), (Şekil 4.7.a ve c).

Alan (OJIP eğrisinin üzerindeki ve Fo ile Fm arasında kalan bölge) parametresi ADA-9510 genotipinde NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları ile kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), Mn1+NaCl uygulaması önemli derecede düşürmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.b) (Şekil 4.8.b).

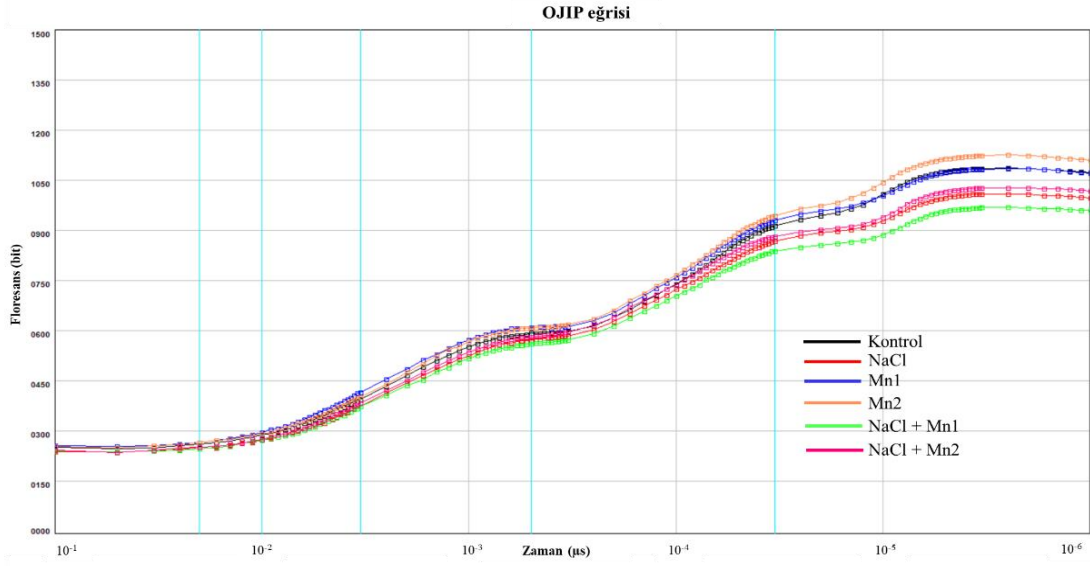
Fm (maksimum floresans) değeri ADA-9510 genotipinde Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları ile kontrole karşılaştırıldığında önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ), NaCl ve Mn1+NaCl uygulamaları önemli derecede azalmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.d).

ADA-9510 genotipinde Fv/Fm oranı (FS II'nin maksimum kuantum etkinliği) ve Fv/Fo oranı (Hill reaksiyonu etkinliği) NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları ile kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ), Mn1+NaCl uygulamaları önemli derecede düşürmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.e ve f).



Şekil 4.7. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi.

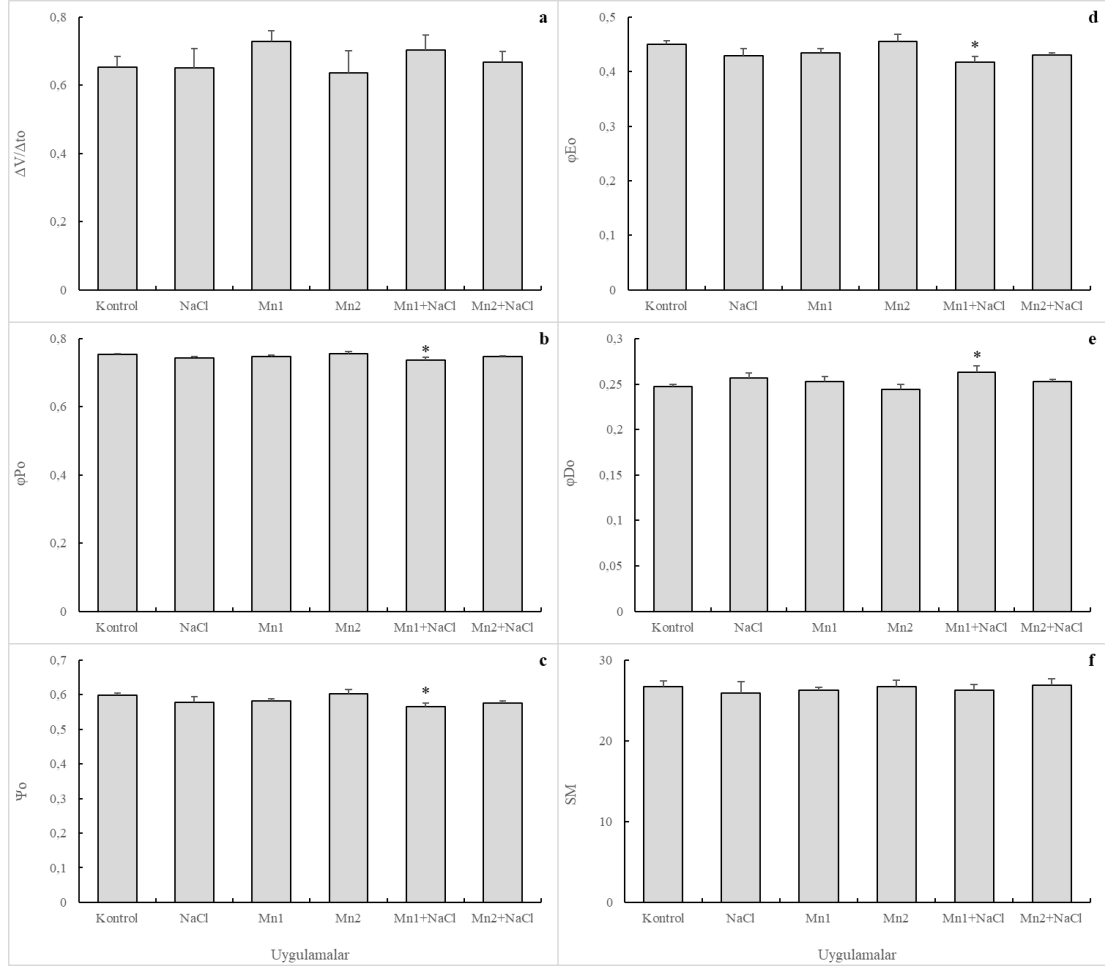
(a. tFm : Fm'ye ulaşılması için gereken süre, b. Alan: OJIP eğrisinin üzerindeki ve Fo ile Fm arasında kalan bölge, c. Fo: minimum floresans, d. Fm: maksimum floresans, e. Fv/Fm oranını: FS II'nin maksimum kuantum etkinliği, f. Fv/Fo oranını: Hill reaksiyonu etkinliği)



Şekil 4.8. Tuz stresi ve mangan uygulamalarının ADA-9510 genotipinde klorofil a floresansı induksiyon eğrisi (OJIP eğrisi) üzerine etkisi.

Uygulamalar  $\Delta V/\Delta t_0$  (kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı) ve  $S_M$  (tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji) parametrelerini kontrole göre istatistiksel olarak etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.9.a ve f).

ADA-9510 genotipinde;  $\phi_{Po}$  (PQ'dan FS I'in son elektron akseptörüne elektron taşınımının kuantum verimi),  $\Psi_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ 'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği),  $\phi_{Eo}$  ( $Q_A$ 'dan  $P_Q$ 'ya elektron taşınımının kuantum verimi) ve  $\phi_{Do}$  (termal enerji dağıtımının kuantum verimi) parametreleri NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları ile kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ), Mn1+NaCl uygulaması ile kontrole göre önemli derecede azalmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.9.b, c, d ve f).



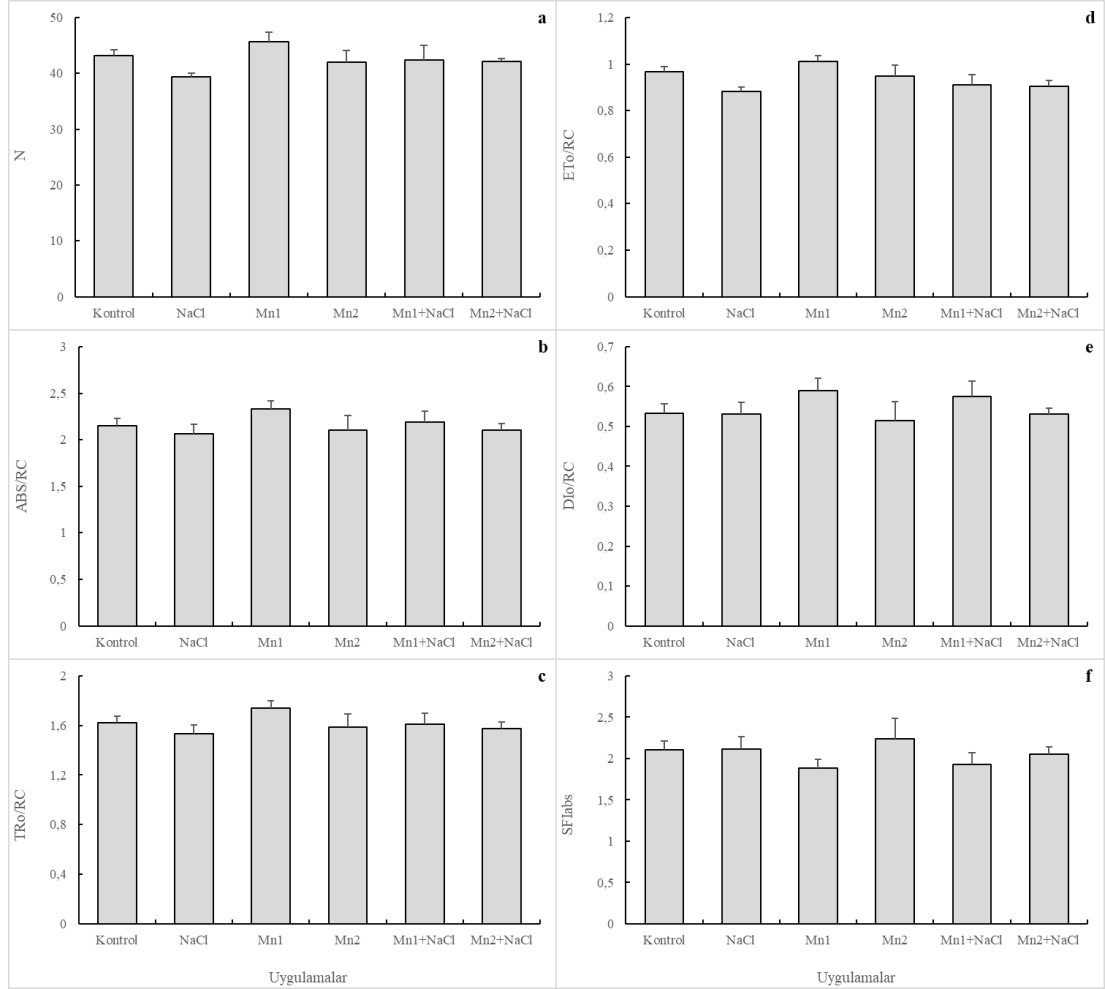
Şekil 4.9. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

(a.  $\Delta V/\Delta t_0$ : kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı, b.  $\phi_{Po}$ : PQ'dan FS I'in son elektron akseptörüne elektron taşınımının kuantum verimi, c.  $\Psi_o$ : yakalanan bir eksitonun bir elektronu QA'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği, d.  $\phi_{Eo}$ : QA' dan PQ'ya elektron taşınımının kuantum verimi, e.  $\phi_{Do}$ : termal enerji dağıtımının kuantum verimi, f. SM: tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji)

ADA- 9510 genotipinin yapraklarında N (Fm'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı), ABS/RC (reaksiyon merkezi başına FS II'nin ortalama anten boyutu), TRo/RC (FS II'de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve QA'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji), ETo/RC (FS II'de reaksiyon merkezi başına QA'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı), DIo/RC (FS



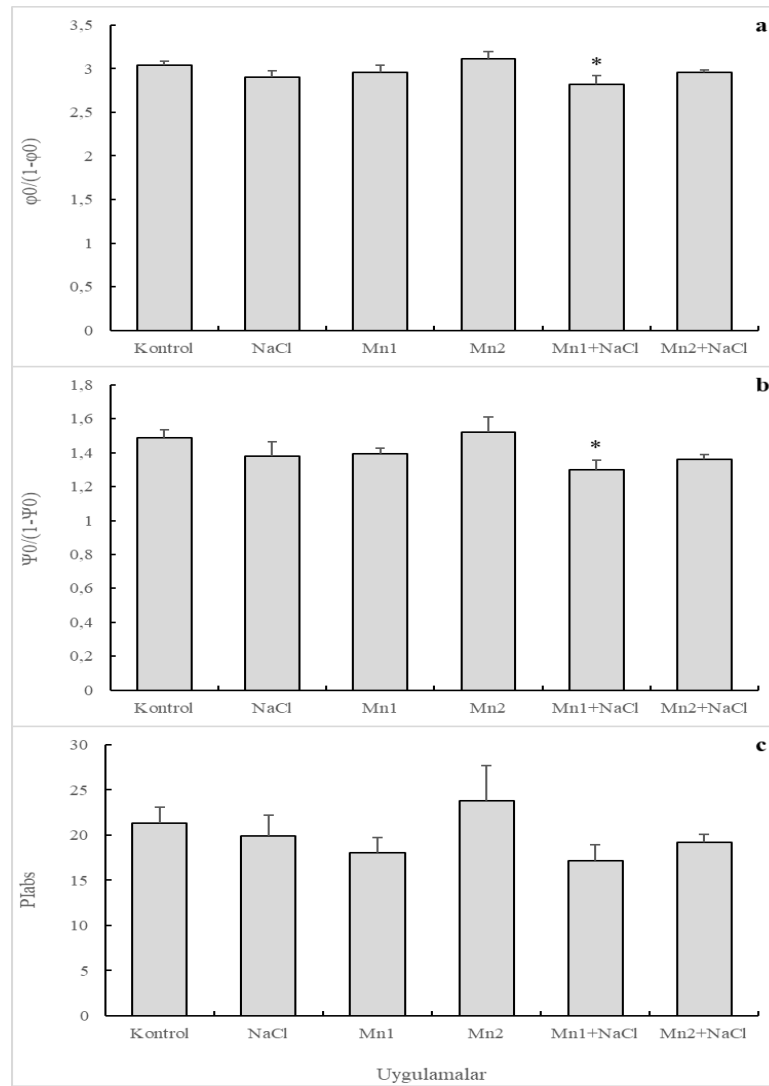
II'de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi) ve  $SFI_{ABS}$  (FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü) parametreleri NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede etkilenmemiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.10.a, b, c, d, e ve f).



Şekil 4.10. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

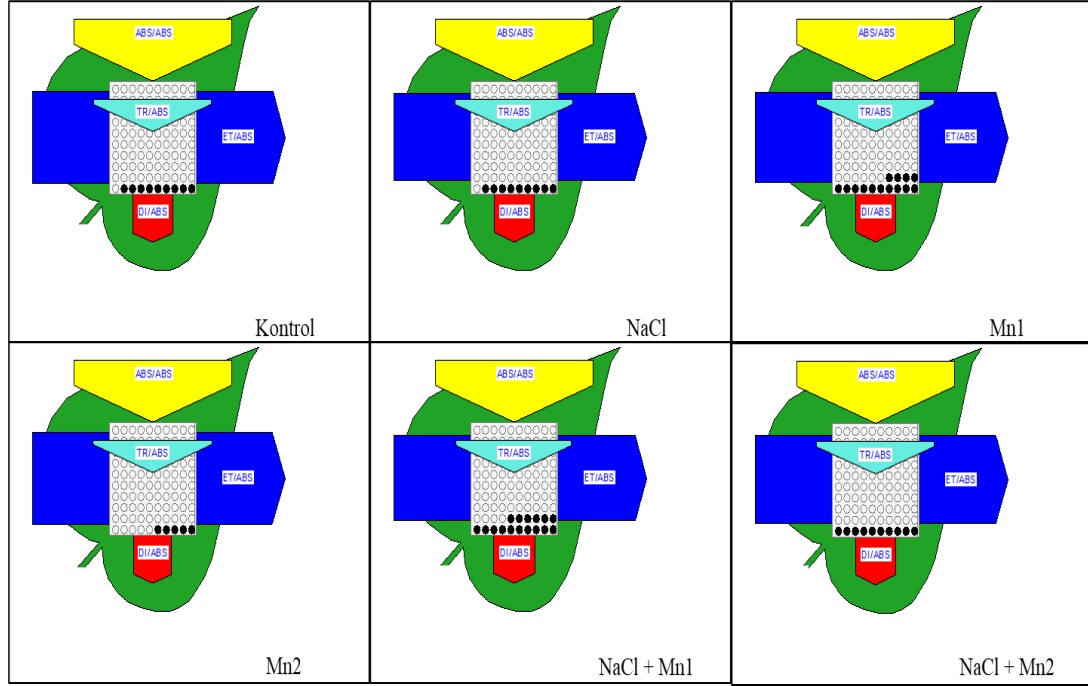
(a. N: Fm'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı, b. ABS/RC: reaksiyon merkezi başına FS II'nin ortalama anten boyutu, c. TRo/RC: FS II' de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve QA'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji, d. ETo/RC: FS II'de reaksiyon merkezi başına QA'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı, e. DIo/RC: FS II'de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi, f.  $SFI_{ABS}$ : FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü)

ADA-9510 genotipinde  $\phi/(1-\phi)$  (fotokimyasal (aydınlık) reaksiyonların performans göstergesi) ve  $\Psi_0/(1-\Psi_0)$  (ışığa bağımlı olmayan (karanlık) reaksiyonların performans göstergesi) parametreleri NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları sonucunda kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ), Mn1+NaCl uygulaması ile kontrole göre önemli derecede azalmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.11. a ve b).  $PI_{ABS}$  (performans indeksi) değeri ADA-9510 genotipinde tüm uygulamalar sonucunda kontrole göre önemli derecede etkilenmemiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.11.c).



Şekil 4.11. Tuz stresinin ADA-9510 genotipinde mangan uygulamalarının bazı klorofil a floresans parametreleri üzerine etkisi

(a.  $\phi/(1-\phi)$ : fotokimyasal (aydınlık) reaksiyonların performans göstergesi, b.  $PI_{ABS}$ : performans indeksi, c.  $\Psi_0/(1-\Psi_0)$ : ışığa bağımlı olmayan (karanlık) )



Şekil 4.12. NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipinin fotosentetik birimlerindeki reaksiyon merkezlerinin durumu üzerine etkisi (boş daireler sağlam, dolu daireler ise hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir)

#### 4.2. Tuz ve Bakır Uygulamalarının Fotosentetik Pigment Üzerine Etkisi

Tuz ve bakır uygulamaları sonucu ADA-9510 genotipli mısır bitkisinin yapraklarında bulunan fotosentetik pigment miktarındaki etkileri Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.

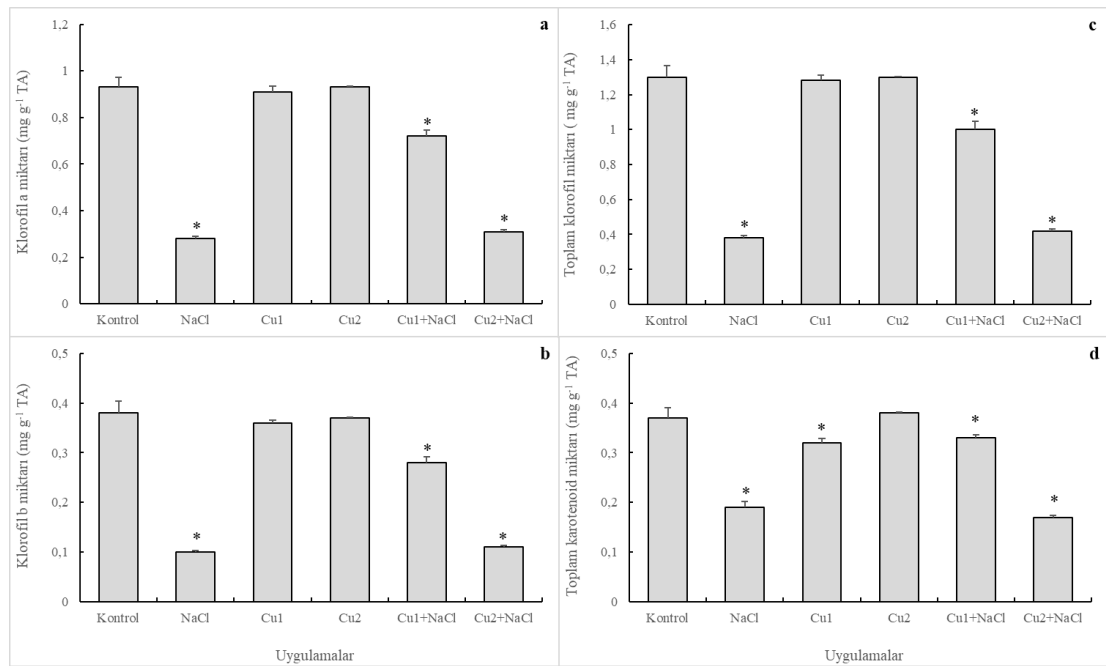
ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları yapraklardaki klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam klorofil miktarlarını kontrolle karşılaştırıldığında önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl, NaCl+Cu1 ve NaCl+Cu2 uygulamaları kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.a, b ve c).

ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları kontrole göre klorofil-*b* miktarını önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl, NaCl+Cu1 ve NaCl+Cu2 uygulamaları kontrole göre klorofil-*b* miktarını önemli derecede düşürdüğü gözlemlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.b)

ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları kontrole göre toplam klorofil miktarını önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl, NaCl+Cu1 ve

NaCl+Cu2 uygulamaları kontrole göre toplam klorofil miktarını önemli derecede düşürdüğü gözlemlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.c).

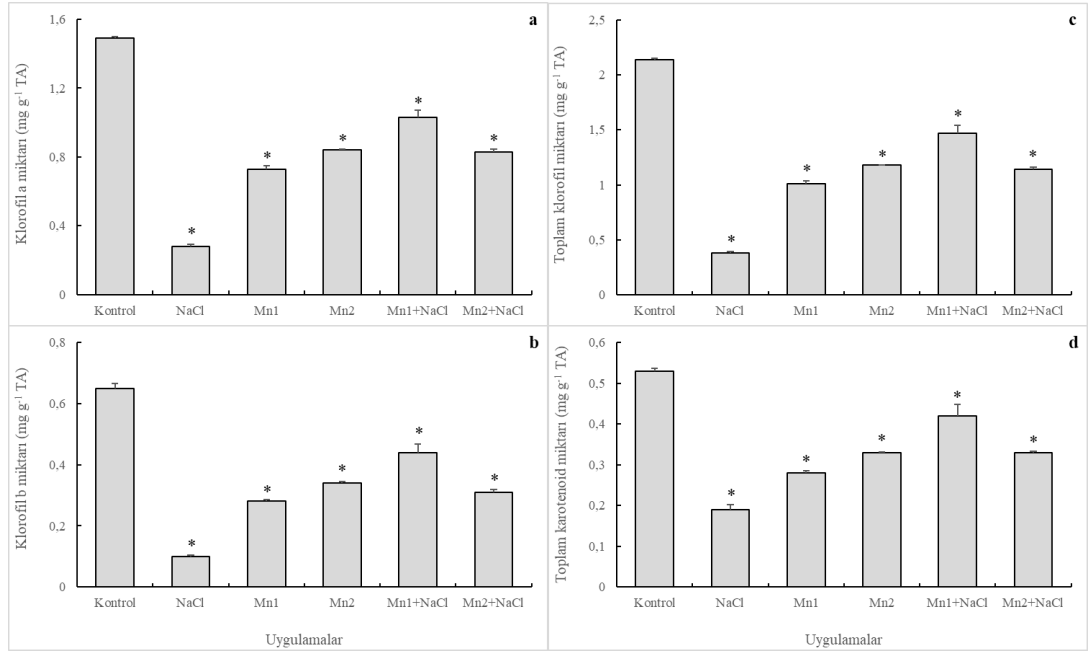
ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde yapraklardaki toplam karotenoid miktarı Cu2 uygulaması ile kontrole göre önemli derecede etkilenmezken ( $P>0,05$ ); NaCl, Cu1, NaCl+Cu1 ve NaCl+Cu2 uygulamaları kontrole göre toplam karotenoid miktarını önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.d).



Şekil 4.13. NaCl, Cu1, Cu2, Cu1+ NaCl ve Cu2+ NaCl uygulamalarının (a) klorofil a (b) klorofil b, (c) toplam klorofil ve (d) toplam karotenoid miktarı üzerine etkisi.

### 4.3. Tuz ve Mangan Uygulamalarının Fotosentetik Pigment Üzerine Etkisi

NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamaları ADA-9510 genotipli mısır bitkisinin yapraklarındaki klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarlarını kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.14. a, b, c ve d).



Şekil 4.14. NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+ NaCl ve Mn2+ NaCl uygulamalarının (a) klorofil a (b) klorofil b, (c) toplam klorofil ve (d) toplam karotenoid miktarı üzerine etkisi.

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın amacı tuz stresine maruz bırakılan ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde ayrı ayrı gerçekleştirilen bakır ve mangan uygulamalarının, tuz stresinin fotosentetik aktivite üzerinde yol açtığı hasarların onarılması veya iyileştirilmesi üzerindeki etkilerinin fotokimyasal parametrelerde meydana gelen değişimler yoluyla araştırılmasıdır.

Tuzluluk bitkilerde stomaların kapanmasına yol açarak fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Genellikle bitki hücrelerinde meydana gelen yoğun tuz birikimi sonucu metabolik hasarlar meydana gelmektedir. Tuz stresi etkisiyle kloroplastlardaki tilakoid zarların ve klorofil moleküllerinin parçalanması buna örnek olarak gösterilebilir (Ashraf, 2004). Genel olarak tuz stresi altında olan bitkilerin yapraklarında fotosentetik pigment miktarında azalma görülmektedir (Agastian ve diğ., 2000). Yapılan çalışma sonuçlarına göre ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam klorofil miktarını kontrole göre önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.13.a, b ve c). Ancak NaCl, NaCl+Cu1 ve NaCl+Cu2 uygulamalarının klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam klorofil miktarını kontrole göre önemli derecede azalttığı gözlemlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.a, b ve c). Bunun yanı sıra ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamalarının klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam klorofil miktarını kontrole göre önemli derecede azalttığı gözlemlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.14.a, b ve c). Ashrafuzzaman ve diğ., (2000) tuz stresi altındaki bitkilerin fotosentetik pigment miktarını azalttığını rapor etmişlerdir. Mercimek fideleri ile ilgili bir çalışmada ise tuz stresinin bitkilerin toplam klorofil miktarını önemli oranda azalttığı belirlenmiştir (Turan ve diğ., 2007). Kranner ve arkadaşları (2002), strese maruz kalmış bitkilerde klorofil miktarındaki geri dönüşümlü azalmaların bitkiyi koruyucu bir etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Tuza toleranslı olan tatlı sorgum

bitkilerinin sürgünlerinde yüksek oranda tuz birikimi gözlenmiştir, tuz birikmesi sonucunda fotosistemlerin yapısı korunarak sükröz sentetaz aktivitesi ve fotosentez etkinliği artmıştır (Yang ve diğ., 2020a). Bununla birlikte ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde NaCl uygulamasının klorofil *a*, klorofil *b* ve toplam klorofil miktarını, tuz stresinin neden olduğu oksidatif stres sonucu azalttığı söylenebilir (Fu ve Huang, 2001). Tuz stresi altındaki ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinde ayrı ayrı gerçekleştirilen Cu1, Mn1 ve Mn2 uygulamaları ise yapraklardaki klorofil *a*, korofil *b* ve toplam klorofil miktarlarını artırmıştır. Buna göre ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinde Cu1, Mn1 ve Mn2 uygulamalarının tuz stresinin yol açtığı oksidatif stresi ve fotosentetik pigmentlerin parçalanma hızını azalttığı sonucuna varılabilir.

Karotenoidler bitkilerde ışık emilimi gerçekleştirerek fotosentetik aktivitenin artmasını sağlayan aksesuar pigmentlerdir. Bunun dışında  $^1O_2$  (singlet oksijen veya tekli uyarılmış oksijen) molekülleri gibi toksik bileşiklerin meydana gelmesini yavaşlatmakta ve üçlü uyarılmış klorofil pigmentlerinin toksinlerden temizlenmesini sağlamak gibi görevleri bakımından enzimatik olmayan antioksidan sistemin bir parçası olarak işlev görmektedir (Trebst, 2003; Förster ve Pogson, 2004). Tuz stresinin bitkilerde karotenoid miktarını farklı şekillerde etkilediği belirlenmiştir. Çalışmalarımız sonucunda ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu2 uygulaması kontrole göre toplam karotenoid miktarını önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ), NaCl, Cu1, NaCl+Cu1 ve NaCl+Cu2 uygulamalarının kontrole göre toplam karotenoid miktarını önemli derecede azalttığı gözlemlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.13.d). ADA-9510 genotipli mısır bitkisinin yapraklarındaki toplam karotenoid miktarı; NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamaları sonucunda kontrole göre önemli derecede azalmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.14.d). Özellikle Cu1 ve Mn1 uygulamalarının tuz stresinin ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinin yapraklarında tuz stresinin toplam karotenoid miktarında sebep olduğu azalmayı iyileştirici etkisinin daha belirgin olduğu ortaya çıkarılmıştır. Buna göre, Cu1 ve Mn1 uygulamalarının tuz stresi altındaki ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinde oksidatif hasarın boyutlarını azalttığı, fotosentetik pigmentlerin miktarını sentez hızını artırarak ve/veya parçalanma hızını azaltarak koruduğu söylenebilir.

Çalışma sonucunda NaCl, Cu1, Cu2 ve Cu2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Fo (minimum floresans) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemediği görülmüştür ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.1.c). Ancak Cu1+NaCl uygulamasının Fo değerini sadece tuz uygulamasına göre önemli derecede azalttığı görülmüştür ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.1.c). Bu durum tuz stresi altındaki Cu1 uygulamasının ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde fotosentetik elektron taşınım reaksiyonlarında tuz stresinin neden olduğu inhibisyonu belli oranda ortadan kaldırdığını göstermektedir. NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl uygulamaları ise Fo değerini önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.7.c). Sonuç olarak NaCl, Mn1, Mn2, Mn1+NaCl ve Mn2+NaCl, Cu1, Cu2 ve Cu2+NaCl uygulamalarının ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde FSII birimlerinin akseptör bölgelerinin kararlılığı üzerinde etkisiz olduğu söylenebilir.

Fm değeri ise FSII'nin akseptör bölgesinin redüksiyon durumu hakkında bilgi sağlayan bir parametredir (Georgieva ve Lichtenthaler, 1999). Çalışmada ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Cu1 ve Cu2 uygulamaları Fm değerini kontrole göre önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.1.d). Bu durum FSII birimlerinin akseptör bölgelerinin için daha kararlı ve indirgenebilme yeteneğinde olduğunu göstermektedir. NaCl, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları ise Fm değerini kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.1.d). Bu sonuçlar da tuz stresinin ADA-9510 genotipinde FSII birimlerinin akseptör bölgesindeki elektron taşınım reaksiyonlarının yavaşladığını ispatlamaktadır. Yani tuz stresi altındaki ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinde Cu1 ve Cu2 uygulamalarının FSII birimlerinin akseptör bölgeleri üzerinde fotosentetik elektron taşınımı bakımından olumlu bir etkisi olmamıştır. Yine aynı şekilde NaCl ve Mn1+NaCl uygulamaları ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Fm değerini kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.d). Yani Mn1 uygulamasının FSII birimlerinin akseptör bölgesindeki elektron taşınım reaksiyonları üzerinde iyileştirici bir etkisinin olduğu söylenebilir. Fv/Fm oranı bitki fizyolojisinde stres göstergesi olarak kullanılan bir parametredir. Bitkilerde Fv/Fm oranı çevresel şartların normal olduğu durumlarda yaklaşık olarak 0,83 civarındadır. Bu oranın azalması bir fotoinhibisyonun varlığını göstermektedir (Björkman ve Demmig, 1987). Bizim çalışmalarımızın sonucunda Fv/Fm oranının, NaCl, Cu1, Cu2 ve Cu1+NaCl



uygulamaları ile kontrole göre önemli derecede etkilenmediği ( $P>0,05$ ), sadece  $\text{Cu}_2+\text{NaCl}$  uygulaması ile kontrole ve sadece tuz uygulamasına göre önemli derecede azaldığı gözlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.1.e). Bununla birlikte  $\text{Mn}_1+\text{NaCl}$  uygulamaları Fv/Fm oranını kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.e). Buna göre, tuz stresi altındaki ADA-9510 genotipli mısır bitkilerinde  $\text{Cu}_1$ ,  $\text{Cu}_2$ ,  $\text{Mn}_1$  ve  $\text{Mn}_2$  uygulamalarının etkisiz olduğu söylenebilir.

Fv/Fo oranı FSII'nin donör kısmında yer alan ve suyun hidrolizini yaparak sistemde transfer edilecek elektronların meydana gelmesinde etkili olan yapının faaliyetini ifade etmektedir. Çalışmamızda Fv/Fo oranı ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde NaCl,  $\text{Cu}_1$ ,  $\text{Cu}_2$ ,  $\text{Cu}_1+\text{NaCl}$  ve  $\text{Cu}_2+\text{NaCl}$  uygulamalarından kontrole göre önemli derecede etkilenmemiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.1.f). Yine aynı şekilde NaCl,  $\text{Mn}_1$ ,  $\text{Mn}_2$  ve  $\text{Mn}_2+\text{NaCl}$  uygulamaları bu oranı kontrole karşılaştırıldığında önemli derecede etkilememiştir ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.7.f). Ancak  $\text{Mn}_1+\text{NaCl}$  uygulaması sonucu oranın kontrole göre önemli derecede düştüğü gözlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.7.f). Suyu hidroliz eden kompleks farklı stres faktörlerine karşı fotosentetik elektron taşınım sisteminin en hassas bölgesidir. Fotosentetik elektron taşınım sisteminde oluşabilecek herhangi bir anormal durum bu oranın düşmesine sebep olmaktadır (Pereira ve diğ., 2000). Buna göre, tuz stresinin ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde Hill reaksiyonunun etkinliği üzerinde olumsuz bir etki yapmadığı söylenebilir.

Klorofil *a* floresans sinyallerinde zamana göre meydana gelen değişikliklerin ifade edildiği grafik "OJIP eğrisi" olarak adlandırılmaktadır. Grafiğe göre "O" noktası Fo değerini, "P" noktası ise Fm değerini göstermektedir. Grafik üzerindeki Fo-Fm arasında kalan alanın büyüklüğü FSII'nin indirgeyici bölgesindeki  $Q_A$  miktarı hakkında bilgi vermektedir. Oukarroum ve diğ. (2015) reaksiyon merkezlerinden  $Q_A$ 'ya doğru gerçekleşen elektron taşınımının inhibisyonu sonucunda bu alanın azaldığını bildirmiştir. Çalışmalarımız sonucunda ADA-9510 genotipinde NaCl,  $\text{Cu}_1+\text{NaCl}$  ve  $\text{Cu}_2+\text{NaCl}$  uygulamalarının bu alanı kontrole göre önemli derecede etkilemediği ( $P>0,05$ ), sadece  $\text{Cu}_1$  ve  $\text{Cu}_2$  uygulamalarının ise önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.1.b) (Şekil 4.2.). Bakır uygulamalarının

reaksiyon merkezlerinden  $Q_A$ 'ya doğru gerçekleşen elektron taşınımını belirli derecede olumlu şekilde etkilediği söylenebilir.

$N$  ( $F_m$ 'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede  $Q_A$ 'nın indirgenme sayısı) değerini,  $\phi E_0$  ( $Q_A$ 'dan  $PQ$ 'ya elektron taşınımının kuantum verimi) değerini,  $\Psi_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ 'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği) değerini ve  $\Psi_0/(1-\Psi_0)$  (ışığa bağımlı olmayan reaksiyonların performans göstergesi) değerini Cu1 uygulaması kontrole göre önemli derecede arttırması ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4. a, Şekil 4.3. d, Şekil 4.3. c),  $S_M$  (tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji) değerini ADA-9510 genotipinde NaCl, Cu1, Cu2, Cu1+NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede arttırması ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.3.f), yine FSII'deki elektron taşınımının reaksiyonları olumlu yönde etkilediğini desteklemektedir. (Şekil 4.8.). Buna göre Mn1+NaCl uygulamasının ADA-9510 genotipinde reaksiyon merkezlerinden  $Q_A$ 'ya doğru gerçekleşen elektron taşınımını belirli derecede inhibe ettiği ancak NaCl, Mn1, Mn2 ve Mn2+NaCl uygulamaları sonucu taşınımın uygun şekilde devam ettiği söylenebilir. Tuz uygulamalarının  $\Delta_V/\Delta_{t_0}$  (kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı) değerini,  $S_M$  (tüm reaksiyon merkezlerinin kapanması için gereken enerji) değerini,  $N$  ( $F_m$ 'ye ulaşıncaya kadar geçen sürede  $Q_A$ 'nın indirgenme sayısı) değerini kontrole göre önemli derecede etkilemezken ( $P>0,05$ ) (Şekil 4.9.a, Şekil 4.9.f, Şekil 4.10.a),  $\Psi_0$  (yakalanan bir eksitonun bir elektronu  $Q_A$ 'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği),  $\phi E_0$  ( $Q_A$ 'dan  $PQ$ 'ya elektron taşınımının kuantum verimi) değerlerini azaltması ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.9.c, Şekil 4.9.e). Tuz stresinin bu genotipte FSII'deki elektron taşınımını değişik bölgelerde inhibe ettiğini göstermektedir.

$T_{R_0}/R_C$  (FS II'de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve  $Q_A$ 'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji) oranını NaCl ve Cu2+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4.c). Aynı şekilde  $DI_0/R_C$  (FS II'de bulunan reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi) oranını kontrole göre NaCl uygulaması önemli derece de azaltırken ( $P<0,05$ ) (Şekil 4.4.e),  $ET_0/R_C$  (FS II'de reaksiyon merkezi başına  $Q_A$ 'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınım hızı) oranını NaCl, Cu1+NaCl ve

Cu<sup>2+</sup>+NaCl uygulamaları kontrole göre önemli derecede azaltmıştır (P<0,05) (Şekil 4.4.d). Bu sonuçla ADA-9510 genotipinde yakalanan eksitasyon enerjisinin elektron taşınımını sağlamak maksadıyla kullanımının tuz stresi etkisiyle azaldığını göstermektedir. NaCl, Mn<sup>1</sup>, Mn<sup>2</sup>, Mn<sup>1</sup>+NaCl ve Mn<sup>2</sup>+NaCl uygulamaları ise TR<sub>o</sub>/R<sub>C</sub>, DI<sub>o</sub>/R<sub>C</sub> ve ETo/R<sub>C</sub> oranlarını kontrole göre önemli derecede etkilememiştir (P>0,05) (Şekil 4.10.c, Şekil 4.10.e, Şekil 4.10.d).

Çalışmamızda ADA-9510 genotipli mısır bitkisinde sadece tuz, bakır+tuz ve mangan+tuz uygulamaları sadece bakır ve sadece mangan uygulamalarına göre fotosentetik pigment miktarında meydana gelen değişiklikler sonucunda bitki tuz stresine girdiği ve fotosentetik aktivitenin etkilendiği gözlemlenmiştir. Ancak bakır ve mangan uygulamaları, tuz stresine rağmen bitki gelişimini devam ettirdiği için, fotosentetik pigmentteki olumsuz etkilerin verdiği hasarı azalttığı veya olumsuz etkileri iyileştirdiği söylenebilir. Bununla birlikte tuz stresine toleransta, uygulanacak olan bakır ve mangan konsantrasyonu ile bitki türü göz önünde bulundurulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Agarwal, S. Shaheen, R. 2007. Stimulation of antioxidant system and lipid peroxidation by abiotic stresses in leaves of *Momordica charantia*. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19, 149–161.
- Agastian, P. Kingsley, S.J., Vivekanandan, M. 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica.*, 38, 287-290.
- Altner, A., Atalay, H. ve Bilal, T. 2018. Serbest Radikaller Ve Stres İle İlişkisi. *Balikesir Saglik Bil Derg Cilt:7 Sayı:1 Nisan*.
- Anonim. 2021. <https://www.bilgiustam.com/bitki-stresleri-abiyotik-ve-biyotik-stresler/>, Erişim Tarihi: 27.11.2021.
- Anonim. 2022a. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/misir/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=10>, Erişim Tarihi: 26.03.2022.
- Anonim. 2022b. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/M%C4%B0LL%C4%B0%20TARIM/MISIR%20KASIM%20B%C3%9CLTEN%C4%B0>, Erişim Tarihi: 26.03.2022.
- Aono, M. Kubo, A., Saji, H., Tanaka, K., Kondo, N. 1993. Enhanced tolerance to photooxidative stress of transgenic *Nicotiana tabacum* with high chloroplastic glutathione reductase activity. *Plant Cell Physiol.*, 34, 129-135.
- Arı, H. 2021. Bazı Cin Mısıırı (*Zea mays everta* Sturt.) Genotiplerinde Fosfor Kullanma Etkinliği Üzerine Bir Araştırma. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Ashraf, M., 2004. Some Important Physiological Selection Criteria for Salt Tolerance in Plants, *Flora*, 199, 361-376.
- Ashrafuzzaman, M., M. A. H. Khan, S. M. Shohidullah and M. S. Rahman. 2000. Effects of salinity the chlorophyll content, yield and yield components of QPM CV. Nutricia. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3: 43- 46.
- Aydemir, B. Ve Karadağ Sarı, E. 2009. Antioksidanlar ve Büyüme Faktörleri ile İlişkisi. *Derleme. Kocatepe Vet J* (2009) 2 (2): 5660.

- Baker, N. R. Rosenqvist, E. 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.*, 55(403), 1607-1621.
- Başat, O. 2008. Fitohormonların Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) Fidan Morfolojik Karakterleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Orman Mühendisliği. Ankara.
- Bates, L. S. Waldren, R. P., Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Beyer, W. F. Fridovich, I. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem.*, 161, 559- 566.
- Biber, Ç. ve Kara, T. 2006. Mısır bitkisinin bitki su tüketimi ve kısıtlı sulama uygulamaları. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 2006,21(1):140-146 *J. of Fac. of Agric.*, OMU,21(1):140-146.
- Björkman, O. ve Demmig, B. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
- Bolat İ. ve Kara Ö., 2017. Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 2017, 19 (1): 218-228.
- Bussotti, F. Strasser, R.J., Schaub, M. 2007. Photosynthetic behaviour of woody species under high ozone exposure probed with the JIP-test: a review. *Environ. Pollut.*, 147, 430–437.
- Büyük, İ., Soydam Aydın, S. ve Aras, S. 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hij Den Biyol Derg*: 69(2): 97 – 110.
- Çimen, T. 2012. Hatay yöresindeki çeşitli bitkilerden elde edilen doğal bileşiklerin oksidatif stres üzerine etkisi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.*
- Çulha, Ş. ve Çakırlar, H. 2011. Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tuz Tolerans Mekanizmaları. *AKÜ FEBİD* 11 (2011) 021002 (11-34).
- DalCorso, G., Farinati, S. ve Furini, A. 2010. Regulatory networks of cadmium stress in plants, *Plant Signaling ve Behavior*, 5:6, 663-667
- Denizhan, H., Gezer, A., Karahan, R. B. Ve Aslan, M. 2021. Badem ağaçlarında besin elementlerinin önemi ve yürütülen bazı besleme denemelerinin değerlendirilmesi. *cukurova 6th international scientific researches conference 5 - 6 March 2021/ Adana, TURKEY.*
- Deveci, H. A., Nur, G., Kırpık, M.A., Harmankaya, A. ve Yıldız, Y. 2016. Fenolik Bileşik İçeren Bitkisel Antioksidanlar. *Kafkas Üniversitesi Fen Bil. Enst. Derg.* 9 (1): 26 – 32.

- Doğru, A. 2014. Farklı mısır genotiplerinde tuz stresinin antioksidant system üzerindeki etkileri. 22. Ulusal biyoloji kongresi, Eskişehir, s. 430.
- Doğru A, 2020. Bitkilerde Aktif Oksijen Türleri ve Oksidatif Stres, International Journal of Life Sciences and Biotechnology,. 3(2): p. 205-226.
- Doğru, A. 2019. Bitkilerde Antioksidan Sistemler ve Tuz Stresine Verdikleri Yanıtlar. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1 (2) , 164-185.
- Emsen, B., Karataş, M. ve Doğan, M. 2019. In Vitro Koşullarda Çoğaltılan *Bacopa monnieri* (L.) Pennell'nin Oksidatif Stres İnhibisyon Aktiviteleri. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 9(2):181-189.
- Eriş, A. 2007. Bahçe bitkileri fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Ders notları No:11 Bursa.
- Etienne, P., Diquelou, S., Prudent, M., Salon, C., Maillard, A. ve Ourry, A. 2018. Macro and Micronutrient Storage in Plants and Their Remobilization When Facing Scarcity: The Case of Drought. Published Agriculture 2018, 8, 14.
- Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants, Journal of Plant Nutrition, 24:8, 1269-1290.
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y. ve Shinozaki, K.Y. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling Networks. Current Opinion in Plant Biology 2006, 9:436–442.
- Foyer, C.H. Souriau, N., Perret, S., Lelandais, M., Kunert, K.J., Pruvost, C., Jouanin, L. 1995. Overexpression of glutathione reductase but not glutathione synthetase leads to increases in antioxidant capacity and resistance to photoinhibition in poplar trees. Plant Physiol., 109,1047-1057.
- Förster, B. Pogson, B.J. 2004. Carotenoids in Photosynthesis. Encyc. Plant Crop Sci., 245-249.
- Georgieva, K. Lichtenthaler, H. L. 1999. Photosynthetic activity and acclimation ability of pea plants to low and high temperature treatment as studied by means of chlorophyll fluorescence. Journal of Plant Physiology, 155, 416-423.
- Günel, E. 2014. Suluova ve merzifon ovaları topraklarının dtpa'da ekstrakte edilebilir demir bakır çinko ve mangan konsantrasyonlarının mesafeye bağlı değişimi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Gündüz, E. ve Türkan, İ. 2014. Yaşam biyolojisi. Palme yayıncılık dokuzuncu baskıdan çeviri. ISBN: 978-605-355-261-1.

- Govindjee, G. 2004. Chlorophyll a fluorescence: a bit of basics and history. In: Papageorgiou, Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis. Springer, Ordrecht, pp., 1–42.
- Hunt, S. 2003. Measurement of photosynthesis and respiration in plants. *Plant Physiol.*, 117, 314-325.
- Imran, Q. M., Falak, N., Hussain, A., Mun, B.G. ve Yun B.W. 2021. Abiotic Stress in Plants; Stress Perception to Molecular Response and Role of Biotechnological Tools in Stress Resistance. *Agronomy*, 11, 1579.
- Kacar, B. Katkat, V., Öztürk., G. 2006. Bitki Fizyolojisi (2. baskı), Nobel Yayın Dağıtım, ISBN, 9789755918334.
- Kacar, B. ve Katkat, V. 2021. Bitki Besleme. 8. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.
- Kadioğlu, A. 2011. Bitki Fizyolojisi kitabı beşinci baskı Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü. Trabzon.
- Kafkasyalı, D. 2021. Bakır Toksisitesinin Bitkilerde Fizyolojik, Morfolojik, Biyokimyasal ve Transkripsiyonel Düzeydeki Etkileri. *S.Ü. Fen Fakültesi Fen Dergisi*. 47(1), 16-34.
- Karabulut, H. ve Gülay, M. Ş. 2016. Antioksidanlar. *MAE Vet Fak Derg. Derleme*. Makale Kodu: 5000185894.
- Kasnak, C. ve Palamutoğlu, R. 2015. Doğal Antioksidanların Sınıflandırılması ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(5): 226-234.
- Kautsky, H. Appel, W. ve Amann, H. 1960. Chlorophyllfluorescenz und kohlenaureassimilation, *Bioche. Zeitschrift.*, 322, 277-292.
- Koç, E. ve Üstün A.S. 2008. Patojenlere Karşı Bitkilerde Savunma ve Antioksidanlar . *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 24 (1-2) 82 - 100
- Korkmaz, H. ve Durmaz, A. 2017. Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar.
- Kranner, I. Beckett. R.P., Wornik, S., Zorn, M. ve Pfeifhofer, H.W. 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. *The Plant Journal*.
- Kucuk, C. ve Almaca A. 2020. Bitki gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler Tarafından Üretilen Metabolitler ve Bitki Gelişimine Etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(1): p. 81- 94.
- Kumlay, A. M. ve Eryiğit, T. 2011. Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Düzenleyici Maddeler: Bitki Hormonları. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. ve Tech.* 1(2): 47-56.

- Küçük, C. ve Karaoğlu, M. 2017. Elements and Heavy Metals. Proceedings Book of II. International Iğdır Symposium. (IGDIRSEMP, Iğdır, Turkey)
- Lambers, H., Chapin, F. S. ve Pons, T.L. 2008. Plant Physiological Ecology. Springer Sciences Business Media, LLC Second edition. ISBN: 978-0-387-78340-6.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzy.*, 148, 350-382.
- Maxwell, K. ve Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence – A practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51, 659–668.
- Meraklı, N. ve Memon, A. 2020. Role of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) in Plant Growth and Development: Soil-Plant Relationship. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(12): 2590-2602
- Mengel, K. ve Kirkby, E. A. 2001. Principles Of Plant Nutrition. Springer-Science+Business Media, B. V. 5. Baskı. ISBN 978-1-4020-0008-9.
- Mercan, U. 2004. Toksikolojide Serbest Radikallerin Önemi. *YYU Vet Fak Derg.*, 15 (1-2):91-96.
- Nawaz, K., Hussain, K., Majeed, A., Khan, F., Afghan, S. ve Ali, K. 2010. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(34), pp. 5475-5480.
- Oukarroum, A. Bussotti, F., Goltsev, V., ve Hazem, M.K. 2015. Environmental and Experimental Botany 109. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. Plants under salt stress., 80-88.
- Öktüren, F. ve Sönmez, S. (2005). Bitki besin maddeleri ile bazı bitki büyüme düzenleyicileri (hormonlar) arasındaki ilişkiler. *Derim* , 22 (2) , 20-32. Retrieved from <http://www.derim.com.tr/tr/pub/issue/4559/62574>.
- Örs, S. ve Ekinci, M. 2015. Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32 (2):237-250
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan M., Bayraklı, B., Kesim E., Urla Ö., Yıldız H. ve Unal, E. 2015. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* ISSN:2146-1880, e-ISSN: 2146-698X.
- Panda, S.K. 2001. Response of green gram seeds under salinity stress. *Indian J. Plant Physiol.*, 6, 438-440.
- Parida, A.K. Das, A.B., ve Mohant, P. 2004. Investigations on the antioxidative defense responses to NaCl stress in a mangrove, *Bruguiera parvi flora*: differential regulations of isoforms of some antioxidative enzymes. *Plant Growth Regul.*, 42, 213–226.



- Pereira, W.E. de Siqueira, D.L., Martínez, C.A. ve Puiatti, M. 2000. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. *J. Plant Physiol.*, 157, 513–520.
- Sağlam, N. G., Şen, A., Arda B. P., Kaptan, E. ve Mülayim, A. 2020. Temel Biyoloji. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi. [https://auzefalmsstorage.blob.core.w-ndows.net/auzefcontent/19\\_20\\_Guz / temel\\_b-yoloj-/1/-ndex.html](https://auzefalmsstorage.blob.core.w-ndows.net/auzefcontent/19_20_Guz / temel_b-yoloj-/1/-ndex.html).
- Sanchez-Romero, C. Garcia-Gomes, M. L., Pliego-Alfaro, F. ve Heredis, A. 1993. Peroxidase activities and isoenzyme profiles associated with development of avocado (*Persea americana* M.) leaves at different ontogenetic stages. *Journal of Plant Growth Regu.*, 12, 95-100.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N. ve Ocak, S. 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *UCBAD*. 2015;1(2): 91-103.
- Sevilmiş, U., Sevilmiş, D., Ölmez Y. A., Aykanat, S. ve Özcan O. B. 2020. Soyada Bitki Besleme ve Hastalıklarla Mücadele Yöntemi Olarak Yapraktan Mangan Uygulamaları. *Ziraat Mühendiliği* (369), 4-21.
- Sivritepe, N. 2001. Doğada oksidatif stres: asma, üzüm ve şarapta antioksidantlar. *ANADOLU, J. of AARI* 11 (2), 108 - 135 MARA.
- Smirnoff, N. 2000. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multifaceted Molecule. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 3, 229-235.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K. ve Kaya, H. 2006. Topraktan Yapılan Bakır Uygulamalarının Toprak pH'sı ve Bitki Besin Maddesi İçerikleri Üzerine Etkisi . *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2006, 19(1), 151-158
- Szarka, A. Horemans, N., Kovacs, Z., Grof, P., Mayer, M. ve Banhegyi, G. 2007. ehydroascorbate reduction in plant mitochondria is coupled to the respiratory electron transfer chain. *Plant. Physiol.*, 129, 225-232.
- Şahin, S. 2001. Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 21, Sayı 1*, 73-90.
- Taşan, M. ve Demir, Y. 2017. Çeltik yetiştiriciliği yapılan arazilerde demir ve mangan içeriklerinin alansal dağılımının farklı enterpolasyon yöntemleri ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci*, 32. ISSN: 1308-8750.
- Taşdemir, T. 2010. Yapraktan Mangan Uygulamasının Ekmeklik Ve Makarnalık Buğdaylara Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tewari, R.K., Kumar, P. ve Sharma, P. N. 2006. Antioxidant responses to enhanced generation of superoxide anion radical and hydrogen peroxide in the copper-stressed mulberry plants. *Planta* (2006) 223: 1145–1153.

- Turan, M.A., Elkarim, A.H.A., Tabna, N., ve Taban, S., 2009. Effect of Salt Stress on Growth, Stomatal Resistance, Proline and Chlorophyll Concentrations on Maize Plant. *African Jour. of Agricul. Research*, 4(9): 893-897. *Biotech.*, 17 (2): 217-220 (2007).
- Trebst, A. 2003. Function of carotene and tocopherol in photosystem II. *Zeitschrift für Naturforschung.*, 58, 609-620.
- Ustaoglu, D., Terzioğlu, K., Türe, H. Yolamz, E. ve Tunca, E. 2015. Sucul ortamlardaki Bakırın (Cu), Su mercimeği (*Lemna minör* Lemneus 1753) ile Fotoremediasyonu. *Ordu Üniversitesi. Bil. Tek. Derg. Cilt: 5 Sayı: 2, 2015,10. Ordu Üniversitesi J. Sic., Tek., Vol:5, No:2,201, 10-22.*
- Vardar, Y., 1985. *Bitki Fizyolojisine Giriş*. İzmir: Bilgehan Basımevi, pp. 157-165.
- Yakıt, S., Tuna, A. L. 2006. Tuz Stresi Altındaki Mısır Bitkisinde ( *Zea mays* l. ) Stres Parametreleri Üzerine Ca, Mg ve K'nın Etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 59-67.
- Yang, Y. ve Guo, Y., 2018. Unraveling salt stress signaling in plants. *Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences JIPB Journal of Integrative Plant Biology*. Volume 60. Issue 9. 796–804.
- Yang, Z., Li, J. L., Liu, L. N., Xie, Q., Sui, N. (2020a). Photosynthetic regulation under salt stress and salttolerance mechanism of sweet sorghum. *Frontiers in Plant Science* 15. DOI: 10:1722. 10.3389/fpls.2019.01722.
- Yavaş, İ. ve İlker, E. 2020. Çevresel Stres Koşullarına Maruz Kalan Bitkilerde Fotosentez ve Fitohormon Seviyelerindeki Değişiklikler. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi Journal of Bahri Dagdas Crop Research* 9 (2): 295-311.
- Yavuz, H., Cansız, S. ve Turan, M.A. 2020. Bursa İli Gürsu İlçesi Armut Bahçelerinin Potansiyel Mikro Bitki Besin Elementi Eksiklikleri. *Bursa UludağÜniv. Ziraat Fak. Derg.*, 34(1), s. 107-118.
- Yerli, Y., Çakmakçı, T., Şahin, Ü. ve Tüfenkçi, Ş. 2020. Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Cilt 9, Özel Sayı, Sayfa 103-114.*
- Yılmaz, F.G. 2019. Tarım Topraklarında Bitkiye Yararlı Manganın Yeterlilik Sınır Değerinin Belirlenmesi. TUBİTAK projesi. Program Kodu: 3001 Proje No: 1160786.
- Yılmaz, İ. 2010. Antioksidan İçeren Bazı Gıdalar ve Oksidatif Stres. *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*. 17 (2) 143-153.
- Yusuf, M.A. Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R.J., Tsimilli Michael, M. ve Govindjee Sarin, N.B. 2010. Overexpression of -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll fluorescence measurements. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1797, 1428–1438.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Zeynep GÖÇMEN

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Bölümü	Devam ediyor
Lisans	Kastamonu Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi / Biyoloji Bölümü	2012
Lise	Düzce Fen Lisesi	2006

### İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2020- Halen	Online ÖABT Dersi	Öğretmen
2019-2020	Serdivan Akademi Özel Öğretim Kursu	Öğretmen
2019-2019	Özel Sakarya Düşünür Koleji	Öğretmen
2018-2019	IMKB Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi (Sakarya)	Öğretmen
2017-2017	Mefkûre Özel Öğretim Kursu	Öğretmen
2014-2015	Mefkûre Dershaneleri (Kandıra)	Öğretmen

### YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (Makale, bildiri, proje, vb.)

1. Erkuş, Z., Çetinkaya, A., Akdoğan, S., Sözen, Z., Kavaklı, B., Sezgen, Ö., Altuner E.M. ve Çeter, T. 2010. Kastamonu Merkezi ve Çevresinde Yetişen Acer L. (Aceraceae) Türlerinin Polen Morfolojisi. 20. Ulusal Biyolojisi Kongresi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
2. Sözen, Z., Erkuş, Z. Ve Altuner, E.M. 2012. Proteinlerin üç boyutlu yapılarının X-ışını kırınımı yöntemi ile belirlenmesi. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi.03-07 Eylül, Ege Üniversitesi, İzmir. Poster Sunumu