



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**IN VITRO KOŞULLARDA GARNEM ANACINDA SODYUM BİKARBONAT
(NaHCO₃) KAYNAKLI ALKALİ STRES ÜZERİNDE BAZI İYİLEŞTİRİCİ
AJANLARIN ETKİLERİ**

NECLA ŞAŞKIN

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**IN VITRO KOŞULLARDA GARNEM ANACINDA SODYUM BİKARBONAT
(NaHCO₃) KAYNAKLI ALKALİ STRES ÜZERİNDE BAZI İYİLEŞTİRİCİ
AJANLARIN ETKİLERİ**

NECLA ŞAŞKIN

**BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI
Tez Danışmanı: Prof. Dr. BEKİR EROL AK**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla bana yol gösteren, akademik gelişimime büyük katkı sağlayan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Bekir Erol AK'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Dr. Öğr. Üyesi. Kevser YAZAR hocama teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim boyunca gerek akademik çalışmalarında gerekse karşılaştığım zorluklarda süreci daha kolay ve verimli geçirmemi sağlayan, yolumu aydınlatan, bilgi ve tecrübelerini aktarmaktan hiç çekinmeyen canım hocam Arş. Gör. Heydem EKİNCİ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Tezimin biyokimyasal analizlerinin yapılmasında desteğini esirgemeyen Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Dr. Öğr. Üyesi. Ali SARIOĞLU hocama teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Zir. Yük. Müh. Birgül DİKMETAŞ DOĞAN, Zir. Müh. Yeter AYDINLIK ve Zir. Müh. Zehra GÜNBEĞİ' ne teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup desteğini hiç esirgemeyen canım dostum Polis Memuru Zeynep Neslihan YALVAÇ'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, varlıklarıyla bana güç ve ilham veren canım anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim. Onların sevgi dolu desteği ve fedakârlıkları, bugünlere gelmemde en büyük etken oldu. Zorlu zamanlarda varlığıyla yüzümde tebessüm oluşturan minik dostum, kedim Maya'ya da teşekkür ederim.

İsmine doğru anaç temininde bize destek olan BETA Fidancılık'a teşekkür ederim.

Bu tezin yürütülmesinde bazı laboratuvar malzemeleri HÜBAP-22114 nolu Şemsiye araştırma projesinden alınmıştır. Rektörlüğümüz ve yöneticilerine teşekkür ederim.

Bu tezin yürütülmesinde Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje No: 23083)'ne tezime verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. GEREÇ VE YÖNTEM	15
3.1. Sodyum Bikarbonat	16
3.2. Sodyum Nitroprussid (SNP)	16
3.3. Salisilik Asit (SA)	17
3.4. Mikro Çeliklerin Yüzey Sterilizasyonu	18
3.5. In Vitro Koşullarda Bitkiciklerin Yetiştirilmesi	20
3.6. In Vitro Koşullarda Bitkiciklerin Çoğaltılması	21
3.7. Köklendirme Aşaması ve Çalışmanın Kurulması	22
3.8. Çalışmada Yapılan Gözlemler ve Ölçümler	23
3.8.1. Morfolojik Parametreler	23
3.8.1.1. Hayatta Kalma Oranı	23
3.8.1.2. Köklenme Oranı	24
3.8.1.3. Sürgün Uzunluğu	24
3.8.1.4. Yaprak Sayısı	24
3.8.1.5. Kök Sayısı	24
3.8.1.6. Kök Uzunluğu	24
3.8.1.7. Bitki Yaş Ağırlığı	24
3.8.1.8. Bitki Kuru Ağırlığı	24
3.8.1.9. Zararlanma İndeksi	24
3.8.2. Fizyolojik Parametreler	25
3.8.2.1. Membran Geçirgenliği	25
3.8.2.2. Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)	25
3.8.3. Biyokimyasal Parametreler	26
3.8.3.1. Klorofil	26
3.8.3.2. Malondialdehit (MDA) Analizi	26
3.8.3.3. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Analizi	28
3.8.4. İstatistiksel Analiz	28
4. BULGULAR	30
4.1. Morfolojik Parametreler	30
4.1.1. Hayatta Kalma Oranı (%)	30
4.1.2. Köklenme Oranı (%)	31
4.1.3. Sürgün Uzunluğu (cm)	32
4.1.4. Yaprak Sayısı (adet/bitkicik)	33
4.1.5. Kök Sayısı (adet/bitkicik)	34
4.1.6. Kök Uzunluğu (cm)	35
4.1.7. Bitki Yaş Ağırlığı (g)	38
4.1.8. Bitki Kuru Ağırlığı (g)	39
4.1.9. Zararlanma İndeksi	40
4.2. Fizyolojik Parametreler	42
4.2.1. Membran Geçirgenliği (%)	42
4.2.2. Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ) (%)	43
4.3. Biyokimyasal Parametreler	45
4.3.1. Klorofil a	45
4.3.2. Klorofil b	46

4.3.3. Toplam Klorofil	47
4.3.4. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂)	47
4.3.5. Malondialdehit (MDA)	50
5. TARTIŞMA	52
5.1. Morfolojik Parametreler	52
5.2. Fizyolojik Parametreler	57
5.3. Biyokimyasal Parametreler	59
6. SONUÇLAR	63
7. ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	81

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

IN VITRO KOŞULLARDA GARNEM ANACINDA SODYUM BİKARBONAT (NaHCO₃) KAYNAKLI ALKALİ STRES ÜZERİNDE BAZI İYİLEŞTİRİCİ AJANLARIN ETKİLERİ

NECLA ŞAŞKIN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

Tez Danışman: Prof. Dr. BEKİR EROL AK

Yıl: 2025, Sayfa : 79

Alkali stres, küresel tarımda bitkisel üretimi sınırlandıran başlıca abiyotik stres faktörüdür. Bu stres koşullarında iyon toksisitesi ve ozmotik stresin yanında yüksek pH hücre içi pH dengesini bozmaktadır. Bu çalışma, *in vitro* koşullarda garnem anacının NaHCO₃ kaynaklı alkali stresine karşı verdiği fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal tepkileri değerlendirmek için sodyum nitroprussid (SNP) ile salisilik asit (SA) uygulamalarının alkali stresin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada *in vitro* koşullarda mikroçoğaltım yöntemi ile çoğaltılmış Garnem anacına ait bitkicikler kullanılmıştır. Çalışma bitkiciklerin köklendirme aşamasında kurulmuştur. *In vitro* koşullarda farklı konsantrasyonlarda NaHCO₃ (%0, %20, %40) kaynaklı alkali stresine karşı SNP ve SA (50, 100, 150 µM) uygulamaları yapılmıştır. Çalışmada alkali stresin şiddeti arttıkça hayatta kalma oranı, köklenme oranı, sürgün uzunluğu, kök sayısı, kök uzunluğu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, zararlanma indeksi, membran geçirgenliği, yaprak oransal su içeriği (YOSİ), klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, hidrojen peroksit (H₂O₂) ve malondialdehit (MDA) parametreleri olumsuz etkilenmiştir. Yapılan SNP ve SA uygulamaları alkali stresin meydana getirdiği zararlı etkileri iyileştirmiştir. Çalışma sonucunda alkali stres, bitkiciklerin hayatta kalma oranını, köklenme oranını, sürgün uzunluğunu, kök sayısını, kök uzunluğunu, bitki yaş ve kuru ağırlığını azaltmıştır. SNP ve düşük konsantrasyonlarda SA uygulamaları alkali stresin etkilerini hafifleterek bu parametrelerde iyileşme sağlamıştır. Membran geçirgenliği yüksek alkali stres altında artarken, 100 µM SNP uygulamaları bu oranı düşürerek hücresel yapının korunmasına katkı sağlamıştır. Tüm SNP ve 50 µM SA uygulamaları alkali strese karşı yaprak oransal su içeriğini arttırmıştır. Klorofil a,b ve toplam klorofil içeriği alkali stres altında ciddi şekilde azaldığı, SNP uygulamalarının ise stresin olumsuz etkilerini hafifleterek klorofil içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Biyokimyasal parametrelerden H₂O₂ ve MDA seviyelerini SNP uygulamaları önemli ölçüde azaltmıştır. Çalışma sonucunda SNP uygulamalarının tüm konsantrasyonlarda, SA uygulamalarının ise özellikle düşük konsantrasyonlarda alkali stresin olumsuz etkilerini hafiflettiği, bitki büyüme ve gelişimini desteklediği tespit edilmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonda (150 µM) SA uygulamasının toksik etki oluşturarak bitki gelişimini önemli ölçüde baskıladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, Garnem anacı NaHCO₃ kaynaklı alkali stres koşullarına karşı belirli oranda tolerans gösterse de, SNP ve SA gibi iyileştirici ajanların uygun konsantrasyonlarda uygulanmasıyla bu toleransın artırılabilceği ve bitki gelişiminin sürdürülebilir şekilde desteklenebileceği anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Salisilik asit, abiyotik stres, Sodyum nitroprussid, Garnem anacı, Mikroçoğaltım

ABSTRACT

MASTER THESIS

EFFECTS OF SOME HEALING AGENTS ON SODIUM BICARBONATE (NaHCO₃) INDUCED ALKALINE STRESS IN GARNEM ROOTSTOCKS IN VITRO CONDITIONS

NECLA ŞAŞKIN

HARRAN UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF HORTICULTURE

Thesis Supervisor: Prof. Dr. BEKİR EROL AK

Year: 2025, Page : 79

Alkaline stress is the main abiotic stress factor limiting plant production in global agriculture. In these stress conditions, high pH disrupts intracellular pH balance in addition to ion toxicity and osmotic stress. This study was conducted to evaluate the physiological, morphological and biochemical responses to NaHCO₃ induced alkaline stress *in vitro* by sodium nitroprusside (SNP) and salicylic acid (SA) applications to improve the negative effects of alkaline stress. In the study, plantlets of Garnem rootstock propagated by micropropagation method *in vitro* were used. The study was established at the rooting stage of the plantlets. SNP and SA (50, 100, 150 µM) applications were made against alkaline stress caused by NaHCO₃ (0%, 20%, 40%) at different concentrations *in vitro*. In the study, as the severity of alkaline stress increased, survival rate, rooting rate, shoot length, root number, root length, plant fresh weight, plant dry weight, injury index, membrane permeability, leaf relative water content (YOSI), chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA) parameters were negatively affected. SNP and SA applications improved the harmful effects of alkaline stress. As a result of the study, alkaline stress reduced the survival rate of plantlets, rooting rate, shoot length, root number, root length, plant fresh and dry weight. SNP and low concentration SA applications alleviated the effects of alkaline stress in these parameters and provided improvement in these parameters. While membrane permeability increased under high alkaline stress, 100 µM SNP applications reduced this rate and contributed to the protection of cellular structure. All SNP and 50 µM SA applications increased leaf relative water content against alkaline stress. It was determined that chlorophyll a, b and total chlorophyll content decreased significantly under alkaline stress, while SNP applications increased chlorophyll content by alleviating the negative effects of stress. SNP applications significantly reduced H₂O₂ and MDA levels among biochemical parameters. As a result of the study, it was determined that SNP applications at all concentrations and SA applications especially at low concentrations alleviated the negative effects of alkaline stress and supported plant growth and development. However, it was determined that SA applications at high concentrations (150 µM) caused a toxic effect and significantly suppressed plant development. As a result, although Garnem rootstock showed a certain tolerance to alkaline stress conditions caused by NaHCO₃, it was understood that this tolerance could be increased and plant development could be supported sustainably by applying appropriate concentrations of healing agents such as SNP and SA.

KEYWORDS: Salicylic acid, abiotic stress, Sodium nitroprusside, Garnem rootstock, micropropagation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Garnem anacı ve sürgünü (Orjinal)	15
Şekil 3.2. Bitki büyüme ve gelişme süreçlerinde SNP' nin rolü (Sundararajan vd. 2022: İkinci vd. 2024).	17
Şekil 3.3. Bitki büyüme ve gelişme süreçlerinde SA' nın rolü	18
Şekil 3.4. Sürgün alımı, sterilizasyon ve transfer aşaması (A: Garnem sürgünü, B: Sürgün üzerindeki yaprakların kesilmesi, C: Sürgünlerin mikro çeliklere ayrılması, D: Tek gözlü mikro çelikler, E: Deterjanlı suda ön sterilizasyon işlemi, F: Mikro çeliklerin akan çeşme suyu altında durulanması, G: Mikro çeliklerin %70' lik etil alkol ile muamele edilmesi, H: Mikro çeliklerin %10'luk NaOCl ile muamele edilmesi, I: Mikro çeliklerin steril saf su ile durulanması İ: Mikro çeliklerin transfere hazır hale getirilmesi, J: Mikro çeliklerin sürgün ortamına transferi, K: Sürgün ortamında süren Garnem bitkiciği)(Orjinal)	20
Şekil 3.5. Garnem anacının kardeşlendirme ortamında çoğaltılması (Orjinal)	22
Şekil 4.1. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının hayatta kalma oranı üzerine etkisi	31
Şekil 4.2. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının köklenme oranı üzerine etkisi	32
Şekil 4.3. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının sürgün uzunluğu üzerine etkisi	33
Şekil 4.4. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisi	34
Şekil 4.5. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının kök sayısı üzerine etkisi	35
Şekil 4.6. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi	36
Şekil 4.7. NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi ve SNP uygulamalarının bitkiciklerin gelişimi üzerine etkisi (Orjinal)	37
Şekil 4.8. NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi ve SA uygulamalarının bitkiciklerin gelişimi üzerine etkisi (Orjinal)	38
Şekil 4.9. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının bitki yaş ağırlığı üzerine etkisi	39
Şekil 4.10. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi	40
Şekil 4.11. Bitki kuru ağırlığının belirlenmesi için etüvde kurutma işlemi (Orjinal)	40
Şekil 4.12. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının zararlanma indeksi üzerine etkisi	41
Şekil 4.13. Yüksek alkali stres koşullarında görsel zararlanma belirtileri (Orjinal)	42
Şekil 4.14. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkisi	43
Şekil 4.15. Membran geçirgenliğinin belirlenmesi (Orjinal)	43
Şekil 4.16. In vitro koşullarda NaHCO ₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının yaprak oransal su içeriği üzerine etkisi	44
Şekil 4.17. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)	44
Şekil 4.18. Klorofil miktarının belirlenmesi (Orjinal)	47
Şekil 4.19. Hidrojen peroksit içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)	50
Şekil 4.20. MDA içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	MS besi ortamı bileşenleri (Murashige ve Skoog, 1962)	21
Çizelge 3.2.	Farklı NaHCO ₃ , SNP ve SA' in konsantrasyonları ve uygulama grupları	23
Çizelge 4.1.	NaHCO ₃ stresi altında SNP ve SA uygulamalarının klorofil miktarına etkisi	46
Çizelge 4.2.	NaHCO ₃ stresi altında SNP ve SA uygulamalarının MDA ve H ₂ O ₂ parametrelerine	49

SİMGELER

%: Yüzde

C: Santigrat derece

g : Gram

KISALTMALAR

BAP : 6-Benzylaminopurine

GA3 : Giberellik asit

H₂O₂ : Hidrojen peroksit

IBA : Indol-3-Butirik Asit

MDA : Malondialdehit

NaHCO₃ : Sodyumbikarbonat

NaOCl : Sodyum hipoklorit

NO : Nitrik Oksit

PPM. : Plant Preservative Mixture

SA : Salisilik asit

SNP : Sodyum nitro prussid

TuA : Turgor Ağırlığı

YOSİ : Yaprak oransal su içeriği

1. GİRİŞ

Türkiye coğrafik konumu itibariyle dünyada meyvecilik bakımından önemli bir yere sahiptir. Meyvecilik, tarımın önemli bir alt sektörüdür. Yetiştiricilik, hasat, depolama ve pazarlama aşamaları ile ülke ekonomisine büyük katkısının yanında istihdam sunmaktadır. Ayrıca birçok sektöre hammadde sağlamaktadır. Türkiye iklim ve toprak verimliliği sayesinde birçok meyve türünün anavatanı olup meyve yetiştiriciliğinde dünyada önemli bir konumdadır. (Çetinkaya vd., 2022; Duru vd., 2022; Bayav, 2023).

Modern bahçe tesisinde anaç seçimi en önemli kararlardan biridir. Bahçe tesisi yapılacak olan bölgenin toprak yapısı ve iklim koşulları anaç seçiminde dikkate alınan en temel kriterlerdir. Anacın bitkinin büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. Anaç, bitkinin verimliliğini, çevresel faktörlere dayanıklılığını ve ürün kalitesi arttırmada önemli rol oynamaktadır. Farklı toprak yapısına sahip bölgelerde bitkilerin uyumlu bir şekilde gelişimi sağlamaktadır. Toprak kaynaklı hastalık ve zararlılara karşı bitkiye direnç kazandırmaktadır. Üzerine aşıllı olan çeşidin verim ve kalitesinde artış sağlamaktadır. Çeşidin erken veya geç dönemde uyanmasının yanında bitkinin büyüme hızını da kontrol altına alabilmektedir (Gregory vd., 2013; Roberto vd., 2022).

Anaçlar çöğür ve klon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çöğür anaçlar tohumla çoğaltıldığından genetik açılım meydana gelmektedir ve istenilen özellikte anacın elde edilmesi zorlaşmaktadır. Çöğür anaçları daha çok ıslah çalışmalarında tercih edilmektedir. Meyvecilikte ise klonal anaçlar tercih edilmektedir. Bu anaçlar çelik, aşı ve doku kültürü yöntemleri gibi vejetatif yöntemler ile çoğaltılmakta ve ana bitki ile aynı özelliklere sahip bitki elde edilmektedir (Nimbolkar vd., 2016; Bolat ve İkinci, 2019; Sharma vd., 2020; Ak vd., 2021a).

Çelik ve aşı ile çoğaltma yöntemleri tohumla üretim yöntemine göre hızlı yöntemlerdir. Tohumla çoğaltılması zor olan bitkilerin bu yöntemler ile çoğaltılması mümkündür. Ticari olarak üretiminde, çok sayıda bitki elde etmede maliyet açısından verimli yöntemlerdir. Ancak bu yöntemler ile hastalık ve zararlılar çoğaltılan bitkilere bulaşabilmektedir. Her bitki türü olumlu sonuç verememekte veya köklenme meydana gelmemektedir. Bu yöntemlerin çoğaltma katsayısı düşüktür (Baraz, 2002; Ray ve Ali, 2017).

Vejetatif çoğaltma yöntemlerinden doku kültürü çoğaltma teknikleri aseptik

ve kontrollü koşullarda katı ve sıvı besi ortamlarının kullanılarak, bitkinin hücre, doku ve organlarından bitki elde edilmesi ve çoğaltılması yöntemidir (Candra vd., 2010). Bitki doku kültürü yöntemlerinden mikroçoğaltım tekniğinin kullanılması ile küçük bir alanda kısa sürede çok sayıda üniform yapıda bitki eldesi, bitki genetiğinin korunması, hastalık ve zararlılardan arı bitkisel materyal sağlaması, vejetasyon süresine bağlı kalınmaksızın yıl boyu üretim yapılabilmesi ve nesli tükenmekte olan bitkilerin çoğaltılarak korunması gibi olanakları sağlaması nedeniyle diğer vejetatif çoğaltma yöntemlerinden daha çok tercih edilmektedir (Babaoğlu vd., 2002; Ak vd., 2018; Gupta vd., 2020, Şaşkın vd., 2022).

In vitro koşullarda doku kültürü yöntemlerinin kullanılması ile stres toleransının taranması, stres koşullarında fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerde meydana gelen değişiklerin açıklanmasında ve stres toleransının geliştirilmesi için kullanılmasında son derece etkili bir yoldur. Stres çalışmalarının büyük çoğunluğu saha şartlarında yapılmaktadır. Ancak çalışmaların bu şekilde yapılması fiziksel ve ekonomik açıdan zor olmasının yanında dış koşullar nedeniyle çeşitli riskler de çalışmaya zarar verebilmektedir. Bu nedenle *in vitro* koşullarda stres çalışmaları daha sınırlı bir alanda ve kontrollü koşullarda yapılmaktadır. Daha etkili ve dış koşullarda yapılan çalışmalara kıyasla ekonomik bir yöntemdir (Wijerathna-Yapa ve Hiti-Bandaralage, 2023).

Bitkilerde stres, büyüme ve gelişimi önemli derecede etkileyen çevresel faktörleri ifade etmektedir. Stres sonucunda kalıtsal genlerin değişmiş ifadesi, bitki hücrelerinin metabolizması, büyüme ve gelişme oranlarındaki dalgalanmalar ve ürün verimleri gibi çok çeşitli bitki tepkilerini tetiklemektedir. Bitkileri biyotik ve abiyotik olmak üzere iki türlü stres etkilemektedir. Bitkilerde biyotik stres; virüs, mantar, böcek, nematod, bakteri ve yabancı otlar gibi canlı organizmalar tarafından meydana gelmektedir. Bu canlı organizmalar konak bitkilerin bünyelerinde bulunan büyüme faktörlerini ve besin maddelerini kullanmasını engelleyerek bitkilerin zamanla ölümüne neden olmaktadır. Bu stres faktörü hasat öncesi ve sonrası dönemlerde ciddi kayıplara neden olmaktadır. Abiyotik stres bitkinin mevcut metabolizmasını, büyüme ve gelişimi etkileyen cansız faktörlerdir. Abiyotik strese aşırı sıcak ve soğuk, tuzluluk- alkalilik, kuraklık, besin elementi eksikliği veya fazlalığında meydana gelen toksisite neden olmaktadır. Bu faktörler bitkilerin büyüme ve gelişmesinin yanında ürün verimini de olumsuz etkilemektedir (Dresselhaus ve Hückelhoven, 2018; Sharma vd., 2019; Dey ve Raichaudhuri, 2022; Zhang vd., 2023; Chaffai vd., 2024; Bartas, 2024).

Küresel iklim değişikliği nedeniyle toprak tuzluluğu ve alkaliliği tarımsal üretimdeki bitki yetiştiriciliğinde ciddi sorunlar meydana getirmektedir. Tuzluluk stresi koşullarında toprak yüzeyinde veya alt katmanlarda yüksek miktarda çözünmüş tuz birikmektedir. Topraktaki tuz içeriği ve pH değerine göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar hafif (tuz içeriği < 3 ‰, pH = 7.1–8.5), orta (tuz içeriği = 3–6 ‰, pH = 8.5–9.5) ve şiddetli (tuz içeriği > 6 ‰, pH > 9.5) olarak sınıflandırılmaktadır (Oster vd.,1999). Tuz stresine NaCl, Na₂SO₄ ve diğer nötr tuzlar neden olmaktadır. Bu koşullarda sodyum iyonları kanal ve taşıyıcı proteinler aracılığıyla doğrudan hücreye girmekte ve bitkide iyon toksisitesine neden olmaktadır. Hücre dışında yüksek iyon konsantrasyonu osmotik potansiyeli azaltarak su moleküllerini hücre dışına çekmektedir. Bu durumda bitkilerin su alımı zorlaşmakta ve bitkide aynı zamanda fizyolojik kuraklık meydana getirmektedir. Bu durum bitkilerin büyümesini engellemektedir. Alkali stres ise NaHCO₃ ve Na₂CO₃ tarafından oluşmaktadır. Bunlar tuz stresine ek olarak toprağın pH değerini de yükseltmektedir. Alkali stres toprağın pH değerinin 7.5' in üzerinde olması durumu olarak açıklanmaktadır. Bu stresin bitkiler üzerindeki semptomları, bitkilerin solması ve susuz kalan yaprakların sararmasıdır. Bu stres şartlarında bitkiler tuz stresinin yanında yüksek pH' ya da maruz kalması ile iyon toksisitesi ve osmotik stres meydana gelmektedir. Yüksek pH düzeyi, hücre içi pH dengesini önemli ölçüde bozarak hücre zarının bütünlüğünü olumsuz etkilemekte ve hücresel düzeyde hasara yol açmaktadır. Tuzlu- alkali koşullarda bitkinin büyüme ve gelişiminde, fizyolojik ve biyokimyasal metabolizmasında çok ciddi ölçüde hasar meydana gelmektedir. Bitkilerin kök canlılığını azaltmanın yanında fotosentez hızını, stoma iletkenliğini, terleme hızını ve fotosentetik pigmentleri de azaltmaktadır. Yüksek pH seviyelerinde bitki besin elementleri arasındaki antagonistik etkiden dolayı besin maddesi alımı zorlaşmakta, biyokütle, ürün verimi ve kalitesi olumsuz etkilenmektedir. (Zhang vd., 2017; Kaiwen vd., 2020; Fang vd., 2021; Liu vd., 2022; Sharma vd., 2024; Pérez-Labrada vd., 2024).

Abiyotik ve biyotik stres koşullarında bitkilerin performanslarını iyileştirmek amacıyla çeşitli iyileştirici ajanlar kullanılmaktadır. Bu ajanlar stres altındaki bitkilerin büyüme ve gelişimindeki olumsuz etkileri hafifleterek bitkilerin daha iyi büyümesini sağlamaktadır. Bu iyileştirici ajanlardan sodyum nitroprussid ve salisilik asit abiyotik stres koşullarında bitkilerin hayatta kalmasını ve büyümesini teşvik etmektedir. Bitkinin antioksidan savunma mekanizmasını aktive ederek oksidatif hasarın meydana getirdiği etkileri hafifletmektedir (Kaur vd., 2022; Zhang vd., 2024).

Bu iyileştirici ajanlardan sodyum nitroprussid ve salisilik asit *in vitro* koşullarda abiyotik stres faktörlerine karşı yaygın olarak kullanılan ve stresin meydana getirdiği olumsuz etkileri iyileştiren moleküllerdir (Khan vd., 2015; Hajihashemi vd., 2022).

Sodyum nitroprussid bir nitrik oksit donörüdür. Bitki büyüme ve gelişimini olumlu etkilediğinden *in vitro* koşullarda doku kültürü çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. *In vitro* koşullarda besi ortamına eklenen SNP, sürgün ve kök oluşumunu teşvik etmektedir. (Sundararajan vd., 2022). Biyotik ve abiyotik stres şartlarında bitkinin toleransını attırmaktadır. Tohum çimlenmesi, bitki gelişimi, fotosentez ve stoma hareketleri gibi bitki gelişim süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Jabeen vd., 2021; Ullah vd., 2024).

Salisilik asit yedi karbonlu yapısıyla bitkilerde endojen olarak bulunmaktadır. Bitkilerde sinyal görevi gören küçük moleküllü bir fenolik bileşiktir. Bitkilerin antioksidan savunma mekanizmasını, azot metabolizmasını, fotosentez ve su stresi süreçlerini düzenleyerek iyon birikiminin yol açacağı toksisiteyi önlemesinin yanı sıra hücre ölümünden de korumaktadır (Yang vd., 2023). Bitkinin büyüme ve gelişmesinin yanında biyotik ve abiyotik stres koşullarında bitkinin tepkileri düzenlemektedir (Miura ve Tada, 2014).

Bu çalışma, *in vitro* koşullarda Garnem anacının sodyum bikarbonat (NaHCO_3) kaynaklı alkali stres koşullarında sodyum nitroprussid ve salisilik asit uygulamalarının stresin meydana getirdiği hasarın iyileştirmesindeki rolünün belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ghadakchiasl vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda tuzluluk stresine maruz bırakılan ahududunda sodyum nitroprussid uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Çalışmada sürgün ucu eksplantları 1 mg L⁻¹ BA, 0.2 mg L⁻¹ IBA, SNP (0,50 ve 100 µM) ve sodyum klorür (0, 50 ve 100 µM) bulunan MS besi ortamına transfer edilmiştir. Tuzluluk stresi altında SNP' nin ahududunun morfo-fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri incelendiğinde, SNP uygulamalarının prolin ve çözünür şekerlerin birikimini arttırması ve aktioksidan enzimleri aktive etmesi ile tuzluluk stresinin meydana getireceği hasarı iyileştirmiştir. Ayrıca SNP stres altındaki bitkilerin canlılığını arttırmış, morfolojik ve fizyolojik parametreleri iyileştirmiştir.

Chavoushi vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, aspir yetiştiriciliğinde önemli bir sorun olan kuraklık stresinin etkilerini azaltmak amacıyla 23 günlük bitkiler farklı tarla kapasitesi hacimlerinde (%25 ve %100), salisilik asit (0 ve 250 µM) ve sodyum nitroprussid (0 ve 25 µM) içeren ve içermeyen çözeltilerle sulanmıştır. Çalışmada morfolojik, bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler incelenmiştir. Salisilik asit, artan ozmolit üretimi ve prolin gibi enzimatik olmayan temizleyiciler ile birlikte enzimatik olmayan savunma sisteminin hızlı aktivasyonuna neden olmuştur. Sodyum nitroprussid uygulaması, enzimatik savunma sistemini daha fazla aktive etmiş, süperoksit dismutazı ve Fe ve Cu-süperoksit dismutazın iki alt biriminin katalaz aktiviteleri ve gen ekspresyonu teşvik etmiştir.

Jafari ve Shahsavar, (2022) tarafından yapılan çalışmada, Meksika lime'nda vejetatif ve üreme dönemlerinde önemli bir sorun olan kuraklık stresi koşullarında SNP' nin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. *In vitro* koşullarda MS besi ortamında kuraklık stresi oluşturmak için 4 farklı dozda polietilen glikol (0, 1, 2 ve %3) kullanılmıştır. Kuraklık stresinin etkilerinin hafifletilmesi amacıyla besi ortamlarına (0, 25, 50 ve 100 µM) SNP dozları eklenmiştir. Çalışma sonucunda, kuraklık stresinin sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, yaprak sayısı, yaş ve kuru ağırlıkta azalmaya neden olmuştur. Büyüme parametrelerinin en yüksek değerleri stres olmayan 25 µM SNP uygulamasında, en düşük değerler ise SNP olmadan %3 kuraklık stresinde (- 0,3 MPa su potansiyeli) meydana gelmiştir. Ayrıca stres koşullarını 25 µM SNP konsantrasyonu iyileştirmiştir. SNP uygulamasının antioksidan enzim aktivitelerini artırarak ve oksidatif hasarı azaltarak Meksika lime'nın kuraklık stres toleransını iyileştirdiği bildirilmiştir.

Pradhan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda *Stevia rebaudiana* Bertoni bitkisinin 4 farklı konsantrasyonda (0, 5, 10 ve %15) polietilen glikol tarafından indüklenen bitkilerin çoğaltılması, ayrıca kuraklık stresi şartlarında SNP (50, 100, 250 ve 500 μ M) ve putresin (0.05, 0.1, 0.3 ve 0.5 mM) uygulamalarının hafifletici etkisi incelenmiştir. PEG ile oluşturulan kuraklık stresi koşullarında sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, yaprak sayısı, kök sayısı, kök uzunluğu ve hayatta kalma oranı önemli derecede düşmüştür. SNP ve putresin uygulamalarının tek başına kuraklık stresinin meydana getirdiği olumsuz etkileri hafiflettiği bildirilmiştir. Ancak SNP ve putresinin kombinasyon halinde uygulanması morfolojik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Karthik vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullara PUSA 9712 soya fasulyesi çeşidinde tuzluluk stresi varlığında ve yokluğunda SNP' nin organogenez ve rejenerasyon üzerindeki etkisini incelemek ve tarla düzeyinde tuzluluk stresine karşı toleransını belirlenmesi amaçlanmıştır. Eksplant kaynağı olarak soya fasulyesinin yarım tohum eksplantları ve SNP' nin 5 farklı (0, 25, 50, 75 ve 100 μ M) konsantrasyonu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda SNP uygulamasının rejenerasyonunu ve gelişme hızını arttırdığı bildirilmiştir. 30 μ M SNP sürgün ve kök oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca tuzluluk stresi koşullarında 50 μ M SNP' nin soya fasulyesi dokularının esmerleşmesini, kurumasını azalttığını ve bitki canlılığını arttırdığı saptanmıştır.

Sarropoulou vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, CAB-6P, Gisela 6 ve MxM 14 kiraz anaçlarının yaprak eksplantlarından, *in vitro* koşullarda SNP uygulamasıyla bitki rejenerasyonu sağlanması amaçlanmıştır. Yaprak eksplantları 17,6 μ M BA, 2,68 μ M NAA ve 5 farklı konsantrasyonda SNP (0, 10, 20, 30, 40 ve 50 μ M) içeren MS besisi ortamına transfer edilmiştir. Çalışma sonucunda üç kiraz anacı da farklı genotipleri nedeniyle SNP konsantrasyonlarına farklı tepkiler verdiği bildirilmiştir. Ancak SNP' nin *in vitro* koşullarda kallus indüksiyonu, sürgün farklılaşması ve köklenmesi üzerinde doğrudan etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. SNP, CAB-6P ve MxM 14 anaçlarında sürgün çoğalmasını desteklerken, Gisela 6 anacında sürgün indüksiyo hızını arttırdığı bildirilmiştir. SNP, CAB-6P ve MxM 14 anaçlarında sürgün uzunluğunu uyarırken, Gisela 6 anacında inhibe etmiştir. Köklenme aşamasında SNP' nin üç kiraz anacında da kök büyümesini teşvik ettiği bildirilmiştir. 50 μ M SNP uygulaması CAB-6P anacında *in vitro* koşullarda köklenme üzerinde BA ve NAA' nın olumlu etkilerini teşvik ederek sinerjistik bir etki gösterdiği, aynı durumun MxM 14 anacında 30 ve 40 μ M SNP konsantrasyonları

ile elde edildiği bildirilmiştir.

Han vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda SNP uygulamasının *Malus hupehensis* Rehd. var. *pinyiensis* Jiang'ın doku kültüründe çoğaltılması, rejenerasyonu ve köklenmesi incelenmiştir. Bazal çoğaltma aşamasında 2.0 µM BA ve 1.0 µM ZT içeren MS besi ortamına transfer edilmiştir. Alt kültürden sonra bitkicikler 6 farklı SNP konsantrasyonunu (0, 5, 20, 30, 40 ve 60 µM) içeren çoğaltma ortamına transfer edilmiştir. Çalışmada 2,0 µM BA ve 1,0 µM ZT içeren MS ortamına 20 µM SNP uygulamasının bitkiciklerin çoğalmasını teşvik ettiği bildirilmiştir. Köklenme aşamasında oksin ve SNP içermeyen besi ortamlarında köklenmenin meydana gelmediği bildirilmiştir. Köklenme ortamında 5 farklı SNP konsantrasyonu (0, 25, 50, 75 ve 100 µM) kullanılmıştır. Köklenme yüzdesi SNP konsantrasyonunun 0' dan 75 µM'a artmasıyla artmıştır. .

Sundararajan vd. (2022a) tarafından yapılan çalışmada, domates bitkisinde kuraklık stresinin etkisini hafifletmek amacıyla farklı kombinasyonlarda değişen SNP (100, 150 ve 200 µM) ve putresin (0,1, 0,3 ve 0,5 mM) konsantrasyonları incelenmiştir. Tohumlara ilk olarak 1 dakika boyunca %70 etanol ardından 4 dakika boyunca cıva klorür (%0,1) ile yüzey sterilizasyonu yapılmış, daha sonra steril saf su ile 3 kez her biri 5 dakika durulanmıştır. Tohumlar filtre kağıtları ile kaplanmış petri plakalarına yerleştirilerek eşit hacimde (5 mL) farklı PEG konsantrasyonları (%1, 2, 5, 10 ve 15) eklenmiştir. Çalışma sonucunda kombinasyon halinde uygulanan SNP ve putresinin çimlenme, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve bitki yaş ağırlığı gibi bitkinin büyüme parametrelerini arttırdığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda SNP ve putresinin ekzojen uygulamalarının domates bitkisindeki kuraklık stresinin meydana getirdiği olumsuz etkileri hafifletmede etkili olduğu bildirilmiştir.

Altıncı vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklık stresi altında bir yaşlı Narince üzüm fidanlarına uygulanan SA'nın etkileri incelenmiştir. Fidanlar 40°C'de 12 saat inkübe edilerek yüksek sıcaklık stresine maruz bırakılmıştır. 4 farklı konsantrasyonda (0, 50 mM, 100 mM, 150 µmol L⁻¹) uygulama yapılmıştır. Salisilik asit uygulamalarına birkaç damla Tween 20 eklenerek yapraklara püskürtülmüştür. Stres uygulamasından 21 gün sonra sürgün boyu (cm), yaş-kuru sürgün ve kök ağırlıkları (g) alındı. Salisilik asidin etkisini ortaya koymak için oransal su içeriği (%), iyon akışı (%) ve hücre zarı hasar oranı (%) hesaplandı. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklık stresine karşı uygulanan SA' nın, büyüme parametreleri üzerinde yüksek sıcaklık stresinin etkilerini azalttığı bildirilmiştir.

Ekinci vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda çoğaltılan Garnem bitkiciklerinin aklimatizasyon aşamasında bitkiciklere ekzojen olarak uygulanan SA, AsA, ve SNP' nin dış koşullara adaptasyonundaki etkileri incelenmiştir. SNP 100.0 μM ve 200.0 μM , AsA ve SA' nın ise 100.0 mg L^{-1} ve 200.0 mg L^{-1} konsantrasyonları bitkicikleri sprey şeklinde 50 gün boyunca 5 gün aralıklarla püskürtülmüştür. Çalışma sonucunda ekzojen olarak uygulanan iyileştirici ajanların etkileri incelendiğinde, bitkinin sürgün uzunluğu, yaprak sayısı ve gövde çapı gibi büyüme parametreleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu aynı zamanda aklimatizasyon aşamasında bitkilerin uyum sürecini hızlandığı bildirilmiştir.

Sajid ve Aftab, (2012) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda Cardinal ve Desiree patates çeşitlerinde tuz stresinin iyileştirilmesinde salisilik asidin etkileri incelenmiştir. *In vitro* koşullarda yetiştirilen iki aylık patates bitkileri 60 mM NaCl içeren ve içermeyen, ayrıca farklı konsantrasyonlarda (0.125, 0.25, 0.50 ve 0.75 mM) salisilik asit ile birlikte ve ayrı olarak transfer edilmiştir. Transfer edildikten 60 gün sonra büyüme parametreleri ve prolin içeriği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda tuz stresinden bitkinin büyüme parametrelerinin ve prolin içeriğinin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir. Aynı zamanda salisilik asidin her iki patates çeşidinde de büyümeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Tuz stresine karşı uygulanan düşük SA dozlarının (0.125 ve 0.25 mM) yüksek dozlara (0.50 ve 0.75 mM) göre tuzluluk stresinde daha olumlu sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Elazab ve Youssef, (2017) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda üç farklı muz çeşidinin tuz stresi altında SA uygulamalarına karşı tepkileri incelenmiştir. Optimum NaCl konsantrasyonunu belirlemek için 5 farklı konsantrasyonda (0, 30, 60, 120 ve 200 mM) NaCl denenmiştir. Optimum konsantrasyon 120 mM NaCl olarak belirlenmiştir. 120 mM NaCl içeren ortamda kültüre alına üç çeşidin vejetatif ve fizyolojik özelliklerinin belirlenmesinde, tuzlu ve tuzsuz besi ortamlarına 3 farklı konsantrasyonda salisilik asit (0, 0.5 ve 1 mM) eklenmiştir. Çalışma sonucunda NaCl uygulamasının tüm çeşitlerin vejetatif ve fizyolojik özelliklerinde önemli kayıplara neden olmuştur. Stresin zararlı etkilerinin iyileştirilmesinde kullanılan salisilik asit, tuzlu koşullarda çeşitlerin performansını artırmada ve protein sentezini iyileştirmede olumlu sonuçlar verdiği, ayrıca salisilik asit uygulamasının tuzluluğun neden olduğu kayıpları etkili bir şekilde azalttığı bildirilmiştir.

Mohammadi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, tuzluluk stresi altındaki 'Tuono' ve 'Sahand' badem çeşitlerinde SA uygulaması yapılarak stresin

meydana getirdiği olumsuz etkilerin hafifletilmesi amaçlanmıştır. 1 yıllık Garnem anacı mart ayında 25 kg'lık saksılara dikilmiştir. Dikimden altı ay sonra bitkiler yeterli büyüklüğe ulaştığında iki badem çeşidi de anaca aşılanmıştır. Üzerine aşıli olan çeşitleri 4 farklı (0, 2, 6 ve 8 dS m⁻¹) tuz stresine maruz bırakılmış ve 3 farklı dozda salisilik asit (0, 1 ve 2 mM) uygulanmıştır. Ozmotik şok meydana gelmemesi için besin solüsyonunun konsantrasyonu yapılan her uygulamada son tuzluluk seviyesine gelinceye kadar 1 dS m⁻¹ artırılmıştır. Tuzluluk uygulamalarından 60 gün sonra yapraklarda kloroz ve nekrozlar meydana gelmiştir. Çalışma sonucunda tuzluluk stresinin kökteki Na ve Cl içeriğini, prolin ve antioksidan enzim aktivitelerini önemde derecede arttırmıştır. Tuzluluk stresi altındaki badem çeşitlerine salisilik asit uygulaması morfolojik özellikleri iyileştirmiştir. Enzim aktivitelerini arttırarak tuzluluğun neden olduğu olumsuz etkileri iyileştirdiği bildirilmiştir.

del Pilar Cordovilla vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, tuzluluk stresi altındaki zeytin bitkilerinde stresin etkilerinin hafifletilmesi amacıyla çeşitli bitki büyüme düzenleyiciler kullanılmıştır. Köklendirilmiş çelikler büyüme odasında büyütülmüş ardından üç hafta boyunca haftada iki kez olmak üzere GA₃, IAA, SA ve Kn püskürtülmüştür. Bu işlemten sonra bitkiler altı hafta boyunca 100 mM ve 200 mM sodyum klorüre (NaCl) maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda bitki büyüme düzenleyiciler ile ön işleme tabi tutulan bitkilerin tuzlu koşullarda biyokütlelerinin önemli derece de arttığı bildirilmiştir. IAA ve SA köklerden yapraklara taşınan Na⁺ taşınmasını azaltmış ve K/Na⁺ oranını iyileştirmiştir. 100 ve 200 mM IAA ve SA uygulamaları NaCl' de prolin, fruktoz ve mannitol, 200 mM' de glikoz birikimini arttırdığı bildirilmiştir. Zeytin fidanlarında IAA ve SA ile ön işlem yapılmasının bitkilerin tuza toleransını arttırdığı bildirilmiştir.

Pileh vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, tuz stresi altında Sultana ve Yaghouti üzüm çeşitleri ile 140Ru ve 1103 P anaçlarına uygulanan SNP' nin etkileri incelenmiştir. Bir yıllık köklü çelikler 10 yapraklı seviyeye geldiğinde bitkilere ilk olarak 0, 25 ve 50 mM' lık sodyum klorür konsantrasyonları haftada iki kez uygulanmıştır. Sodyum klorürün meydana getireceği olumsuz etkileri hafifletmek amacıyla 0, 0.5 ve 1 mM' lık SNP püskürtülmüştür. Çalışma sonucunda büyüme özellikleri ve besin elementleri üzerine etkileri incelenmiştir. Tuzluluk yapraklardaki kalsiyum, potasyum, magnezyum ve demir konsantrasyonunu azaltmış, sodyum ve klor miktarını ve elektrolit sızıntısını arttırmıştır. SNP konsantrasyonunun artması ile birlikte yaprak alanı, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, yaprak, sürgün ve köklerin taze ve kuru ağırlıkları da arttığı bildirilmiştir. Uygulanan her iki SNP

konsantrasyonunun da tuzluluğun meydana getirdiği olumsuz etkileri hafiflettiği tespit edilmiştir.

Trifunović-Momčilov vd. (2023) tarafından *in vitro* koşullarda yapılan çalışmada, tuzluluk stresi altındaki kantaron bitkiciklerine uygulanan SNP'nin etkileri incelenmiştir. Kantaron bitkicikleri ön işlem aşamasında ilk olarak 50, 100 ve 250 μM eklenmiş besi ortamlarına transfer edilmiştir. Üç hafta sonra bitkicikler, 150 mM NaCl ve 50, 100 ve 250 μM SNP ile desteklenmiş besi ortamlarına transfer edilip bu ortamda bir hafta boyunca bekletilmiştir. Çalışma sonucunda fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerde azalmalar meydana gelmiştir. NaCl kaynaklı tuzluluk stresine karşı kullanılan SNP' nin kantaron bitkiciklerinde klorofil ve karotenoid içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca SNP uygulamasının tuzluluk stresinin meydana getirdiği olumsuz etkileri iyileştirdiği bildirilmiştir.

Eslami vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Antepfıstığına ekzojen L-arginin ve SNP uygulamalarının antepfıstığının verim, meyve ve çiçek tomurcukları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma 14 yaşındaki 'Badami- Riz' anacı üzerine aşılı 'Ahmad Aghaei' çeşidi kullanılarak yapılmıştır. L- arginin (0.5 ve 1 mM), SNP (50 ve 100 μM) ve bu uygulamaların kombinasyonları ekzojen olarak uygulanmıştır. Çalışma sonucunda L-arginin uygulamasının SNP uygulanan ağaçlara göre büyüme ve fizyolojik parametreler üzerinde daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Ekinci vd. (2024a) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda yetiştirilen aronya bitkiciklerine uygulanan SNP'nin bitkiciklerin büyümesinin teşvik edilmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. SNP uygulamaları köklenme aşamasında yapılmıştır. Bitkicikler içinde 1.5 mg L⁻¹ IBA, 4 farklı konsantrasyonda SNP (0, 100, 200 ve 300 μM) ve 5.5 g L⁻¹ agar bulunan köklendirme ortamına transfer edilmiştir. Transferden 60 gün sonra çalışma sonlandırılmıştır. Çalışmada bitkiciklerin hayatta kalma oranı, köklenme oranı, kök sayısı, kök uzunluğu, yaprak sayısı, sürgün uzunluğu, bitki taze ve kuru ağırlığı parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda uygulanan SNP uygulamasının vejetatif gelişimi olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Uygulanan 100 ve 200 μM SNP konsantrasyonları vejetatif gelişim üzerinde olumlu sonuçlar verdiği, ayrıca SNP konsantrasyonunun artması ile toksik etki meydana getirdiği bildirilmiştir.

Farouk ve Arafa, (2018) tarafından yapılan çalışmada, tuzluluk stresi altındaki kanola bitkisinin büyüme, verim, fizyolojik ve anatomik özelliklerinin hafifletilmesinde SNP uygulamasının etkileri incelenmiştir. Tohumlar 1 dakika

boyunca 0.001 HgCl₂ bekletilmiş, ardından birkaç kez saf su ile yıkanarak yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Sera koşullarında yetiştirilen kanola bitkileri 100 mM NaCl' ye maruz bırakılmıştır. Ekimden 50 ve 70 gün sonra normal ve tuzluluk koşullarındaki bitkilere 50 ve 100 mM SNP püskürtülmüştür. Çalışma sonucunda tuzluluk stresinin büyüme özelliklerini ve verimi önemli derece düşürdüğü tespit edilmiştir. Ekzojen 50 ve 100 µM SNP uygulamaları normal koşullarda fotosentetik pigment konsantrasyonunu arttırmıştır. Tuz uygulamalarına karşı uygulanan SNP'nin kontrole göre fotosentetik pigment konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir. 50 µM SNP uygulamasının, tuzluluğun verim ve bileşenleri üzerindeki olumsuz etkilerini hafiflettiği bildirilmiştir.

Jabeen vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, tuzluluk stresi altındaki soya fasulyesinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinde SNP uygulamalarının etkileri değerlendirilmiştir. Tohumlar %3'lük sodyum hipoklorit çözeltisinde 10 dakika boyunca muamele edilmiş ve 3 defa saf su ile yıkanarak yüzey sterilizasyonu tamamlanmıştır. Tohumlar sterilizasyon işleminden sonra çimlendirme tablalarına ekilmiştir. Tek tip fideler çimlenmeden 7 gün sonra çimlendirme tablalarında pH' sı 5.5-6 olan yarı kuvvetteki hidroponik besin solüsyonuna aktarılmıştır. 1 hafta sonra tam kuvvetli besin çözeltisi uygulanmıştır. Besin solüsyonu 1 ay boyunca her hafta yenilenmiştir. 4 haftalık fidelere 4 farklı uygulama (0 mM NaCl + 0 µM SNP, 100 mM NaCl + 10 µM SNP, 10 µM SNP, 100 mM NaCl) yapılmıştır. Uygulamada dört hafta sonara morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda tuzluluk stresi kök, sürgün ve tüm bitki biyokütlesi gibi morfolojik parametrelerde önemli bir düşüşe neden olmuştur. Tuzluluk stresi altındaki soya fasulyesinin fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Tuzluluk stresi hücre zarı bütünlüğünü olumsuz etkileyerek zar hasarında artış meydana getirmiştir. Tuzluluk stresinin kloroplast yapısını etkilemesi ve klorofil içeriğini azaltması ile fotosentezin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca kökler ve yapraklarda daha yüksek MDA içeriği birikmiş ve bu nedenle elektrolit sızıntısı artmıştır. Ekzojen SNP uygulamalarının bu özellikleri iyileştirdiği bildirilmiştir.

Moazam Babasheikhali vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, gülde alkali stres koşullarında yapraktan uygulanan salisilik asit ve sodyum nitroprussid uygulamalarının bitkinin vejetatif büyümesi ve besin alımının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Köklendirilmiş gül çelikleri saksılara dikildikten bir ay sonra toprağın pH değeri 8' e ulaşana kadar sulama suyuyla birlikte 100 mM NaHCO₃ uygulaması yapılmıştır. NaHCO₃' ün etkilerinin hafifletilmesinde 5 farklı (0, 0,25, 0,5, 1 ve 2

mM) salisilik asit ve 4 farklı (0, 0,5, 1 ve 2 mM) sodyum nitroprussid konsantrasyonu 10 hafta boyunca yapraktan sprey şeklinde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda alkali stres şartlarında yapraktan uygulanan salisilik asit ve sodyum nitroprussidin stres koşullarını iyileştirmede etkin rol oynadığı bildirilmiştir. Salisilik asidin 0,5 mM konsantrasyonu yaprak ve gövdenin taze ve kuru ağırlığını arttırmıştır. Ayrıca bu konsantrasyondaki uygulamada yaprakların P ve Zn içeriğini artarken ve kökler de ise Zn, Cu ve K içeriğinin arttığı bildirilmiştir. 2 mM salisilik asit konsantrasyonu yapraklarda Ca ve Mn içeriğini arttırdığı, köklerde Na içeriğini azalttığı bildirilmiştir. SNP uygulamalarından 1 mM konsantrasyonu büyüme parametrelerini arttırmış, bunun yanında yapraklardaki P, Ca, Mn ve Fe içeriğini, köklerde ise Cu, Ca ve K içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. 2 mM SNP konsantrasyonunun ise köklerdeki Na içeriğini azalttığı bildirilmiştir.

Gong vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, domates bitkilerinde nitrik oksit ve poliaminlerin kullanılması ile alkali stresin olumsuz etkilerinin hafifletilmesi amaçlanmıştır. Domates fidelerine 0 ve 75 mM NaHCO₃ ayrı ayrı uygulanmıştır. Stresin olumsuz etkilerinin hafifletilmesi için 0.1 mM SNP, 0.4 mM S-nitrosoglutasyon, 0.25 Spm, NO'un spesifik temizleyicisi olarak 1 mM cPTIO ve poliamin biyosentezi için spesifik bir inhibitör olarak ise 1 mM MGBG kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 75 mM NaHCO₃' e maruz kalan bitkilerin kuru ağırlıkları, su içerikleri, klorofil içerikleri, fotosentez hızı, stoma iletkenliği ve terleme hızının azaldığı, ancak hücreler arası CO₂ konsantrasyonunu ve MDA birikiminin arttığı bildirilmiştir. Alkali stres altındaki bitkilere NO ve Spm uygulanması bu büyüme parametrelerini önemli düzeyde iyileştirdiği tespit edilmiştir. NO ve Spm uygulamalarının Na⁺ birikimini azaltarak savunma yolundan sorumlu gen ifadesini aktive etmesi, antioksidan enzim aktivitesini ve K⁺ alımını iyileştirmesi ile domates bitkilerinde büyüme ve fotosentez üzerindeki sodyum alkali stresinin neden olduğu olumsuz etkileri hafiflettiği bildirilmiştir.

Xu vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, kavunda nitrik oksit ve γ -aminobütirik (GABA) asit uygulamalarının tuzluluk-alkalilik stres toleransına etkileri incelenmiştir. Fidelerde dördüncü gerçek yaprak meydana geldiğinde uygulama yapılmıştır. Tuzluluk- alkalilik koşullarının oluşturulmasında 75 mM NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, Na₂CO₃ kullanılmış ve 24 saat boyunca muhafaza edilmiştir. Kontrol ve uygulama yapılan bitkilerdeki NO seviyelerinin ölçülmesi için dördüncü gerçek yapraklar 0, 3, 6, 9, 12 ve 24. saatlerde hasat edilmiştir. Stresin meydana getirdiği hasarı azaltmak için ön işlem olarak 50 mM GABA ve nitrik oksitin etkilerini araştırmak için 200 μ M sodyum nitroprussid 8 saat

püskürtülmüştür. Çalışma sonucunda GABA' nın ekzojen uygulanması nitrik oksit sentaz ve nitrat redüktaz aktivitelerini teşvik ederek stres altındaki kavun bitkisinde nitrik oksit düzeyini arttırdığı bildirilmiştir. Bitki büyümesinin inhibe eden tuzluluk ve alkalilik stresine karşı uygulanan GABA ve SNP'nin inhibisyonu azalttığı tespit edilmiştir.

Babasheikhali vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, alkali stres altındaki gül bitkisine ekzojen olarak uygulanan salisilik asit ve sodyum nitroprussidin bazı büyüme özellikleri ve fizyolojik parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gül çelikleri, köklenmesi için 2 ay boyunca kum yatağına dikilmiştir. İyi köklenen çelikler saksılara aktarılmış ve 1 ay bu şekilde tamamen gelişmesi beklenmiştir. Bu sürenin ardından 50 cm yüksekliğe kadar budama işlemi yapılmıştır. Saksılardaki toprak 3:1 v/v oranında bahçe toprağı ve kumdan oluşmuştur. Alkali toprağı elde etmek için pH değeri 8 olana kadar toprağı sodyum bikarbonat uygulanmıştır. Çalışmada 4 farklı SNP (0, 0.5, 1 ve 2 mM) konsantrasyonu ve 5 farklı (0, 0.25, 0.5, 1 ve 2 mM) salisilik asit konsantrasyonu kullanılmıştır. Salisilik asit ve sodyum nitroprussid 10 hafta boyunca yaprak spreyi olarak uygulanmıştır. Çalışma sonucunda antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde 2 mM salisilik asit ve 0.5, 1 ve 2 mM SNP uygulamaları olumlu sonuçlar vererek artış sağlamıştır. Salisilik asit ve SNP uygulamalarının alkali stresin etkilerini hafiflettiği ve büyüme özelliklerini olumlu yönde arttırdığı tespit edilmiştir. Prolin içeriğı üzerinde SNP' nin önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Yapılan uygulamalar arasında 1 ve 2 mM konsantrasyonlarının katalaz aktivitesinde, elektrolit sızıntısında ve MDA içeriğinde sinerjistik etki gösterdiği bildirilmiştir.

Dong vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, yer fıstığı fidelerinin büyümesinde ekzojen olarak uygulanan salisilik asit ve sodyum nitroprussidin Fe kaynaklı klorozun hafifletilmesindeki etkileri incelenmiştir. Tohumlar ilk olarak %5 H₂O₂ ile 30 dakika boyunca muamele edilmiş ve deiyonize su ile yıkarak yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Daha sonra tohumlar nemli filtre kağıtları üzerinde 25°C'de karanlık bir ortamda 2 gün boyunca çimlendirilmiştir. Çimlenme sonucunda homojen yapıda fideler 3 gün boyunca yarı doz Hoagland besin çözeltisine aktarılmıştır. Ardından çözelti tam doz olarak değiştirilmiştir. Bitkiler üzerindeki üçüncü yapraklar tamamen geliştiğinde fideler büyüme ortamına aktarılmış ve uygulamalara başlanmıştır. Hoagland besin çözeltisine EDTA-Fe yerine 0.1 mM demir sülfat eklendiğinde bitkiler demir eksikliği belirtileri göstermiştir. Uygulamalar hidroponik sistemde yapılmıştır. Çalışma, 0.1 mM EDTA-Fe içeren Hoagland çözeltisi, 0.1 mM FeSO (-Fe), 0.1 mM FeSO₄ +0.1 mM SA, 0.1 mM

$\text{FeSO}_4 + 0,25 \text{ mM SNP}$, $0,1 \text{ mM FeSO}_4 + 0,1 \text{ mM SA} + 0,25 \text{ mM SNP}$ ve $0,1 \text{ mM FeSO}_4 + 0,05 \text{ mM SA} + 0,125 \text{ mM SNP}$ olmak üzere 6 uygulamadan oluşmaktadır. Çalışma sonucunda demir eksikliğinin yer fıstığı fidelerinin sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, kök hacmini, kuru ağırlığını ve kök/ sürgün oranını önemli derecede azalttığı bildirilmiştir. Yapılan SA ve SNP uygulamalarından 1/2 SA+SNP uygulamalarının demir eksikliğinin etkilerini hafiflettiği ve ayrı ayrı uygulanan SA ve SNP uygulamalarından daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Gao vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, hıyarda NaHCO_3 kaynaklı oksidatif strese karşı uygulanan SNP' nin etkileri incelenmiştir. Tohumlar karanlıkta 28°C ' de 2 gün boyunca nemli filtre kağıdı üzerinde çimlendirilmiştir. Çimlenen fideler büyütme odasında 8 gün boyunca büyütülmüştür. Daha sonra 5 litrelik siyah plastik kaplara aktarılmıştır. Çalışmada fidelere kontrol grubu haricinde 30 mM NaHCO_3 , $30 \text{ mM NaHCO}_3 + 100 \mu\text{M SNP}$, $30 \text{ mM NaHCO}_3 + 100 \mu\text{M}$ potasyum ferrosiyandır olmak üzere üç uygulama yapılmıştır. Çalışma ekzojen uygulanan SNP' nin, NaHCO_3 ' e maruz kalan hıyar bitkileri iyileştirdiği, ayrıca klorozu etkili bir şekilde tersine çevirdiği bildirilmiştir. Çalışma sonucunda SNP uygulamasının NaHCO_3 kaynaklı alkali stresin meydana getirdiği olumsuz etkileri hafiflettiği bildirilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait bitki doku kültürü laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada bitkisel materyal olarak Garnem anacı kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Garnem anacı: Garnem anacı, dişi ebeveyn donörü olarak İspanyol bademi Garfi [*Prunus amygdalus* Batsch, syn. *Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb] ile erkek ebeveyn donörü Kuzey Amerika şeftalisi olan Nemared' in [*Prunus persica* (L.) Batsch] melezlenmesi ile elde edilen klon bir anaçtır. Kuvvetli bir anaç olan Garnem anacı fidanlıkta çok iyi gelişme göstermektedir. İlk büyüme yıllarında tüylülük göstermeyip çok az dikine büyüme sergilemektedir. Bu anacın yaprakları mızrak şeklinde olup kırmızı renktedir. Aktif dönemde gelişen sürgünler yoğun kırmızı morumsu renktedir. Büyüme dönemi boyunca yapraklar olgunlaştıkça kahverengimsi yeşilden yeşile dönmektedir. Anacın çiçekleri büyük ve soluk pembe taç yapraklara sahiptir. Garnem anacı tüm badem, şeftali ve nektarin çeşitleriyle tam bir aşı uyumu sağlamaktadır. Bu anaçta aşırı sürgün gelişimini kontrol altına almak ve meyve iriliği ile kalite üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek için yaz budamasının yapılması gerekmektedir. *Prunus* türlerinde etkili olan kök ur nematodlarına (*M. arenaria*, *M. hispanica*, *M. incognita* ve *M. javanica*) karşı dayanıklıdır. Ayrıca bu anaç *in vitro* koşullarda çok iyi bir şekilde çoğalmaktadır. Demir klorozuna dayanıklıdır. Sulanan ve drenajı iyi olan fakir topraklarda da iyi bir uyum göstermektedir. Kurak koşullara toleranslıdır. Bu anaç kök lezyon nematodu *Pratylenchus vulnus*' a karşı duyarlılık göstermektedir. Su basmasından kaynaklanan su asfeksisine direnci düşüktür. Garnem anacı aşırı kirece dayanıklılık bakımından GF-677 anacına kıyasla daha düşük bir dirence sahiptir (Felipe, 2009; İpek, 2015; Ak vd., 2023; Ak ve Yaman, 2024; Ekinci vd., 2024).



Şekil 3.1. Garnem anacı ve sürgünü (Orjinal)

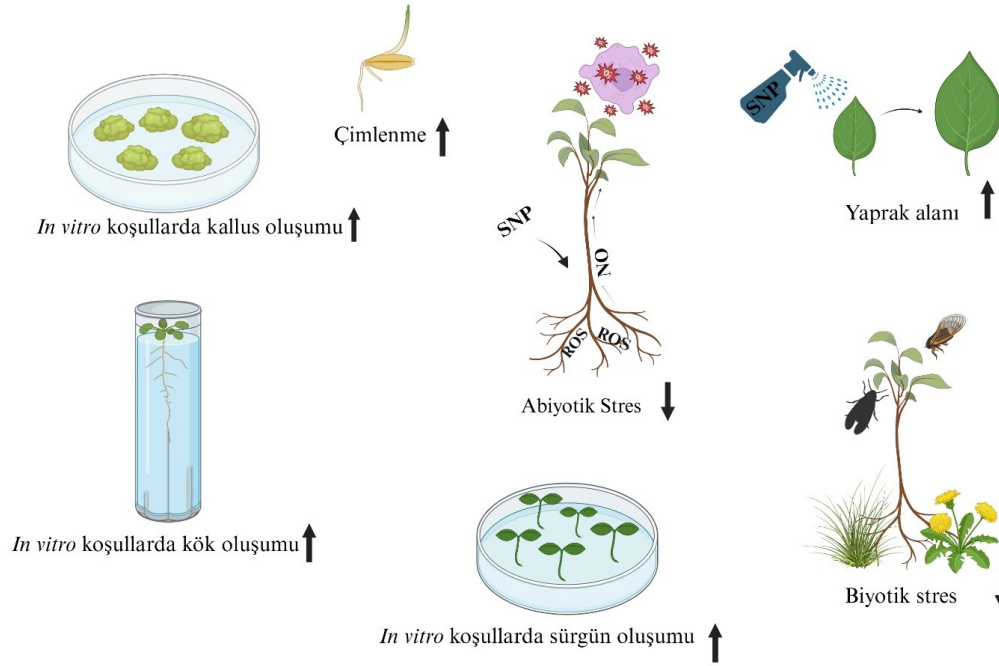
3.1. Sodyum Bikarbonat

Kimyasal formülü NaHCO_3 olan sodyum bikarbonat, toprakta fazla miktarda bulunan sodyum (Na) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonlarının varlığıyla meydana gelmektedir. Sodyum bikarbonatın toprakta birikmesi pH seviyesini arttırarak toprağın alkali hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bu topraklara alkali topraklar denilmektedir. Alkali topraklarda $\text{pH} > 8$ ' in üzerindedir. pH 8'in üzerine çıktıkça besin elementi eksikliği ve iyon toksisitesi meydana gelmektedir (Rengasamy vd., 2022). Bitkilerin besin maddesi alımında pH en önemli kimyasal faktördür. Birçok besin elementinin alımından en ideal pH 6.5- 7.5 arasındadır. Ancak yüksek pH seviyelerinde azot, fosfor, potasyum, magnezyum, demir, çinko, mangan, bakır ve bor gibi önemli makro ve mikro besin elementlerinin yararlılığı azalmaktadır. Bu durum sonucunda bitkilerde kloroz meydana gelmektedir. Alkali ortamlarda yetişen bitkilerin kök gelişiminin engellenmesi nedeniyle bitkinin büyüme ve gelişmesi kısıtlanmaktadır. Bitkiler yüksek pH'da zarar görmekte ve sodyum toksisitesi meydana gelmektedir (Aktaş, 2004; Chen vd., 2012; Ahmad vd., 2014). NaHCO_3 ' ten kaynaklanan alkalinizasyonun yıkıcı etkisi nedeniyle bitkiye nötr tuzlardan daha fazla zarar vermektedir (Yang vd., 2011).

3.2. Sodyum Nitroprussid (SNP)

Sodyum nitroprussid kimyasal formülü $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan bir nitrik oksit donörüdür. Nitrik oksit (NO) yarı ömrü altı saniyeden az, küçük ve gaz halindeki bir serbest radikaldir. Bitkilerde birçok fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda önemli rol oynamaktadır. NO ve donörleri büyüme ve gelişmenin yanı sıra bitkilerin stres koşullarındaki tepkilerini artırmak için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sodyum nitroprussid, NO donörleri arasında en sık kullanılan moleküldür. SNP çevresel stres koşullarında oksidatif hasarı azaltarak bitkilerin stres şartlarına toleransını arttırmaktadır. Ayrıca SNP, antioksidan enzim aktivitesini arttırıp bitkiyi oksidatif stresin zararlı etkilerinden korumaktadır. Tohum çimlenmesi, kök büyümesi, yaprak genişlemesi ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Bitkilerde fotosentezi iyileştirmektedir. Yaprak dökümü ve yaşlanmasını geciktirmektedir. Sodyum nitroprussid bitki doku kültürü protokollerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki doku kültüründe besi ortamlarına eklenen SNP' nin sürgün ve kök oluşumunu arttırmasının yanında mikro çoğaltma başarısını da yükseltmektedir. Besi ortamına yalnız veya bitki büyüme düzenleyiciler ile kombinasyon halinde kullanılması ile bitki büyüme ve gelişmesini olumlu etkilemektedir. SNP' nin yüksek dozlarda kullanılması zararlı ve toksik etki meydana getirebilmektedir (Siddiqui vd., 2011; Tan vd., 2013; Astier vd., 2018;

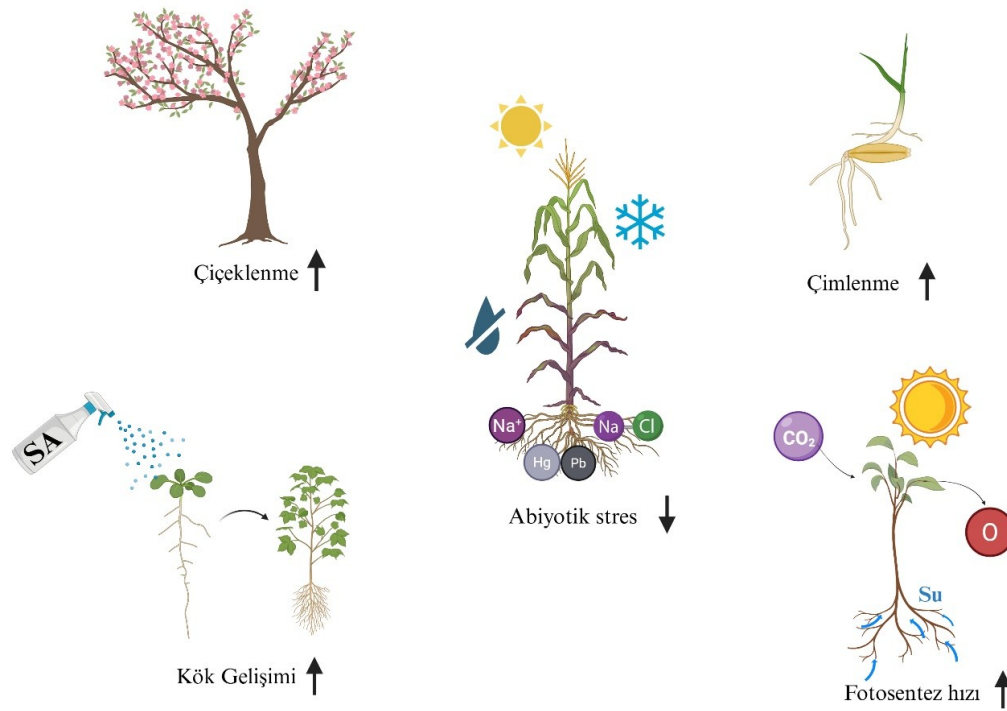
Sundararajan vd., 2022).



Şekil 3.2. Bitki büyüme ve gelişme süreçlerinde SNP' nin rolü (Sundararajan vd. 2022: İkinci vd. 2024).

3.3. Salisilik Asit (SA)

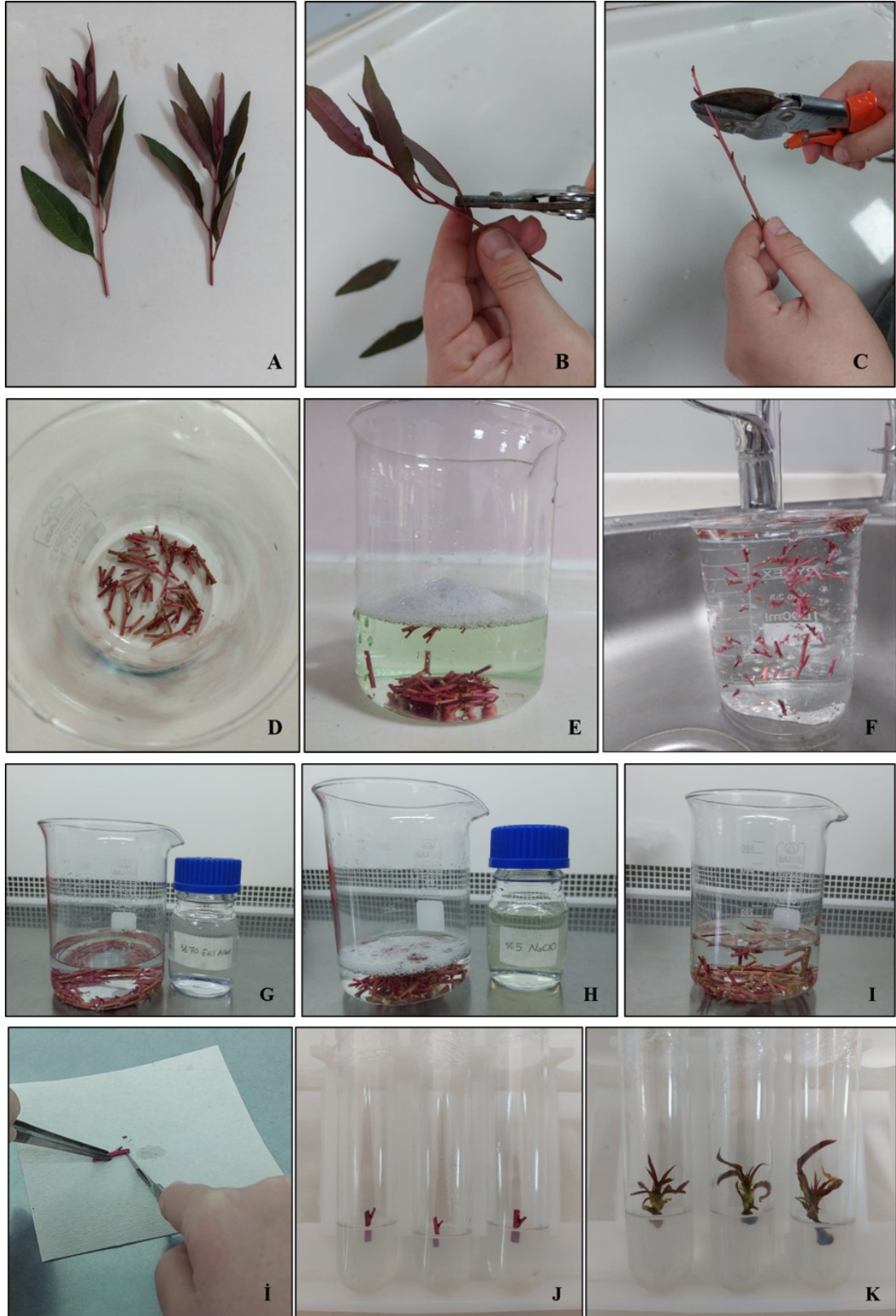
Salisilik asit 2- hidroksibenzoik asit olan ve doğal olarak oluşan fenolik bir bileşiktir. Renksiz kristalin yapıdadır. 'Salisilik' kelimesi söğüt ağacının latince adı olan *Salix*'ten türetilmiştir. İlk olarak 1826 yılında söğüt kabuğundan salisilik asit glikozidi olan salisilin izole edilmiştir. Tüm bitki gruplarında bulunan salisilik asit, bitki büyümeyi düzenleyici grubunda yer almaktadır. (Dempsey vd., 2011; Miura ve Tada, 2014). Bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bitkilerde önemli enzim aktivitelerini, iyon alımını, büyüme ve gelişmeyi etkilemektedir. Çiçeklenme üzerinde olumlu etkilerinin bulunmasının yanı sıra yaprak dökümlerinde abzisik asitin etkilerini tersine çevirebilmektedir. Fotosentez hızı ve termojenezi etkilemesi de salisilik asitin temel görevlerindendir (Vlot vd., 2009). Ayrıca tohum çimlenmesi ve kök gelişimini de teşvik etmektedir. Kuraklık, tuzluluk, ağır metal vb. gibi abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesinde doğrudan rol oynamaktadır. (Raskin vd., 1990; Raskin, 1992; Popova vd., 1997; Hara vd., 2012; Yusuf vd., 2013; Bagautdinova vd., 2022; İkinci vd., 2024).



Şekil 3.3. Bitki büyüme ve gelişme süreçlerinde SA' nın rolü

3.4. Mikro Çeliklerin Yüzey Sterilizasyonu

Mikro çeliklerin yüzey sterilizasyonunda, alınan genç sürgünlerin üzerindeki yapraklar temizlenerek üzerinde tek göz bulunduran mikro çeliklere ayrılmıştır. İlk olarak ön sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Mikro çelikler deterjanlı su içerisinde 10 dakika bekletilmiş ardından çeşme suyu ile tamamen temizleninceye kadar durulanmıştır. Bu işlem ardından steril kabin içerisine alınan mikro çelikler %70' lik etil alkolde 2 dakika bekletildikten sonra %10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) ile 12 dakika boyunca çalkalanmıştır. Daha sonra steril saf su ile 3 kez durulanmıştır. Sterilizasyonu tamamlanan mikro çelikler sürgün ortamına transfer edilmeye hazır hale getirilmiştir (Hepaksoy, 2004; Ak vd., 2021).



Şekil 3.4. Sürgün alımı, sterilizasyon ve transfer aşaması (A: Garnem sürgünü, B: Sürgün üzerindeki yaprakların kesilmesi, C: Sürgünlerin mikro çeliklere ayrılması, D: Tek gözlü mikro çelikler, E: Deterjanlı suda ön sterilizasyon işlemi, F: Mikro çeliklerin akan çeşme suyu altında durulanması, G: Mikro çeliklerin %70' lik etil alkol ile muamele edilmesi, H: Mikro çeliklerin %10'luk NaOCI ile muamele

edilmesi, I: Mikro çeliklerin steril saf su ile durulanması İ: Mikro çeliklerin transfere hazır hale getirilmesi, J: Mikro çeliklerin sürgün ortamına transferi, K: Sürgün ortamında süren Garnem bitkiciği)(Orjinal)

3.5. In Vitro Koşullarda Bitkiciklerin Yetiştirilmesi

Bitkiciklerin yetiştirilmesi aşamasında eksplant kaynağı olarak üzerinde tek göz bulunduran mikro çelikler kullanılmıştır. Kontrollü sera koşullarında yetişen Garnem anacının genç sürgünleri alınarak mikro çelikler hazırlanmıştır. Eksplantlar içerisinde 30 g L⁻¹ sakkaroz, 2.0 mg L⁻¹ BAP, 0.4 mg L⁻¹ GA₃ ve 5.5 g L⁻¹ agar bulunan Murashige ve Skoog (1962) (Çizelge 3.1) besi ortamına transfer edilmiştir. Besi ortamında meydana gelebilecek bakteriyel kontaminasyonları önlemek amacıyla 1.2 ml L⁻¹ PPM (Plant Preservative Mixture) ilave edilmiştir (Babu vd., 2022; Kara vd., 2022). Besi ortamının pH'sı 5.8' e ayarlanmıştır. Mikro çeliklerinin transferinin ardından yaklaşık 3-4 hafta içerisinde sürmelerin başlamasıyla kardeşlendirme ortamına transfer edilip uygulamanın tasarlanabilmesi için yeterli bitkicik sayısı elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3.1. MS besi ortamı bileşenleri (Murashige ve Skoog, 1962)

	MS mgL ⁻¹
CaCl ₂ . 2H ₂ O	332.02
KH ₂ PO ₄	170.00
KNO ₃	1900.00
MgSO ₄ .7H ₂ O	180.54
NH ₄ NO ₃	1650.00
CoCl ₂ .6H ₂ O	0.025
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.025
FeSO ₄ .7H ₂ O	27.80
Na ₂ EDTA 2H ₂ O	37.30
H ₃ BO ₃	6.20
KI	0.83
MnSO ₄ .H ₂ O	16.90
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.25
ZnSO ₄ .7H ₂ O	8.60
Glycine	2.00
Myo-İnositol	100.00
Nicotinic Acid	0.50
Thiamine Hydrochloride	0.10
Pyridoxine	0.50

3.6. In Vitro Koşullarda Bitkiciklerin Çoğaltılması

Sürgün ortamında süren bitkicikler 30 g L⁻¹ sakkaroz, 2.0 mg L⁻¹ BAP, 1.2 ml L⁻¹ PPM ve 5.5 g L⁻¹ agar içeren MS besi ortamına transfer edilmiştir. Kardeşlendirme ortamında çoğalan bitkicikler yaklaşık bir ay sonra yeni besi ortamına transfer edilmiştir. Yeterli bitkicik sayısı elde edildiğinde bitkiciklerin köklenme ortamına transferi aşamasında deneme kurulmuştur.



Şekil 3.5. Garnem anacının kardeşlendirme ortamında çoğaltılması (Orjinal)

3.7. Köklendirme Aşaması ve Çalışmanın Kurulması

Çalışmanın kurulmasına yeterli bitkicik sayısı elde edilince köklendirme aşamasında başlanmıştır. Bitkicikler köklendirme ortamı olarak 30 g L⁻¹ sakkaroz, 1.5 mg L⁻¹ IBA, 1.2 ml L⁻¹ PPM ve 5.5 g L⁻¹ agar içeren MS besi ortamına transfer edilmiştir. *In vitro* koşullarda alkali stresin oluşturulması için köklendirme ortamına %0, %20 ve %40 konsantrasyonunda NaHCO₃ kullanılmıştır. İyileştirici ajanlardan SNP ve SA' in 50 µM, 100 µM ve 150 µM konsantrasyonları kullanılmıştır. İyileştirici ajanlar otoklavdan önce besi ortamına eklenmiştir. Çalışma 21 uygulamadan oluşmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Farklı NaHCO₃, SNP ve SA' in konsantrasyonları ve uygulama grupları

Uygulamalar
%0 NaHCO ₃
%20 NaHCO ₃
%40 NaHCO ₃
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SNP
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SNP
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SNP
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SNP
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SNP
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SNP
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SNP
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SNP
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SNP
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SA
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SA
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SA
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SA
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SA
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SA
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SA
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SA
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SA

3.8. Çalışmada Yapılan Gözlemler ve Ölçümler

3.8.1. Morfolojik Parametreler

3.8.1.1. Hayatta Kalma Oranı

Yaklaşık 4 hafta sonra denemenin sonlandırılmasıyla hayatta kalan bitki

sayısının uygulamaya transfer edilen bitki sayısına bölünüp yüz ile çarpılmasıyla yüzde (%) olarak ifade edilmiştir (Ekinci vd., 2024).

3.8.1.2. Köklenme Oranı

Köklenme ortamında köklenen bitki sayısının uygulamaya transfer edilen bitki sayısına bölünüp yüz ile çarpılmasıyla yüzde (%) olarak ifade edilmiştir (Ak vd., 2021).

3.8.1.3. Sürgün Uzunluğu

Sürgün uzunluğu cetvel yardımıyla cm cinsinden ölçülmüştür (Ekinci vd., 2024a).

3.8.1.4. Yaprak Sayısı

Yaprak sayısı tek tek sayılarak bitkicik başına adet olarak ifade edilmiştir (Ekinci vd., 2024b).

3.8.1.5. Kök Sayısı

Bitkiciklerin kökleri tek tek sayılarak bitkicik başına adet olarak ifade edilmiştir (Hammud vd., 2024).

3.8.1.6. Kök Uzunluğu

Bitkiciklerin kök uzunluğu cetvel yardımıyla cm cinsinden ölçülmüştür (Rasul vd., 2025).

3.8.1.7. Bitki Yaş Ağırlığı

Çalışma sonunda besi ortamından çıkarılan bitkiciklerin kökleri tamamen temizlenip hassas terazi ile tartılarak ağırlığı g cinsinden ifade edilmiştir (Ekinci vd., 2024c).

3.8.1.8. Bitki Kuru Ağırlığı

Bitki yaş ağırlığı ölçülen bitkicikler 70 °C etüvde 48 saat tutulduktan sonra kuru ağırlıkları g cinsinden ölçülmüştür (Ekinci vd., 2024c).

3.8.1.9. Zararlanma İndeksi

Zararlanma indeksi, NaHCO₃ kaynaklı alkali stresin görünür semptomlarına göre 1-4 arasında bir ölçek kullanılarak belirlenmiştir. Ölçek aşağıda belirtilen şekilde tanımlanmıştır:

- 1: Hasar yok;
- 2: Yaprak uçlarında ve kenarlarında nekroz;
- 3: Yaprığın tamamında nekroz;
- 4: Ölü.

Belirtilen bu ölçek ile bitkicikler görsel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aşağıda belirtilen formül kullanılarak zararlanma indeksi hesaplanmıştır (Erturk vd., 2007; Sabra vd., 2012).

Zararlanma İndeksi= Σ (zararlanma seviyesi x bitkicik sayısı) / Toplam bitkicik sayısı

3.8.2. Fizyolojik Parametreler

3.8.2.1. Membran Geçirgenliği

Membran geçirgenliği Lutts vd. (1996)'a göre belirlenmiştir. Yapraktan 1 cm² boyutunda 3 disk alınıp cam tüp içerisinde 3 defa saf sudan geçirilmiştir. Daha sonra kapalı falcon tüplere 10 ml saf su eklenerek çalkalayıcıda 24 saat boyunca 25 °C' de çalkalanmıştır. 24 saatin ardından ilk olarak elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüştür (C1). Bu örnekler otoklavda 120°C'de 20 dakika boyunca bekletildikten sonra örnekler otoklavdan çıkarılmış ve sıcaklığının 25 °C' ye kadar düşmesi beklenmiş ve yeniden EC ölçülmüştür (C2). Membran geçirgenliği aşağıda belirtilen formülle elde edilmiştir.

$$MG = \frac{C1}{C2} \times 100 \quad (3.1)$$

3.8.2.2. Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ)

Çalışmada yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesinde ilk olarak uygulamalardan alınan yaprakların taze ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra bu

yapraklar 4 saat boyunca saf su içerisinde bekletilip ardından turgor ağırlıkları ölçülmüştür. Ağırlıklar belirlenen yapraklar, etüvde 65°C’ de 48 saat bekletildikten sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Yaprak örneklerinin taze, turgor ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi ile birlikte aşağıda belirtilen formüle göre yaprak oransal su içerikleri yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Sanchez vd., 2004; Demiral ve Türkan, 2005).

$$YOSI(\%) = \frac{TA - KA}{TuA - KA} 100 \quad (3.2)$$

TA: Taze Ağırlık

KA: Kuru Ağırlık

TuA: Turgor Ağırlığı

3.8.3. Biyokimyasal Parametreler

3.8.3.1. Klorofil

Deneme sonunda klorofil içeriğinin belirlenmesi Arnon (1949)’a göre yapılmıştır. Uygulamaların yapraklarından 0.5 g yaprak örneği alınmıştır. Yaprak örneği 5 ml %80’ lik aseton:su çözeltisinde tamamen homojenize edilmiştir. Daha sonra kağıt filtreden geçirilerek ışık geçirmeyen tüplere aktarılmıştır. Klorofil a için 663.5 nm, klorofil b için 645 nm de %80 aseton kontrolüne karşı okuma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmıştır. Sonuçlar mg/l taze ağırlık olarak hesaplanmış daha sonra mg klorofil g⁻¹ şeklinde belirtilmiştir.

Aseton çözeltisinde klorofil konsantrasyonunun hesaplanması;

$$Toplam\ klorofil\ (mg/l) = 20.2A_{645} + 8.02A_{663.5}$$

$$Klorofil\ a\ (mg/l) = 12.7A_{663.5} - 2.69A_{645}$$

$$Klorofil\ b\ (mg/l) = 22.9A_{645} - 4.68A_{663.5}$$

3.8.3.2. Malondialdehit (MDA) Analizi

Bu çalışmada bitki yapraklarındaki MDA içeriği, Weisany vd. (2012)

tarafından geliştirilen yöntem temel alınarak analiz edilmiştir. Yöntemin aşamaları aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir:

1. Örnek Alımı: Bitki yapraklarından 0.2 gram örnek alınarak analize başlanmıştır.

2. Homojenizasyon: Alınan yaprak örnekleri, 10 ml Tri-kloro-asetik asit (TCA) çözeltisi ile homojen hale getirilmiştir. Bu adım, hücresel yapının parçalanmasını sağlayarak MDA'nın çözeltiye salınmasını kolaylaştırır.

3. Santrifüjleme: Homojenize edilen örnekler, 12000 g kuvvetinde, +4°C'de santrifüj edilmiştir. Bu işlem, sıvı faz ile katı maddelerin ayrılmasını sağlar.

4. Örnek Hazırlama: Santrifüj işlemi sonrasında, sıvının üst kısmından 1 ml alınarak %20'lik TCA çözeltisi ile seyreltilmiştir. Daha sonra, bu karışıma 1.5 ml %0.5'lik tiyobarbütirik asit (TBA) çözeltisi eklenmiştir. Bu çözelti MDA'nın reaksiyona girmesini sağlayan kimyasalları içermektedir. Hazırlanan örnekler hızlı bir şekilde buz üzerinde soğutulmuştur.

5. Ek Santrifüjleme (İhtiyaç Halinde): Eğer çözelti içerisinde tortular mevcutsa, çözeltinin daha saf hale getirilmesi için yeniden santrifüj yapılmıştır.

6. Spektrofotometre ölçümü: Okunmaya hazır örnekler, spektrofotometre kullanılarak 532 nm ve 600 nm dalga boylarında okunmuştur. Belirlenen bu dalga boyları arasında MDA belirli bir absorbans değerine sahiptir.

7. MDA miktarının hesaplanması: Örneklerin ölçümleri sonucunda elde edilen absorbans değerleri kullanılarak MDA miktarı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{MDA miktarı} = [(A_{532} - A_{600}) / 155000] \times 106$$

Sonuçlar, nmol /gr biriminde ifade edilmiştir.

Bu yöntem, bitkilerde oksidatif stresin bir göstergesi olarak MDA seviyelerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. MDA, hücre zarlarındaki oksidatif hasarın değerlendirilmesinde ve bitkilerin stres koşullarında verdiği tepkileri analiz etmek için kullanılan önemli bir biyokimyasal analizdir.

3.8.3.3. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Analizi

Bitki yapraklarındaki H₂O₂ miktarını belirlemek için Loreto ve Velikova (2001) tarafından geliştirilen yöntem esas alınmıştır. Uygulama süreci aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır:

1. Örnek Alımı: H₂O₂ ölçümü için 0.5 g yaprak örneği alınmıştır.
2. Homojenizasyon: Alınan yaprak örnekleri, 3 ml Tri-kloro-asetik asit (TCA) çözeltisi kullanılarak homojenize edilmiştir. Bu işlem, yapraklardaki hücresel yapının parçalanmasını sağlamaktadır.
3. Örnek Hazırlama: Homojenizasyon sonucunda elde edilen sıvının 75 ml alınmış ve analiz için ayrılmıştır.
4. Tampon ve KI eklenmesi: Ayrılan örnek sıvısına, 0.75 ml 10 mM K-fosfat tampon (pH 7.0) çözeltisi ve 1.5 ml KI (potasyum iyodür) çözeltisi eklenmiştir. Bu bileşenler, reaksiyonun gerçekleşmesi için gereklidir.
5. Spektrofotometre ölçümü: Hazırlanan karışım, spektrofotometrede 390 nm dalga boyunda okuma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hidrojen peroksit bu dalga boyunda belirli bir absorbans değerine sahiptir.
6. Standart grafiği: Hidrojen peroksit içeriğini belirlemek için standart bir grafik oluşturulmuş ve örneklerin absorbans değerlerine göre hidrojen peroksit içeriği hesaplanmıştır. Böylece yaprak örneklerindeki hidrojen peroksit miktarı belirlenmiştir.

Bu yöntem, bitki dokularındaki H₂O₂ seviyesini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Hidrojen peroksit, oksidatif stresin önemli bir göstergesi olup, bitkilerde çevresel stres koşullarına verilen tepkilerin değerlendirilmesinde ve antioksidan savunma mekanizmalarının analizinde kullanılan önemli bir analiz yöntemidir.

3.8.4. İstatistiksel Analiz

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 20 bitkicik olacak şekilde kurulmuştur. Çalışmada yapılan uygulamalar

sonunda elde edilen veriler JMP Pro 13 istatistik programında varyans analizi tekniği uygulanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ortalama değerlerin istatistiksel farkı TUKEY testi ($p < 0.05$) testi kullanılarak tespit edilmiştir (Gomez ve Gomez., 1984).

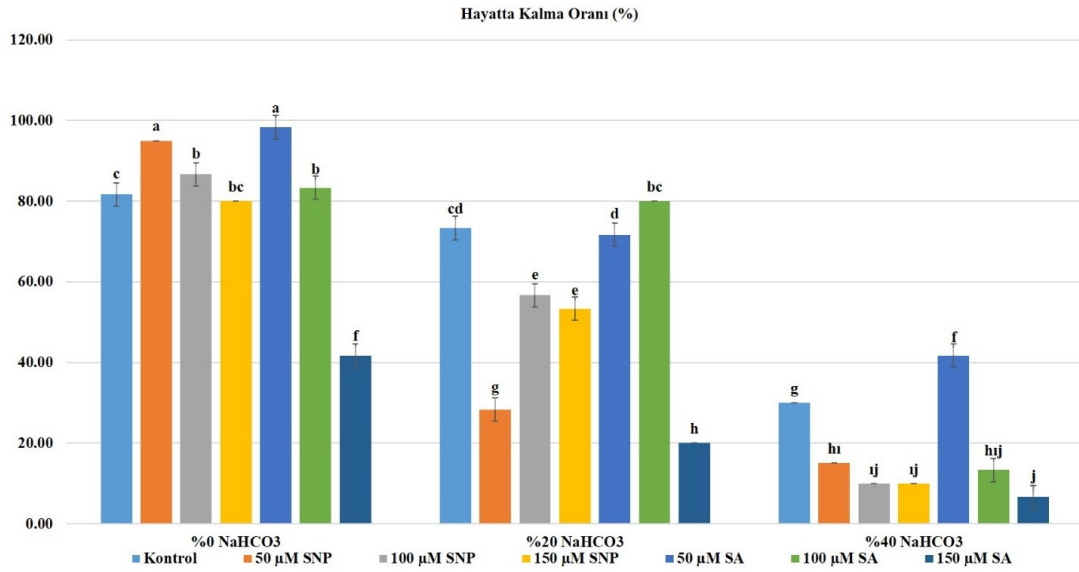
4. BULGULAR

Bu çalışma, *in vitro* koşullarda Garnem anacının NaHCO_3 kaynaklı alkali strese karşı sodyum nitroprussid (SNP) ve salisilik asit (SA) uygulamalarının stresin etkilerini azaltmadaki rolünü belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı NaHCO_3 seviyeleri (%0, %20 ve %40) ile birlikte 50, 100 ve 150 μM konsantrasyonlarında SNP ve SA uygulanarak, bu iyileştirici ajanların bitki gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Toplamda 21 farklı uygulama grubunun oluşturulduğu çalışmada, SNP ve SA' nın farklı dozlarının alkali stresin neden olduğu morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler üzerindeki iyileştirici etkileri analiz edilmiştir.

4.1. Morfolojik Parametreler

4.1.1. Hayatta Kalma Oranı (%)

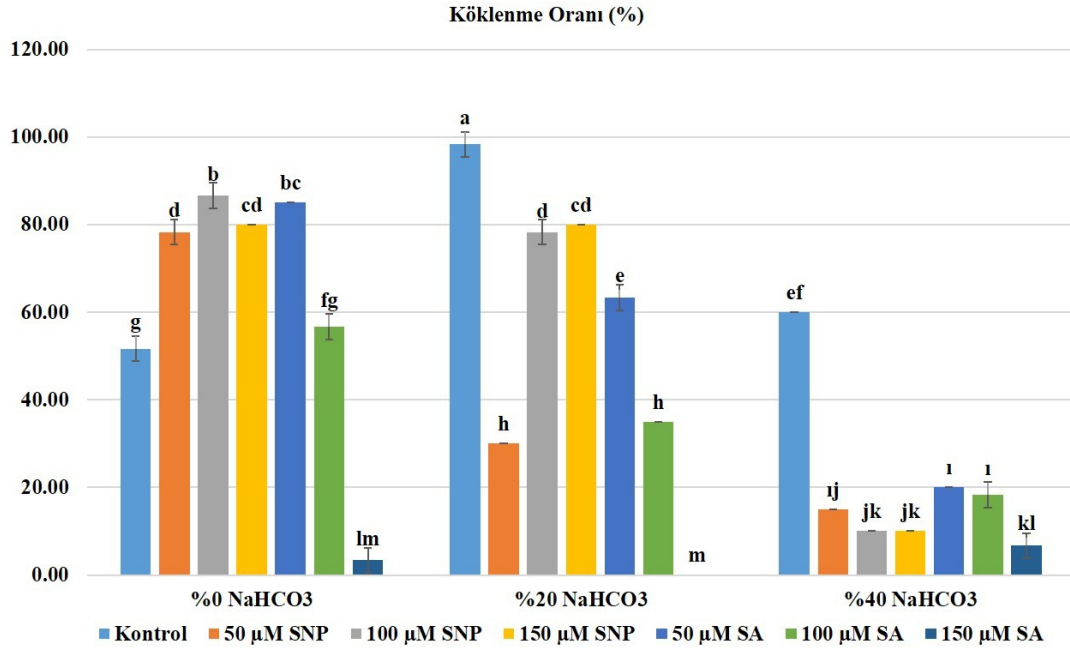
Çalışmada hayatta kalma oranına ait sonuçlar Şekil 4.1.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). NaHCO_3 kaynaklı alkali stresine maruz kalan bitkiciklerin hayatta kalma oranı NaHCO_3 konsantrasyonu arttıkça önemli derecede azalmıştır. Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda en yüksek hayatta kalma oranı 50 μM SA (%98.33) ve 50 μM SNP (%95.00) uygulamalarında, en düşük hayatta kalma ise 150 μM SA (%41.67) uygulamasında tespit edilmiştir. SNP ve SA uygulamaları, %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda hayatta kalma oranını artırmıştır. Çalışmada %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda, bitkiciklerin en yüksek hayatta kalma oranı %20 NaHCO_3 + 100 μM SA (%80.00) uygulamasında, en düşük hayatta kalma oranı ise %20 NaHCO_3 + 150 μM SA (%20.00) uygulamasında bulunmuştur. NaHCO_3 konsantrasyonu arttıkça, özellikle %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Düşük konsantrasyondaki SA uygulaması hayatta kalma oranında iyileşme sağlamıştır. En yüksek hayatta kalma oranı %40 NaHCO_3 + 50 μM SA (%41.67), en düşük hayatta kalma oranı ise %40 NaHCO_3 + 150 μM SA (%6.67) uygulamasında meydana gelmiştir. Yapılan uygulamalarda 150 μM SA uygulaması hayatta kalma oranını olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.1. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının hayatta kalma oranı üzerine etkisi

4.1.2. Köklenme Oranı (%)

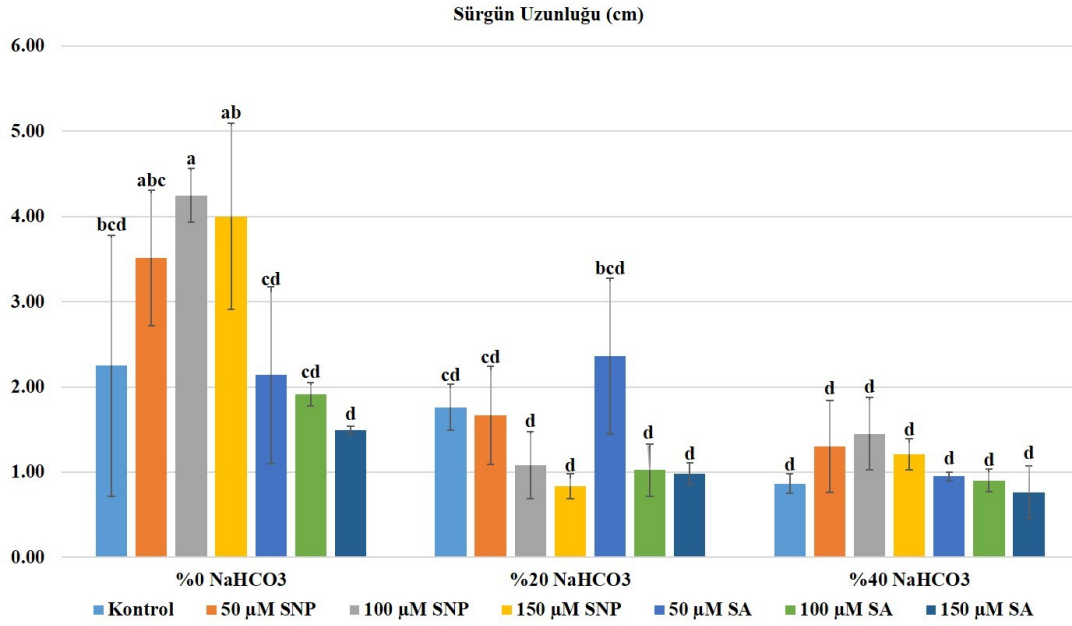
Köklenme oranına ait sonuçlar Şekil 4.2.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bitkiciklerin %0 NaHCO₃ konsantrasyonundaki en yüksek köklenme oranı 100 µM SNP (%86.67) uygulamasında, en düşük köklenme oranı ise 150 µM SA (%3.33) uygulamasında saptanmıştır. Yapılan SNP ve SA uygulamalarında, %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda en yüksek köklenme oranı %20 NaHCO₃ (%98.33) uygulamasında, en düşük köklenme oranı ise %20 NaHCO₃+ 150 µM SA (%0.00) uygulamasında bulunmuştur. Çalışmada %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en yüksek köklenme oranı %40 NaHCO₃ (%60.00) uygulamasında, en düşük köklenme oranı ise %40 NaHCO₃+ 150 µM SA (%6.67) uygulamasında meydana gelmiştir.



Şekil 4.2. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının köklenme oranı üzerine etkisi

4.1.3. Sürgün Uzunluğu (cm)

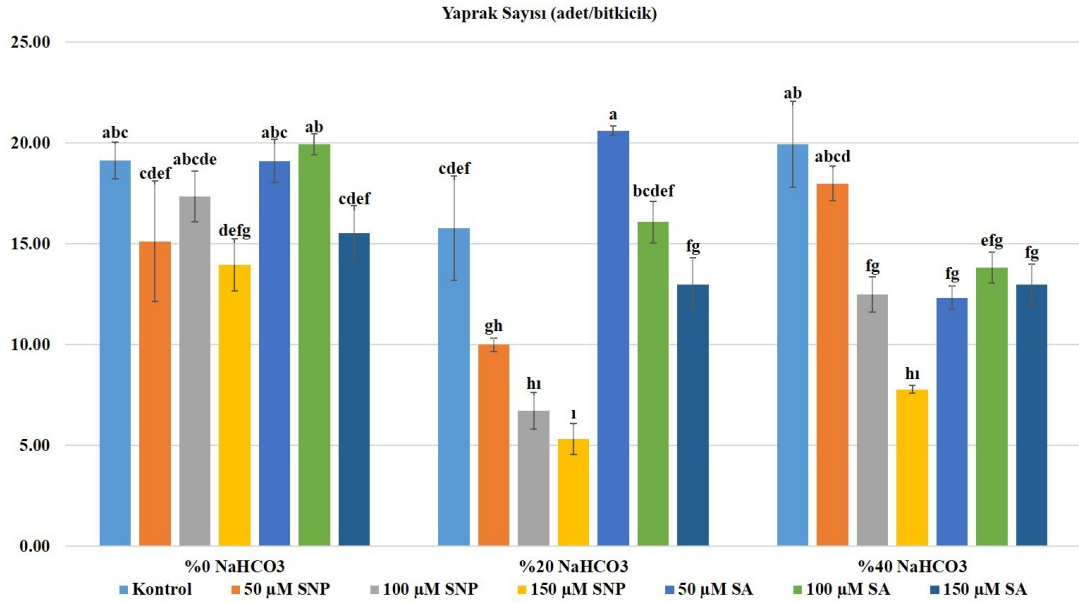
Çalışma sonucunda sürgün uzunluğu ait sonuçlar Şekil 4.3.'de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en uzun sürgünler 100 µM SNP (4.25 cm) uygulamasında, en kısa sürgünler ise 150 µM SA (1.49 cm) uygulamasında tespit edilmiştir. Bu konsantrasyonunda SNP uygulamaları kontrole kıyasla sürgün uzunluğunu önemli derece arttırmıştır. NaHCO₃ konsantrasyonu arttıkça sürgün uzunluğu azalmıştır. Yapılan SA ve SNP uygulamaları ile %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda en uzun sürgünler %20 NaHCO₃ + 50 µM SA (2.36 cm), en kısa sürgünler ise %20 NaHCO₃ + 150 µM SA (0.98 cm) uygulamasında meydana gelmiştir. Sürgün uzunluğunda %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda önemli bir düşüş meydana gelmiştir. Bu konsantrasyonda yapılan SNP ve SA uygulamaları ile en uzun sürgünler %40 NaHCO₃ + 100 µM SNP (1.45 cm), en kısa sürgünler ise %40 NaHCO₃ + 150 µM SA (0.77 cm) uygulamasında meydana gelmiştir.



Şekil 4.3. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının sürgün uzunluğu üzerine etkisi

4.1.4. Yaprak Sayısı (adet/bitkicik)

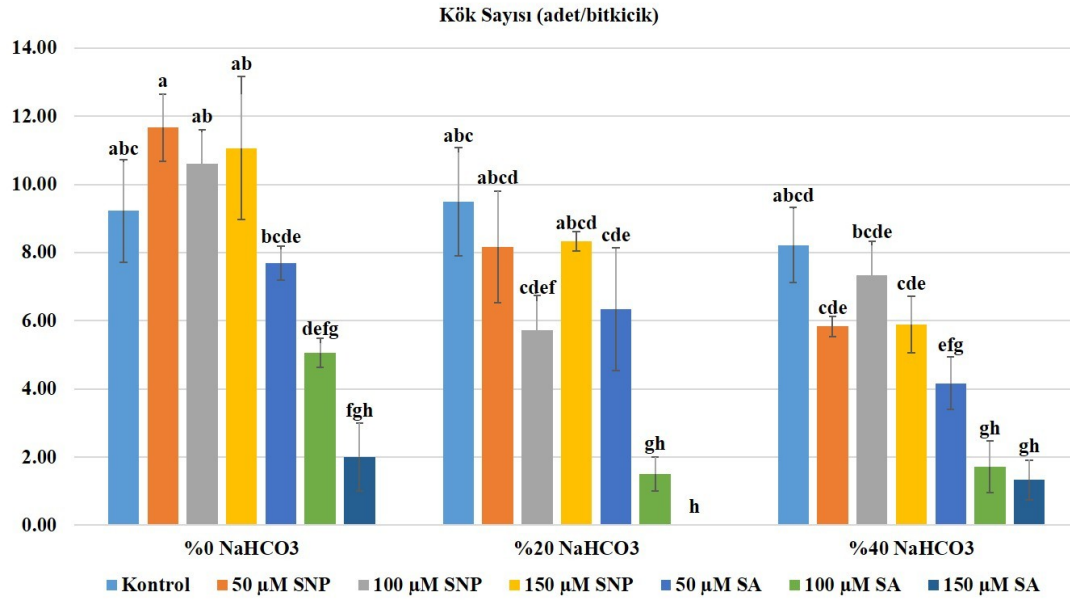
Çalışma sonucunda yaprak sayısına ait sonuçlar Şekil 4.4.'de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla yaprak sayısı 100 µM SA (19.94 adet/bitkicik), en az yaprak sayısı ise 150 µM SNP (13.97 adet/ bitkicik) uygulamasında meydana gelmiştir. Çalışmada %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla yaprak sayısı %20 NaHCO₃+ 50 µM SA (20. 63 adet/ bitkicik) uygulamasında, en az yaprak sayısı ise %20 NaHCO₃+ 150 µM SNP (5.33 adet/ bitkicik) uygulamasında bulunmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla yaprak sayısı %40 NaHCO₃ (19.94 adet/ bitkicik) uygulamasında, en az yaprak sayısı ise %40 NaHCO₃+ 150 µM SNP (7.78 adet/bitkicik) uygulamasında meydana gelmiştir. Düşük konsantrasyonda uygulanan SNP ve SA uygulamaları stresin etkilerini hafifletirken, yüksek konsantrasyonda uygulanan SNP ve SA yaprak sayısını azaltmıştır.



Şekil 4.4. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisi

4.1.5. Kök Sayısı (adet/bitkicik)

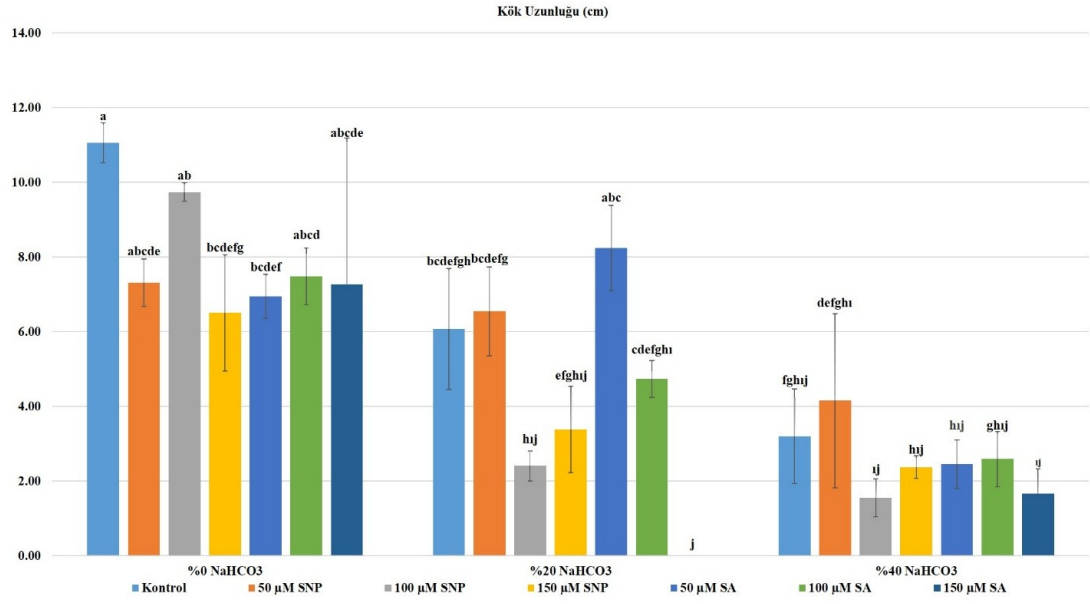
Çalışma sonucunda kök sayısına ait sonuçlar Şekil 4.5.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda SNP uygulamaları kontrole oranla kök sayısını arttırmıştır. Bu konsantrasyonda yapılan SNP ve SA uygulamaları ile en fazla kök sayısı 50 µM SNP (11.67 adet/bitkicik) uygulamasında, en az kök sayısı ise 150 µM SA (2.00 adet/ bitkicik) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmada %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla kök sayısı %20 NaHCO₃ (9.50 adet/ bitkicik) uygulamasında, en az kök sayısı ise %20 NaHCO₃+ 150 µM SA (0.00 adet/ bitkicik) uygulamasında bulunmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla kök sayısı %40 NaHCO₃ (8.22 adet/ bitkicik) uygulamasında, en az kök sayısı ise %40 NaHCO₃+ 150 µM SA (1.33 adet/bitkicik) uygulamasında meydana gelmiştir. Yüksek konsantrasyondaki SA (150 µM) uygulaması 3 farklı NaHCO₃ konsantrasyonunda kök sayısını olumsuz etkilemiştir.



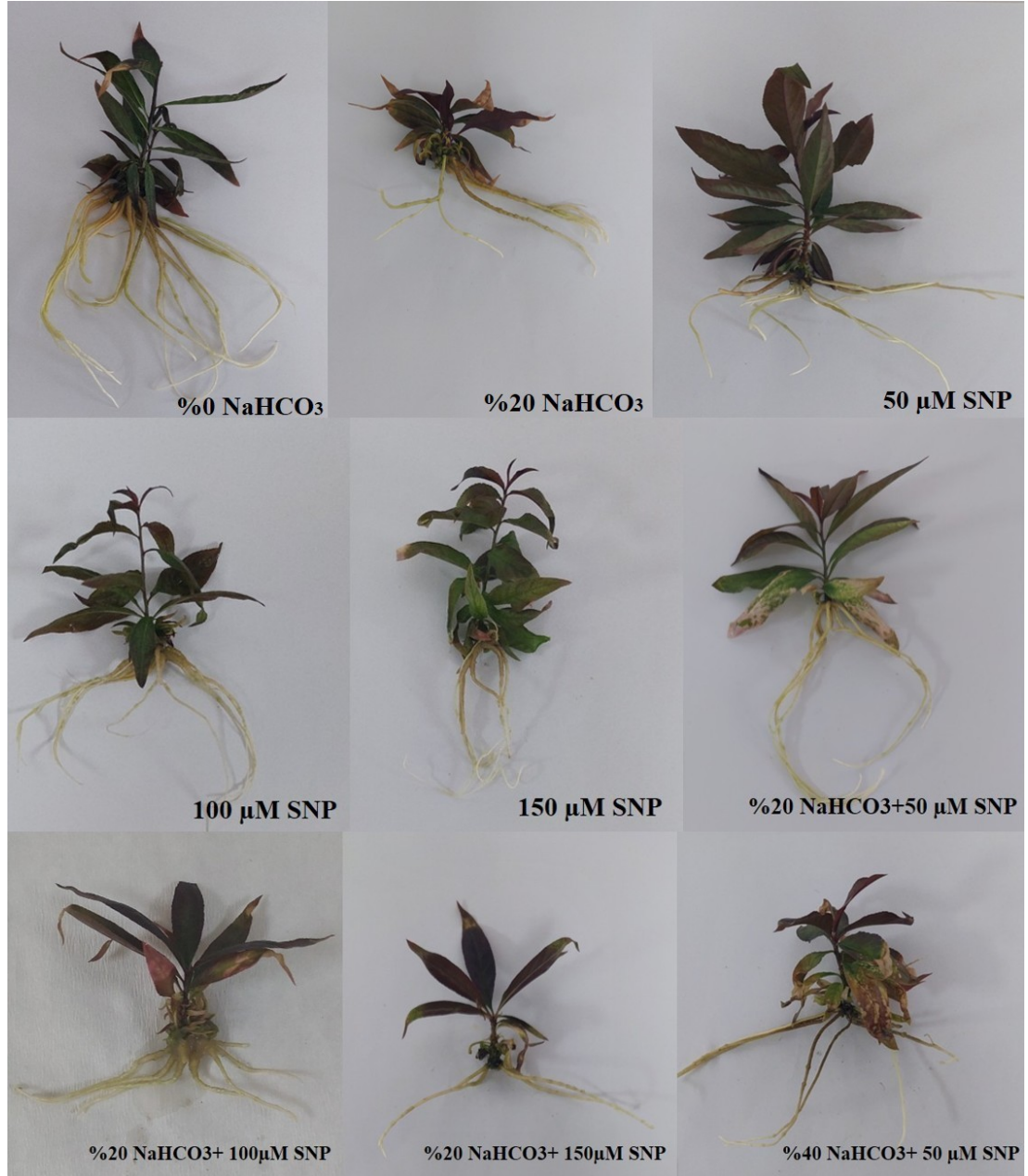
Şekil 4.5. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının kök sayısı üzerine etkisi

4.1.6. Kök Uzunluğu (cm)

Çalışma sonucunda kök uzunluğuna ait sonuçlar Şekil 4.6.'da verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en uzun kökler kontrol (11.06 cm) uygulamasında, en kısa kökler ise 150 µM SNP (6.51 cm) uygulamasında meydana gelmiştir. Çalışmanın %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda en uzun kökler %20 NaHCO₃+ 50 µM SA (8.24 cm) uygulamasında, en kısa kökler ise %20 NaHCO₃+ 150 µM SA (0.00 cm) uygulamasında bulunmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları sonucunda %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en uzun kökler %40 NaHCO₃+ 50 µM SNP (4.16 cm) uygulamasında, en kısa kökler ise %40 NaHCO₃+ 100 µM SNP (1.55 cm) uygulamasında saptanmıştır.



Şekil 4.6. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi



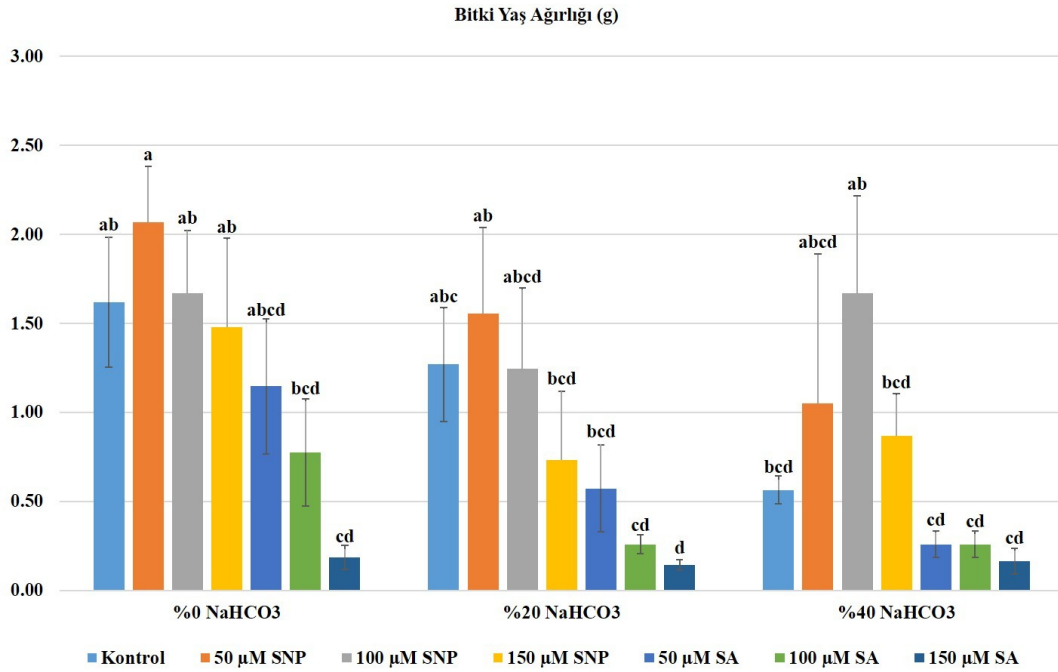
Şekil 4.7. NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi ve SNP uygulamalarının bitkiciklerin gelişimi üzerine etkisi (Orjinal)



Şekil 4.8. NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi ve SA uygulamalarının bitkiciklerin gelişimi üzerine etkisi (Orjinal)

4.1.7. Bitki Yaş Ağırlığı (g)

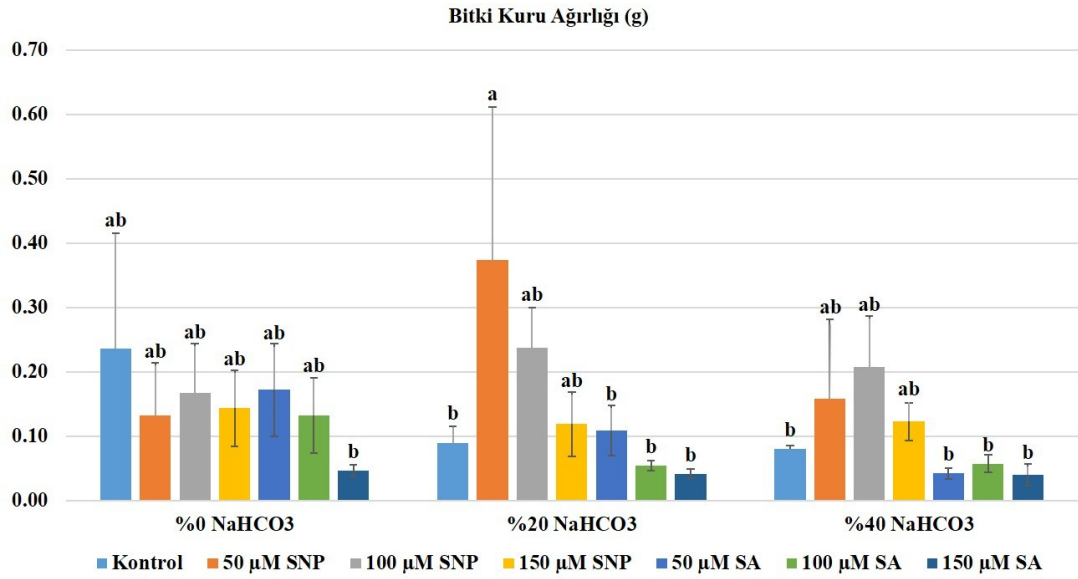
Çalışma sonucunda bitki yaş ağırlığı bakımından elde edilen sonuçlar Şekil 4.9.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla bitki yaş ağırlığı 50 µM SNP (2.07 g) uygulamasında, en az bitki yaş ağırlığı ise 150 µM SA (0.19 g) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO₃ konsantrasyonu ele alındığında en fazla bitki yaş ağırlığı %20 NaHCO₃+ 50 µM SNP (1.55 g) uygulamasında, en az bitki yaş ağırlığı ise %20 NaHCO₃+ 150 µM SA (0.14 g) uygulamasında bulunmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla bitki yaş ağırlığı %40 NaHCO₃+ 100 µM SNP (1.67 g) uygulamasında, en az bitki yaş ağırlığı ise %40 NaHCO₃+ 150 µM SA (0.17 g) uygulamasında meydana gelmiştir. Yapılan düşük konsantrasyondaki SNP uygulamaları tüm NaHCO₃ konsantrasyonlarında bitki yaş ağırlığında olumlu etki yapmıştır.



Şekil 4.9. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının bitki yaş ağırlığı üzerine etkisi

4.1.8. Bitki Kuru Ağırlığı (g)

Çalışma sonucunda bitki kuru ağırlığına ait sonuçlar Şekil 4.10.'de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla bitki kuru ağırlığı kontrol (0.24 g) uygulamasında, en az bitki kuru ağırlığı ise 150 µM SA (0.05 g) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmada %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda bitki kuru ağırlığında önemli bir düşüş meydana gelmiştir. Bu konsantrasyonda yapılan SNP ve SA uygulamaları ile en fazla bitki kuru ağırlığı %20 NaHCO₃ + 50 µM SNP (0.09 g) uygulamasında, en az bitki kuru ağırlığı ise %20 NaHCO₃ + 150 µM SA (0.04 g) uygulamasında bulunmuştur. Alkali stres koşullarında yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla bitki kuru ağırlığı %40 NaHCO₃ + 100 µM SNP (0.21 g), en az bitki kuru ağırlığı ise %40 NaHCO₃ + 150 µM SA (0.04 g) uygulamasında meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi

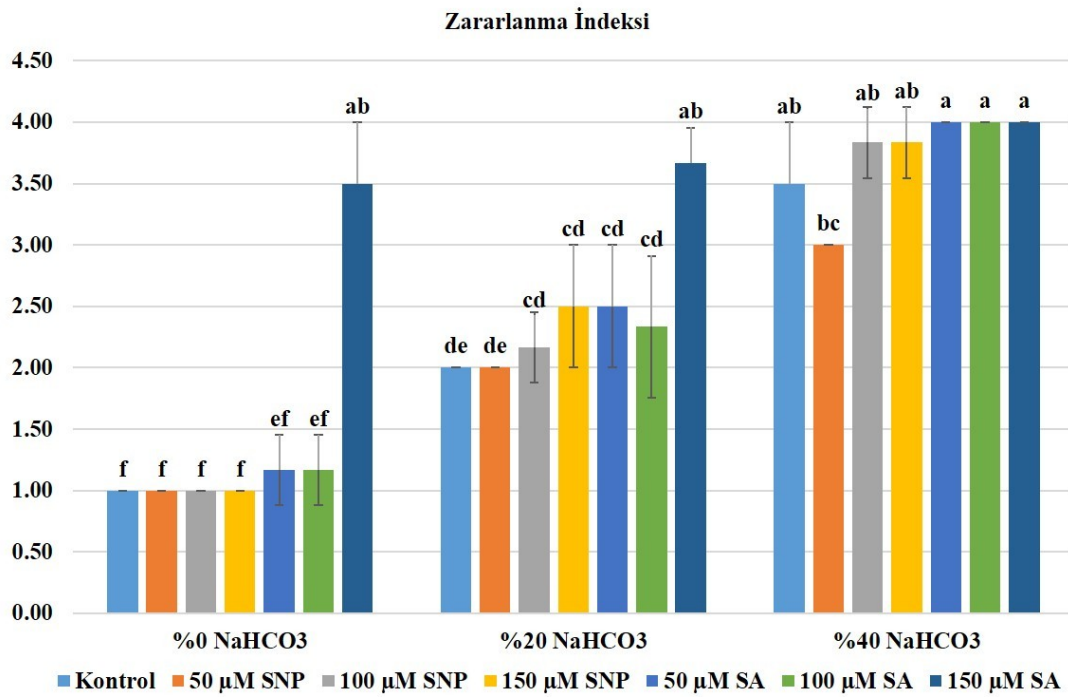


Şekil 4.11. Bitki kuru ağırlığının belirlenmesi için etüvde kurutma işlemi (Orjinal)

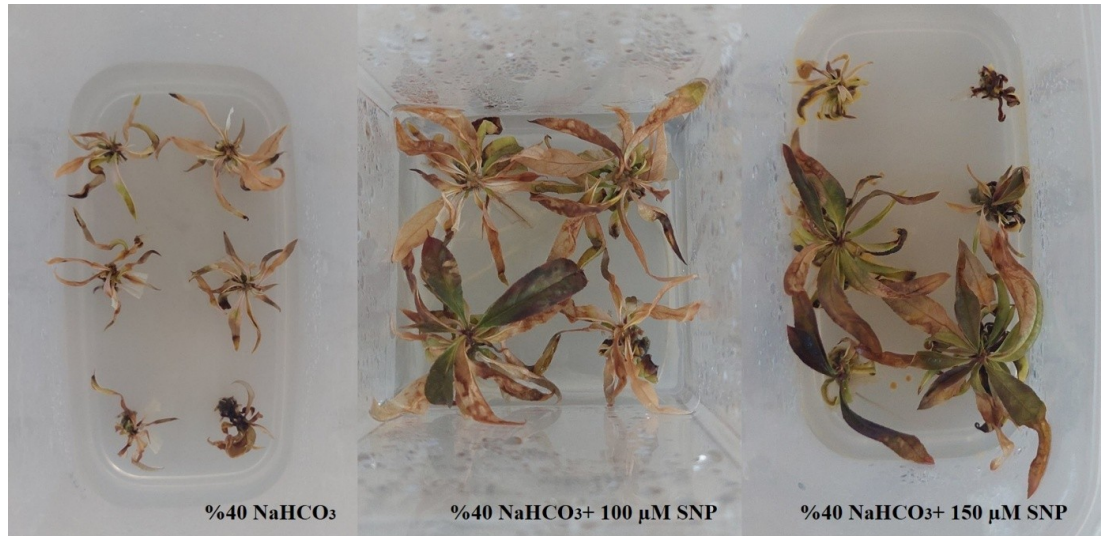
4.1.9. Zararlanma İndeksi

Çalışma sonucunda zararlanma indeksine ait sonuçlar Şekil 4.12’ de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur ($p<0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla zararlanma 150 μM SA (3.50) uygulamasında, en az zararlanma ise kontrol, 50 μM SNP, 100 μM SNP ve 150 μM SNP (1.00) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO_3 konsantrasyonu ele alındığında en fazla zararlanma %20 NaHCO_3 + 150 μM SA (3.67) uygulamasında, en az zararlanma ise %20 NaHCO_3 + 50 μM SNP (2.00) uygulamasında bulunmuştur. Artan NaHCO_3 konsantrasyonu, bitkiciklerde zararlanma seviyesinin yükselmesine neden olmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla zararlanma %40 NaHCO_3 + 50 μM SA, %40 NaHCO_3 + 100 μM SA ve %40 NaHCO_3 + 150 μM SA (4.00) uygulamalarında, en az zararlanma ise %40 NaHCO_3 + 50 μM SNP (3.00) uygulamasında meydana gelmiştir.



Şekil 4.12. In vitro koşullarda NaHCO_3 kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının zararlanma indeksi üzerine etkisi

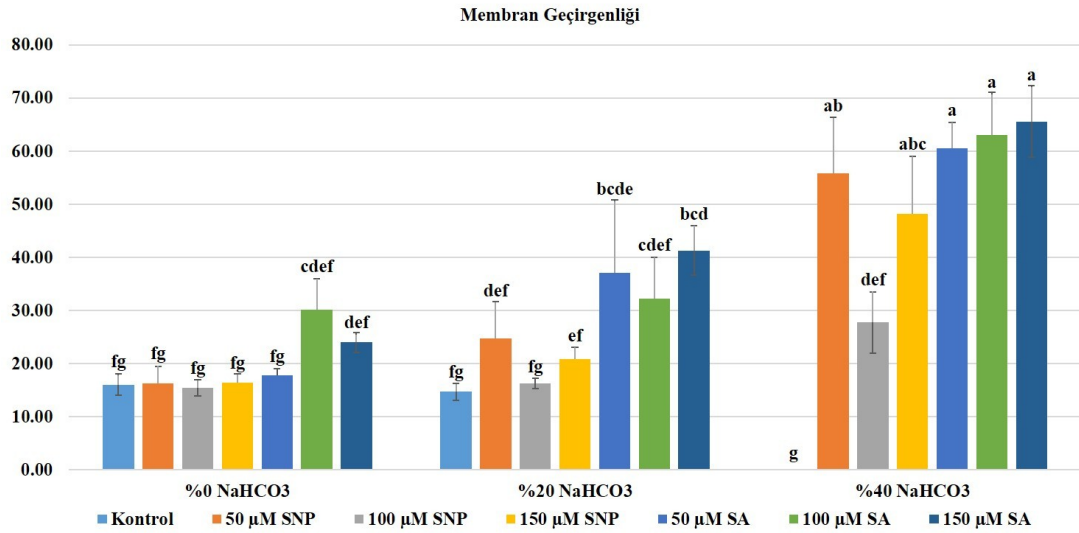


Şekil 4.13. Yüksek alkali stres koşullarında görsel zararlanma belirtileri (Orjinal)

4.2. Fizyolojik Parametreler

4.2.1. Membran Geçirgenliği (%)

Çalışma sonucunda membran geçirgenliğine ait sonuçlar Şekil 4.14.' da verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla membran geçirgenliği 100 μM SA (%30.13) uygulamasında, en az membran geçirgenliği ise 100 μM SNP (%15.43) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO_3 konsantrasyonu ele alındığında en fazla membran geçirgenliği %20 NaHCO_3 + 150 μM SA (%41.29) uygulamasında, en az membran geçirgenliği ise %20 NaHCO_3 (%14.72) uygulamasında bulunmuştur. Alkali stres koşullarında yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla membran geçirgenliği %40 NaHCO_3 + 150 μM SA (%65.61) uygulamasında, en az membran geçirgenliği ise %40 NaHCO_3 (%0.00) uygulamasında meydana gelmiştir. Yüksek NaHCO_3 konsantrasyonunda (%40) bitkiciklerin zararlanmasından kaynaklı membran geçirgenliği ölçülememiştir. Ancak %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda uygulanan 100 μM SNP alkali stres koşullarında membran hasarını azaltmıştır.



Şekil 4.14. In vitro koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkisi

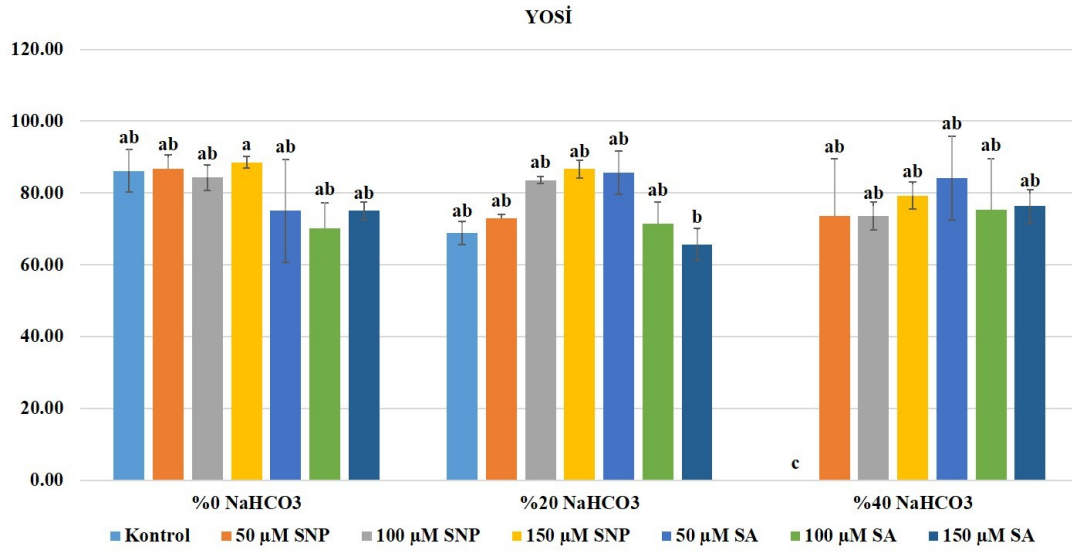


Şekil 4.15. Membran geçirgenliğinin belirlenmesi (Orjinal)

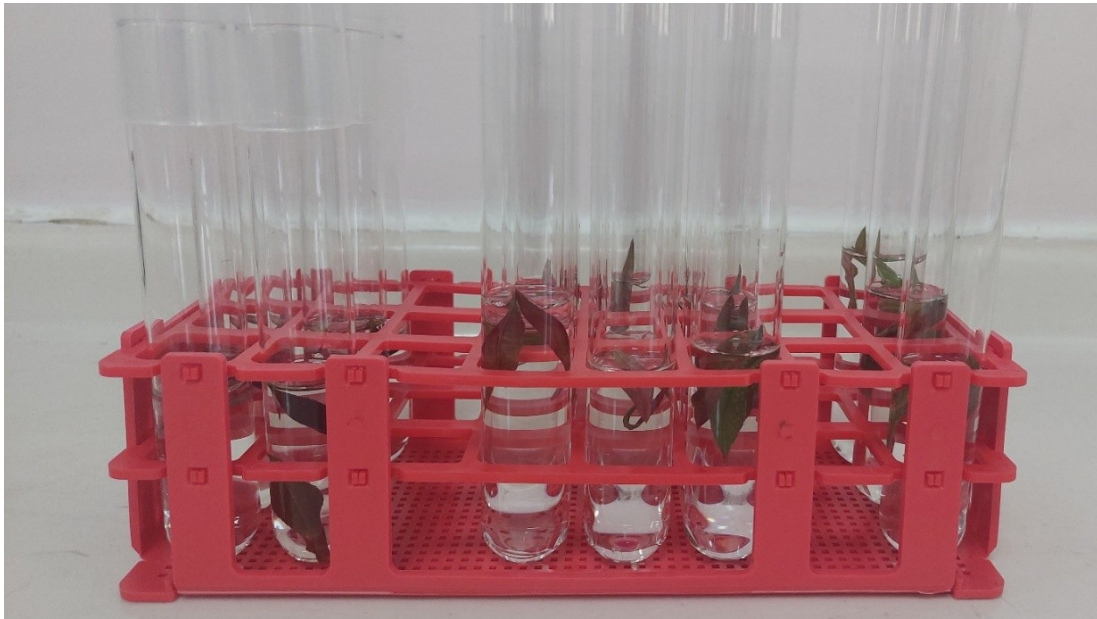
4.2.2. Yaprak Oransal Su İçeriği (YOSİ) (%)

Çalışma sonucunda yaprak oransal su içeriğine ait sonuçlar 4.16.'de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en yüksek yaprak oransal su içeriği 150 µM SNP (%88.54) uygulamasında, en düşük yaprak oransal su içeriği ise 100 µM SA (%70.22) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO₃ konsantrasyonu ele alındığında en yüksek yaprak oransal

su içeriği %20 NaHCO_3 + 150 μM SNP (%86.72) uygulamasında, en düşük yaprak oransal su içeriği ise %20 NaHCO_3 + 150 μM SA (%65.71) uygulamasında bulunmuştur. Yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en yüksek yaprak oransal su içeriği %40 NaHCO_3 + 50 μM SA (%84.15) uygulamasında, en düşük yaprak oransal su içeriği ise %40 NaHCO_3 (%0.00) uygulamasında meydana gelmiştir. Yüksek NaHCO_3 konsantrasyonunda (%40) bitkiciklerin zararlanmasından kaynaklı yaprak oransal su içeriği ölçülememiştir.



Şekil 4.16. In vitro koşullarda NaHCO_3 kaynaklı alkali stresi koşullarında SNP ve SA uygulamalarının yaprak oransal su içeriği üzerine etkisi



Şekil 4.17. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)

4.3. Biyokimyasal Parametreler

4.3.1. Klorofil a

Çalışma sonucunda klorofil a miktarına ait sonuçlar Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla klorofil a miktarı kontrol (4.87) uygulamasında, en az klorofil a miktarı ise 150 μM SA (2.91) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO_3 konsantrasyonu ele alındığında en fazla klorofil a miktarı %20 NaHCO_3 + 50 μM SNP (3.77) uygulamasında, en az klorofil a miktarı ise %20 NaHCO_3 +150 μM SA (2.91) uygulamasında bulunmuştur. Alkali stres koşullarında yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla klorofil a miktarı %40 NaHCO_3 + 50 μM SNP (3.94) uygulamasında, en az klorofil a miktarı ise %40 NaHCO_3 , %40 NaHCO_3 +100 μM SNP, %40 NaHCO_3 +150 μM SNP, %40 NaHCO_3 +50 μM SA, %40 NaHCO_3 +100 μM SA ve %40 NaHCO_3 +150 μM SA (0.00) uygulamalarında meydana gelmiştir. Bu uygulamalarda alkali stresin meydana getirdiği hasardan kaynaklı bitkicikler zarar görmüş ve klorofil a miktarının belirlenebilmesi için ölçüm yapılamamıştır.

Çizelge 4.1. NaHCO₃ stresi altında SNP ve SA uygulamalarının klorofil miktarına etkisi

Uygulamalar	Klorofil a	Klorofil b	Toplam Klorofil
%0 NaHCO ₃	4.87±0.26 a	6.06±0.37 a	10.92±0.61 a
%20 NaHCO ₃	3.39±0.58 b	4.12±0.75 bc	7.51±1.33 bc
%40 NaHCO ₃	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	4.29±0.73 ab	5.10±0.87 abc	9.39±1.60 abc
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	4.85±0.55 a	5.75±0.65 ab	10.60±1.21 ab
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	3.90±0.55 ab	4.70±0.69 abc	8.60±1.24 abc
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	3.78±0.53 ab	4.57±0.65 abc	8.34±1.18 abc
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	3.23±0.40 bc	4.11±0.41 bc	7.34±0.80 c
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	3.50±0.39 ab	4.52±0.44 abc	8.02±0.82 abc
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	3.94±0.17 ab	4.85±0.14 abc	8.79±0.28 abc
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SA	3.80±0.59 ab	4.61±0.72 abc	8.41±1.32 abc
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SA	3.63±0.19 ab	4.39±0.23 abc	8.01±0.43 abc
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SA	2.91±1.26 bc	3.66±1.63 cd	6.56±2.88 cd
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SA	3.56±0.18 ab	4.38±0.22 abc	7.95±0.40 abc
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SA	1.84±0.37 c	2.28±0.41 d	4.12±0.78 d
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SA	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SA	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SA	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SA	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e	0.00±0.00 e

4.3.2. Klorofil b

Çalışma sonucunda klorofil b miktarına ait sonuçlar Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO₃ x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla klorofil b miktarı kontrol (6.06) uygulamasında, en az klorofil b miktarı ise 150 µM SA (3.66) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO₃ konsantrasyonu ele alındığında en fazla klorofil b miktarı %20 NaHCO₃+ 50 µM SNP (4.57) uygulamasında, en az klorofil b miktarı ise %20 NaHCO₃+150 µM SA (0.00) uygulamasında bulunmuştur. Alkali strese karşı yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda en fazla klorofil b miktarı %40 NaHCO₃+ 50 µM SNP (4.85) uygulamasında, en az klorofil b miktarı ise %40 NaHCO₃, %40 NaHCO₃+100 µM SNP, %40 NaHCO₃+150 µM SNP, %40 NaHCO₃+50 µM SA, %40 NaHCO₃+100 µM SA ve %40 NaHCO₃+150 µM SA (0.00) uygulamalarında meydana gelmiştir. Bu uygulamalarda alkali stresin meydana getirdiği hasardan kaynaklı bitkicikler zarar görmüş ve klorofil b miktarının belirlenebilmesi için ölçüm yapılamamıştır.

4.3.3. Toplam Klorofil

Çalışma sonucunda toplam klorofil miktarına ait sonuçlar Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla toplam klorofil miktarı kontrol (10.92) uygulamasında, en az toplam klorofil miktarı ise 150 μM SA (6.56) uygulamasında saptanmıştır. Çalışmanın %20 NaHCO_3 konsantrasyonu ele alındığında en fazla toplam klorofil miktarı %20 NaHCO_3 + 50 μM SNP (8.34) uygulamasında, en az toplam klorofil miktarı ise %20 NaHCO_3 +150 μM SA (0.00) uygulamasında bulunmuştur. Alkali stres karşı yapılan SNP ve SA uygulamaları ile %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla toplam klorofil miktarı %40 NaHCO_3 + 50 μM SNP (8.79) uygulamasında, en az toplam klorofil miktarı ise %40 NaHCO_3 , %40 NaHCO_3 +100 μM SNP, %40 NaHCO_3 +150 μM SNP, %40 NaHCO_3 +50 μM SA, %40 NaHCO_3 +100 μM SA ve %40 NaHCO_3 +150 μM SA (0.00) uygulamalarında meydana gelmiştir. Bu uygulamalarda alkali stresin meydana getirdiği hasardan kaynaklı bitkicikler zarar görmüş ve toplan klorofil miktarının belirlenebilmesi için ölçüm yapılamamıştır.



Şekil 4.18. Klorofil miktarının belirlenmesi (Orjinal)

4.3.4. Hidrojen Peroksit (H_2O_2)

Çalışma sonucunda hidrojen peroksit miktarına ait sonuçlar Çizelge 4.2.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur ($p<0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda hidrojen peroksit seviyeleri oldukça düşüktür. Bu konsantrasyonunda en yüksek hidrojen peroksit miktarı 150 μM SA (4.37) uygulamasında, en düşük hidrojen peroksit miktarı ise kontrol ve 150 μM SNP (2.84) uygulamalarında meydana gelmiştir. Çalışmanın %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda en yüksek hidrojen peroksit miktarı meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek hidrojen peroksit miktarı %20 NaHCO_3 (94.07) uygulamasında, en düşük hidrojen peroksit miktarı ise %20 NaHCO_3 +150 μM SA (0.00) uygulamasında bulunmuştur. Bu konsantrasyonda en düşük hidrojen peroksit miktarının meydana gelmesi (%20 NaHCO_3 +150 μM SA) bitkiciklerin tamamen zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışmada %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda alkali stresin etkisini 150 μM SNP uygulaması azaltmıştır. Yüksek alkali stres konsantrasyonda alkali stresin meydana getirdiği hasardan kaynaklı bitkicikler zarar görmüş ve hidrojen peroksit miktarının belirlenebilmesi için ölçüm yapılamamıştır. Bu konsantrasyonda (%40 NaHCO_3), hidrojen peroksit miktarı sadece %40 NaHCO_3 +50 μM SNP (78.31) uygulamasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.2. NaHCO₃ stresi altında SNP ve SA uygulamalarının MDA ve H₂O₂ parametrelerine

Uygulamalar	H ₂ O ₂	MDA
%0 NaHCO ₃	2.84±1.00 h	6.32±1.00 d
%20 NaHCO ₃	94.07±1.00 a	16.71±1.00 a
%40 NaHCO ₃	0.00± 0.00 ı	0.00±0.00 e
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	3.61±1.00 h	6.52±1.00 d
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	3.35±1.00 h	6.39±1.00 d
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	2.84±1.00 h	6.26±1.00 d
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	69.93±1.00 e	15.48±1.00 ab
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	62.81±1.00 f	13.23±1.00 b
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	54.43±1.00 g	10.65±1.00 c
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SNP	78.31±1.00 c	15.45±1.00 ab
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SNP	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SNP	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e
%0 NaHCO ₃ + 50 µM SA	4.37±1.00 h	6.13±1.00 d
%0 NaHCO ₃ + 100 µM SA	3.86±1.00 h	4.87±1.00 d
%0 NaHCO ₃ + 150 µM SA	4.37±1.00 h	5.81±1.00 d
%20 NaHCO ₃ + 50 µM SA	83.91±1.00 b	15.35±1.00 ab
%20 NaHCO ₃ + 100 µM SA	73.23±1.00 d	14.65±1.00 ab
%20 NaHCO ₃ + 150 µM SA	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 50 µM SA	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 100 µM SA	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e
%40 NaHCO ₃ + 150 µM SA	0.00±0.00 ı	0.00±0.00 e



Şekil 4.19. Hidrojen peroksit içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)

4.3.5. Malondialdehit (MDA)

Çalışma sonucunda malondialdehit miktarına ait sonuçlar Çizelge 4.2.' de verilmiştir. Çalışmada NaHCO_3 x SNP/SA interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Stres uygulanmayan %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda malondialdehit seviyeleri oldukça düşüktür. Bu konsantrasyonda en yüksek malondialdehit miktarı 50 μM SNP (6.52) uygulamasında, en düşük malondialdehit miktarı ise 100 μM SA (4.87) uygulamalarında meydana gelmiştir. Çalışmanın %20 NaHCO_3 grubunda en yüksek malondialdehit miktarı meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek malondialdehit miktarı %20 NaHCO_3 (16.71) uygulamasında, en düşük malondialdehit miktarı ise %20 NaHCO_3 +150 μM SA (0.00)

uygulamasında bulunmuştur. Bu konsantrasyonda en düşük malondialdehit miktarının meydana geldiği (%20 NaHCO_3 +150 μM SA) uygulamadan elde edilen sonuç, bitkiciklerin tamamen zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışmada %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda alkali stresin etkisini 150 μM SNP uygulaması azaltmıştır. Yüksek alkali stres (%40 NaHCO_3) konsantrasyonunda alkali stresin meydana getirdiği hasardan kaynaklı bitkicikler zarar görmüş ve malondialdehit miktarının belirlenebilmesi için ölçüm yapılamamıştır. Bu konsantrasyonda malondialdehit miktarı sadece %40 NaHCO_3 +50 μM SNP (15.45) uygulamasında ölçülmüştür.



Şekil 4.20. MDA içeriğinin belirlenmesi (Orjinal)

5. TARTIŞMA

5.1. Morfolojik Parametreler

In vitro koşullarda Garnem anacı üzerinde sodyum bikarbonat (NaHCO_3) kaynaklı alkali stresine karşı yapılan SNP ve SA uygulamalarının, bitkiciklerin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerden hayatta kalma oranı, biyotik ve abiyotik stres şartlarında bitkilerin stres koşullarına karşı toleransını belirleyen önemli bir parametredir. Çalışmamızda NaHCO_3 konsantrasyonu arttıkça bitkiciklerin hayatta kalma oranının düştüğü tespit edilmiştir. NaHCO_3 kaynaklı alkali stres meydana getirdiği yüksek pH ile bitkilerin büyüme ve gelişimini kısıtlamaktadır (Guo vd., 2010). NaHCO_3 kaynaklı alkali stres koşullarında uygulanan SNP ve SA konsantrasyonları karşılaştırıldığında SA uygulaması daha iyi sonuçlar vermiştir. Stres koşullarının meydana getirdiği hasarın iyileştirilmesi amacıyla uygulanan 50 ve 100 μM SA uygulamalarının hayatta kalma oranını arttırdığı, 150 μM SA konsantrasyonunda ise olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Salisilik asit, bitkilerde stres toleransını arttıran sinyal moleküllerinden biri olup, düşük konsantrasyonlarda antioksidan savunma mekanizmalarını harekete geçirmektedir. SNP, bir nitrik oksit donörüdür. Bitki kültürlerinin morfogenetik potansiyelinin yanı sıra bitkilerdeki diğer büyüme ve gelişme ve stres tepkilerini arttırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük konsantrasyonda SA ve SNP'nin biyotik ve abiyotik stress toleransını arttırarak hayatta kalma oranını arttırdığı, ancak yüksek konsantrasyonlarda uygulanmasının toksik etki oluşturabileceğini göstermektedir (Hara vd., 2012; Sundararajan vd., 2022). Çalışmadan elde edilen sonuçlar, salisilik asidin abiyotik stresin meydana getirdiği hasarı iyileştirdiği kanısını destekler niteliktedir (Shakirova, 2007; Hayat vd., 2010). Benzer şekilde Sajid ve Aftab (2012) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda tuzluluk stresi altındaki iki farklı patates çeşidine orta düzeyde uygulanan salisilik asit uygulamalarının bitkinin büyümesini arttırdığı, ancak yüksek konsantrasyonlardaki salisilik asit uygulamasının tuzluluk stresine karşı tolerans sağlamaması çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Çalışmada elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla tutarlıdır. Hayatta kalma oranında yüksek konsantrasyondan kaynaklı düşüşlerin meydana gelmesi yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir (Ekinci vd., 2024a).

Çalışmada köklenme oranının hem NaHCO_3 stresinin hem de uygulanan SA ve SNP' nin konsantrasyonuna bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. NaHCO_3 'ün yüksek konsantrasyonlardaki varlığı yüksek pH'ya ve iyon toksisitesine

neden olarak kök gelişimini inhibe ettiği bilinmektedir (Yang vd., 2008; Fan vd., 2021). Bu doğrultuda, çalışmada %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda tespit edilen düşük köklenme oranları, NaHCO_3 'ün doğrudan stres oluşturduğunu göstermektedir. Köklenme oranı parametresinde en fazla köklenme oranının %20 NaHCO_3 uygulamasında meydana gelmiştir. Alkali strese karşı uygulama yapılan SNP ve SA uygulamalarından 100 μM SNP'nin %0 NaHCO_3 grubunda en yüksek köklenme meydana getirmiştir. %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda 150 μM SNP uygulaması pozitif etkiler sağlarken, 150 μM SA uygulaması tüm gruplarda olumsuz sonuçlar meydana getirmiştir. SNP'nin kök büyümesini teşvik ettiği ve oksidatif stresi azalttığı literatürde yer alan çalışmalar ile desteklenmektedir (Han vd., 2009; Jabeen vd., 2021). Yüksek konsantrasyonda SA uygulamasının köklenme oranını belirgin şekilde düşürmesi, SA'nın oksidatif stres seviyelerini artırarak bitkide ilave bir stres kaynağı olabileceğini düşündürmektedir (Bagautdinova vd., 2022). Bu durum, Sobczak vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada belirtilmiş olup, yüksek EC besin çözeltisinde yüksek konsantrasyonda SA uygulamasının tatlı biberin büyüme ve gelişme parametrelerinde toksik etki meydana getirdiği bildirilmiştir.

Çalışmamızda NaHCO_3 konsantrasyonunun artmasıyla birlikte sürgün uzunluğunda önemli ölçüde bir azalma meydana gelmiştir. Alkali stres koşulları altında bitkinin zayıf besin alımı nedeniyle bitki büyümesi kısıtlanmaktadır (Msimbira ve Smith, 2020). Alkali koşullarda yüksek konsantrasyonda karbonat ve bikarbonat bulunmaktadır. Yüksek Na^+ içeriği, yüksek pH ve ozmotik stresin bir araya gelmesi bitki büyümesinde bozulmalara neden olmaktadır (Singh vd., 2018). 100 μM SNP uygulaması, %0 NaHCO_3 koşullarında en uzun sürgün gelişimini sağlamıştır. Bu bulgu, SNP'nin nitrik oksit (NO) donörü olarak bitki büyümesini teşvik ettiğini bildiren çalışmalar ile desteklenmektedir. SNP, belirli sitokinin etkilerini taklit ederek hücre bölünmesi ve uzamasını sağlamaktadır. Türe ve uygulama yapılan konsantrasyona göre değişmekle birlikte bitki büyümesini ve sürgün gelişimini teşvik etmektedir (Arun vd., 2017; Scherer ve Holk, 2000; Sundararajan vd., 2022). Ancak artan NaHCO_3 konsantrasyonunun ile SNP' nin sürgün uzunluğuna olan etkisi azalmıştır. 100 μM SNP uygulaması %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda sürgün uzunluğunu kontrol grubu ile kıyaslandığında bir miktar artırmıştır. Çalışmadan elde edilen bu sonuçlar, SNP'nin oksidatif stresin etkilerini azaltarak belirli koşullarda bitki büyümesini destekleyebildiği ancak aşırı alkali stresin büyüme üzerindeki inhibe edici etkisini tamamen ortadan kaldıramadığını göstermektedir. %0 ve %20 NaHCO_3 konsantrasyonlarına ait uygulamalarda 50 μM ve 100 μM SA uygulamaları sürgün uzunluğunu artırırken, 150 μM SA uygulaması ise büyümeyi belirgin şekilde inhibe etmiştir. Salisilik asit (SA), bitki büyümesini,

gelişimini ve bitkinin stres faktörlerine karşı tepkilerini düzenleyen bir fitohormon olarak bilinmektedir (Ghosh vd., 2024). Düşük dozlarda büyümeyi teşvik etmesi, yüksek dozlarda toksik etkilere neden olması yapılan çalışmalar ile doğrulanmaktadır (Koo vd., 2020; Phong Lam vd., 2024). 150 μ M SA uygulaması, tüm NaHCO_3 konsantrasyonlarında sürgün uzunluğunda en fazla azalmaya neden olan uygulama olmuştur. Yapılan çalışmalarda SNP ve SA uygulamalarının yapıldığı çalışmalardan elde edilen sonuçlar çalışmamızı desteklemektedir. Ekinci vd. (2024a) tarafından yapılan çalışmada 200 μ M SNP uygulamasının aronya bitkiciklerinin sürgün uzunluğunu arttırdığı bildirilmiştir. Meksika lime'nda kuraklık stresi koşullarında, düşük konsantrasyonlarda uygulanan SNP'nin sürgün uzunluğunu iyileştirmesi çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir (Jafari ve Shahsavar, 2022).

Çalışmamızda en fazla yaprak sayısını %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda 100 μ M SA, %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda ise 50 μ M SA uygulaması meydana getirmiştir. %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda SA uygulaması ile en yüksek sayıda yaprak sayısının elde edilmesi, düşük konsantrasyonda SA uygulamasının abiyotik stres toleransını attırabileceğini göstermektedir. Bu durum, SA' nın düşük konsantrasyonlarda uygulandığı çalışmalarda da elde edilen sonuçlar ile doğrulanmaktadır (Youssef vd., 2017; Özçınar, 2024). %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en yüksek yaprak sayısı kontrol grubunda meydana gelmiştir. Bu durum, garnem anacının verimsiz topraklarda yetiştiriciliğinin yapılabilmesi ve yüksek pH'dan kaynaklı demir klorozuna toleranslı olması ile açıklanabilmektedir (Felipe, 2009; Çantal, 2022). Yapılan tüm uygulamalarda en düşük yaprak sayısı %20 NaHCO_3 +150 μ M SNP uygulamasında meydana gelmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonucu, acı baklada farklı konsantrasyonlarda ekzojen SNP uygulamalarının düşük konsantrasyonlarda kontrole kıyasla yaprak sayısının arttırdığı, SNP konsantrasyonunun artması ile yaprak sayısında düşüşlerin meydana gelmesi çalışmamız ile paralellik göstermektedir (Esmail vd., 2018).

Çalışmamızda kök sayısı, NaHCO_3 , SNP ve SA konsantrasyonlarına göre değişiklik göstermektedir. %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda 50 μ M SNP uygulaması en fazla kök sayısını meydana getirmiştir. %20 NaHCO_3 ve %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda en fazla kök sayısı kontrol grubunda meydana gelsede 100 ve 150 μ M SNP uygulamaları bu konsantrasyonda yapılan diğer uygulamalara kıyasla kök sayısını arttırmıştır. NO' nun oksinler ve sitokinler ile etkileşime girerek bitki hücrelerinde farklılaşma ve yeniden farklılaşma süreçlerini yönlendirebileceğini ve hücre bölünme hızını bu süreçlerle ilişkilendirebileceğini göstermektedir. Bu

doğrultuda, SNP'nin tek başına uygulanmasının sürgün tabanında kök oluşumunu en iyi şekilde teşvik ettiği, adventif ve yanal köklerin sayısında aşamalı bir artış sağladığı ve köklenme oranını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir (Otvos vd., 2005; Xu vd., 2009; Sundararajan vd., 2022). SNP'nin kök oluşumunu teşvik ettiği çalışmalar bulunmaktadır. Sarropoulou vd. (2014) tarafından 3 farklı kiraz anacının *in vitro* koşullarda köklendirilmesinde 50 μ M SNP'nin anaçların köklendirilmesinde önemli rol oynadığını ve anaçların farklı genotipleri nedeniyle SNP konsantrasyonlarına farklı tepkiler verdikleri bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada domates fiderine uygulanan SNP'nin yanal kök sayısını arttırdığı bildirilmiştir (Correa-Aragunde vd., 2004). Tüm NaHCO_3 konsantrasyonlarında 150 μ M SA uygulaması en düşük kök sayısının meydana gelmesine neden olmuştur. Bunun sebebinin yüksek SA konsantrasyonlarında oksidatif stres oluşması ve reaktif oksijen türleri üretimini arttırması olarak belirtilmektedir (Hamilton ve Heckathorn, 2001; Poór, 2020). Bu durumun hücre bölünmesini azaltarak kök gelişmesini engellediği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, Sajid ve Aftab (2012) tarafından *in vitro* koşullarda yapılan çalışmada tuz stresi altındaki üç farklı patates çeşidine SA uygulayarak tuz stresini azaltmayı amaçlamış, orta düzeyde SA'nın kök sayısını arttırdığını ancak yüksek konsantrasyonların iyileştirici etki meydana getirmemesi çalışmamızdan elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

Çalışmamızda kök uzunluğuna ait veriler incelendiğinde, NaHCO_3 konsantrasyonu arttıkça kök uzunluğunda önemli derecede azalmalar meydana gelmiştir. Ancak %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda 50 μ M SA uygulaması, %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda 50 μ M SNP uygulaması kök uzunluğunu arttırmıştır. Düşük konsantrasyondaki SNP ve SA uygulamaları alkali stresin olumsuz etkilerini iyileştirirken, yüksek konsantrasyondaki SA uygulaması olumsuz etkilemiştir. Elde edilen bu sonuçlar yapılan çalışmalar ile de paralellik göstermektedir. NaHCO_3 kaynaklı alkali stres koşullarında konsantrasyon arttıkça kök uzunluklarında azalmalar meydana gelmekte, bu da alkali stresi ile kök büyümesi arasındaki negatif ilişkiyi göstermektedir. Bu durum, yapılan çalışmalar ile doğrulanmaktadır (Guo vd., 2019; Sial vd., 2019). Oksinlerin ve nitrik oksit'in (NO) sinerjistik etki göstererek yanal, tesadüfi, ve tüylü köklerin oluşumunu ve uzamasını sağladığı bildirilmiştir (Lombardo vd., 2006; Sundararajan vd., 2022). Bu bilgiler doğrultusunda yapılan bir çalışmada *Hyssopus officinalis* bitkisinde 15 μ M SNP uygulamasına kadar kök uzunluklarında artış sağlandığı, 20 μ M SNP uygulamasında ise azalmaların meydana geldiği bildirilmiştir (Sadat-Hosseini ve Soleimani, 2024). SA'nın düşük konsantrasyonda uygulanması alkali stres koşullarında iyileştirici etki göstererek kök uzunluğunu arttırmıştır. Yapılan benzer bir çalışmada mısırdaki NaCl

kaynaklı tuz stresinde farklı konsantrasyonlarda ekzojen SA uygulamasında 50 mM SA uygulamasının kök uzunluğunu attırması, SA konsantrasyonunun artması ile kök sayısında azalmaların meydana gelmesi çalışmamız ile paralellik göstermektedir (Gautam ve Singh, 2009).

Farklı konsantrasyonlarda NaHCO_3 kaynaklı alkali stresine karşı uygulanan SNP ve SA uygulamalarının bitki yaş ve kuru ağırlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Alkali stres iyon alımını engellemekte ve hücrelerinin iyon dengesini bozmaktadır (Lin vd., 2012; Ahmad vd., 2014). Ayrıca alkali stres koşullarında meydana gelen yüksek pH, çeşitli makro ve mikro elementlerin çökmesine ve bitki tarafından alınamamasına neden olmaktadır (Cartmill vd., 2008; Pérez-Martín vd., 2021; Sagervanshi vd., 2021). Bunun sonucunda bitkinin büyümesi ve biyokütlesinin olumsuz etkilendiği düşünülmektedir. Çalışmamızda SNP uygulamalarının alkali stresin etkilerini iyileştirerek bitki yaş ve kuru ağırlığında artış sağladığı belirlenmiştir. SNP, abiyotik stresin bitki büyüme ve gelişimi üzerindeki etkisini azaltırken bitkilerin stres koşullarındaki tepkilerini de güçlendirmektedir (Dhankher ve Foyer 2018; Ullah vd., 2024). Çalışmamızda 50 ve 100 μM SNP'nin alkali strese karşı iyileştirici etki gösteren uygulamalar olduğu saptanmıştır. SNP uygulamaların bitki yaş ve kuru ağırlığında artış sağladığına dair yapılan çalışmalar mevcuttur. Tuzluluk stresi koşullarında yapılan bir çalışmada, SNP uygulamalarının buğdayın kök taze ve kuru ağırlıklarında tuzluluk stresinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde etkili olduğu bildirilmiştir (Ali vd., 2017). Yapılan başka bir çalışmada, *in vitro* koşullarda Meksika lime'ında kuraklık stresine karşı uygulanan SNP'nin etkileri incelenmiştir. Çalışmada, en düşük konsantrasyon olan 25 μM SNP uygulamasının sürgün taze ve kuru ağırlıkları üzerinde olumlu etkiler yarattığı, dolayısıyla kuraklık stresinin etkilerini hafiflettiği belirlenmiştir. Bu bulgu, çalışmamızdaki sonuçları da desteklemektedir (Jafari ve Shahsavar, 2022). Çalışmamızda en düşük bitki yaş ve kuru ağırlıkları 150 μM SA uygulamasında meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda, yüksek konsantrasyonda SA uygulamasının hücre ölümüne neden olarak bitki gelişimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Radojičić vd., 2018). Benzer şekilde, çalışmamızda da en düşük bitki yaş ve kuru ağırlığının, yüksek SA konsantrasyonlarında saptanması, bu durumun yüksek konsantrasyonda SA uygulamasının toksik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmada bitkiciklerin alkali stresten zararlanma dereceleri belirlenmiştir. NaHCO_3 kaynaklı alkali stres bitkiciklerin yapraklarında görünür semptomlara neden olmuştur. NaHCO_3 konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak zararlanmanın şiddeti

değişiklik göstermiştir. %0 NaHCO_3 konsantrasyonunda kontrol ve SNP uygulamalarında zararlanma en düşük seviyede iken, 150 μM SA uygulamasındaki en fazla zararlanma meydana gelmiştir. Yüksek konsantrasyonda uygulanan SA bitkiciklerin yapraklarının tüm kısımlarında nekrozlara neden olmuştur. %20 NaHCO_3 konsantrasyonunda yaprak uçlarında ve yaprak kenarlarında nekrozlar meydana gelmiştir. Bu uygulamada bitkiciklerin en fazla zararlanmasına 150 μM SA uygulaması neden olmuştur. %40 NaHCO_3 konsantrasyonunun tüm uygulamalarında zararlanma indeksi tüm uygulamalarda en yüksek seviyede zarar vermiştir. Özellikle SA uygulamalarıyla zararlanma indeksi 4.00' e ulaşmıştır. %40 NaHCO_3 konsantrasyonunda 50 μM SNP uygulamasında en az zararlanma meydana gelmiştir. Bu sonuç, SNP'nin yüksek stres koşullarında belirli bir düzeye kadar iyileştirici etki yapabildiğini göstermektedir. Çalışmada 50 μM SNP uygulamasının üç NaHCO_3 konsantrasyonunda da zararlanma indeksini azalttığı, bu sonuca karşılık yüksek konsantrasyonda SA uygulamasının alkali stres koşullarında zararlanma indeksini arttırdığı belirlenmiştir. NO, serbest radikal özelliğinden kaynaklanan reaktif ara ürünleri temizleme ve zincir reaksiyonlarını durdurma kapasitesi nedeniyle, oksidatif hasara bağlı stres koşullarına karşı toleransta önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir (Ahmad vd., 2016). Çalışmamızda yapılan SNP uygulamalarının alkali stresin zararlı etkilerini iyileştirerek zararlanma indeksinde önemli düşüş sağlaması yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir. Bu doğrultuda yapılan bir çalışmada, sorgumda 25, 50, 150 ve 300 μM konsantrasyonlarda uygulanan SNP'nin NaCl stresinin meydana getirdiği zararlanmayı azalttığı bildirilmiştir (Stefanov vd., 2023). Yapılan başka bir çalışmada hasat öncesinde domates meyvelerine SNP uygulamasının hasat süresince soğuk zararını azalttığı bildirilmiştir (Ahmadi Soleimanie vd., 2020).

5.2. Fizyolojik Parametreler

Membran geçirgenliği hücre içi ve hücre dışı ozmotik uyumsuzluğa bağlı olarak gelişen bir iyon dengesizliğini ifade etmektedir (Kuşvuran, 2010). Alkali stres koşullarında aşırı reaktif oksijen türlerinin birikimi, hücre zarında lipid peroksidasyonuna neden olarak membran geçirgenliğini artırmaktadır (Mittler, 2002; Gill & Tuteja, 2010). Alkali stres uygulanmayan (%0 NaHCO_3) kontrol koşullarında gerçekleştirilen SNP uygulamaları membran geçirgenliğini arttırmamıştır. Ancak SA uygulamaları hücre zarında membran geçirgenliğinin artmasına neden olmuştur. Stres uygulanan gruplarda NaHCO_3 konsantrasyonunun artması ile membran geçirgenliğinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Tüm NaHCO_3 konsantrasyonlarında 100 μM SNP uygulaması membran zararlanmasını en düşük seviyede tutarken, 150 μM SA uygulamaları en fazla membran zararlanmasına neden

olmuştur. Bu sonuç, SNP'nin düşük konsantrasyonlarda hücre zarı üzerinde korucuyucu etkisinin olduğunu göstermektedir. Nitrik oksit (NO), bitkisel savunma sistemlerinde önemli bir sinyal molekülüdür. Antioksidan enzimlerin, tiyollerin ve uyumlu ozmolitlerin aktivitesini arttırmaktadır. Böylece, bitkileri tuzluluk, kuraklık ve ağır metal kaynaklı stres koşullarına karşı korurken, hücre zarında meydana gelebilecek yapısal bozulmaları, iyon ve metal kaynaklı toksisiteyi, ozmotik stresi, lipid peroksidasyonunu ve reaktif oksijen türlerinin aşırı birikimini engellemektedir (Wani vd., 2021). SNP'nin membran zararlanmasını azalttığına dair yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Maslennikova vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, tuzluluk stresi koşullarında ekzojen SNP uygulamasının tuzluluk stresinin neden olduğu zararlı etkiyi azalttığı, SNP uygulanmış fidelerde daha az reaktif oksijen türlerinin oluşumunu, antioksidan enzimlerin aktivasyonunu ve membran zararını azalttığı bildirilmiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada *in vitro* koşullarda Meksika lime'ında kuraklık stresinin zararlı etkilerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanan SNP'nin membran geçirgenliğini azalttığı bildirilmiştir (Jafari ve Shahsavar, 2022). Çalışmamızda yapılan tüm SA uygulamalarının membran geçirgenliğinin artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Salisilik asidin bitkilerde abiyotik ve biyotik stres koşullarına karşı olumlu etkilerinin, genellikle düşük dozlarda uygulandığında ortaya çıktığı belirtilmektedir. Buna karşın, yüksek konsantrasyonlarda uygulanan SA'nın oksidatif hasara yol açarak stres toleransını olumsuz yönde etkileyebileceği bildirilmiştir (Miura ve Tada, 2014; Kumar vd., 2022). Öztürkci ve Arpalı, (2019) tarafından yapılan çalışmada ekmeklik buğdayda kuraklık stresi altında uygulanan 0.1 mM kg^{-1} ve 1.0 mM kg^{-1} SA konsantrasyonlarına bağlı olarak membran geçirgenliğini artırması çalışmamızdan elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Yaprak oransal su içeriği, NaHCO_3 konsantrasyonunun artması ile azalmıştır. Bitkilerin su içeriği, turgorun korunması ve bitkilerin kökler aracılığıyla mineral besin maddelerinin etkin bir şekilde alımı için önem taşımaktadır. Bitkilerin su içeriklerinde meydana gelen azalmalar, hücrelerin turgor kaybına uğrayarak büzülmesine neden olmaktadır. Bu durumda bitki ozmotik dengeyi sağlamak amacıyla fizyolojik savunma mekanizmalarını aktive ederek hücre hacmini dengelemeye çalışmaktadır (Çırak ve Esendal, 2003; İpek, 2015). Çalışmamızda alkali stres sonucu yaprakların oransal su içeriğinde meydana gelen düşüşleri destekleyen benzer çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada, Na_2CO_3 kaynaklı alkali stresine maruz kalan mısır fidelerinde yaprak oransal su içeriğinde düşüşlerin meydana geldiği, bu düşüşlerin en yüksek Na_2CO_3 konsantrasyonda en belirgin düzeye ulaştığı bildirilmiştir (Abdel Latef ve Tran, 2016). Çalışmamızdan elde edilen veriler doğrultusunda SNP'nin alkali stres

koşullarında bitkiciklerin yaprak oransal su içeriğini arttırdığı belirlenmiştir. SNP, bitkilerde fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde aracılık eden önemli bir sinyal molekülüdür. Abiyotik stres koşullarında bitkilerin stoma hareketlerinin düzenlenmesini sağlayarak bitkinin su kaybetmesini önlemektedir (Lau vd., 2021; Zhang vd., 2023a; Pandey vd., 2023). Bu durum, çalışmamızda alkali strese karşı yapılan SNP uygulamalarının yaprak oransal su içeriğini arttırması sonucu ile doğrulanmakta ve yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir. Ghadakchiasl vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada *in vitro* koşullarda ahududunda tuzluluk stresi koşullarında uygulanan SNP'nin stres koşullarında vejetatif gelişmesinin yanında yaprak oransal su içeriğini arttırdığı bildirilmiştir. Tuzluluk stresine maruz bırakılan marul bitkilerinde yaprakta uygulanan SNP' nin düşük konsantrasyonlarının önemli bir etki göstermemesi, buna karşın yüksek konsantrasyondaki SNP uygulamalarının yaprak oransal su içeriğini artırması yönündeki bulgular, çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ile uyumludur (Sardar vd., 2023). Çalışmamızda stres uygulanmayan (%0 NaHCO₃) grupta yapılan SA uygulamaları kontrole kıyasla yaprak oransal su içeriğini düşürürken, alkali stres koşullarında yapılan SA uygulamaları olumlu sonuçlar vererek yaprak oransal su içeriğini arttırmıştır. SA, doğal olarak bulunan fenolik bir bileşiktir. Bitkilerin fizyolojik süreçlerinin düzenlenmesinin yanında stoma hareketlerinde ve bitkinin solunumunda önemli rol oynamaktadır (Raskin, 1992; Khokon vd., 2011; Loutfy vd., 2012). Çalışmamızda yüksek konsantrasyonda (%40 NaHCO₃) alkali stres koşullarında 50 µM SA uygulamasının yaprak oransal su içeriğini arttırması ve stres koşullarında bitkiciklerin stomalarının kapanmasını sağlayarak su kaybını önlediği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar yapılan çalışmalar ile uyumludur. Yapılan bir çalışmada, tuzluluk stresi koşullarında çilekte yaprak oransal su içeriğinde azalma meydana geldiği, ancak bu olumsuz etkinin SA uygulamaları ile önemli ölçüde hafifletilerek yaprak oransal su içeriğinin arttığı bildirilmiştir (Karlıdağ vd., 2009).

5.3. Biyokimyasal Parametreler

Çalışmada klorofil miktarı değerlendirildiğinde, NaHCO₃ konsantrasyonunun artması ile stres uygulanmayan gruptaki uygulamalar ile karşılaştırıldığında klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğinde çok önemli bir azalma meydana gelmiştir. Bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde ihtiyaç duyduğu karbon ve enerjinin ana kaynağı fotosentezdir (Simkin vd., 2019; Hussain vd., 2021). Yapılan çalışmalarda, tuzluluk ve alkali stresin fotosentezin azalmasına; buna bağlı olarak fotosentez hızı, stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentetik pigment düzeylerinde düşüşe yol açabileceği belirtilmiştir. Alkali stres tuzluluk stresinden daha fazla bitki

fotosentezine zarar vermektedir (Chen vd., 2011; Yang vd., 2011; Liu vd., 2022). Toprakta yüksek konsantrasyonda NaHCO_3 varlığında toprak pH'sı yükseltmektedir. Bu durum toprak bünyesinde yüksek oranda sodyum, düşük su sızma kapasitesi ve yüksek bikarbonat miktarı sonuçlanmaktadır. Bitkinin kök bölgesinde yüksek konsantrasyonda bulunan bikarbonat iyonları, başta demir (Fe) olmak üzere birçok mikro besin elementinin bitki tarafından alınabilirliğini engellemektedir. Bu durum alkali koşullarda bitkilerde klorozun meydana gelmesinin birinci faktörü olarak kabul edilmektedir (Rouphael vd., 2010; Liu ve Saneoka, 2019). Çalışmamızda %40 NaHCO_3 'de gözlemlenen pigment kaybı iyon toksisitesinden kaynaklanmaktadır. Çalışmadan elde edilen bulgular yapılan çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Buğdayda tuzluluk ve alkali stres koşullarında klorofil içeriğinin olumsuz etkilendiği, alkali stresin tuzluluk stresinden daha fazla azalttığı bildirilmiştir (Liu vd., 2022). Yine benzer şekilde fasulyede tuzluluk stresi ile alkali stress karşılaştırıldığında, alkali stres altında stres yoğunluğundaki artışla klorofil a ve klorofil b içeriklerinin hızla azaldığı bildirilmiştir (Yu vd., 2019). Çalışmamızda SNP uygulamalarının klorofil içeriklerini arttırdığı, SA uygulamalarında konsantrasyonun artması ile klorofil içeriklerinde azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Düşük konsantrasyondaki (50 μM SNP) uygulaması alkali strese karşı klorofil miktarını arttırmıştır. Nitrik oksit (NO) stres koşullarında kloroplast zar yapısının bozulmasını engelleyerek, fotosentetik pigmentlerin içeriğinin korunmasını sağlamaktadır (Kausar vd., 2013; Ahmad vd., 2018). Bu doğrultuda çalışmamızda SNP uygulamalarının klorofil içeriklerinde anlamlı artış sağlaması nitrik oksitin stres toleransını arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. SNP'nin abiyotik stres koşullarında iyileştirici etki göstererek klorofil miktarını arttırdığı benzer çalışmalar bulunmaktadır. Pirinçte ağır metal stresine karşı ekzojen SNP uygulamalarının, ağır metal stresi altındaki bitkilerde klorofil miktarını arttırdığı bildirilmiştir (Niyofasha vd., 2023). Yapılan başka bir çalışmada su teresinde arsenik kaynaklı oksidatif strese karşı ekzojen SNP uygulamalarının, arseniğin klorofil içeriği üzerindeki inhibe edici etkisini hafiflettiği bildirilmiştir (Namdjoyan ve Kermanian, 2013). Salisilik asit, bazı durumlarda bitkiler için stres oluşturabilmekte ve özellikle belirli bir eşik değerin üzerindeki konsantrasyonlarda fotosentez süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, bu bileşiğin etkili olduğu konsantrasyon aralığının; bitki türü, uygulama şekli, süresi ve çevresel etmenlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir (Janda vd., 2014). Singh (2023), tarafından yapılan çalışmada yüksek konsantrasyonda salisilik asit uygulamalarının ıspanağın klorofil seviyesini azalttığı bildirilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir.

Çalışmamızda stres uygulanmayan grupta (%0 NaHCO₃) hidrojen peroksit (H₂O₂) seviyeleri yapılan uygulamalar ile de sabit kalıp bir artış meydana gelmemiştir. Alkali stres koşullarında H₂O₂ seviyeleri artmıştır. H₂O₂, bitkilerde normal koşullarda doğal olarak bulunmakta ve çevresel stres faktörlerine tepki olarak süperoksit anyonları (O₂⁻) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi reaktif oksijen türlerini üretmektedir. Bu reaktif oksijen türleri düşük konsantrasyonlarda stres toleransının düzenlenmesinde önemli hücrel sinyal molekülleri olarak hareket etmektedir. Fakat yüksek konsantrasyonda hücre zarlarına, proteinlere, RNA ve DNA'ya zarar vererek önemli düzeyde oksidatif hasara neden olmaktadır. Çok ileri düzeyde hücre ölümleri ile de sonuçlanabilmektedir (Sharma vd., 2012; Saxena vd., 2016; Choudhury vd., 2017; Liu vd., 2019; Sarioğlu, 2023). %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda yapılan 150 µM SNP uygulaması H₂O₂ seviyesini önemli ölçüde azaltmıştır. %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda bitkiciklerin alkali streten zararlanması nedeniyle H₂O₂ seviyeleri ölçülemedi. Bu grupta yalnızca 50 µM SNP uygulamasında ölçüm yapılmıştır. Bu durum, SNP'nin düşük konsantrasyonlarda dahi bitkilerin abiyotik stres koşullarına karşı toleransını arttırdığını göstermektedir. Ayrıca bir nitrik oksit donörü olan SNP, ROS temizleyici enzimlerin aktivitesini artırarak aktif oksijen birikimini azaltmaktadır (Kotapati vd., 2017; Zhang vd., 2024). Yasir vd., (2021), tarafından yapılan çalışmada tuzluluk stresi koşullarından mercimek bitkisine ekzojen olarak uygulanan SNP'nin konsantrasyonunun artması ile H₂O₂ seviyesini kademeli olarak azalttığı bildirilmiştir. Yine yapılan benzer bir çalışmada, buğdayda arsenik kaynaklı oksidatif stres uygulamalarında H₂O₂ seviyesinin arttığı, ancak ekzojen SNP uygulamalarının H₂O₂ seviyesini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Hasanuzzaman ve Fujita, 2013). Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar SNP'nin hidrojen peroksit seviyesini azalttığına dair yapılan çalışmalar ile uyumludur.

Malondialdehit (MDA), bitki hücrelerindeki çoklu doymamış yağ asitlerinin peroksidasyonu sonucunda oluşan son ürünlerden biridir ve bu sayede hücrel düzeydeki oksidatif hasarın tespitinde güvenilir bir biyokimyasal belirteç olarak öne çıkmaktadır. Bitkiler biyotik ve abiyotik stres koşullarında ne kadar zarar görürse, MDA miktarı da o derece yüksek olmaktadır (Morales ve Munné-Bosch; 2019; Zhang vd., 2021). Alkali stres koşullarında yüksek pH'dan kaynaklı besin maddelerinin alımı zorlaşmakta ve bitki büyümesi boyunca daha fazla oksidatif strese neden olmaktadır. Ayrıca hücrel proteinlere, lipitlere ve DNA' da oksidatif hasara yol açan önemli seviyede reaktif oksijen türlerinin birikimine neden olmaktadır (Zhang vd., 2023b). Çalışmamızda alkali stres konsantrasyonu arttıkça malondialdehit (MDA) miktarı artmıştır. %20 NaHCO₃ konsantrasyonunda yapılan SNP uygulamaları olumlu sonuçlar vermiştir. SNP konsantrasyonu arttıkça MDA

miktarında kademeli bir şekilde azalma meydana gelmiştir. %40 NaHCO₃ konsantrasyonunda bitkiciklerin alkali strese zararlanması nedeniyle MDA miktarları ölçülememiştir. Bu grupta yalnızca 50 µM SNP uygulamasında ölçüm yapılmıştır. Bu bulgular, yüksek düzeyde alkali stres koşullarında düşük konsantrasyonda SNP uygulamasının bitkicikleri oksidatif stresin meydana getirdiği hasara karşı koruduğunu göstermektedir. Çünkü SNP, bitkilerin abiyotik stres koşullarına karşı toleransını arttıran bir sinyal molekülüdür. SNP uygulamaları, bitkilerde ROS temizleyici enzimlerin aktivitesini artırarak aktif oksijen birikimini azaltmaktadır (Kotapati vd., 2017; Zhang vd., 2024). Bu doğrultuda çalışmamızda SNP uygulamaları MDA miktarının azaltmıştır. Yapılan çalışmalar, abiyotik stres koşullarında uygulanan SNP'nin MDA miktarını azalttığını göstermekte olup, bu bulgular çalışmamızı destekler niteliktedir. Karthik vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, soya fasulyesinin tuzluluk stresi koşullarında MDA miktarını ve bitki hücrelerinde toksisiteyi arttırdığı, ancak yapılan SNP uygulamalarının MDA miktarının azalttığı ve hayatta kama oranının iyileştirdiği bildirilmiştir. Benzer şekilde, *Vigna radiata*' da NaCl kaynaklı tuz stresine karşı uygulanan SNP'nin, tuzluluk stresinde yüksek MDA miktarını azalttığı bildirilmiştir (Roychoudhury vd., 2021). Salisilik asit uygulamalarından 100 µM konsantrasyonu diğer SA konsantrasyonlarına kıyasla MDA miktarını azaltmıştır. Ancak çalışmamızda alkali stres koşullarında yüksek konsantrasyonda olumsuz sonuçlar meydana getirmesinin toksik etki yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Salisilik asit fenolik bir bileşiktir. Bitkilerin büyüme ve gelişmelerinin düzenlenmesinde ve stres koşullarına karşı tepkilerde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bitkilerde antioksidan savunma sisteminde ve stres koşullarında bitki-su ilişkileri gibi önemli fizyolojik süreçleri düzenlemektedir (Miura ve Tada, 2014; Khan vd., 2015). Bu doğrultuda yapılan bir çalışmada kuraklık ve tuzluluk stresi altındaki *Brassica napus*'a uygulanan SA'nın MDA miktarının azalttığı bildirilmiştir (Ali vd., 2023).

6. SONUÇLAR

Bitkilerde stres, bitkilerin büyüme, gelişme ve verimin üzerinde olumsuz etkiler yaratan çevresel faktörleri ifade etmektedir. Bitkiler doğası gereği hareketsiz olduğundan dünya çapında ürün verimliliğini etkileyen birçok biyotik ve abiyotik stres koşullarına maruz kalmaktadır. Alkali stres, küresel tarımda bitkisel üretimi sınırlandıran önemli bir abiyotik stres faktörüdür. NaHCO_3 ve Na_2CO_3 tarafından oluşmaktadır. Tuz stresine ek olarak pH seviyesini arttırmaktadır. Alkali stres koşullarında iyon toksisitesi ve ozmotik stresin yanında yüksek pH hücre içi pH dengesini bozmaktadır. Ayrıca hücre zarı bütünlüğünü tahrip etmekte, kök canlılığını ve fotosentetik fonksiyonu azaltmaktadır. Bu stresin bitkiler üzerindeki semptomları, bitkilerin solması ve susuz kalan yaprakların sararmasıdır. Çalışma, *in vitro* koşullarda Garnem anacının NaHCO_3 kaynaklı alkali strese karşı SNP ve SA uygulamalarının stresin meydana getirdiği olumsuz etkilerin iyileştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

In vitro koşullarda farklı NaHCO_3 seviyeleri (%0, %20 ve %40) ile birlikte 50, 100 ve 150 μM konsantrasyonlarında SNP ve SA uygulanarak, bu iyileştirici ajanların bitki gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Toplamda 21 farklı uygulama grubunun oluşturulduğu çalışmada, SNP ve SA'nın farklı dozlarının alkali stresin neden olduğu morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler üzerindeki iyileştirici etkileri belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda NaHCO_3 konsantrasyonu arttıkça hayatta kalma oranı, köklenme oranı, sürgün uzunluğu, kök sayısı, kök uzunluğu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, zararlanma indeksi, membran geçirgenliği, YOSİ, klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, H_2O_2 ve MDA parametreleri alkali stresten olumsuz etkilenmiştir.

Yapılan SNP ve SA uygulamaları morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerinde iyileştirici etki göstermiştir. Morfolojik parametreler üzerinde düşük konsantrasyonda (50 ve 100 μM) SA uygulamaları ve tüm SNP uygulamaları farklı parametreler üzerinde olumlu sonuçlar vermiştir. Çalışmada bitkiciklerin alkali stresten ne derece zararlandığının belirlenmesi için zararlanma indeksi hesaplanmıştır. Yapılan uygulamalar arasında 50 μM SNP uygulaması alkali stresin meydana getirdiği zararı en etkili şekilde azaltan uygulama olmuştur.

Fizyolojik parametreler üzerinde SNP uygulamaları SA uygulamalarına kıyasla daha olumlu sonuçlar vermiştir. Membran geçirgenliğinde 100 μM SNP

uygulaması, YOSİ' de ise 150 µM SNP uygulaması etkili olmuştur.

Biyokimyasal parametreler üzerinde SNP uygulamaları alkali stresin neden olduğu olumsuzlukların iyileştirilmesinde SA uygulamalarına göre daha etkili olmuştur. Alkali strese karşı 50 ve 100 µM SNP uygulamalarının klorofil a, b ve toplam klorofil miktarını arttırdığı belirlenmiştir. Yine H₂O₂ ve MDA miktarlarında 150 µM SNP uygulamasının olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, SNP ve SA uygulamalarının alkali stresin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. SNP uygulamaların 3 konsantrasyonda (50, 100 ve 150 µM) da farklı parametreler üzerinde olumlu etki sağladığı, SA uygulamalarının ise sadece düşük konsantrasyonda (50 ve 100 µM) etkili olduğu belirlenmiştir. Yüksek konsantrasyonda (150 µM) SA uygulamalarının tüm parametreler üzerinde toksik etki yaptığı tespit edilmiştir.

7. ÖNERİLER

Bu çalışma, *Prunus* türlerinin yetiştiriciliğinde önemli olan Garnem anacının *in vitro* koşullarda NaHCO₃ kaynaklı alkali stresine karşı SNP ve SA uygulamalarının bu stresin olumsuz etkilerini azaltmadaki potansiyelini ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda düşük konsantrasyonda SNP ve SA uygulamalarının alkali stresin meydana getirdiği zararın iyileştirilmesinde etkili olduğu, buna karşın özellikle yüksek konsantrasyonda SA uygulamalarının bitkiciklerin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerinde toksik etkiye neden olduğu belirlenmiştir.

Bu kapsamda yapılacak çalışmalarda en uygun konsantrasyonun belirlenebilmesi daha geniş konsantrasyon aralıklarında uygulama yapılması önerilmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar *in vitro* koşullarda yapılmış uygulamaları kapsamaktadır. Yapılan SNP ve SA uygulamalarının sera ve tarla koşullarında da test edilerek etkinliklerinin uzun vadeli değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Stres koşullarında iyileştirici ajan olarak kullanılan SNP ve SA' nın, stres toleransı üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı belirlenebilmesi için antioksidan enzim aktiviteleri ve moleküler düzeyde incelemelerin yapılması gerekmektedir.

SNP' nin çeşitli konsantrasyonlarda gösterdiği pozitif etkiler, SNP' nin diğer büyüme düzenleyicileri veya antioksidanlarla kombinasyonlarının araştırılması için bir zemin hazırlamaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda SNP+SA gibi kombinasyonların sinerjik etkileri de test edilebilir.

Çalışma sonucunda SA uygulamalarında düşük dozların (50-100 µM) etkili, yüksek dozun (150 µM) ise toksik olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, gelecek çalışmalarda optimum uygulama konsantrasyonlarının belirlenmesinde referans noktası oluşturmaktadır.

Çalışmanın Garnem anacı üzerinde yapılması, benzer yaklaşımların farklı türler ve genetik materyaller üzerinde de test edilmesine olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel Latef, A. A., & Tran, L. S. P. (2016). Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. *Frontiers in plant science*, 7, 243.
- Duru, S., Hayran, S., & Gül, A. (2022). Türkiye’de Sert Çekirdekli Meyvelerin Üretimi ve İhracatta Rekabet Gücünün Değerlendirilmesi. *Bahçe*, 51(1), 29-36.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Gucel, S., & Tran, L. S. P. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in plant science*, 7, 347.
- Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Alam, P. (2018). Exogenous application of nitric oxide modulates osmolyte metabolism, antioxidants, enzymes of ascorbate-glutathione cycle and promotes growth under cadmium stress in tomato. *Protoplasma*, 255, 79-93.
- Ahmad, P., Ozturk, M., Sharma, S., & Gucel, S. (2014). Effect of sodium carbonate-induced salinity–alkalinity on some key osmoprotectants, protein profile, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in two mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Journal of plant interactions*, 9(1), 460-467.
- Ahmadi Soleimanie, S., Vafae, Y., & Koushesh Saba, M. (2020). Preharvest application of sodium nitroprusside improves tomato fruit quality and alleviates chilling injury during cold storage. *International Journal of Vegetable Science*, 26(4), 364-378.
- Ak, B. E., Kıyar, P. K., Hatipoğlu, I. H., & Dikmetaş, B. (2021). Effects of different BA and IBA concentrations on proliferation and rooting of ‘GARNEM’ rootstock *in vitro* propagation. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(4), 470-476.
- Ak, B.E. (2018). The Importance of *in vitro* Micropropagation of Fruit Crops1st International GAP Agriculture and Livestock Congress Proceedings Book. (ISBN 978-975-7113-65-2): 716-723.
- Ak, B.E., Ekin, H., Dikmetaş doğan, B., Can, Z.R., & Şaşkin, N. (2023). Badem Yetiştiriciliğinde Kullanılan Bazı Anaçlar Ve Özellikleri (Altıncı Bölüm). Modern Badem Yetiştiriciliği (Editörler: Prof. Dr. Bekir Erol AK ve Doç.Dr. Mine PAKYÜREK), İksad Yayınevi, Ankara, (ISBN: 978-625-367-591-2), s. 141-163.
- Ak, B.E., Hatipoğlu, İ.H., & Dikmetaş, B. (2021a). Propagation of Fruit Trees. (Chapter 3), Recenly Headways in Pomology. Iksad Publications, Ankara, (ISBN 978-625-7562-09-6), p. 55-92.
- Ak, B.E & Yaman, A., (2024). Some Traits of Different Almond Rootstocks and Relationships Between Rootstocks and Cultivars in Almonds. Proceeding Book of 5th International Conference on Scientific and Academic Research

(5- ICSAR 2024), December 23-24, 2024, Konya, Turkey.(ISBN: 978-625-5954-26-8): 1077-1083

- Aktaş, M. (2004). Bitkilerde beslenme bozuklukları ve tanınmaları. *Türkiye*, 3, 11-13.
- Ali, E., Hussain, S., Jalal, F., Khan, M. A., Imtiaz, M., Said, F., ... & Shah, F. (2023). Salicylic acid-mitigates abiotic stress tolerance via altering defense mechanisms in *Brassica napus* (L.). *Frontiers in plant science*, 14, 1187260.
- Ali, Q., Daud, M. K., Haider, M. Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., ... & Zhu, S. J. (2017). Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant physiology and biochemistry*, 119, 50-58.
- Altıncı, N. T., Cangi, R., & Üstün, D. (2020). Determining The Effects of Salicylic Acid Applications on High Temperature Stress in Narince Grape Variety. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(5), 1227-1231.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1.
- Arun, M., Naing, A. H., Jeon, S. M., Ai, T. N., Aye, T., & Kim, C. K. (2017). Sodium nitroprusside stimulates growth and shoot regeneration in chrysanthemum. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58, 78-84.
- Astier, J., Gross, I., & Durner, J. (2018). Nitric oxide production in plants: an update. *Journal of Experimental Botany*, 69(14), 3401-3411.
- Babaoğlu, M., Gürel, E., Özcan, S., 2002. Bitki Biyoteknolojisi, Selçuk Üniversitesi Basımevi, 374s.
- Babasheikhali, M. M., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., Barin, M., & Razavi, M. (2021). Foliar application of sodium nitroprusside and salicylic acid alleviates the adverse effects of alkaline soil on roses. *European Journal of Horticultural Science*, 86(1), 78-87.
- Babu, G. A., Mosa Christas, K., Kowsalya, E., Ramesh, M., Sohn, S. I., & Pandian, S. (2022). Improved sterilization techniques for successful *in vitro* micropropagation. In *Commercial scale tissue culture for horticulture and plantation crops* (pp. 1-21). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Bagautdinova, Z. Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A. V., Kovrizhnykh, V. V., Lavrekha, V. V., & Zemlyanskaya, E. V. (2022). Salicylic Acid in Root Growth and Development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2228.
- Baraz, B. (2002). Genel Meyvecilik. ISBN: 975-06-0096-7.
- Bartas, M. (2024). Abiotic Stresses in Plants: From Molecules to Environment. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), 8072.
- Bayav, A. (2023). Türkiye'nin Meyve Dış Ticaretini Etkileyen Faktörler: Bir Çekim

Modeli Yaklaşımı. *Meyve Bilimi*, 10(1), 166-172.

- Bolat, İ., & İkinci, A. (2019). Meyvecilikte Anaç Kullanımı. 1. *Uluslararası Harran Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, Şanlıurfa, Mart 8-10 (ISBN 978-605-7875-20-4).
- Cartmill, A. D., Valdez-Aguilar, L. A., Bryan, D. L., & Alarcón, A. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. *Scientia Horticulturae*, 115(3), 275-284.
- Chaffai, R., Ganesan, M., & Cherif, A. (2024). Abiotic Stress in Plants: Challenges and Strategies for Enhancing Plant Growth and Development. In *Plant Adaptation to Abiotic Stress: From Signaling Pathways and Microbiomes to Molecular Mechanisms* (pp. 1-30). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Chandra, S., Bandopadhyay, R., Kumar, V., & Chandra, R. (2010). Acclimatization of tissue cultured plantlets: from laboratory to land. *Biotechnology letters*, 32, 1199-1205.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2019). Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crops and Products*, 134, 168-176.
- Chen, S., Xing, J., & Lan, H. (2012). Comparative effects of neutral salt and alkaline salt stress on seed germination, early seedling growth and physiological response of a halophyte species *Chenopodium glaucum*. *African Journal of Biotechnology*, 11(40), 9572-9581.
- Chen, W., Feng, C., Guo, W., Shi, D., & Yang, C. (2011). Comparative effects of osmotic-, salt-and alkali stress on growth, photosynthesis, and osmotic adjustment of cotton plants. *Photosynthetica*, 49, 417-425.
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90(5), 856-867.
- Correa-Aragunde, N., Graziano, M., & Lamattina, L. (2004). Nitric oxide plays a central role in determining lateral root development in tomato. *Planta*, 218, 900-905.
- Çantal, D. (2022). Effect of different rootstocks on fruit quality and plant nutrient content of almond cvs. Ferragnes and Ferraduel (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Ege University Graduate School of Applied and Natural Science). p 56.
- Çetinkaya, H., Gözel, H., & Türker, S. (2022). Farklı Yaklaşımlarla Tarıma Yeniden Bakış. *Türkiye'de Meyveciliğin Gelişimi ve Durum Değerlendirmesi. Orient Yayınları, Ankara*, 574-598.
- Çırak, C., & Esendal, E. (2006). Soyada kuraklık stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.

- del Pilar Cordovilla, M., Aparicio, C., Melendo, M., & Bueno, M. (2023). Exogenous application of indol-3-acetic acid and salicylic acid improves tolerance to salt stress in olive plantlets (*Olea europaea* L. Cultivar Picual) in growth chamber environments. *Agronomy*, 13(3), 647.
- Demiral, T., & Türkan, I. (2005). Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and experimental botany*, 53(3), 247-257.
- Dempsey, D. M. A., Vlot, A. C., Wildermuth, M. C., & Klessig, D. F. (2011). Salicylic acid biosynthesis and metabolism. *The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists*, 9, e0156.
- Dey, S., & Raichaudhuri, A. (2022). Abiotic stress in plants. In *Advances in Plant Defense Mechanisms*. IntechOpen.
- Dong, Y., Chen, W., Liu, F., & Wan, Y. (2016). Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on peanut seedlings growth under iron deficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(22), 2490-2505.
- Dresselhaus, T., & Hückelhoven, R. (2018). Biotic and abiotic stress responses in crop plants. *Agronomy*, 8(11), 267.
- Ekinci, H., Rastgeldi, İ., Şaşkın, N., Ak, B. E., & Korkmaz, Ş. (2024b). Evaluation of performance of different culture media in *in vitro* shoot propagation of local grape varieties. *Applied Fruit Science*, 66(2), 641-648.
- Ekinci, H., Saskin, N., Ak, B. E., & Dogan, B. D. (2024). Effects of different healing agents on acclimatization success of *in vitro* rooted Garnem (*Prunus dulcis* × *Prunus persica*) rootstock. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 60(3), 309-317.
- Ekinci, H., Saskin, N., Korkmaz, Ş., & Aydınlik, Y. (2024a). The effect of sodium nitroprusside on the vegetative development of *Aronia melanocarpa* [Michx.] Elliot under *in vitro* conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(1), 13542-13542.
- Ekinci, H., Şaşkın, N., Dikmetaş, B., Ak, B. E. (2024c). Determination of the effects of drought stress on *Aronia melanocarpa* cv. Nero *in vitro* conditions. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 8(4), 760-767.
- Elazab, D. S., & Youssef, M. (2017). *In vitro* response of some Banana cultivars to Salicylic Acid Treatment under salinity stress. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 48(4), 168-184.
- Erturk, U., Yerlikaya, C., & Sivritepe, N. (2007). *In vitro* phytoextraction capacity of blackberry for copper and zinc. *Asian Journal of Chemistry*, 19(3), 2161.
- Eslami, M., Nasibi, F., Manouchehri Kalantari, K., Khezri, M., & Oloumi, H. (2019). Effect of exogenous application of l-arginine and sodium nitroprusside on fruit abscission and physiological disorders of pistachio (*Pistacia vera* L.)

- Scions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6(1), 51-62.
- Esmail, N. Y., Hashem, H. A., & Hassanein, A. A. (2018). Effect of treatment with different concentrations of sodium nitroprusside on survival, germination, growth, photosynthetic pigments and endogenous nitric oxide content of *Lupines termis* L. plants. *Acta Scientific Agriculture*, 2(5), 48-52.
- Fan, Y., Lu, X., Chen, X., Wang, J., Wang, D., Wang, S., ... & Ye, W. (2021). Cotton transcriptome analysis reveals novel biological pathways that eliminate reactive oxygen species (ROS) under sodium bicarbonate (NaHCO₃) alkaline stress. *Genomics*, 113(3), 1157-1169.
- Fang, S., Hou, X., & Liang, X. (2021). Response mechanisms of plants under saline-alkali stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 667458.
- Farouk, S., & Arafa, S. A. (2018). Mitigation of salinity stress in canola plants by sodium nitroprusside application. *Spanish journal of agricultural research*, 16(3), 16.
- Felipe, A. J. (2009). ‘Felinem’, ‘Garnem’, and ‘Monegro’ almond × peach hybrid rootstocks. *HortScience*, 44(1), 196-197.
- Gautam, S., & Singh, P. K. (2009). Salicylic acid-induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. *Acta physiologiae plantarum*, 31, 1185-1190.
- Ghadakchiasl, A., Mozafari, A. A., & Ghaderi, N. (2017). Mitigation by sodium nitroprusside of the effects of salinity on the morpho-physiological and biochemical characteristics of *Rubus idaeus* under *in vitro* conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 73-83.
- Ghosh, P., & Roychoudhury, A. (2024). Molecular basis of salicylic acid–phytohormone crosstalk in regulating stress tolerance in plants. *Brazilian Journal of Botany*, 47(3), 735-750.
- Gong, B., Li, X., Bloszies, S., Wen, D., Sun, S., Wei, M., Li, Y., Yang, F., Shi, Q., Wang, X. (2014). Sodic alkaline stress mitigation by interaction of nitric oxide and polyamines involves antioxidants and physiological strategies in *Solanum lycopersicum*. *Free Radical Biology and Medicine*, 71, 36-48.
- Gregory, P. J., Atkinson, C. J., Bengough, A. G., Else, M. A., Fernández-Fernández, F., Harrison, R. J., & Schmidt, S. (2013). Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. *Journal of experimental botany*, 64(5), 1209-1222.
- Guo, R., Shi, L., Ding, X., Hu, Y., Tian, S., Yan, D., ... & Yang, Y. (2010). Effects of saline and alkaline stress on germination, seedling growth, and ion balance in wheat. *Agronomy journal*, 102(4), 1252-1260.
- Guo, S. H., Han, N., Tang, M. L., Zhai, H., & Du, Y. P. (2019). The evaluation of NaHCO₃ stress mechanisms of grape hybrid rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 251, 167-173.

- Gupta, N., Jain, V., Joseph, M. R., & Devi, S. (2020). A review on micropropagation culture method. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 8(1), 86-93.
- Hajihashemi, S., Jahantigh, O., & Alboghobeish, S. (2022). The redox status of salinity-stressed *Chenopodium quinoa* under salicylic acid and sodium nitroprusside treatments. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1030938.
- Hamilton III, E. W., & Heckathorn, S. A. (2001). Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas complex II is protected by proline and betaine. *Plant physiology*, 126(3), 1266-1274.
- Hammud, F., Ak, B. E., Hatipoglu, I. H., Ekinici, H., & Dikmetaş, B. (2024). *In vitro* Propagation Techniques for 'Ferragnes' and 'Ferraduel' Almond Cultivars: Concentration Optimization and Rooting Success. *Meyve Bilimi*, 11(2), 79-85.
- Han, X., Yang, H., Duan, K., Zhang, X., Zhao, H., You, S., & Jiang, Q. (2009). Sodium nitroprusside promotes multiplication and regeneration of *Malus hupehensis* *in vitro* plantlets. *Plant cell, tissue and organ culture*, 96, 29-34.
- Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., & Miura, K. (2012). Abiotic stress and role of salicylic acid in plants. *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*, 235-251.
- Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2013). Exogenous sodium nitroprusside alleviates arsenic-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by enhancing antioxidant defense and glyoxalase system. *Ecotoxicology*, 22, 584-596.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and experimental botany*, 68(1), 14-25.
- Hayat, S., Ali, B., & Ahmad, A. (2007). Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. *Salicylic acid: A plant hormone*, 1-14.
- Hepaksoy, S. (2004). Bazı kiraz anaçlarının mikroçoğaltımı üzerinde araştırmalar I. Gelişme ve çoğalma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(3), 11-22.
- Hussain, S., Ulhassan, Z., Brestic, M., Zivcak, M., Zhou, W., Allakhverdiev, S. I., ... & Liu, W. (2021). Photosynthesis research under climate change. *Photosynthesis Research*, 150, 5-19.
- İpek, M. (2015). *In vitro* şartlarda Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarının kurak stresine karşı tepkilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Konya, 142s.
- Jabeen, Z., Fayyaz, H. A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M. N., Li, J., ... & Alsubeie, M. S. (2021). Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *Plos one*, 16(4), e0248207.

- Jafari, M., & Shahsavar, A. R. (2022). Sodium nitroprusside: its beneficial role in drought stress tolerance of “Mexican lime”(Citrus aurantifolia (Christ.) Swingle) under *in vitro* conditions. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 58(1), 155-168.
- Janda, T., Gondor, O. K., Yordanova, R., Szalai, G., & Pál, M. (2014). Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. *Acta physiologiae plantarum*, 36, 2537-2546.
- Kaiwen, G., Zisong, X., Yuze, H., Qi, S., Yue, W., Yanhui, C., ... & Huihui, Z. (2020). Effects of salt concentration, pH, and their interaction on plant growth, nutrient uptake, and photochemistry of alfalfa (*Medicago sativa*) leaves. *Plant signaling & behavior*, 15(12), 1832373.
- Kankaya, A., Polat, M., Eskimez, İ., & Mertoğlu, K. (2021). Şeftali fidan üretiminde aşu başarısı bakımından anaç çapı ve kalem dinlenmesinin etkileri: ‘Artemis–Garnem’ örneği. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 150-153.
- Kara., Z, Yazar, K, Ekinci, H., Doğan, O., & Özer, A. (2022). The effects of ortho silicone applications on the acclimatization process of grapevine rootstocks. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36(2), 233-237.
- Karlıdag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, 66, 180-187.
- Karthik, S., Pavan, G., Krishnan, V., Sathish, S., & Manickavasagam, M. (2019). Sodium nitroprusside enhances regeneration and alleviates salinity stress in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101173.
- Kaur, G., Tak, Y., & Asthir, B. (2022). Salicylic acid: a key signal molecule ameliorating plant stresses. *Cereal Research Communications*, 50(4), 617-626.
- Kausar, F., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2013). Protective role of foliar-applied nitric oxide in *Triticum aestivum* under saline stress. *Turkish Journal of Botany*, 37(6), 1155-1165.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 462.
- Khokon, M. A. R., Okuma, E. I. J. I., Hossain, M. A., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y., ... & Murata, Y. (2011). Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid-induced stomatal closure in Arabidopsis. *Plant, cell & environment*, 34(3), 434-443.
- Koo, Y. M., Heo, A. Y., & Choi, H. W. (2020). Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *The plant pathology journal*, 36(1), 1.
- Kotapati, K. V., Palaka, B. K., & Ampasala, D. R. (2017). Alleviation of nickel toxicity in finger millet (*Eleusine coracana* L.) germinating seedlings by exogenous application of salicylic acid and nitric oxide. *The Crop Journal*,

5(3), 240-250.

- Kumar, S., Ahanger, M. A., Alshaya, H., Jan, B. L., & Yerramilli, V. (2022). Salicylic acid mitigates salt induced toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annuum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1337-1347.
- Kuşvuran, Ş. (2010). Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 356s.
- Lau, S. E., Hamdan, M. F., Pua, T. L., Saidi, N. B., & Tan, B. C. (2021). Plant nitric oxide signaling under drought stress. *Plants*, 10(2), 360.
- Lin, J., Li, X., Zhang, Z., Yu, X., Gao, Z., Wang, Y., ... & Mu, C. (2012). Salinity-alkalinity tolerance in wheat: Seed germination, early seedling growth, ion relations and solute accumulation. *Afr. J. Agric. Res*, 7(3), 467-474.
- Liu, D., Ma, Y., Rui, M., Lv, X., Chen, R., Chen, X., & Wang, Y. (2022). Is high pH the key factor of alkali stress on plant growth and physiology? A case study with wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Agronomy*, 12(8), 1820.
- Liu, L., & Saneoka, H. (2019). Effects of NaHCO₃ acclimation on Rye (*Secale cereale*) growth under sodic-alkaline stress. *Plants*, 8(9), 314.
- Liu, X. L., Zhang, H., Jin, Y. Y., Wang, M. M., Yang, H. Y., Ma, H. Y., ... & Liang, Z. W. (2019). Absciscic acid primes rice seedlings for enhanced tolerance to alkaline stress by upregulating antioxidant defense and stress tolerance-related genes. *Plant and Soil*, 438, 39-55.
- Lombardo, M. C., Graziano, M., Polacco, J. C., & Lamattina, L. (2006). Nitric oxide functions as a positive regulator of root hair development. *Plant signaling & behavior*, 1(1), 28-33.
- Loreto, F., & Velikova, V. (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127(4), 1781-1787.
- Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, A. M., Moustafa, M. F., Sakuma, Y., & Inouhe, M. (2012). Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of plant research*, 125, 173-184.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation*, 19: 207-218.
- Maslennikova, D. R., Lastochkina, O. V., & Shakirova, F. M. (2022). Exogenous sodium nitroprusside improves salt stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) via regulating the components of ascorbate-glutathione cycle, chlorophyll content and stabilization of cell membranes state. *Russian Journal*

- of *Plant Physiology*, 69(6), 130.
- Miura, K., & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in plant science*, 5, 4.
- Moazam Babasheikhali, M., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., & Barin, M. (2020). Impact of salicylic acid and nitric oxide on improving growth and nutrients uptake of rose in alkaline soil conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 667-681.
- Mohammadi, H., Imani, A., Abdossi, V., Asghari, M., & Talaei, A. (2020). Effects of salicylic acid application on two almond cultivars under salinity stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 85(4), 325-334.
- Morales, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Malondialdehyde: facts and artifacts. *Plant physiology*, 180(3), 1246-1250.
- Msimbira, L. A., & Smith, D. L. (2020). The roles of plant growth promoting microbes in enhancing plant tolerance to acidity and alkalinity stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 106.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962) A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473–497
- Namdjoyan, S., & Kermanian, H. (2013). Exogenous nitric oxide (as sodium nitroprusside) ameliorates arsenic-induced oxidative stress in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) plants. *Scientia Horticulturae*, 161, 350-356.
- Nimbolkar, P. K., Awachare, C., Reddy, Y. T. N., Chander, S., & Hussain, F. (2016). Role of rootstocks in fruit production—a review. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 3(3), 183-188.
- Niyoifasha, C. J., Borena, B. M., Ukob, I. T., Minh, P. N., Al Azzawi, T. N. I., Imran, M., Ali, S., Inthavong, A., Mun, B.-G., Lee, I.-J., Khan, M., & Yun, B.-W. (2023). Alleviation of Hg-, Cr-, Cu-, and Zn-Induced Heavy Metals Stress by Exogenous Sodium Nitroprusside in Rice Plants. *Plants*, 12(6), 1299.
- Oster, J. D., Shainberg, I., & Abrol, I. P. (1999). Reclamation of salt-affected soils. *Agricultural drainage*, 38, 659-691.
- Ötvös, K., Pasternak, T. P., Miskolczi, P., Domoki, M., Dorjgotov, D., Sz'cs, A., ... & Fehér, A. (2005). Nitric oxide is required for, and promotes auxin-mediated activation of, cell division and embryogenic cell formation but does not influence cell cycle progression in alfalfa cell cultures. *The Plant Journal*, 43(6), 849-860.
- Özçınar, A. B. (2024). Salisilik Asit Uygulamasının Ayrıççeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisi Gelişimi Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(5), 828-833.
- Öztürkci, Y., & Arpalı, D. (2019). The effects of salicylic acid on the growth and some physiological properties of bread wheat varieties under drought stress. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1737-1746.

- Pandey, A., Khan, M. K., Hamurcu, M., Athar, T., Yerlikaya, B. A., Yerlikaya, S., ... & Gezgin, S. (2023). Role of exogenous nitric oxide in protecting plants against abiotic stresses. *Agronomy*, 13(5), 1201.
- Pérez-Labrada, F., Luis Espinoza-Acosta, J., Bárcenas-Santana, D., García-León, E., & Carmen López-Pérez, M. (2024). Underlying Mechanisms of Action to Improve Plant Growth and Fruit Quality in Crops under Alkaline Stress. *IntechOpen*.
- Pérez-Martín, L., Busoms, S., Tolrà, R., & Poschenrieder, C. (2021). Transcriptomics Reveals Fast Changes in Salicylate and Jasmonate Signaling Pathways in Shoots of Carbonate-Tolerant *Arabidopsis thaliana* under Bicarbonate Exposure. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1226.
- Phong Lam, V., Loi, D. N., Shin, J., Mi, L. K., & Park, J. (2024). Optimization of salicylic acid concentrations for increasing antioxidant enzymes and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *Plos one*, 19(7), e0306340.
- Pileh, F., Ebadi, A., Zamani, Z., Babalar, M., & Fernanda Lopez Climent, M. (2024). Effects of sodium nitroprusside foliar application on the growth characteristics and nutrient elements in some grapevine cultivars and rootstocks under salt stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 1–21.
- Poór, P. (2020). Effects of salicylic acid on the metabolism of mitochondrial reactive oxygen species in plants. *Biomolecules*, 10(2), 341.
- Popova, L., Pancheva, T., & Uzunova, A. (1997). Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. *Bulg. J. Plant Physiol*, 23(1-2), 85-93.
- Pradhan, N., Singh, P., Dwivedi, P., & Pandey, D. K. (2020). Evaluation of sodium nitroprusside and putrescine on polyethylene glycol induced drought stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni under *in vitro* condition. *Industrial Crops and Products*, 154, 112754.
- Radojičić, A., Li, X., & Zhang, Y. (2018). Salicylic acid: a double-edged sword for programmed cell death in plants. *Frontiers in plant science*, 9, 1133.
- Raskin, I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Annual review of plant biology*, 43 (1), 439-463.
- Raskin, I., Skubatz, H., Tang, W., & Meeuse, B. J. (1990). Salicylic acid levels in thermogenic and non-thermogenic plants. *Annals of Botany*, 66 (4), 369-373.
- Rasul, A. T., Ak, B. E., Abdurrahman, Y. A., & Hatipoglu, I. H. (2025). Investigation of the Effects of Rooting Medium and IBA Concentration on Rooting and Shoot Development of *Bougainvillea* (*Bougainvillea* spp.) Cuttings. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 18-34.
- Ray, S. S., & Ali, M. N. (2017). Factors affecting macropropagation of bamboo with special reference to culm cuttings: a review update. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 47, 1-8.

- Rengasamy, P., de Lacerda, C. F., & Gheyi, H. R. (2022). Salinity, sodicity and alkalinity. In *Subsoil constraints for crop production* (pp. 83-107). Cham: Springer International Publishing.
- Roberto, S. R., Novello, V., & Fazio, G. (2022). New Rootstocks for Fruit Crops: Breeding Programs, Current Use, Future Potential, Challenges and Alternative Strategies. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878863.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Di Mattia, E., Tullio, M., Rea, E., & Colla, G. (2010). Enhancement of alkalinity tolerance in two cucumber genotypes inoculated with an arbuscular mycorrhizal biofertilizer containing *Glomus intraradices*. *Biology and Fertility of Soils*, 46, 499-509.
- Roychoudhury, A., Singh, A., Aftab, T., Ghosal, P., & Banik, N. (2021). Seedling priming with sodium nitroprusside rescues *Vigna radiata* from salinity stress-induced oxidative damages. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-11.
- Sabra, A., Daayf, F., & Renault, S. (2012). Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. *Scientia horticulturae*, 135, 23-31.
- Sadat-Hosseini, M., & Soleimani, A. (2024). Callus Induction, Shoot and Root Regeneration in *Hyssopus officinalis* using Sodium Nitroprusside and Plant Growth Regulators. *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 13(4), 932-939.
- Sagervanshi, A., Naeem, A., Kaiser, H., Pitann, B., & Mühling, K. H. (2021). Early growth reduction in *Vicia faba* L. under alkali salt stress is mainly caused by excess bicarbonate and related to citrate and malate over accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 192, 104636.
- Sajid, Z. A., & Aftab, F. (2012). Role of salicylic acid in amelioration of salt tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.) under *in vitro* conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 37-42.
- Sanchez, F. J., De Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (2004). Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*, 86(1), 81-90.
- Sardar, H., Khalid, Z., Ahsan, M., Naz, S., Nawaz, A., Ahmad, R., ... & Abou Fayssal, S. (2023). Enhancement of salinity stress tolerance in lettuce (*Lactuca sativa* L.) via foliar application of nitric oxide. *Plants*, 12(5), 1115.
- Sarioğlu, A. (2023). Bitki Büyümesini Ve Stres Toleransını Arttırmak: Abiyotik Stres Altında Biber Ve Soya Bitkilerinde Melatonin, Salisilik Asit Ve Bakteri Aşılmasının Etkilerinin İncelenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora tezi. 187s.
- Sarropoulou, V., Dimassi-Theriou, K., & Therios, I. (2014). *In vitro* plant regeneration from leaf explants of the cherry rootstocks CAB-6P, Gisela 6, and MxM 14 using sodium nitroprusside. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 50, 226-234.

- Saskin, N., Ak, B. E., & Ekinçi, H. (2022) The usage of node culture *in vitro* conditions. In: Kirca, L., Bak, T., Güler, E., Dogru Çokran, B., & Kılıç, D. (eds). *5th International Agriculture Congress*, Denizli, pp 90–99.
- Saxena, I., Srikanth, S., & Chen, Z. (2016). Cross talk between H₂O₂ and interacting signal molecules under plant stress response. *Frontiers in plant science*, 7, 570.
- Scherer, G. F., & Holk, A. (2000). NO donors mimic and NO inhibitors inhibit cytokinin action in betalaine accumulation in *Amaranthus caudatus*. *Plant Growth Regulation*, 32, 345-350.
- Shakirova, F. M. (2007). Role of hormonal system in the manifestation of growth promoting and antistress action of salicylic acid. Salicylic acid: a plant hormone, 69-89.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13), 2452.
- Sharma, J. B., Chauhan, N., Rana, K., & Bakshi, M. (2020). Evaluation of rootstocks for temperate fruit crops-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 3533-9.
- Sharma, M., Tisarum, R., Kohli, R. K., Batish, D. R., Cha-Um, S., & Singh, H. P. (2024). Inroads into saline-alkaline stress response in plants: unravelling morphological, physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Planta*, 259(6), 130.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012(1), 217037.
- Sial, T. A., Rajpar, I., Memon, M., Lashari, M. S., Zhao, Y., Korai, P. K., ... & Akthar, K. (2019). Comparison of toxic effects of alkali salts (Na₂CO₃ and NaHCO₃) on sorghum growth parameters and soil chemical properties. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(5), 3729-3739.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., & Basalah, M. O. (2011). Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress. *Protoplasma*, 248, 447-455.
- Simkin, A. J., López-Calcano, P. E., & Raines, C. A. (2019). Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 70(4), 1119-1140.
- Singh, D., Singh, C. K., Singh, Y. P., Singh, V., Singh, R., Tomar, R. S. S., ... & Sharma, P. C. (2018). Evaluation of cultivated and wild genotypes of *Lens* species under alkalinity stress and their molecular collocation using microsatellite markers. *PloS one*, 13(8), e0199933.
- Singh, S. (2023). Salicylic acid elicitation improves antioxidant activity of spinach leaves by increasing phenolic content and enzyme levels. *Food Chemistry Advances*, 2, 100156.

- Sobczak, A., Kućko, A., Pióro-Jabrucka, E., Gajc-Wolska, J., & Kowalczyk, K. (2023). Effect of Salicylic Acid on the Growth and Development of Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.) under Standard and High EC Nutrient Solution in Aeroponic Cultivation. *Agronomy*, 13(3), 779.
- Stefanov, M. A., Rashkov, G. D., Yotsova, E. K., Borisova, P. B., Dobrikova, A. G., & Apostolova, E. L. (2023). Protective Effects of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Performance of *Sorghum bicolor* L. under Salt Stress. *Plants*, 12(4), 832.
- Sundararajan, S., Rajendran, V., Sivakumar, H. P., Kumariah, M., & Ramalingam, S. (2022). Growth modulation by nitric oxide donor sodium nitroprusside in *in vitro* plant tissue cultures—A review. *Biologia*, 77(7), 1699-1711.
- Sundararajan, S., Shanmugam, R., Rajendran, V., Sivakumar, H. P., & Ramalingam, S. (2022a). Sodium nitroprusside and putrescine mitigate PEG-induced drought stress in seedlings of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-14.
- Tan, B. C., Chin, C. F., & Alderson, P. (2013). Effects of sodium nitroprusside on shoot multiplication and regeneration of *Vanilla planifolia* Andrews. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 49, 626-630.
- Trifunović-Momčilov, M., Stamenković, N., Đurić, M., Milošević, S., Marković, M., Giba, Z., & Subotić, A. (2023). Role of sodium nitroprusside on potential mitigation of salt stress in centaury (*Centaureum erythraea* Rafn) shoots grown *in vitro*. *Life*, 13(1), 154.
- Ullah, F., Saqib, S., Khan, W., Ayaz, A., Batool, A., Wang, W. Y., & Xiong, Y. C. (2024). The multifaceted role of sodium nitroprusside in plants: crosstalk with phytohormones under normal and stressful conditions. *Plant Growth Regulation*, 103(3), 453-470.
- Vlot, A. C., Dempsey, D. M. A., & Klessig, D. F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual review of phytopathology*, 47(1), 177-206.
- Wani, K. I., Naeem, M., Castroverde, C. D. M., Kalaji, H. M., Albaqami, M., & Aftab, T. (2021). Molecular mechanisms of nitric oxide (NO) signaling and reactive oxygen species (ROS) homeostasis during abiotic stresses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9656.
- Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., & Ghassemi-Golezani, K. (2012). Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean ('*Glycine max*'L.). *Plant Omics*, 5(2), 60-67.
- Wijerathna-Yapa, A., & Hiti-Bandaralage, J. (2023). Tissue culture—A sustainable approach to explore plant stresses. *Life*, 13(3), 780.
- Xu, J., Liu, T., Qu, F., Jin, X., Huang, N., Wang, J., & Hu, X. (2021). Nitric oxide mediates γ -aminobutyric acid-enhanced muskmelon tolerance to

- salinity–alkalinity stress conditions. *Scientia Horticulturae*, 286, 110229.
- Xu, J., Yin, H., Wang, W., Mi, Q., & Liu, X. (2009). Effects of sodium nitroprusside on callus induction and shoot regeneration in micropropagated *Dioscorea opposita*. *Plant growth regulation*, 59, 279-285.
- Yang, C., Shi, D., & Wang, D. (2008). Comparative effects of salt and alkali stresses on growth, osmotic adjustment and ionic balance of an alkali-resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.). *Plant Growth Regulation*, 56, 179-190.
- Yang, J. Y., Zheng, W., Tian, Y., Wu, Y., & Zhou, D. W. (2011). Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago ruthenica* seedlings. *Photosynthetica*, 49, 275-284.
- Yang, W., Zhou, Z., & Chu, Z. (2023). Emerging roles of salicylic acid in plant saline stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3388.
- Yasir, T. A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M. I. A., Sarwar, N., ... & El Sabagh, A. (2021). Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Molecules*, 26(9), 2576.
- Youssef, S. M. S., Abu El-Azm, N. A. I., & Abd Elhady, S. A. E. (2017). Frequent foliar sprayings of salicylic acid with elevated concentrations enhance growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Festival) plants. *Egyptian Journal of Horticulture*, 44(1), 61-74.
- Yu, S., Yu, L., Hou, Y., Zhang, Y., Guo, W., & Xue, Y. (2019). Contrasting effects of NaCl and NaHCO₃ stresses on seed germination, seedling growth, photosynthesis, and osmoregulators of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy*, 9(8), 409.
- Yusuf, M., Hayat, S., Alyemeni, M. N., Fariduddin, Q., & Ahmad, A. (2013). Salicylic acid: physiological roles in plants. *Salicylic acid: plant growth and development*, 15-30.
- Zhang, H., Liu, X. L., Zhang, R. X., Yuan, H. Y., Wang, M. M., Yang, H. Y., ... & Liang, Z. W. (2017). Root damage under alkaline stress is associated with reactive oxygen species accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in plant science*, 8, 1580.
- Zhang, J., Cheng, K., Liu, X., Dai, Z., Zheng, L., & Wang, Y. (2023a). Exogenous abscisic acid and sodium nitroprusside regulate flavonoid biosynthesis and photosynthesis of *Nitraria tangutorum* Bobr in alkali stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118984.
- Zhang, L., Qian, Q., & Song, S. (2023b). Combating alkaline stress with alkaline tolerance 1, which encodes a conserved Gγ protein in multiple crops. *Plant Communications*, 4(3).
- Zhang, X., Qi, S., Liu, S., Mu, H., & Jiang, Y. (2024). Exogenous Sodium

Nitroprusside Alleviates Drought Stress in *Lagenaria siceraria*. *Plants*, 13(14), 1972.

Zhang, Y., Luan, Q., Jiang, J., & Li, Y. (2021). Prediction and utilization of malondialdehyde in exotic pine under drought stress using near-infrared spectroscopy. *Frontiers in plant science*, 12, 735275.

Zhang, Y., Xu, J., Li, R., Ge, Y., Li, Y., & Li, R. (2023). Plants' response to abiotic stress: Mechanisms and strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10915.