



T.C.  
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI



**FARKLI DOZLARDA PUTRESİN  
UYGULAMALARININ ÇİLEKTE TUZA  
TOLERANSA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**GONCA YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KIRŞEHİR**

**2026**



T.C.  
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI



**FARKLI DOZLARDA PUTRESİN  
UYGULAMALARININ ÇİLEKTE TUZA  
TOLERANSA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**GONCA YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr.Yaşar ERTÜRK**

**KIRŞEHİR**

**2026**

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI**  
**ETİK BEYANI**

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

29/04/2026  
Gonca YILDIRIM

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	VI
TABLolar DİZİNİ .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	VII
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	9
3.MATERYAL VE METOT .....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. San Andreas Çilek Çeşidi .....	15
3.2. Metot.....	16
4.BULGULAR VE TARTIŞMA .....	25
5.SONUÇ VE ÖNERİLER .....	65
6.KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Hakan KELES ve Doç. Dr. Selma BOYACI'ya teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddî ve manevî desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, sabır ve anlayışlarıyla beni motive eden aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi, kızım Miray ve oğlum Mehmet Furkan'a ithaf ederim.

Nisan, 2026

Gonca YILDIRIM

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FARKLI DOZLARDA PUTRESİN UYGULAMALARININ ÇİLEKTE TUZA TOLERANSA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Gonca YILDIRIM

#### KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**Danışman:** Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK  
Yıl: 2026 Sayfa: 77  
**Jüri:** Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK  
Doç. Dr. Hakan KELES  
Doç. Dr. Selma BOYACI

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak artan abiyotik stres faktörleri, bitkisel üretimde sürdürülebilirliği tehdit eden başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Bu stres faktörlerinden biri olan tuzluluk, bitkilerde ozmotik stres ve iyon toksisitesine yol açarak hücresel homeostazı bozmakta, fotosentetik kapasiteyi sınırlandırmakta ve sonuç olarak büyüme ve verim parametrelerinde önemli kayıplara neden olmaktadır. Bu bağlamda, bitkilerde tuz stresine karşı tolerans mekanizmalarının güçlendirilmesine yönelik uygulamaların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, farklı dozlarda dışsal putresin uygulamalarının tuz stresine maruz bırakılan çilek (*Fragaria × ananassa* Duch. San Andreas çeşidi) bitkilerinde morfo-fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü serasında, San Andreas çeşidi kullanılarak saksı denemesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deneme, üç tekerrürlü ve her tekerrürde beş bitki olacak şekilde faktöriyel düzende planlanmıştır. Çalışmada 0, 0,5, 1 ve 1,5 mM dozlarında putresin uygulamaları ile birlikte 0, 50 ve 100 mM NaCl düzeylerinde tuz stresi oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında bitkilerde yaprak klorofil içeriği (SPAD), antosiyanin düzeyi (ACI), yaprak alanı, biyokütle parametreleri, kök morfolojisi, meyve özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, artan tuzluluk seviyelerinin bitkilerde büyüme ve fizyolojik performansı önemli ölçüde baskıladığını ortaya koymuştur. Buna karşın, dışsal putresin uygulamalarının özellikle optimal dozlarda, tuz stresine bağlı olarak ortaya çıkan ozmotik ve oksidatif stres etkilerini hafiflettiği, fotosentetik kapasiteyi desteklediği ve bitkilerde iyon dengesinin korunmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, putresin uygulamalarının çilek bitkilerinde tuz stresine karşı tolerans mekanizmalarını modüle ederek stres kaynaklı hasarı azaltmada etkili olduğu ve sürdürülebilir tarımsal üretim sistemleri açısından uygulanabilir bir strateji sunduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Fragaria × ananassa*, Putresin, Tuz stresi, Poliaminler, Abiyotik stres

## ABSTRACT

### MASTER'S THESIS

#### DETERMINING THE EFFECTS OF DIFFERENT DOSES OF PUTRESCINE APPLICATIONS ON SALT TOLERANCE IN STRAWBERRIES

GONCA YILDIRIM

KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF HORTICULTURE

**Supervisor:** Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK  
**Year:** 2026 **Pages:** 77  
**Juries:** Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK  
Assoc. Prof. Dr. Hakan KELES  
Assoc. Prof. Dr. Selma BOYACI

Increasing abiotic stress factors driven by global climate change represent major constraints on sustainable crop production. Salinity, one of the most detrimental abiotic stresses, induces osmotic stress and ion toxicity, thereby disrupting cellular homeostasis, impairing photosynthetic efficiency, and ultimately reducing plant growth and productivity. In this context, developing effective strategies to enhance plant tolerance to salt stress is of critical importance. This study was conducted to elucidate the effects of exogenous putrescine applications at different concentrations on morphophysiological and biochemical responses of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. San Andreas cv.) plants subjected to salt stress. The experiment was carried out under greenhouse conditions at the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kırşehir Ahi Evran University, using the San Andreas cultivar in a pot-based factorial design with three replications and five plants per replicate. Putrescine was applied at four concentrations (0, 0.5, 1, and 1.5 mM), while salinity stress was imposed using three NaCl levels (0, 50, and 100 mM). A comprehensive set of parameters, including leaf chlorophyll content (SPAD), anthocyanin content (ACI), leaf area, biomass accumulation, root morphological traits, fruit characteristics were evaluated. The results demonstrated that increasing salinity levels significantly suppressed plant growth and physiological performance. However, exogenous putrescine applications, particularly at optimal concentrations, effectively mitigated the adverse effects of salt stress by alleviating osmotic and oxidative damage, enhancing photosynthetic capacity, and contributing to the maintenance of ionic homeostasis. In conclusion, exogenous putrescine plays a crucial role in modulating salt stress tolerance mechanisms in strawberry plants and can be considered a promising strategy for improving plant resilience under saline conditions, thereby contributing to sustainable agricultural practices.

**Keywords:** *Fragaria × ananassa*, Putrescine, Salt stress, Polyamines, Abiotic stress

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Tablo 1.1.</b> Çilek meyvelerinin besin içeriği .....	2
<b>Tablo 1.2.</b> Çilek meyvelerinin mineral içerikleri .....	2
<b>Tablo 1.3.</b> Çilek meyvelerinin vitamin içerikleri .....	3
<b>Tablo 1.4.</b> Dünya çilek üretimi (ton) .....	3
<b>Tablo 1.5.</b> Türkiye çilek üretiminin illere göre dağılımı (ton) .....	4
<b>Tablo 4.1.</b> Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının yaprak SPAD değerleri üzerindeki etkileri.....	25
<b>Tablo 4.2.</b> Farklı putresin dozlarının yaprak antosiyanin içeriğine etkileri.....	28
<b>Tablo 4.3.</b> Farklı putresin dozlarının yaprak alanı üzerine etkileri.....	30
<b>Tablo 4.4.</b> Farklı putresin ve tuz konsantrasyonlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkileri.....	33
<b>Tablo 4.5.</b> Farklı putresin uygulamalarının yaprak kuru ağırlığına etkisi .....	34
<b>Tablo 4.6.</b> Farklı putresin uygulamalarının meyve eni üzerine etkisi .....	36
<b>Tablo 4.7.</b> Farklı putresin uygulamalarının meyve boyuna etkisi .....	37
<b>Tablo 4.8.</b> Farklı putresin uygulamalarının meyve ağırlığı üzerine etkisi.....	39
<b>Tablo 4.9.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-uzunluğa etkileri.....	40
<b>Tablo 4.10.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-yüzey alanı üzerine etkisi .....	42
<b>Tablo 4.11.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-ortalama kök çapı üzerine etkisi .....	44
<b>Tablo 4.12.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-kök hacmi üzerine etkisi.....	45
<b>Tablo 4.13.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-çatallanma üzerine etkisi .....	47
<b>Tablo 4.14.</b> Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-crossing üzerine etkisi .....	49
<b>Tablo 4.15.</b> Farklı putresin uygulamalarının toplam yaş ağırlık üzerine etkisi .....	51
<b>Tablo 4.16.</b> Farklı putresin uygulamalarının yaş taç ağırlığı üzerine etkisi .....	52
<b>Tablo 4.17.</b> Farklı putresin uygulamalarının yaş kök ağırlığı üzerine etkisi .....	55
<b>Tablo 4.18.</b> Farklı putresin uygulamalarının toplam kuru ağırlığa etkisi .....	56
<b>Tablo 4.19.</b> Farklı putresin uygulamalarının kuru taç ağırlığına etkisi .....	58
<b>Tablo 4.20.</b> Farklı putresin dozlarının kuru kök ağırlığı üzerine etkisi .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Poliaminlerin yapısı .....	6
Şekil 1.2. Poliaminlerin sentez yolları .....	7
Şekil 2.1. Bitkilerde putresin biyosentezi ve katabolizmi.....	11
Şekil 2.2. Putresin uygulamasının etkileri .....	13
Şekil 3.1. San Andreas çilek çeşidine ait meyve özellikleri .....	16
Şekil 3.2. Fidelerin dikimi.....	17
Şekil 3.3. Genel görünüm .....	18
Şekil 3.4. SPAD ölçümü .....	18
Şekil 3.5. ACI ölçümü.....	19
Şekil 3.6. Yaprak ağırlığı ölçümü ve etüv görüntüsü .....	20
Şekil 3.7. Yaprak taç ağırlığı ölçümü .....	20
Şekil 3.8. Yaprak kök yaş ağırlığı ölçümü.....	21
Şekil 3.9. Meyve ağırlığı ölçümü.....	22
Şekil 3.10. Meyve eni ölçümü .....	22
Şekil 3.11. WinRhizo ölçümü .....	23
Şekil 4.1. Farklı putresin dozlarının yaprak SPAD değerleri üzerindeki etkileri .....	25
Şekil 4.2. Farklı putresin dozlarının yaprak antosiyanin içeriğine etkileri .....	28
Şekil 4.3. Farklı putresin dozlarının yaprak alanı üzerine etkileri .....	31
Şekil 4.4. Farklı putresin ve tuz konsantrasyonlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkileri .....	33
Şekil 4.5. Farklı putresin uygulamalarının yaprak kuru ağırlığına etkisi.....	35
Şekil 4.6. Farklı putresin uygulamalarının meyve eni üzerine etkisi.....	36
Şekil 4.7. Farklı putresin uygulamalarının meyve boyuna etkisi.....	38
Şekil 4.8. Farklı putresin uygulamalarının meyve ağırlığı üzerine etkisi .....	39
Şekil 4.9. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-uzunluğa etkileri .....	41
Şekil 4.10. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-yüzey alanı üzerine etkisi.....	42
Şekil 4.11. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-ortalama kök çapı üzerine etkisi ..	44
Şekil 4.12. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-kök hacmi üzerine etkisi .....	46
Şekil 4.13. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-çatallanma üzerine etkisi.....	48
Şekil 4.14. Farklı putresin uygulamalarının kök mimarisi-crossing üzerine etkisi .....	49
Şekil 4.15. Farklı putresin uygulamalarının toplam yaş ağırlık üzerine etkisi.....	51
Şekil 4.16. Farklı putresin uygulamalarının taç yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	53
Şekil 4.17. Farklı putresin uygulamalarının yaş kök ağırlığına etkisi .....	55
Şekil 4.18. Farklı putresin uygulamalarının toplam kuru ağırlığa etkisi.....	57
Şekil 4.19. Farklı putresin uygulamalarının kuru taç ağırlığına etkisi.....	59
Şekil 4.20. Farklı putresin dozlarının kuru kök ağırlığı üzerine etkisi .....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$pH$	: Asitlik-bazlık derecesi
$HCO_3^-$	: Bikarbonat iyonu
$g$	: Gram
$ha$	: Hektar
$Ca^{2+}$	: Kalsiyum iyonu
$CO_3^{2-}$	: Karbonat iyonu
$Cl^-$	: Klorür iyonu
$Mg^{2+}$	: Magnezyum iyonu
$mg$	: Miligram
$mm$	: Milimetre
$mM$	: Milimolar
$NO_3^-$	: Nitrat iyonu
$K^+$	: Potasyum iyonu
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
$cm$	: Santimetre
$cm^2$	: Santimetrekare
$Na^+$	: Sodyum iyonu
$NaCl$	: Sodyum klorür
$SO_4^{2-}$	: Sülfat iyonu

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ABA	: Absisik Asit
ACI	: Antosiyanin Değeri
Arg	: Arginin
Orn	: Ornitin
PA	: Poliamin
Put	: Putresin
RNA	: Ribonükleik Asit
Spd	: Spermidin
Spm	: Spermin

tRNA	:	Taşıyıcı RNA
Tspm	:	Termospermin
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
SPAD	:	Yaprak Klorofil İçeriği

## 1. GİRİŞ

Çilek, üzüksü meyveler grubu içinde yetiştiriciliği en yaygın yapılan meyve türüdür. Rosaceae familyasının *Fragaria* cinsi üyesi olup, yetiştiriciliği en yaygın türü ise *Fragaria ananassa*'dır. *F.ananassa*; *F.chiloensis* ile *F.virginiana* arasındaki melezlemeden oluşmuş  $2n=8x=56$  kromozom yapısında (oktoploit) olan bir türdür. Geniş bir coğrafyada yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kendine has rengi, tadı ve kokusu gibi özellikleri ile birlikte aromatik bileşikleri tüketim talebini artıran en önemli özelliklerdendir (Türemiş ve Ağaoğlu 2013). Çok yıllık otsu bir bitki olan çilek, yüzlek köklere sahiptir. Stolonları ile toprak yüzeyinde yayılım gösterir. Çilek bitkisinde kök, kol, yaprak ve çiçekler gövde üzerinde bağlanırlar. Gövde de oluşan kardeşlenme ile birlikte verim artışı olur. Herdem yeşil bir bitki olmasına rağmen soğuk zararı ile yapraklar dökülür. Genellikle üç parçalı olan yaprakların kenarları testere dişi görünüme sahiptir. Üretim sezonu boyunca yaprak üretimi devam eder. 9°C altında ve 35°C üzerindeki sıcaklıklarda bitkide yaprak üretiminde durma gözlemlenir. Salkım şeklindeki çiçekler, belirli bir sıra ile oluştuğundan olgunlaşmış ve olgunlaşmamış meyveler aynı anda bitki tacında gözlemlenir. Meyve, yumurtalık harici olan çiçek tablasının büyüyüp sulanıp tatlanması ile oluştuğundan yalancı meyve olarak adlandırılır. Meyve üzerindeki tohumlar aken olarak bilinir, ilk olgunlaşan meyve daha iri ve aken sayısı fazladır. Yetiştiricilikte bazı ülkelerde fide dikimleri yıllık olarak yapılırsa da ülkemizde frigo fiderle dikimler gerçekleştirilmektedir. (Türemiş ve Ağaoğlu, 2013).

Çilekler ışıklanma sürelerine karşı hassas bitkiler olup farklı çeşitleri farklı etkiler göstermektedir. Fotoperiyot sınıflandırılması kısa, uzun ve gün-nötr olarak yapılmaktadır. Ticari amaçla genelde iklimi uygun olan nispeten sıcak ılıman ve subtropik bölgelerde kısa gün çeşitleri kullanılır. Rakımı yüksek yetiştiriciliğe uygun alanlarda ise gün-nötr çeşitlerinin dikimleri giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Bu sayede kısa gün çeşitlerinin veriminin sonlandığı dönemlerde yüksek rakımlı yörelerdeki gün-nötr çeşitlerle kurulu bahçeler verime yatmakta ve hemen hemen yıl boyu yetiştiricilik sağlanabilmektedir. Özellikle gün-nötr çeşitler, gün uzunluğuna bakılmaksızın meyve verme kapasitesine sahip olup, meyve büyümesi ve gelişimi yalnızca sıcaklığa bağlıdır, bu çeşitlerin 5–30°C sıcaklık aralığında büyümesi gerekir. Özellikle 28°C nin üzerindeki sıcaklıklarda çiçek tomurcuğu oluşumu azalmakta, hatta durmaktadır. Toprak isteği olarak, pH'ı optimum 6.0-6.5 arası olan kumlu organik maddece zengin topraklarda iyi sonuçlar verir. (Finn ve ark., 2013)

Mineral ve vitaminler yönünden zengin olan çilek meyvesi ayrıca içeriğindeki antioksidanlar ve diğer unsurlar açısından da tüketimi giderek artan bir meyve türüdür. Çilek meyvesinin besin içeriği tablo 1.1., 1.2. ve 1.3.'de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Çilek Meyvelerinin Besin İçeriği (Giampiarı ve ark., 2012)

<b>Besin içeriği</b>	<b>Miktar/100 gr</b>
Su	91gr
Enerji	32kcal
Protein	0.67 gr
Toplam lipit	0.30 gr
Karbonhidrat	7.68 gr
Lif	2.0 gr
Şeker	4.89 gr

**Tablo 1.2.** Çilek Meyvelerinin Mineral İçerikleri (Giampiarı ve ark.,2012)

<b>Mineraller</b>	<b>Miktar/100 g</b>
Ca (Kalsiyum)	16 mg
Cu (Bakır)	0.048 mg
F (Florür)	4,4 pg
Fe (Demir)	0.41 mg
K (Potasyum)	153 mg
Mg (Magnezyum)	13 mg
Mn (Mangan)	0.386 mg
Na (Sodyum)	1 mg
P (Fosfor)	24 mg
Se (Selenyum)	0,4 pg
Zn (Çinko)	0.14 mg

**Tablo 1.3.** Çilek Meyvelerinin Vitamin içerikleri (Giampiarı ve ark.,2012)

Vitaminler	Miktar/100gr
A	12 IU
A (Retinol)	1 gg
B1 (Tiamin)	0,024 mg
B2 (Riboflavin)	0,22mg
B3 (Niasin)	0.386 mg
B4 (Kolin)	5.7 mg
B6 (Piridoksin)	0.047 mg
B9 (Folik asit)	24 gg
C	58.8 mg
E ( $\alpha$ -tokoferol)	0.29 mg
K	2.2 lig

Üretimi giderek artan çilek, üzerinde aynı zamanda en fazla ıslah çalışması yapılan üzüksü meyve türlerinin başında gelmektedir. Islah çalışmalarının sonuçlarının alınması daha erken gerçekleştiği için diğer meyve türlerine göre kısa zamanda daha fazla çeşidin ıslahı mümkün olmuştur. Bu sayede farklı ekolojik şartlarda yetişebilen ve yüksek verim veren çeşitlerin elde edilmesi dünya çilek üretimini de son yıllarda hızlı bir şekilde artırmıştır. Dünyada çilek üretimi 2010 yılında 4.366.899 ton iken 2023 yılında 10.485.000 tona ulaşmıştır. (Tablo 1.4).

Ülkemizde de çilek üretimi 1980 li yıllarla birlikte başlasa da her yıl düzenli olarak artış gösteren bir konuma gelmiştir.

**Tablo 1.4.** Dünya Çilek Üretimi (ton ) FAOSTAT

Ülkeler	2010	2020	2023
Çin	-	3.336.690	4.216.716
ABD	1.292.780	1.055.963	1.250.100
Meksika	266.657	557.514	641.552
Mısır	238.432	597.029	731.144
Türkiye	299.940	546.525	676.818
İspanya	275.300	272.550	45.045
Rusya Fed.	165.000	218.400	261.168
Japonya	177.500	163.735	158.467
Kore	231.803	192.971	177.682
Polonya	176.748	167.300	194.500
Almanya	156.911	152.180	130.650
İtalya	153.875	121.790	119.920
Fas	140.600	166.955	137.275
İngiltere	102.900	129.603	106.432
<b>DÜNYA</b>	<b>4.366.889</b>	<b>8.861.381</b>	<b>10.485.000</b>

**Tablo 1.5.** Türkiye Çilek Üretiminin İllere Göre Dağılımı (ton) TÜİK

İller	2008	2021	2024
Mersin	137.985	259.958	135.527
Aydın	18.888	66.237	112.877
Antalya	26.020	62.488	40.522
Konya	4.400	51.062	80.192
Bursa	33.088	48.136	42.783
Çanakkale	108	39.199	44.857
Manisa	8.240	32.111	24.086
Hatay	-	16.652	9.334
Balıkesir	966	17.323	13.131
İzmir	4.995	5.285	13736
Denizli	682	4.417	3.508
Kütahya	886	3.322	2.786
Bartın	855	603	446
Zonguldak	684	735	668
Ordu	573	1.168	1.219
Tokat	512	1.869	2.213
Amasya	41	384	606
Samsun	604	551	1.163
<b>Türkiye Toplam</b>	<b>261.078</b>	<b>669. 195</b>	<b>606.254</b>

Ülkemizde dekara verim 3-4 ton arasındadır. TÜİK verilerinde yıllara göre çilek üretimi; 2008 yılında 112.785 da alanda 261.078 ton iken 2024 yılında 196.507 da alanda 606.254 tona ulaşmıştır. Ülkemizde üretimi illere göre dağılımı ise Tablo 1.5’de verilmiştir. Üretimin en fazla yapıldığı il Mersin olurken, bu ilimizi Aydın ve Konya illeri takip etmektedir (Tablo 1.5).

Çilek yetiştiriciliğinin giderek artması farklı ekolojilerde üretimin yaygınlaşması yetiştiricilikte strese maruz kalma durumlarının daha sık gözlenmesine de neden olmaktadır. Canlı organizmalar için uygun olmayan çevresel ve biyolojik şartların metabolizmada ciddi etkileri söz konusudur. Bu etkileri oluşturan faktörler “stres” olarak tanımlanmaktadır. Biyotik ya da abiyotik stres faktörleri günümüzde dünya üzerinde yetiştiriciliği sınırlandıran en önemli etkenlerdendir. Bu stres faktörleri içinde hastalık ve zararlılar gibi biyotik faktörlerin yanısıra; tuzluluk, yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık, ağır metal ve su taşkınları gibi abiyotik stres koşulları da yer almaktadır.(Taiz ve Zeiger, 2008)

Bitkilerde önemli abiyotik streslerden biri de tuzluluktur. Çözünebilir tuzlar, kolayca bitkiler tarafından alınabilir olduklarından bitki bünyesinde bulunan tuz bileşikleri çeşidine ve oranına göre belli bir konsantrasyondan sonra toksik etki yapmaktadır. Tuz, bitkilerde beslenme ve metabolizmayı olumsuz etkileyerek toksik etkilidir. Ayrıca toprakta yüksek tuz konsantrasyonu topraktan su alınımını güçleştirmekte, toprağın yapısını bozmakta ve bitki gelişimini yavaşlatarak ileriki

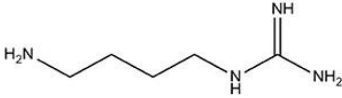

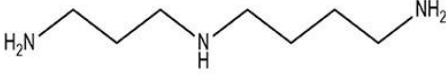
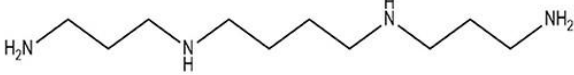


aşamalarda gelişimi durdurmaktadır. Yüksek toprak tuzluluğu, yüksek oranda kationların ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$ ) ve anyonların ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{NO}_3^-$ ) birikmesiyle meydana gelmektedir (Corwin, 2021). Toprak tuzluluğundaki artış, dünya çapında tarımsal üretime ciddi bir tehdit oluşturmaktadır, otuz yıl boyunca tuzdan etkilenen toplam arazi alanının kademeli artış göstermediği bildirilmiştir. Küresel olarak, 100'den fazla ülkede bir milyar hektardan fazla arazi etkilenmektedir ve bu sayılar sürekli artmaktadır (Hossain, 2019). Şu anda yaklaşık 1125 milyon hektar arazi tuzluluktan etkilenmekte olup, bunun 76 milyonu insan kaynaklı tuzlanma ve sodyumlaşmadan etkilenmekte ve her yıl 1,5 milyon hektar arazi yükselen tuzluluk seviyeleri nedeniyle tarımsal üretime uygunsuz hale gelmektedir. Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) 2021 yılında yayınladığı verilere, üst toprak (0-30 cm) ve alt toprak (30-100 cm) profillerinde tuzlu toprak alanının küresel dağılıma göre toprağın tuzlanması, mevcut hızda artmaya devam ederse, 2050 yılına kadar ekilebilir arazilerin %50'sinin kaybına yol açacaktır (Kumar ve Sharma, 2020). Dolayısıyla tarımsal üretim özellikle tuzluluk stresi tarafından ciddi tehdit altındadır. Tuzluluğun özellikle çilek yetiştirilen alanlarda giderek artan bir problem haline gelme potansiyeli vardır. Tüm tarımsal ürünlerde olduğu gibi, özellikle yetiştiricilikte yoğun gübre kullanımları, sık sulamalar, kullanılan gübrelere fazlasıyla var olan tuzlu yapı bu tehdidi artırır niteliktedir.

Genellikle tuzlar toprağın temel bileşenleridir ve bunların çoğu (potasyum ve nitratlar gibi) hayati bitki besinleridir. Topraktaki tuzlar, inorganik gübrelere, minerallerin ayrışmasından, toprak modifikasyonlarından (örn. gübreler) ve sulama sularından kaynaklanır (Kotuby-Amacher ve ark., 2000). Özellikle, toprağın tuzlanma yöntemi, ürünlerin sulanmasıyla önemli ölçüde artar ve yoğunlaşır. Bu nedenle, tuzluluk perspektifinde, sulamanın etkisi, toprağa daha önce mevcut olmayan büyük miktarda yeni tuzlar getirmesidir (Munns ve ark., 2004). “Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü”ne göre dünya, yaklaşık 13,2 milyar hektarlık bir alana sahiptir ve bunun yaklaşık 7 milyar hektarı ekilebilir bununla birlikte sadece 1,5 milyar hektarı ekilmektedir. Ekili toplam alanın yaklaşık %23'ü (0,34 milyar ha) tuzlu ve yaklaşık %37'si (0,56 milyar ha) neredeyse tüm kıtalara yayılan sodalı topraklardır (Tanji, 2002).

Tuz stresinin tarımsal üretimde yaklaşık %50 kayba neden olduğu tahmin edilmektedir (Kreps ve ark., 2002). Nitekim, tarımsal açıdan önemli bitkilerde tuz toleransının artırılması için başarılı uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Tuz stresine toleranslı tarımsal bitkilerin üretilmesi geleneksel seleksiyon ve ıslah yöntemleri veya modern moleküler biyoloji yaklaşımları ile sağlanabilmektedir. Bitki ıslahçıları

geleneksel ıslah yöntemleri veya transgenik yaklaşımlar ile tuza toleranslı genotipler üretmiş olmasına rağmen (Ashraf ve Akram, 2009), abiyotik stres toleransının genetik olarak karmaşık mekanizmaları bu durumu oldukça zorlaştırmaktadır (Vinocur ve Altman, 2005). Alternatif bir diğer yaklaşım ise başlıca bitki büyüme düzenleyicilerinin dışsal uygulanması ile tuz toleransının artırılmasıdır. Son yıllarda, salisilik asit (SA), poliaminler (PA), absisik asit (ABA) ve jasmonik asit (JA) gibi bazı bitki büyüme düzenleyicilerinin bitkilerde tuz toleransının artırılmasında kullanılabileceği fikri ortaya konulmuştur. Toprak tuzluluk stresi, antioksidanlar, osmoprotektanlar, bitki hormonları, sinyal molekülleri, poliaminler ve eser elementler gibi eksojen koruyucular kullanılarak hafifletilebilir. Bu koruyucular, tohum çimlenmesini, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini, fotosentezi, antioksidan yeteneklerini ve üretimi iyileştirerek tuz stresine bağlı toleransın gelişmesine yardımcı olur (Ertürk ve ark., 2023).

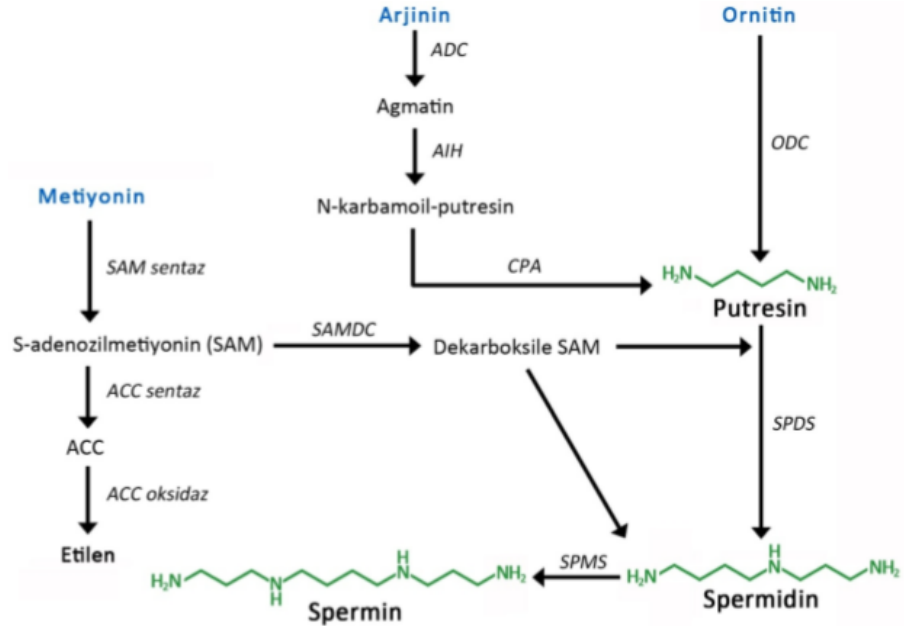
Poliaminler, değişken hidrokarbon zincirlerine ve iki veya daha fazla birincil amino grubuna sahip organik polikasyonlardır (Şekil 1.1.). Transkripsiyon, RNA modifikasyonu ve protein sentezi ve enzim aktivitelerinin modülasyonunu içeren birçok temel süreçten sorumludurlar. Poliaminler, negatif yüklü fosfolipidlerin baş gruplarına veya zarlardaki diğer anyonik bölgelere kolayca bağlanır ve böylece bu tür zarların stabilitesini ve geçirgenliğini etkiler. Ayrıca hücresel pH ve iyon homeostazını korumak için tamponlama mekanizmasında yer alırlar (Pandey ve ark., 2017).

Name	Structure	Molecular formula
Agm		C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub>
Put		C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>
Spd		C <sub>7</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub>
Spm		C <sub>10</sub> H <sub>26</sub> N <sub>4</sub>
Cad		C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>
Tspm		C <sub>10</sub> H <sub>26</sub> N <sub>4</sub>

**Şekil 1.1.** Poliaminlerin yapısı (Chen ve ark., 2019).

Putresin, spermidin ve sperminden oluşan başlıca üç poliamin formu mevcuttur. Bitkilerde, hücre bölünmesi ve farklılaşması, çiçeklenme, büyüme, gelişme ve meyve olgunlaşması ile ilgili çok çeşitli işlevlerin yerine getirilmesinden sorumludurlar. Yaşlanma önleyici ajanlar oldukları ve hücre zarının bütünlüğüne yardımcı oldukları için bazı meyvelerde yumuşamayı geciktirmede etkili oldukları da belirlenmiştir (Abbasi ve ark., 2017). Ayrıca, filizlenme süreci, tohum çimlenmesi, kök-sürgün oluşumunda da farklı bitkilerde değişik koşullarda etkin olabilecekleri bildirilmektedir (Mengoli ve ark., 1992). Farklı çalışmalar, poliaminler ile bitki gelişimi arasındaki ilişkiyi açıkça göstermiştir.

Poliaminlerin sentezi L-arjinin ve L-metiyonin amino asitleriyle başlamakta ve bitkilerde iki alternatif sentez yolu (Şekil 1.2). bulunmaktadır (Bagni ve Tassoni, 2001; Liu ve ark., 2007). Putresin arjinaz ile arjininden ve ornitin dekarboksilaz (ODC) ile ornitinden sentezlenmektedir. Hatta putresin sırasıyla arjinin dekarboksilaz (ADC), agmatin imino hidrolaz (AIH) ve N-karbamoil putresin amido hidrolazın (CPA) katalizlediği üç ardışık reaksiyon ile agmatinden sentezlenebilmektedir (Chen ve ark., 2019).



Şekil 1.2. Poliaminlerin sentez yolları (Chen ve ark., 2019).

Poliaminler (PA), gelişimsel ve fizyolojik işlevlerde önemli rol oynayan büyüme düzenleyicilerinin yeni bir sınıfı olarak kabul edilmektedir. Metal toksisitesi, oksidatif stres, kuraklık, tuzluluk ve üşüme stresi gibi farklı çevresel streslere karşı savunma cevabını modüle etmede önemli rol oynamaktadır. PA'lerin stres koşullarında biyomolekülleri korumada ve membran sistemlerinin denatürasyonunun önlenmesinde diğer bileşiklere göre daha iyi bir stabilize edici olduğu düşünülmektedir (Liu ve ark., 2007). Putresin (Put), spermidin (Spd) ve spermin (Spm), embriyogenez, hücre bölünmesi, yaprak gelişimi ve çevresel streslere karşı göreceli direnç gibi çok çeşitli fizyolojik süreçlerde rol oynar. Bu maddelerle stres arasındaki etkileşimin, bitki savunma mekanizmalarının iyileştirilmesi açısından önemli olabileceği belirtilmektedir (Groppa ve Benavides, 2008). Poliaminlerin en önemli özelliği, biyotik ve abiyotik streslere yanıt olarak çeşitli makromoleküller (proteinler, lipitler ve nükleik asitler) ile elektrostatik etkileşimlere izin verdiği için amino grubunun pozitif yüküdür (Menendez ve ark., 2012). Poliaminler bir antioksidan görevi görür ve lipitlerin peroksidasyonunun azalması ve makromoleküllerin bozulmasının yanı sıra glutatyon ve karotenoidlerin miktarındaki artış yoluyla tuz stresine karşı göreceli direnci artırır (Tang ve Newton, 2005). Nitekim poliaminlerin dışsal uygulamasının farklı stres koşullarında bitki büyüme ve gelişmesini önemli ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir (Chen ve ark., 2019; Ertürk, 2023). Her bir poliaminin farklı koruyucu etkilerinin olduğu ve bunun nedeninin bitki türleri arasında absorpsiyon, transport ve kullanımdaki farklılıklardan dolayı olabildiği belirtilmiştir. Bu bulgular ışığında, dışsal poliamin uygulamasının abiyotik stres cevaplarını kapsayan genlerin bir elisitörü olarak etki ettiği ileri sürülmüştür (Gill ve Tuteja, 2010).

Küresel iklim değişiklikleri, yanlış sulama ve aşırı gübrelemenin tuzluluk oranının artmasına neden olan temel etmenlerdir. Çeşitli nedenlerden dolayı hem dünyada hemde ülkemizde tuzluluk problemi gün geçtikçe daha önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bitkisel gelişimde tuzluluk nedenleri ve bunun önlenmesi üzerine bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yürütülecek bu çalışma ile tuz stresine tabi tutulan San Andreas çilek çeşidinin bazı büyüme parametreleri, antioksidan enzim içerikleri ile besin elementi alımındaki değişimlerinin belirlenmesiyle birlikte farklı dozlarda dışsal putresin uygulamalarının tuz stresini tolere etme düzeylerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

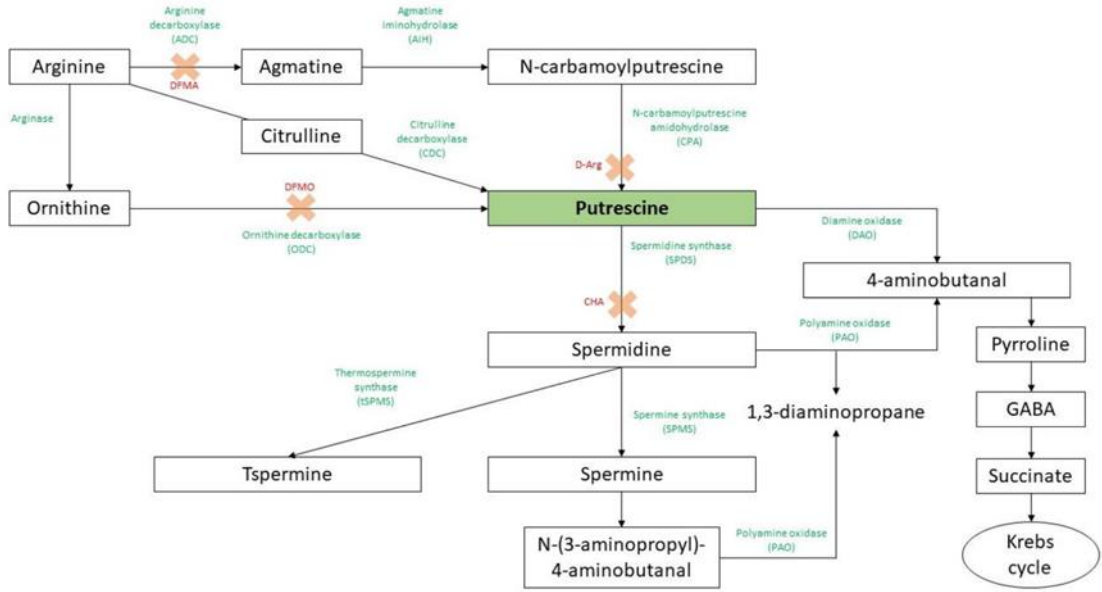
Tuz ve kuraklık stresi, tarımda iki büyük abiyotik stresdir ve her ikisi de bitkilerde su potansiyelinin azalmasına neden olur. Özellikle tuzluluk stresi karmaşık bir çevresel kısıtlamadır. Yüksek tuz konsantrasyonu membran bütünlüğünü azaltır, çeşitli enzimlerin aktivitesi ve fotosentetik aparatın işlevini bozar. Bitkiler, prolin ve poliaminler (PAS) gibi düşük moleküler ağırlıklı osmolitler biriktirerek bu tür olumsuz çevresel koşullara uyum sağlar (Chen ve ark., 2019).

Bitki gelişiminde tuzluluğun zararlı etkileri; (a) toprak çözeltisinin düşük ozmotik potansiyeli (ozmotik stres), (b) beslenme dengesizliği, (c) spesifik iyon etkisi (tuz stresi) ve (d) bu faktörlerin kombinasyonu ile ilişkilidir (Ashraf, 1994). Bu faktörlerin tümü, bitki büyüme ve gelişiminde fizyolojik ve biyokimyasal seviyelerde (Levitt, 1980; Munns, 2002) ve moleküler seviyede (Mansour, 2000; Tester Davenport, 2003) olumsuz pleiotropik (tek bir genin birden fazla karakterden sorumlu olması) etkilere neden olmaktadır. Ozmotik stres sodyum iyonlarının direkt bir etkisi olmaksızın su eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Munns, 2002).

İyonik dengesizlik aşırı miktarda  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  birikiminden kaynaklanmakta ve  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  ve  $\text{NO}_3^-$  gibi besin elementlerinin alımı azalmaktadır (Hasegawa ve ark., 2000; Viegas ve ark., 2001). Hücreler arası  $\text{Na}^+$  birikimi metabolizma için toksiktir ve toprakta aşırı  $\text{Na}^+$  birikimi birçok duyarlı bitki için büyüme inhibisyonunda önemli rol oynamaktadır (Mengel ve Kirkby, 2001). Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) sitoplazmada biriktiğinde birçok enzimi inhibe etmektedir. Bu etkiler, toksik reaktif oksijen türlerinin üretimi ile ilişkili olan oksidatif stres ve beslenme dengesizliği, hücre metabolizması üzerine tuzların ve iyonların inhibitör etkileri ve ters ozmotik gradientlerin bir kombinasyonundan kaynaklanmaktadır (Sharma ve ark., 1997).  $\text{Na}^+$ 'nın metabolik toksisitesi temel olarak önemli hücre fonksiyonlarına sahip hedef bölgeler için  $\text{K}^+$  ile rekabet etme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır.  $\text{K}^+$  tarafından 50'den fazla enzim aktive edilir ve yüksek düzeyde  $\text{Na}^+$  veya yüksek  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  oranı, sitoplazmada bir takım enzimatik süreçleri bozabilir. Protein biyosentezi aynı zamanda ribozomlara uygun tRNA bağlanması için uygun seviyelerde  $\text{K}^+$  gerektirir ve yüksek  $\text{Na}^+$  seviyeleri bu süreci olumsuz yönde etkileyebilir (Tester ve Davenport, 2003; Bartels ve Sunkar, 2005). Artan  $\text{Na}^+$  konsantrasyonu, daha önce de belirtildiği gibi bitkinin su alımını engelleyerek hiperosmotik strese neden olabilir ve bu da “fizyolojik kuraklık” olarak adlandırılan durumun nedenidir. Yüksek  $\text{Na}^+$  konsantrasyonu, kök hücrelerdeki plazmalemma taşıyıcıları (örneğin seçici  $\text{K}^+$  kanalları)

yoluyla besin elementlerinin alımını engelleyerek besin elementlerinin eksikliğine neden olabilir. Tuzluluk hormonal dengesizliğe ve ROS (Reaktif oksijen türleri, süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikali gibi moleküllerdir ve hücre hasarı ile ilişkilendirilmişlerdir. Reaktif oksijen türleri oksijenin normal metabolizmasının bir yan ürünü olarak oluşurlar ve hücre sinyalizasyonunda önemli rol oynarlar.) üretiminin artmasına neden olabilir ve bu da ilave oksidatif strese neden olabilir. Kuraklık stresi gibi tuzluluk da ABA birikimini, ardından stomaların kapanmasını ve buna bağlı olarak yapraklardaki CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> oranının azalmasını tetikleyebilir ve CO<sub>2</sub> fiksasyonunu engelleyebilir. Bu durum aşırı miktarda ROS üretimine neden olur. Tuzluluk stresini diğer bitki streslerinden (kuraklık ve ozmotik stres gibi) ayırmak zordur, çünkü artan tuzlar bitkilerdeki iyonik kimyasal dengeyi değiştirir ve bitkiler için su kullanılabilirliğini etkiler ve diğer stres faktörlerine benzer şekilde, ROS üretimi oksidatif strese neden olabilir (Türkan ve Demiral, 2008).

Yüksek bitkilerde en yaygın poliaminler diamin putresin (Put), triamin spermidin (Spd), tetramin spermin (Spm), termospermin (Tspm) ve kadaverin (Cad)'dir (Nahar ve ark., 2016) (Şekil 2.1). Bunlar arasında Put, PA biyosentez yolunun merkezi ürünüdür ve doğada en bol bulunan PA'dır; esas olarak ornitin (Orn) veya arginin (Arg) türetilen iki yol ile sentezlenir ve bu sentez sırasıyla ornitin dekarboksilaz veya arginin dekarboksilaz aktivitesinin bir sonucudur (Ndjonka ve ark., 2003).



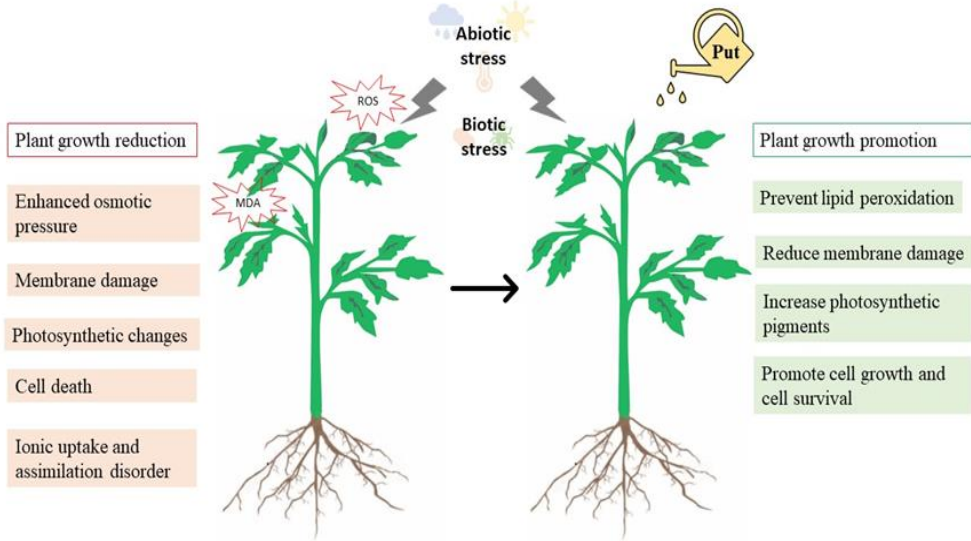
**Şekil 2.1.** Bitkilerde putresin biyosentezi ve katabolizmi. Yeşil kelimeler enzim aktivitelerini, kırmızı kelimeler ise (çapraz işaretiyle birlikte) rekabetçi enzim inhibitörlerini ifade eder (DFMA: diflorometilarginin; DFMO: diflorometilornitin; D-Arg: D-Arginin; CHA: sikloheksilamin) (González-Hernández ve ark., 2022).

Çok sayıda çalışma sonucu, dışarıdan uygulanan poliaminlerin (PAS), tuz stresi koşulları altında bitki toleransını arttırmak için umut verici bir araç olarak kullanılabileceğini öne sürmektedir. Nitekim; Verma ve Mishra (2005) putresin uygulamasının fide büyümesinde ve biyokütle birikiminde tuzluluğun neden olduğu azalmayı önlediğini ve tuz stresine maruz kalan *Brassica juncea* (Hardal otu) fidelerinin yaprak dokularında antioksidan enzimlerin ve karotenoidlerin aktivitesini arttırdığını bildirmiştir. Tang ve Newton (2005) da benzer sonuçlar bildirmiş ve poliaminlerin (Putresin-PUS), Virginia çamı kallus ve fidelerinde antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak ve lipit peroksidasyonunu düşürerek bu sayede tuzun neden olduğu oksidatif hasarı azalttığını bildirmiştir. Putresin (0,5 mM), tuz stresinin (100 mM NaCl) elektrolit sızıntısı ve lipit peroksidasyonu üzerindeki ve kısmen nohut bitkilerindeki bağlı su içeriği üzerindeki toksik etkilerini tamamen değiştirebilmiştir (Sheokand ve ark., 2008). Ayrıca Put'un tuz stresi altında antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde olumlu etkisi olduğu da görülmüştür. Diğer bir çalışmada Shi ve ark., (2008), salatalık (*Cucumis sativus* L. cv. "Jinyan No.4") fidelerinin 100 mM NaCl uygulamasına maruz bırakılmasından 3 gün önce besin çözeltisine ekzojen putresin (100 m M) eklenmiştir. Putresin, köklerde  $Na^+$  alımını azaltarak, potasyum birikimini artırmış, NaCl'nin kök büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmıştır.

Endojen poliaminlere benzer şekilde ekzojen poliaminlerin faydalı etkisi, polikasyonik doğalarından dolayı tuzla muamele edilmiş hücrelerde iyon dengesinin iyileştirilmesiyle ilgilidir. Yüksek tuzluluk altında ekzojen poliaminlerin koruyucu etkisi, temel olarak köklere Na<sup>+</sup> akışının kısıtlanması ve böylece hücrelerden K<sup>+</sup> kaybının önlenmesi yoluyla K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> homeostazisinin iyileştirilmesiyle ilişkilidir (Zhao ve ark., 2008).

PAS konsantrasyonlarının uygulanmasının NaCl stresinin çeşitli bitkiler üzerindeki etkilerini hafiflettiği ve hasarı azalttığı gösterilmiştir (Verma ve Mishra, 2005; Li ve ark., 2008). PAS bakımından zengin bitkiler genellikle güçlü tuz toleransı gösterir. Bitkilerdeki spermin seviyesinin tuz toleransının önemli bir göstergesi olduğu ileri sürülmüştür (Li ve He, 2012). Ekzojen PAS, özellikle spermin (SPM) ve spermidin (SPD), bitki büyümesini geliştiren ve tuz stresinin inhibitör etkilerini azaltan reaktif oksijen metabolizması ve fotosentezinin artmasına neden olmuştur (Meng ve ark., 2015; Baniasadi ve ark., 2018).

Birkaç metabolik yol SPM ve SPD'den etkilenir (Paul ve Roychoudhury, 2017). PA'ların birçok araştırma sonucunda farklı bitkilerin tuzluluğa toleransını iyileştirici etkisinin, muhtemelen PA taşınması, hücrede birikim ve metabolizma ile spesifik hedef proteinlerin veya sinyal bileşenlerinin fonksiyonel ekspresyonunu içeren çeşitli konuların birleşiminin bir sonucu olduğu sonucuna varmıştır (Pandol fi ve ark., 2010). Putresinlerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri kısaca Şekil 2.2.' de özetlenmiştir.



**Şekil 2.2.** Putresin uygulamasının etkileri (Put uygulaması altında bitkilerde meydana gelen gelişimsel ve biyokimyasal değişiklikler. FW: taze ağırlık; DW: kuru ağırlık; IAA: indol asetik asit; GA: gibberellinler; CK: sitokininler; ET: etilen) (González-Hernández ve ark., 2022).

Putresinin genel etkisi uzun zamandır bilinmektedir; sadece bitki büyüme ve gelişim süreçlerine katılmakla kalmaz, aynı zamanda tuzluluk, kuraklık, yüksek sıcaklıklar ve soğuk gibi farklı abiyotik streslere karşı toleransa da katkıda bulunur. Tanımlanan başlıca mekanizmalar, serbest radikalleri temizleme, ABA seviyelerini düzenleme, lipid peroksidasyonunu önleme, hücresel pH ve iyon dengesini koruma ve katyonik kanalları düzenleme gibi diğerleriyle ilişkilidir (Gill ve Tuteja 2010). Bu farklı mekanizmalar, membran hasarını azaltmak, hücre büyümesini teşvik etmek veya stres kısıtlamaları altında hücre hayatta kalmasını artırmak için eş zamanlı veya ayrı ayrı uyarılabilir (Liu ve ark., 2007).

Çilek bitkisinde poliaminlerin dışarıdan uygulamaları ve etkileri ile ilgili çok az sayıda çalışma vardır. Guo ve Shen (2018), Çin'de in vivo koşullarda çilekte yaptıkları çalışmada, putresinin meyve rengi oluşumunu azaltırken, sperminin meyvede daha kırmızı renk oluşumunu teşvik ettiğini, dolayısıyla poliamin tipinin etkisinin de farklı olabileceğini belirtmişlerdir. (Keutgen ve Pawelzik, 2008). Yüksek tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılmış çilek bitkilerinde, tuz stresinin serbest prolin, asparagin ve glutamin içeriğini arttırdığını ve yüksek prolin, asparagin ve glutamin seviyelerinin de tuz stresi hasarının göstergesi olduğu sonucuna varmışlardır. (Akbari ve ark., 2017), Camarosa çilek çeşidinde yaptıkları bir araştırmada, bitkilere tuz stresi altında

putresin uygulaması (0, 1.5 ve 3 mM) yapmışlardır. Araştırmada, putresinin kök uzunluğuna herhangi bir etkisi söz konusu olmazken, uygulama ile bitkilerde tuz stresinin neden olduğu olumsuz etkilerin azaldığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Araştırma sonucunda, dışsal poliamin uygulamaları ile tuz stresinin olumsuz etkilerinin azaltılabileceği belirlenmiştir. Benzer olarak, Festival çilek çeşidinde, in vitro kültür koşullarında farklı poliamin tipi ve konsantrasyonlarının, farklı tuzluluk düzeyleri üzerinde eksplantların bazı morfo-fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkilerinin incelendiği bir araştırmada, in vitro şartlarda çoğaltılan eksplantlar, üç farklı tuzluluk düzeyinde (1. Kontrol; 2. %0.4 NaCl: Orta düzey tuzluluk; 3. %0.8 NaCl: Yüksek düzey tuzluluk) ve beş farklı poliamin uygulamasında (1. Kontrol; 2. 0.5 mg L<sup>-1</sup> spermin; 3. 1.0 mg L<sup>-1</sup> spermin; 4. 0.5 mg L<sup>-1</sup> putresin; 5. 1.0 mg L<sup>-1</sup> putresin) kültür edilmiştir. Araştırma sonucunda, tuzluluk konsantrasyonunun artışına bağlı olarak, eksplant başına düşen sürgün sayısı, sürgün boyu, sürgün çoğalma oranı ve solgunluk skalası değerleri düşüş göstermiştir. Ayrıca denenen tüm poliamin uygulamaları, kontrole göre eksplant başına düşen sürgün sayısı, sürgün boyu ve solgunluk skalası değerlerini artırırken, sürgün çoğalma oranını istatistiksel olarak etkilememiştir. Araştırma bulguları gerek orta ve gerekse yüksek tuzluluk konsantrasyonlarında poliamin kullanımının, tuz zararlarının etkisini morfo-fizyolojik ve biyokimyasal olarak baskıladığını göstermiştir. Özellikle 1 mg L<sup>-1</sup> spermin kullanımı, tüm stres koşullarında eksplantların pozitif yönde gelişmelerine katkıda bulunmuştur (Ünal ve ark., 2023).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışma Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait ısıtmasız polikarbon örtülü serada yürütülmüştür. San Andreas çeşidi frigo Fideler 15\*13 cm ölçüsündeki 2 lt lik saksılarda yetiştirilmiştir. Sulamada ahtapot sulama sistemi (2 l/s) kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak San Andreas çilek çeşidine ait frigo fideler kullanılmıştır. (Şekil 3). Homojen gelişmiş fideler seçilerek viyollere dikilmiştir. 30 gün kadar burada geliştirilerek, ardından gelişen fidelerden homojen gelişim gösterenler 2 litrelik saksılara (13\*15 cm) 3:1 oranındaki torf - perlit karışımına dikilmiştir. Kullanılan torf steril ve pH'ı 6 dır. Denemede kullanılan San Andreas çilek çeşidine ait özellikler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

**San Andreas Çilek Çeşidi:** ABD orjinli Albion çeşidi ile gelişmiş seleksiyonu Cal 97.86-1 arasında 2001 yılında gerçekleştirilen melezlemeden elde edilmiş gün-nötr bir çeşittir. Diamante çeşidine benzer olsa da bu çeşitten daha yüksek kaliteli, daha verimli ve lezzetli bir çeşittir. Meyve kalitesi açısından Albion çeşidine benzese de daha verimli, daha büyük ve daha çekici meyvelere sahiptir. Külleme (*Sphaerotheca macularis*), kök çürüklüğüne (*Colletotrichum acutatum*), *Verticillium* solgunluğuna (*Verticillium dahliae*), Phytophthora kök çürüklüğüne (*Phytophthora cactorum*) ve yaygın yaprak lekesine (*Ramularia tulasnei*) karşı orta derecede dayanıklıdır. Uygun şekilde tedavi edildiğinde, iki benekli örümcek akarlarına (*Tetranychus urticae*) karşı, karşılaştırma çeşitlerinininkine eşit toleransa sahiptir. San Andreas Kaliforniya'da karşılaşılan çilek virüslerine karşı toleranslıdır. Meyve şekli değişebilir, ancak genellikle orta ila uzun ve oldukça simetrik bir koniktir. Meyve şekli ile Aromas (kısa ve yuvarlak konik), Diamante (genellikle düz konik) veya Albiondan (uzun konik) kolayca ayırt edilir. Özellikle meyve verme mevsiminin başlarında, Diamante ve Albion çeşitlerine göre genellikle daha fazla simetrik meyve oranına sahiptir. Çeşidin meyve rengi Aromas veya Albion çeşidinden biraz daha açık, Diamante den belirgin şekilde daha koyudur. Genel olarak San Andreas çeşidi bu karşılaştırıldığı çeşitlerden daha kuvvetlidir ve düşük soğuğa karşı daha az duyarlıdır. Yaz dikim sistemlerinde mükemmel meyve kalitesini korur. Uygun dikim sistemi ile daha büyük meyveler oluşturur. Albion çeşidinin üretim modeline benzese de büyük ölçüde erken sezon kış dikimine daha fazla uygundur.



**Şekil 3.1.**San Andreas çilek çeşidine ait meyve özellikleri

## **3.2. Metot**

### **3.2.1. Fidelerin dikimi**

San Andreas çilek çeşidine ait frigo fideler viyollere dikilecek 30 gün kadar burada geliştirilerek, ardından gelişen fidelerden homojen gelişim gösterenler 2 litrelik saksılara (13\*15 cm) 3:1 oranındaki torf-perlit karışımına 29 Mart 2024 tarihinde dikimi yapılmıştır. Saksılarda yetiştirilen çilek bitkileri 2 günde 1 kez olmak üzere Hoagland solusyonu ile 250 ml ölçeğinde sulanıp, ardından saf su ile 500 ml ye tamamlanarak topraktan uygulanmıştır. Deneme 180 gün olarak gerçekleştirilmiştir.





Şekil 3.2. Fidelerin dikimi

### 3.2.2. Putresin ve tuz uygulaması

Dikilen çilek fideleri 4-5 yapraklı olduğu döneme gelince 0 (kontrol), 0,5 mM, 1 mM ve 1,5 mM olmak üzere putresin 4 farklı dozda yapraklara püskürtme şeklinde ilk uygulama, daha sonra ise çiçeklenme/meyve döneminde ise aynı dozlarda 2. uygulama yine yapraklardan yapılmıştır. Farklı dozlarda putresin (Sigma Aldrich D13208-25G, 1,4-Diaminobutane, 99%) uygulanan bitkilere 0, 50 ve 100 mM konsantrasyonunda NaCl tuzlu su uygulamaları topraktan gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar 3 farklı tuz, 4 farklı putresin 3 tekerrürlü her tekerrürde 5 er bitki olmak üzere toplamda  $3 \times 4 \times 3 \times 5 = 180$  bitki üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulamaların ardından 45 gün sonra her yaprak sapının ortasındaki yaprak olmak üzere yaprak örnekleri alınarak bu yaprak örneklerinde aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.3. Genel görünüm

### 3.2.3. Büyüme ve gelişme parametreleri

Yapılan putresin ve tuz etkilerini belirlemek üzere yaprak klorofil içeriği (SPAD), antosiyanin değeri (ACI) değeri, yaprak alanı, yaprak ağırlığı, bitki taç ağırlığı, bitki kuru taç ağırlığı, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, meyve ağırlığı, meyve eni, meyve boyu, winrhizo ölçüm parametreleri değerlendirilmiştir.

#### 3.2.3.1. SPAD (Yaprak klorofil içeriği)

Aynı dozda putresin ve tuz uygulanan ve her bir tekerrürde bulunan üç bitkiden, üçlü yaprak yapısının ortasında alınan yaprakların, sağ, sol ve üst kısmından Konica Minolta 502 Klorofil Metre ile ölçüm yapılmıştır. Seçilen her bitkiden 3'er adet yaprak üzerinden bu ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçüm örneklenen yapraklara ait klorofil değerini vermiştir.



Şekil 3.4. SPAD ölçümü

### 3.2.3.2. ACI (Yaprak antosiyanin değeri)

Aynı dozda putresin ve tuz uygulanan ve her bir tekerrürde bulunan üç bitkiden, üçlü yaprak yapısının ortasında alınan yaprakların, sağ, sol ve üst kısmı OPTI SCIENCES ACM-200 firmasının ürettiği antosiyanin ölçer ile ölçülmüştür. Yapılan ölçüm örneklenen yapraklara ait ortalama total antosiyanin(ACI) değerini vermiştir.



Şekil 3.5. ACI ölçümü

### 3.2.3.3. Yaprak alanı

Uygulamada bulunan her bitkiden üçlü yaprak yapısının ortasında alınan yaprakların alan ölçümleri Petiole Pro Uygulaması (<https://www.petiolepro.com/leaf-area-meter-petiole-pro/>) ile yapılmıştır.

### 3.2.3.4. Yaprak ağırlığı

Uygulamada bulunan her bitkiden üçlü yaprak yapısının ortasında alınan yaprakların ayrı ayrı yaş ağırlıkları hassas tartıda ölçülmüştür. Bu yapraklar kurutma için etüvde 48 saat boyunca 65°C tutularak elde edilen kuru yaprak değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 3.6.** Yaprak ağırlığı ölçümü ve etüv görüntüsü

#### 3.2.3.5. Bitki yaş taç ağırlığı

Uygulamada her bir tekrürde bulunan iki bitkiden alınan örnekler kök boşazından kesilerek taç kısımlarının yaş ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Yapılan Ölçüm Bitki Yaş Taç Ağırlığı değerini vermiştir.



**Şekil 3.7.** Yaprak taç ağırlığı ölçümü

#### 3.2.3.6. Bitki kuru taç ağırlığı

Uygulamada her bir tekrürde bulunan iki bitkiden alınan taç kısımları etüvde 48 saat boyunca 65°C tutularak elde edile kuru taç ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. yapılan ölçüm bitki kuru taç ağırlığı değerini vermiştir.

### 3.2.3.7.Kök yaş ağırlığı

Uygulamada her bir tekerrürde bulunan iki bitkiden alınan örnekler kök boğazından kesilerek elde edilen kök bölgesi topraktan temizlenip yıkanmıştır. Temizlenen kök bölgesi yıkamaya bağlı nemliliği gidene kadar beklenilmiştir. Köklerin yaş ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür.



**Şekil 3.8.** Yaprak kök yaş ağırlığı ölçümü

### 3.2.3.8.Kök kuru ağırlığı

Uygulamada her bir tekerrürde bulunan iki bitkiden alınan örnekler kök boğazından kesilerek elde edilen kök bölgesi topraktan temizlenip yıkanmıştır. Temizlenen kök bölgesi yıkamaya bağlı nemliliği gidene kadar beklenilmiştir. Etüvde 48 saat boyunca 65°C tutularak elde edilen kuru kök ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür.

### 3.2.3.9.Meyve ağırlığı

Hasat süresince alınan her bir uygulamadan alınan meyveler hassas terazide tartılmıştır. Tespit edilen toplam meyve ağırlığı meyve sayısına bölünerek ortalama meyve ağırlığı elde edilmiştir.



**Şekil 3.9.**Meyve ağırlığı ölçümü

#### 3.2.3.10.Meyve eni

Hasat süresince alınan her bir uygulamadan alınan meyvelerde en ölçümleri dijital kumpas ile yapılmıştır.



**Şekil 3.10.**Meyve eni ölçümü

#### 3.2.3.11.Meyve boyu

Hasat süresince alınan her bir uygulamadan alınan meyvelerde en ölçümleri dijital kumpas ile yapılmıştır.

#### 3.2.3.12. WinRhizo ölçümleri

Uygulamada her bir tekerrürde bulunan bir bitkiden alınan örnekler kök boğazından kesilerek elde edilen kök bölgesi topraktan temizlenip yıkanmıştır. Temizlenen kök bölgesi WinRhizo cihazı ile kök mimarisi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda; kök uzunluğu, kök yüzey alanı, kök çapı, kök hacmi, kök çatallanma, kök kesişme gibi parametreler tespit edilmiştir.



Şekil 3.11.WinRhizo ölçümü

#### 3.2.4. Verilerin İstatistiksel Analizi

Çalışma sonuçlarından elde edilen veriler faktöryel deneme desenine göre tam şansa bağlı deneme planında SPSS programında istatistiki analizlere tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğu parametre verileri DUNCAN çoklu karşılaştırma testinden geçirilmiştir (Sheskin, 2004)

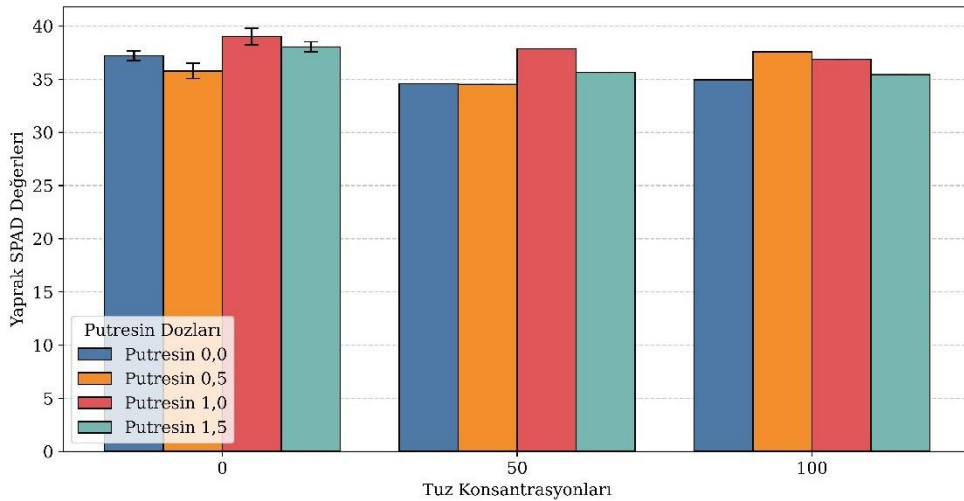


#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının etkilerinin incelendiği bu çalışmada, yapraklarda klorofil içeriğini tespit için kullanılan SPAD olarak bilinen klorofil katsayısına etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.1’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının Yaprak SPAD değerleri üzerindeki etkileri

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				
	0	0,5	1	1,5	TUZ ORT
0	37,200+- 0,462	35,771 +- 0,720	39,014+- 0,779	38,031+- 0,477	37,504+-0,340 a
50	34,57	34,507	37,853	35,629	35,639+0,697b
100	34,953	37,567	36,862	35,41	36,198+0,373ab
UYG ORT	35,573+- 0,867b	35,948ab	37,909a	36,357ab	
P UYG					0,022
P TUZ					0,023
P TUZXUYG					0,218
INTERAKSİYONU					



**Şekil 4.1.** Farklı Putresin dozlarının ve farklı tuz konsantrasyonlarının Yaprak SPAD değerleri üzerindeki etkileri

Farklı putresin dozları ve tuz konsantrasyonlarının çilek bitkisinde yaprak SPAD değeri üzerine etkileri Tablo 4.1’de verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda putresin uygulamaları ( $P=0,022$ ) ile tuz konsantrasyonlarının ( $P=0,023$ ) SPAD değeri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Buna karşın putresin  $\times$  tuz interaksyonunun istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ( $P=0,218$ ). Tuz

uygulamalarının ortalama değerleri incelendiğinde en yüksek SPAD değeri 0 mM tuz uygulamasında (37,504) belirlenirken, en düşük değer 50 mM tuz uygulamasında (35,639) saptanmıştır. Putresin uygulamalarının ortalama değerleri gözönüne alındığında ise en yüksek SPAD değeri 1 mM putresin uygulamasında (37,909), en düşük SPAD değeri ise 0 mM putresin uygulamasında (35,573) belirlenmiştir. 0,5 mM ve 1,5 mM putresin uygulamaları ise istatistiksel olarak aynı grupta yer alarak sırasıyla 35,948 ve 36,357 değerlerini vermiştir. Uygulamalar arasındaki interaksyon incelendiğinde en yüksek SPAD değeri 1 mM putresin ve 0 mM tuz uygulamasında (39,014) elde edilirken, en düşük değer 0,5 mM putresin ve 50 mM tuz uygulamasında (34,507) belirlenmiştir. Ancak uygulamalar arasındaki farklılıklar genel olarak putresin ve tuz faktörlerinin ana etkilerinden kaynaklanmış olup, interaksyon etkisinin önemli olmadığı saptanmıştır (Tablo 4.1 ve Şekil 4.1).

Bitkilerde SPAD değeri yapraklardaki klorofil miktarının dolaylı bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca bu değer, fotosentetik kapasite ile doğrudan ilişkilidir. Tuz stresi bitkilerde iyon dengesinin bozulmasına, ozmotik stres oluşumuna ve reaktif oksijen türlerinin artışına neden olarak klorofil sentezini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum kloroplast yapısında bozulmalara ve klorofil pigmentlerinin parçalanmasına yol açarak fotosentetik etkinliğin azalmasına neden olmaktadır. Nitekim Munns ve Tester (2008) bitkilerde tuz stresinin fotosentez kapasitesini azalttığını ve bunun da klorofil miktarında düşüşe neden olabileceğini bildirmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak Parida ve Das (2005) tuz stresinin klorofil sentezini baskılayarak pigment kaybına yol açtığını ifade etmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda da tuz uygulamalarının SPAD değerini genel olarak azalttığı görülmektedir. Tuz uygulanmayan koşullarda görülen daha yüksek SPAD değerleri, tuz stresinin ilek bitkisinde klorofil içeriğini olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Tuz stresinden dolayı klorofil içeriğindeki azalma; klorofil sentezinde görev alan enzimlerin inhibisyonu, kloroplast zarlarının zarar görmesi ve oksidatif stresin artmasına bağlanabilir. Çalışmada, putresin uygulamaları SPAD değerini artırııcı yönde etki yapmıştır. Özellikle 1 mM putresin uygulamasında en yüksek SPAD değerinin elde edilmesi, putresinin bitkilerde fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağlayabildiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Putresin uygulaması çeşitli ss bitkilerinde klorofil içeriğini artırmıştır (Naheed ve ark., 2009; Badawy ve ark., 2015; Kandil ve ark., 2015; Yousefi ve ark., 2019). *Salvia splendens*'te ise sadece klorofil içeriğini değil, aynı zamanda antosiyanin ve çözünür

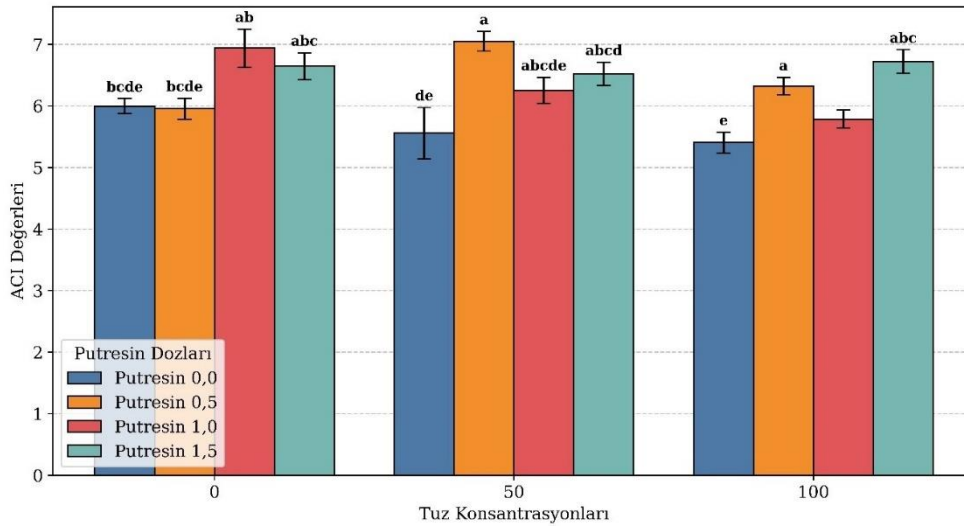
şekerleri de artırmıştır (Kandil ve ark., 2015). Nohut bitkilerinde (*Cicer arietinum*) putresin uygulaması nedeniyle taze yapraklardaki toplam fotosentetik pigmentler önemli ölçüde artmıştır (Amin ve ark., 2013). Dahası, domates fidelerinde Put dışarıdan uygulandığında daha yüksek fotosentetik pigment, protein ve şeker seviyeleri ve daha yüksek nitrat redüktaz aktivitesi gözlemlenmiştir (Yadav ve ark., 2019).

Putresin gibi poliaminlerin bitkilerde stres koşullarında hücre zarının stabilitesini artırdığı, antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği ve klorofil parçalanmasını yavaşlattığı bilinmektedir. Alcázar ve ark. (2010) ile Gill ve Tuteja (2010); poliaminlerin bitkilerde stres toleransının artırılmasında önemli rol oynadığını ve fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağladığı, ayrıca poliaminlerin tuz stresine karşı bitkilerde antioksidan sistemleri destekleyerek oksidatif hasarı azaltabildiğini belirtmişlerdir. Literatürde farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalar da poliamin uygulamalarının klorofil içeriğini artırabileceği belirtilmiştir. Liu ve Moriguchi (2007) poliaminlerin bitkilerde fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağladığını ve stres koşullarında fotosentezin devamlılığını desteklediğini ifade etmektedir. Bu durum poliaminlerin kloroplast zarlarını stabilize edici etkisi ve reaktif oksijen türlerini azaltıcı rolüne atfedilmektedir. Bu çalışmada putresin × tuz interaksyonunun istatistiksel olarak önemli bulunmaması, putresinin etkisinin daha çok bağımsız bir faktör olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Bununla birlikte putresin uygulamalarının özellikle orta düzey dozlarda klorofil içeriğini artırıcı etkide bulunması, putresinin çilek bitkisinde fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Özetle; elde edilen bulgular, putresin uygulamalarının çilek bitkisinde yaprak klorofil içeriğini artırabileceğini ve tuz stresinin neden olduğu olumsuz etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının etkilerinin incelendiği bu çalışmada, yapraklarda toplam antosiyanin içeriğini tespit için kullanılan bir diğer ölçüm şekli olan ACI olarak bilinen antosiyanin katsayısına etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.2' de, grafiksel olarak ise Şekil 4.2' de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının yaprak antosiyanin içeriğine (ACI) etkileri

UYGULAMA (Putresin)					
TUZ	0,0	0,5	1	1,5	TUZ ORT
0	5,996± 0,122bcde	5,953± 0,170 bcde	6,938± 0,309ab	6,644±0,220abc	6,373 ± 0,117
50	5,556 ± 0,420 de	7,049± 0,160 a	6,251± 0,214abcde	6,522±0,187abc d	6,344 ± 0,147
100	5,404± 0,171 e	6,322± 0,140 a	5,787± 0,149	6,719±0,193 abc	6,023 ± 0,103
UYG ORT	5,652±0,157	6,441± 0,112	6,311± 0,148	6,622±0,115	
P UYG					0,000
P TUZ					0,080
P TUZ×UYG INTERAKSİYONU					0,000



**Şekil 4.2.** Farklı Putresin dozlarının farklı tuz konsantrasyonları ile birlikte yaprak antosiyanin içeriğine (ACI) etkileri

Farklı putresin dozları ve tuz konsantrasyonlarının çilek bitkisinde ACI klorofil katsayısı üzerine etkileri Tablo 4.2’de verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda putresin uygulamalarının ACI klorofil katsayısı üzerine etkisinin istatistiksel olarak çok önemli olduğu belirlenmiştir (P=0,000). Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidi çilek bitkilerinde tuz konsantrasyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamış (P=0,080), buna karşın putresin × tuz interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (P=0,000) (Tablo 4.2). Yapraklardaki toplam antosiyanin içeriğine ilişkin katsayı olarak bilinen ACI değeri, tuz uygulamalarının

ortalama değerleri incelendiğinde en yüksek 0 mM tuz uygulamasında (6,373) belirlenirken, bunu 50 mM tuz uygulaması (6,344) izlemiştir. En düşük ortalama değer ise 100 mM tuz uygulamasında (6,023) belirlenmiştir. Putresin uygulamalarına ait ortalama değerler açısından en yüksek ACI katsayısı 1,5 mM putresin uygulamasında, en düşük ACI değeri ise 0 mM putresin uygulamasında (5,652) tespit edilmiştir. Uygulama kombinasyonlarının değerleri gözönüne alındığında en yüksek ACI katsayısı 0,5 mM putresin ve 50 mM tuz uygulamasında (7,049) belirlenirken, en düşük değer 0 mM putresin ve 100 mM tuz uygulamasında (5,404) elde edilmiştir. Putresin × tuz interaksiyonunun önemli bulunması, putresin dozlarının farklı tuz konsantrasyonlarında klorofil içeriğini farklı düzeylerde etkilediğini göstermesi açısından önemlidir.

Yapraklarda toplam antosiyanin içeriğinde en önemli pigment klorofil olarak bilinmektedir. Klorofil içeriğinin bitkilerde fotosentetik kapasiteyi göstermesi açısından önemi büyüktür. Bu gösterge, çevresel stres koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Tuz stresi bitkilerde ozmotik stres, iyon toksisitesi ve oksidatif hasara neden olarak klorofil sentezini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum kloroplast yapısında bozulmalara ve fotosentetik pigmentlerin azalmasına yol açmaktadır. Nitekim Munns ve Tester (2008), Ahmad ve ark. (2016) tuz stresinin farklı bitkilerde fotosentez kapasitesini azaltarak klorofil içeriğinde düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada tuz uygulamalarının ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamakla birlikte, tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte ACI değerlerinde genel bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu durum, tuz stresinin klorofil içeriğini azaltabileceğini bildiren önceki çalışmalarla uyum göstermektedir. Parida ve Das (2005) ve Saha ve ark. (2015) in yaptığı çalışmalardaki sonuçlarda da tuz stresinin klorofil sentezini baskıladığını ve pigment kaybına neden olabileceğini ifade etmişlerdir.

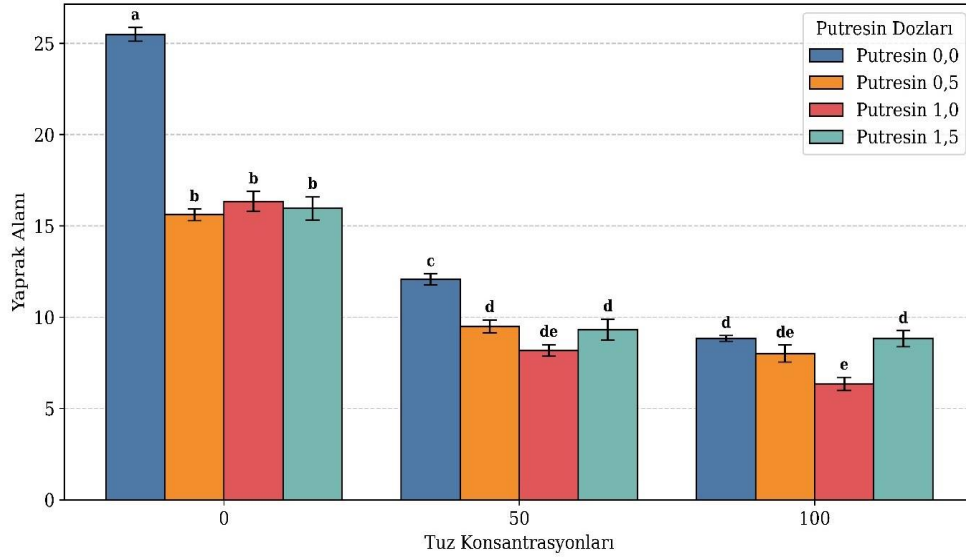
Putresin uygulamalarından özellikle 1,5 mM putresin dozu en yüksek ortalama ACI değerini vermiş, putresin gibi poliaminlerin bitkilerde hücre zarlarının stabilitesini artıran, kloroplast yapısını koruyan ve stres koşullarında fotosentetik pigmentlerin parçalanmasını yavaşlatabilen uygulamalar olduğu belirlenmiştir. Zaten poliaminlerin bitkilerde abiyotik streslere karşı toleransın artırılmasında önemli rol oynadığı ve fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağladığı birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir (Alczar ve ark., 2010; Akın ve Yalçın, 2016; Habib ve ark., 2023) Putresin × tuz interaksiyonu istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Bu sonuç, putresin uygulamalarının tuz stresinin etkisini belirli düzeylerde azaltabileceğini göstermektedir. Poliaminlerin antioksidan savunma sistemini desteklediği ve reaktif oksijen türlerinin

oluşturduğu oksidatif hasarı azaltabildiği bilinmektedir. Nitekim; poliaminlerin bitkilerde antioksidan savunma sistemini güçlendirerek stres koşullarında hücresel hasarı azaltabileceği belirtilmiştir. Bu durum, putresin uygulamalarının klorofil pigmentlerinin korunmasına katkı sağlayarak fotosentetik kapasitenin devamlılığını destekleyebileceğini göstermektedir (Alcazar ve ark, 2006; Gill ve Tuteja 2010b; Liu ve ark., 2015; Alcazar ve ark., 2020)

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının etkilerinin incelendiği bu araştırmada, yaprak alanı üzerine etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.3’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.3’de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının yaprak alanı üzerine etkileri (cm<sup>2</sup>)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	25,480±0,376 a	15,608±0,314 b	16,341±0,546 b	15,951±0,653 b	18,379±059 5
50	12,06±0,307c	9,504±0,349d	8,188±0,314d e	9,323±0,569d	9,769±0,268
100	8,834±0,155d	8,006±0,464d e	6,354±0,352e	8,814±0,441d	7,959±0,225
UYG ORT	15,46±1.100	11,039±0.540	10,157±0694	11.545±0.609	
P UYG					0,000
P TUZ					0,000
P TUZXUYG INTERAKSİYON U					0,000



**Şekil 4.3.** Farklı Putresin dozları ile farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak alanı (cm<sup>2</sup>) üzerine etkileri

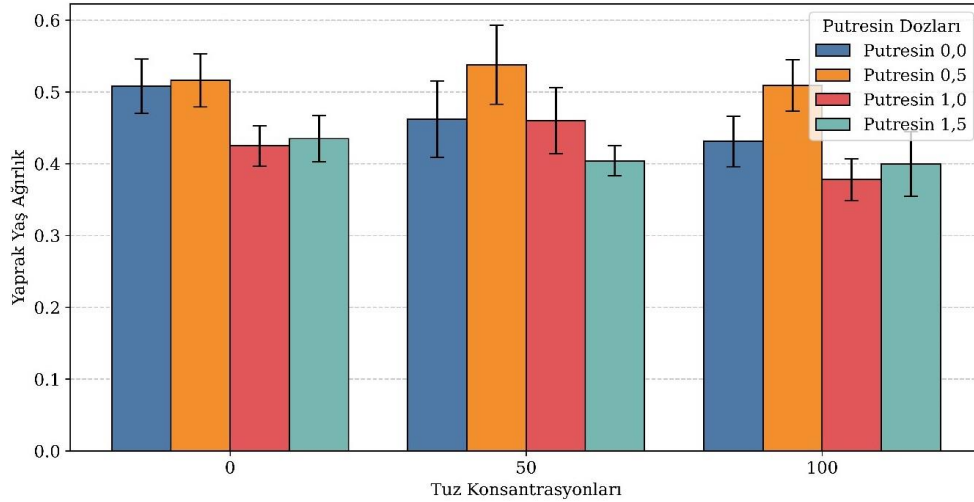
Tuz ve putresin uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkileri incelendiğinde, tuz uygulamalarının, putresin dozlarının, hem de tuz × putresin interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (P<0.001). Tuz dozlarına göre, en yüksek yaprak alanı kontrol grubunda (18.379) belirlenmiştir. Tuz konsantrasyonunun artmasına paralel olarak yaprak alanında belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Nitekim, 50 mM tuz uygulamasında ortalama yaprak alanı 9.769 cm<sup>2</sup>, 100 mM tuz uygulamasında ise 7.959 cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Bu durum tuzluluk stresinin bitki büyümesini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Farklı putresin dozları açısından en yüksek ortalama değer kontrol (0) dozunda (15,46) elde edilirken, en düşük değer 1 mM dozunda (10,157) belirlenmiştir. Tuz ve putresin interaksiyonu değerlendirildiğinde ise en yüksek yaprak alanı tuz uygulanmayan ve putresin uygulanmayan uygulamada (25,480) ölçülmüştür. Buna karşılık en düşük değer 100 mM tuz + 1 mM doz putresin uygulamasında (6,354) belirlenmiştir. Çalışmada artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak yaprak alanının önemli ölçüde azalmıştır. Tuzluluk stresi, bitkilerde osmotik stres ve iyon toksisitesi oluşturarak hücre genişlemesini ve yaprak büyümesini önemli ölçüde geriletmektedir. Bu durum fotosentetik yüzeyin azalmasına ve bitki büyümesinin gerilemesine yol açmaktadır. Benzer şekilde birçok çalışmada NaCl konsantrasyonunun artmasının bitki büyüme parametrelerinde ve özellikle yaprak alanında önemli azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010b; Liu ve ark., 2015; Akçin ve Yalçın, 2016; Cherifi ve ark., 2017). Tuz stresinin bitkilerde büyümeyi azaltmasının temel nedenlerinden biri, hücrelerde su potansiyelinin düşmesi ve iyon dengesinin bozulmasıdır. Bu durum hücre

bölünmesi ve hücre genişlemesini sınırlandırarak bitkide yaprak gelişimini olumsuz etkiler. Nitekim tuz stresinin birçok bitki türünde büyüme ve biyokütle üretimini azaltarak morfolojik gelişimi baskıladığı farklı çalışmalarda da rapor edilmiştir (Akçin ve Yalçın, 2016; Cherifi ve ark., 2017; Zaidalkilani ve ark., 2024). Araştırmada putresin uygulamalarının bazı dozlarda tuz stresinin olumsuz etkisini kısmen hafiflettiği görülmektedir. Putresin, bitkilerde stres toleransında rol oynayan önemli poliaminlerden biridir. Yapılan çalışmalarda putresinin hücre zarının stabilitesini artırdığı, reaktif oksijen türlerinin birikimini azaltarak antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği ve böylece büyüme parametrelerini koruyabildiği belirtilmektedir (Groppa ve Benavides, 2008; Gill ve Tuteja, 2010). Bu mekanizmalar bitkilerin tuz stresine karşı daha dayanıklı olmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde, farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalar dışsal putresin uygulamasının tuz stresinin neden olduğu büyüme gerilemesini azaltabildiğini göstermiştir (Zaidalkilani ve ark., 2024). Ayrıca bazı araştırmalarda putresin uygulamasının tuz stresinin neden olduğu oksidatif hasarı azaltarak bitki büyümesini iyileştirdiği ve büyüme parametrelerinin korunmasına katkı sağladığı (Gupta ve Huang, 2014). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da literatürde bildirilen bulgularla uyum göstermektedir. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte yaprak alanında önemli azalmalar meydana gelirken, putresin uygulamalarının bazı dozlarda bu olumsuz etkinin şiddetini azaltabildiği görülmektedir. Bu durum putresinin bitkilerde stres toleransını artıran fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar üzerinde etkili olmasından kaynaklanabilir.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının etkilerinin incelendiği bu araştırmada, yaprak yaş ağırlığına etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.4’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.4’ de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Farklı putresin ve tuz konsantrasyonlarının yaprak yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	0,508±0,038	0,516±0,037	0,425±0,028	0,435±0,032	0,472 ±0,0 17
50	0,462±0,053	0,538±0,055	0,460±0,046	0,404±0,021	0,466 ±0,0 23
100	0,431±0,035	0,509±0,036	0,378±0,029	0,400±0,045	0,431 ±0,0 18
UYG ORT	0,467±0,024ab	0,5214±0,024 8a	0,4210±0,0208b	0,4143±0,0188b	
P UYG					0,003
P TUZ					0,275
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,895



**Şekil 4.4.** Farklı Putresin ve tuz konsantrasyonlarının yaprak yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri

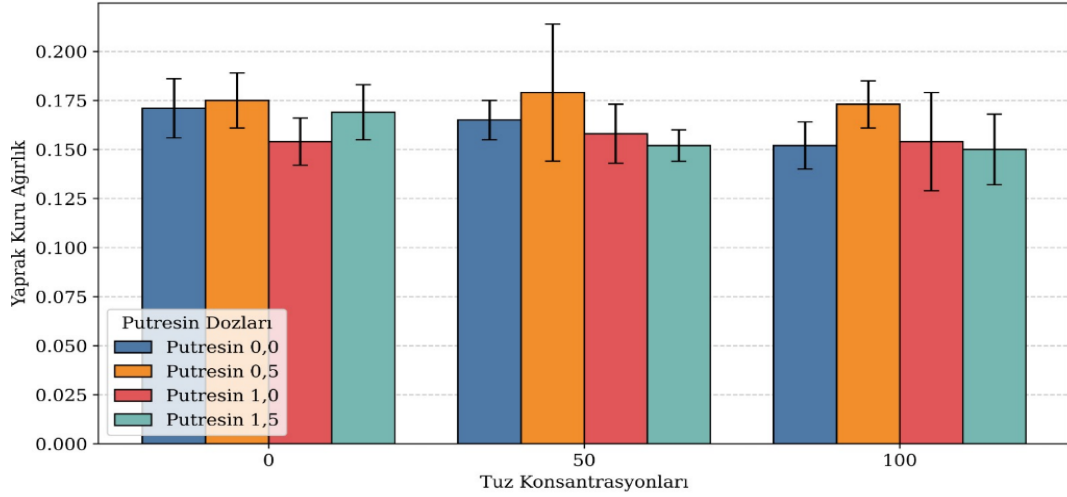
Tablo 4.4' de görüldüğü gibi ortalama değerler açısından 0,5 mM Putresin uygulaması (0,5214±0,0248) diğer uygulamalardan (0,467±0,024ab, 0,4210±0,0208b ve 0,4143±0,0188b) anlamlı olarak farklıdır (P<0,05). Bu, 0,5 mM Putresin uygulamasının çilek bitkilerinde belirtilen parametreyi artırdığını göstermektedir. Diğer uygulamalar (0, 1 ve 1,5 mM) arasında istatistiksel olarak fark anlamlı değildir. Farklı tuz konsantrasyonlarının etkisi ve putresin x tuz interaksiyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P=0,275 ve (P=0,895). Yine şekilden de görüldüğü üzere, çilek bitkilerinde yaprak yaş ağırlığı parametresini artıran temel faktör 0,5 mM Putresin uygulamasıdır. Putresin ve benzeri poliaminlerin bitki büyümesini artırıcı etkileri

literatürde sıkça rapor edilmiştir. Poliaminler, hücre bölünmesi ve gen ekspresyonunu modüle ederek bitki gelişimini destekler (Takahashi ve Kakehi, 2010). Pirinçte (*Oryza sativa*) 0,001 mM, 0,01 mM ve 0,1 mM konsantrasyonlarında putresin uygulamasının kök ve sürgün biyokütlesini artırdığı, çeşitlere göre farklı dozların etkin olduğu belirlenmiştir. Eksojen 0,1 mM putresin uygulamasının, pektin içeriğini ve pektin metilesteraz (PME) aktivitesini artırarak kök hücre duvarındaki P içeriğini azalttığını; bunun da putresinin fosfor kıtlığı altında kök hücre duvarındaki P'nin yeniden kullanımında rol oynayabileceğini göstermiştir (Jing ve ark., 2022). Benzer şekilde, 0,5 mM Putresin uygulaması çilek bitkilerinde büyüme parametresini anlamlı olarak artırmış, daha düşük veya yüksek konsantrasyonlarda bu etkinin görülmemesi, hormetik bir yanıtın (düşük dozda maruz kalınan stres faktörlerinin hücrelerde uyum, tamir ve güçlenme mekanizmalarını tetiklediği bir savunma yanıtıdır) göstergesi olabilir (Şahin ve Örgeç, 2022). Tuz stresinin bu parametreyi etkilememesi, çilek bitkisinin orta düzey tuz konsantrasyonlarına karşı nispeten toleranslı olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca Putresin etkisinin tuz konsantrasyonundan bağımsız olması, poliaminlerin stres koşullarında bitki büyümesini stabilize edebileceğini destekler (Munns ve Tester, 2008; Mohammedi Alagoz ve ark., 2025).

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının yaprak kuru ağırlığına etkilerinin incelendiği bu araştırmada, yaprak kuru ağırlığına ilişkin sayısal değerler Tablo 4.5’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.5’de verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının yaprak kuru ağırlığına etkisi

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	0,171±0,0151	0,175±0,014	0,154±0,012	0,169±0,014	0,167±0,006
50	0,165±0,01	7,98±0,349	0,158±0,015	0,152±0,008	2,160±0,098
100	0,152±0,012	0,173±0,012	0,154±0,025	0,150±0,018	0,157±0,008
UYG ORT	0,16305±0,00806	0,278±0,0260	0,1557±0,0104	0,15795±0,00778	
P UYG					0,405
P TUZ					0,388
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,449



**Şekil 4.5.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının yaprak kuru ağırlığına etkisi

Farklı dozlarda uygulanan tuz konsantrasyonlarının yaprak kuru ağırlığına etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. ( $P=0,388$ ). İstatistiksel analiz sonucunda putresin uygulamalarının yaprak kuru ağırlığı üzerindeki etkisi de anlamlı bulunmamıştır. ( $P=0,405$ ). Tablo 4.5 te de görüldüğü üzere, en yüksek yaprak kuru ağırlığı, 0,5 mM Putresin ve 50 mM Tuz uygulamasında (0,178 g) elde edilmiştir. En düşük değer ise 100 mM Tuz ve 1,5 mM putresin uygulamasında (0,150 g) gözlenmiştir. Yaprak kuru ağırlığı ortalamalarına bakıldığında, 0,5 mM putresin uygulaması tüm tuz seviyelerinde hafifçe daha yüksek yaprak kuru ağırlığı sağladığı, ancak farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.5). Uygulama kombinasyonları açısından putresin  $\times$  tuz interaksiyonu da anlamlı bulunmamıştır ( $P= 0,449$ ).

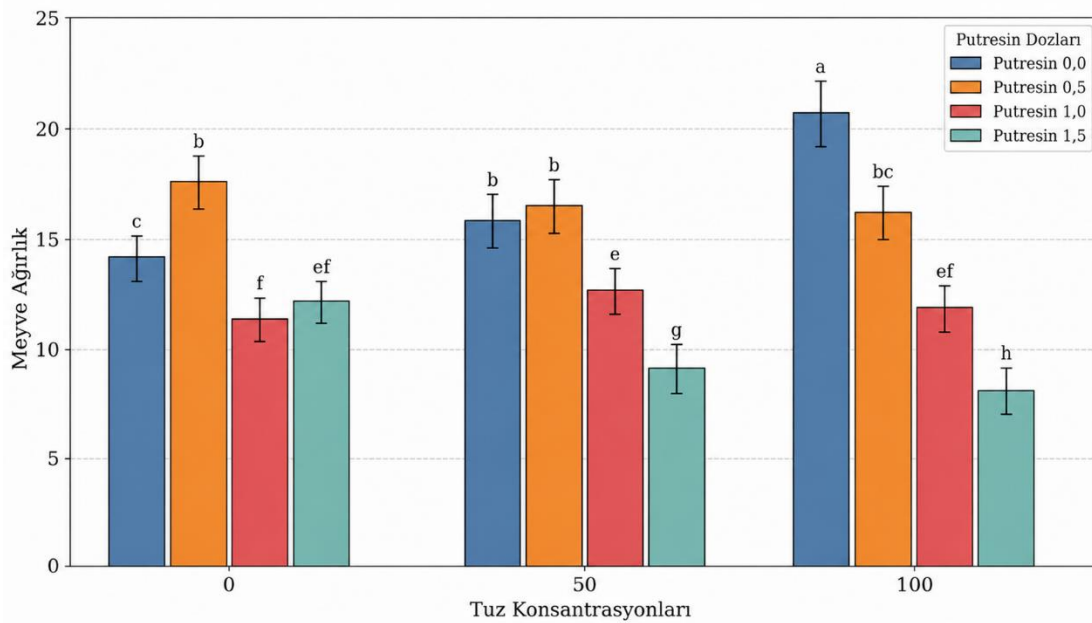
Yaprak kuru ağırlığı, bitkilerin fotosentetik doku gelişimi ve su tutma kapasitesinin bir göstergesidir. Poliaminler (ör. putresin) hücre bölünmesini, hücre uzamasını ve bitki organlarının biyokütle artışını destekleyebilir (Tiburcio ve ark., 2014; Blázquez, 2024; Vasilogiannakopoulou, 2025). Bu çalışmada, yaprak kuru ağırlığında istatistiksel anlamlı bir artış görülmemiştir, ancak 0,5 mM Putresin uygulaması, orta düzey tuz koşullarında hafif bir artış sağlamıştır. Tuz stresinin bitkilerdeki en önemli etkisinin su dengesini bozarak yaprak gelişimini sınırlaması olduğu bilinmektedir. Yüksek tuz konsantrasyonunda hücre turgor kaybı ve metabolik stres sıklıkla gözlenen bir durumdur (Munns ve Tester, 2008; D'Inca, 2024; Vasilogiannakopoulou, 2025). Poliamin uygulamalarının, hücre zarlarını stabilize ederek ve antioksidan savunmayı artırarak, tuz stresine karşı yaprak biyokütlesini kısmen koruyucu etkisine dair çalışma raporları mevcuttur (Munns ve Tester, 2008; Alcázar, 2010; Tiburcio ve ark., 2014). Bu

bulgular, putresinin çilek yapraklarında orta ölçekli doz uygulamalarının yaprak kuru ağırlığını hafifçe artırabileceğini, fakat yüksek tuz stresi altında belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir (Tablo 4.5).

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulaması yapılmış ve bu uygulamaların farklı tuz konsantrasyonlarında meyve enine etkileri incelenmiştir. Bu parametrelere ait sayısal değerler Tablo 4.6’da, grafiksel olarak ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Farklı tuz konsantrasyonlarında Putresin uygulamalarının meyve eni üzerine etkisi (mm)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	30,02±1,31	30,12±2,98	24,87±1,84	26,42±1,76	27,73 ±0,96
50	31,18±1,79	29,39±2,98	27,13±1,68	22,70±1,65	27,04 ±1,20
100	33,31±2,13	29,70±2,23	26,54±1,50	24,31±0,98	28,02 ±1,06
UYG ORT	31,502±0,997a	29,73±1,42ab	26,177±0,848bc	24,479±0,907c	
P UYG					0,000
P TUZ					0,799
P TUZXUYG INTERAKSİY ONU					0,561



**Şekil 4.6.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının meyve eni üzerine etkisi (mm)

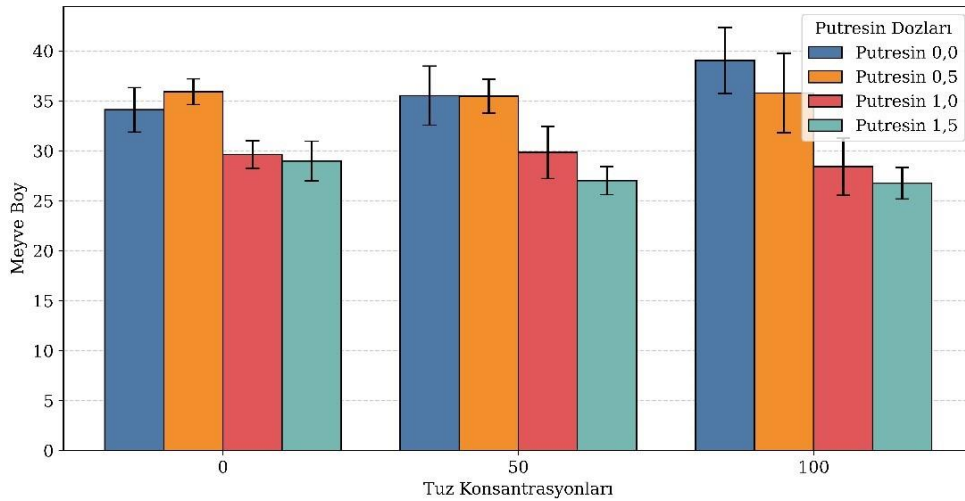
Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulaması yapılmış ve bu uygulamaların meyve

eni üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki gösterdiği belirlenmiştir (P = 0,000). Bunun yanında, farklı tuz konsantrasyonları ise tek başına anlamlı bulunmamıştır (P =0,799). En yüksek meyve eni 100 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında (33,31 mm), en düşük meyve eni ise 50 mM tuz ve 1,5 mM putresin uygulamasında (22,70 mm) gözlenmiştir. Putresin × tuz interaksyonu da anlamlı bulunmamıştır (P=0,561). Uygulama kombinasyonları açısından meyve enine ait ortalama değerlere bakıldığında, 0 mM Putresin uygulaması meyve eni üzerinde genel olarak daha yüksek değerler sağlamaktadır, yüksek doz putresin uygulaması ise meyve eni üzerinde sınırlayıcı etki göstermiş olabilir. Meyve eni, çilekte meyve gelişiminde hücre bölünmesi ve uzaması ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek Putresin dozu (1,5 mM) ve orta seviyede tuz, meyve eni üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Bunun nedeni, yüksek poliamin dozlarının aşırı hücre bölünmesini baskılayabilmesi ve tuz stresi ile birlikte osmotik dengenin bozulması olabilir (Parida ve Das, 2005). Tuz stresinin meyve eni üzerindeki etkisi bu çalışmada istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır, ancak literatürde tuz stresi altında meyve büyümesinin sıklıkla sınırlandığı rapor edilmiştir (Munns ve Tester, 2008). Poliaminlerin düşük dozda uygulaması, hücre turgorunu destekleyerek ve antioksidan sistemleri güçlendirerek meyve gelişimini optimize edebilir (Alcázar et al., 2010; Gill ve Tuteja, 2010; Takahashi ve Kakehi, 2010). Bu bulgular, Putresin'in çilek meyve eni üzerinde doza bağımlı etkiler gösterebileceğini, düşük dozların destekleyici, yüksek dozların ise sınırlayıcı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulaması yapılmış ve bu uygulamaların farklı tuz konsantrasyonlarında meyve enine etkileri incelenmiştir. Bu parametrelere ait sayısal değerler Tablo 4.7' de, grafiksel olarak ise Şekil 4.7' de verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının meyve boyuna etkisi (mm)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	34,11±2,23	35,92±1,28	29,62±1,38	28,98±1,98	31,56±1,18
50	35,53±2,95	35,46±1,70	29,84±2,61	27,02±1,41	31,39±1,33
100	39,04±3,31	35,79±3,96	28,40±2,86	26,75±1,57	31,74±1,68
UYG ORT	36,225±1,60	35,720±1,45a	29,287±1,40b	27,582±0,963b	
	a				
P UYG					0,000
P TUZ					0,955
P TUZXUYG					0,771
INTERAKSİYONU					



**Şekil 4.7.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının meyve boyuna etkisi (mm)

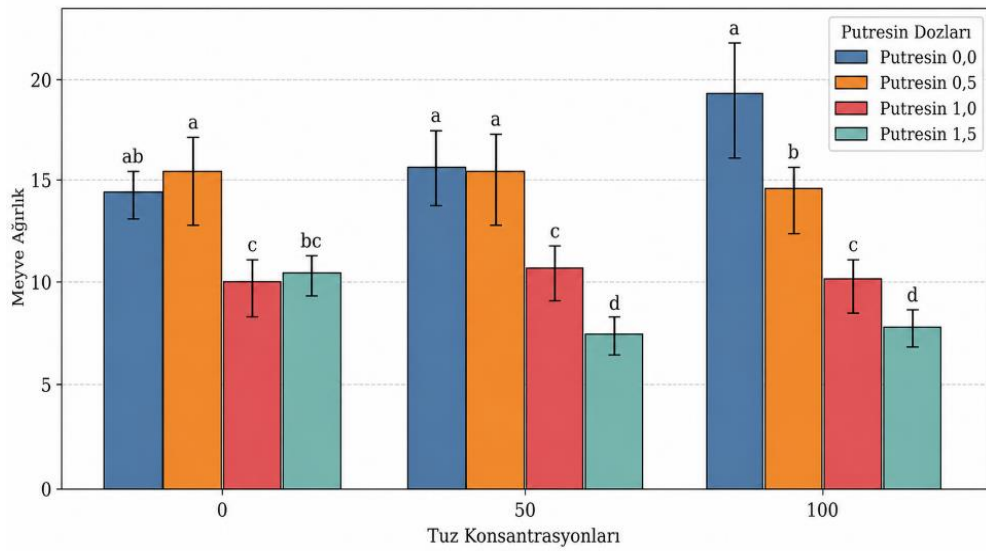
Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulaması yapılmış ve meyve boyu üzerine etkileri incelenmiştir. Buna göre, putresin uygulamalarının meyve boyu üzerindeki etkileri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,000$ ). Çilek bitkilerinin maruz bırakıldığı farklı tuz konsantrasyonları ise tek başına istatistiki anlamlı bulunmamıştır ( $P=0,955$ ). Meyve boyunun en fazla olduğu tuz konsantrasyonu ve putresin uygulaması 100 mM Tuz ve 0 mM putresin (39,04 mm) olarak elde edilmiştir. En kısa meyve boyu 100 mM Tuz ve 1,5 mM Putresin uygulamasında (26,75 mm) gözlenmiştir. Uygulama kombinasyonları açısından putresin  $\times$  tuz interaksiyonuna ait değerler arasındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır ( $P=0,771$ ). Ayrıca, görüldüğü üzere düşük ve orta putresin dozları meyve boyunu artırmakta, yüksek doz (1,5 mM) meyve boyunu sınırlandırmaktadır. Meyve boyu, hücre bölünmesi ve hücre uzaması ile doğrudan ilişkilidir. Poliaminler (ör. putresin), hücre uzaması ve bölünmesini destekleyerek meyve büyümesini artırabilir (Liu ve ark., 2007). Bu çalışmada düşük ve orta Putresin dozları meyve boyunu artırmıştır, özellikle 0 ve 0,5 mM dozları uzun meyvelerle ilişkilidir. Yüksek doz Putresin (1,5 mM) meyve boyunu sınırlamış olabilir; bu durum literatürde de poliaminlerin doza bağlı etkilerine paraleldir (Parida ve Das, 2005; Alcázar et al., 2010). Tuz stresi meyve boyunu istatistiksel olarak etkilemese de, yüksek tuz konsantrasyonu altında hücre turgoru ve metabolizma üzerinde olumsuz etkiler olabilir (Munns ve Tester, 2008; Rashid ve ark., 2025). Poliaminlerin hücre zarlarını stabilize ederek ve antioksidan savunmayı artırarak stres koşullarında meyve uzamasını desteklediği bilinmektedir (Gill ve Tuteja, 2010; Kuru Berk ve ark., 2025). Bu sonuçlar, Putresin'in meyve boyu üzerinde

doza bağımlı bir etkisi olduğunu, düşük ve orta dozların büyümeyi desteklediğini, yüksek dozların ise sınırlayıcı olabileceğini göstermektedir.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidine ait bitkilerde kontrol (0) ile birlikte 4 farklı putresin uygulamasının etkilerinin incelendiği bu çalışmada, meyve ağırlığı üzerine etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.8’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.8’ de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının meyve ağırlığı üzerine etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	14,39±1,37	15,35±2,70	10,09±1,72	10,56±1,41	12,26±0,89
50	15,62±1,72	15,42±2,70	10,82±1,72	7,50±1,12	11,76±1,09
100	19,30±3,27	14,61±2,26	10,25±1,87	7,84±0,97	12,44±1,37
UYG ORT	16,435±1,29 a	15,127±1,33a b	10,385±0,921b c	8,632±0,724 c	
P UYG					0,000
P TUZ					0,883
P TUZXUYG INTERAKSİYON U					0,386



**Şekil 4.8.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının meyve ağırlığı üzerine etkisi (g)

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan çilek bitkilerinden elde edilen meyvelerin ortalama ağırlıkları üzerinde putresin dozlarının etkisi (P=0,000) anlamlı bulunurken, tuz konsantrasyonlarının etkisi (P=0,883) istatistiki olarak anlamlı

bulunmamıştır. Putresin  $\times$  tuz interaksyonu anlamlı değildir ( $P=0,386$ ). Uygulama kombinasyonları açısından en yüksek meyve ağırlığı 100 mM Tuz ve 0 mM Putresin uygulamasında (19,30 g) elde edilmiştir. En düşük meyve ağırlığı 50 mM Tuz ve 1,5 mM Putresin uygulamasında (7,50 g) gözlenmiştir. Ortalama değerlere bakıldığında, düşük ve orta putresin dozları meyve ağırlığını korurken, yüksek doz (1,5 mM) meyve ağırlığını belirgin şekilde azaltmaktadır.

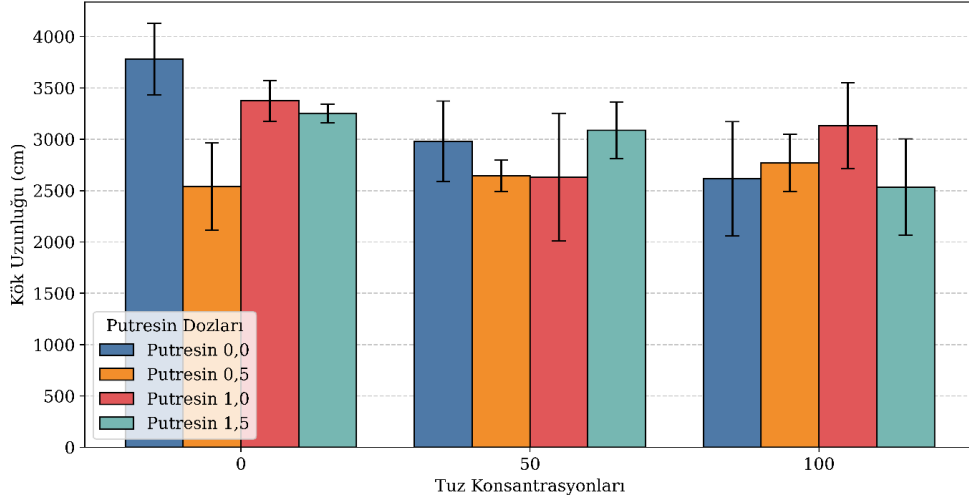
Meyve ağırlığı, bitkinin doğru beslenmesi, fotosentetik verim ve hormon dengesine bağlıdır. Poliaminler, hücre bölünmesini ve uzamasını destekleyerek meyve biyokütlesini artırabilir

(Liu ve ark., 2007). Bu çalışmada düşük ve orta Putresin dozları meyve ağırlığını yüksek tutmuş, özellikle 0 mM Putresin ile en yüksek değer elde edilmiştir. Yüksek Putresin dozu (1,5 mM), meyve ağırlığını sınırlandırmıştır; bu durum literatürde poliaminlerin doza bağımlı etkisi ile uyumludur (Alcázar ve ark., 2010). Tuz stresi meyve ağırlığını istatistiksel olarak etkilemese de, yüksek tuz konsantrasyonları bitkide su ve iyon dengesini bozarak meyve gelişimini sınırlayabilir (Munns ve Tester, 2008). Poliaminler, antioksidan savunmayı güçlendirerek stres koşullarında meyve dokusunun korunmasına yardımcı olabilir (Gill ve Tuteja, 2010). Bulgular, Putresin'in meyve ağırlığı üzerinde doza bağlı bir etkisi olduğunu, düşük ve orta dozların destekleyici, yüksek dozların sınırlayıcı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidi çilek bitkilerinde uygulanan putresin uygulamalarının kök mimarisi parametrelerinden olan kök uzunluğuna etkilerine ait rakamsal değerler Tablo 4.9'da, grafiksel olarak ise Şekil 4.9'da verilmiştir.

**Tablo 4.9.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-uzunluğa etkileri (cm)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	3781±349	2540±425	3374±198	3253±91,0	3237±185
50	2979±393	2644±154	2631±622	3087±273	2835±161
100	2614±557	2769±279	3133±416	2535±468	2763±201
UYG ORT	3125±257	2651±157	3046±249	2959±192	
P UYG					0,428
P TUZ					0,166
P TUZXUYG					0,464
INTERAKSİYONU					



**Şekil 4.9.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-uzunluğa etkileri (cm)

Farklı tuz konsantrasyonları açısından kök uzunluğuna etki istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur ( $P=0,166$ ). Putresin uygulamaları ise kök uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etki göstermemiştir ( $P=0,428$ ). En uzun kökler 0 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında (3781 cm) gözlenmiştir. En kısa kökler ise 100 mM tuz ve 1,5 mM putresin uygulamasında (2535 cm) ölçülmüştür. Putresin  $\times$  tuz interaksyonu açısından da ortalamalar arasındaki farkta anlamlı değildir ( $P=0,464$ ). Ortalama değerlere bakıldığında, 0 mM putresin kök uzunluğunu artırma eğilimindedir, yüksek doz putresin (1,5 mM) ve yüksek tuz kombinasyonu kök büyümesini sınırlandırmıştır. Uygulama kombinasyonları açısından, tuz uygulamasının yapılmadığı kontrol (0) koşullar, özellikle putresin uygulanmadığında, kök gelişimini maksimuma taşımıştır. Orta ve yüksek tuz konsantrasyonlarında kök uzunluğu genel olarak düşmüştür, ancak farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir (Tablo 4.9).

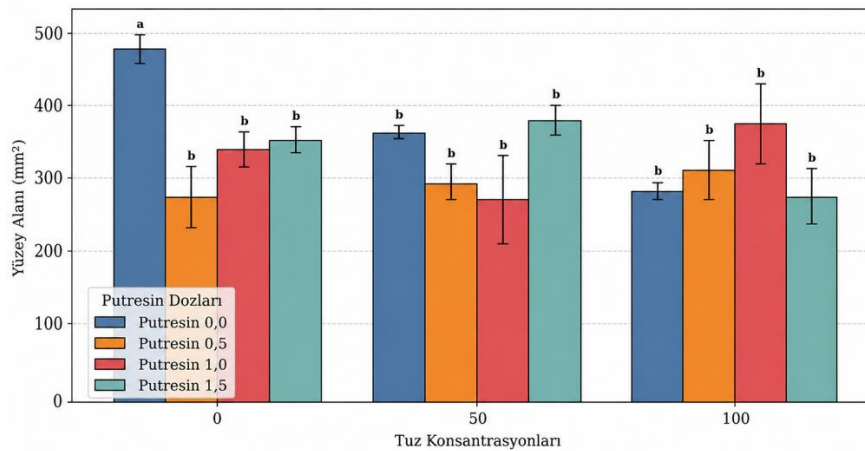
Kök sistemi bitki beslenmesinde oldukça önemlidir. Kök mimarisi bu nedenle oldukça önemli birçok parametre üzerinden değerlendirilmektedir. Kök uzunluğu bunlardan birisi olup, WinRhizo uygulaması ile belirlenmiştir. Tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde özellikle sodyum ve klor iyonlarının birikimi ile osmotik dengesizlik oluşur ve kök büyümesini sınırlandırabilir (Munns ve Tester, 2008; González-Hernández ve ark., 2022; Muradoğlu ve ark., 2025). Bu çalışmada, maksimum kök uzunluğu tuz uygulanmamış (Kontrol-0) ve putresin uygulanmayan grupta gözlenmiştir. Bu durum, kök gelişiminin tuz stresi olmadan ve ek kimyasal müdahale olmadan optimum olduğunu göstermektedir. Minimum kök uzunluğu, yüksek tuz ve yüksek Putresin dozu kombinasyonunda ortaya çıkmıştır. Yüksek poliamin konsantrasyonunun aşırı dozda

hücre bölünmesini baskılayarak kök uzamasını sınırlayabileceği literatürde bildirilmiştir (Alcázar et al., 2010; Muradoğlu ve ark., 2025). Poliaminlerin stres koşullarında hücre zarını stabilize ettiği, antioksidan sistemleri desteklediği ve kök gelişimini koruyabileceği bilinmektedir (Gill ve Tuteja, 2010; González-Hernández ve ark., 2022). Ancak burada istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemesi, putresin ve tuzun etkilerinin kök uzunluğu üzerinde bağımsız veya daha düşük düzeyde olduğunu düşündürmektedir. Bu durum literatürde farklı bitki türlerinde, poliaminlerin kök büyümesini destekleyici etkisinin bitki türü, doza ve stres şiddetine bağlı olduğunu gösteren çalışmalarla uyumludur (Liu ve ark., 2007; Muradoğlu ve ark., 2025; Hamidi Moghaddam ve ark., 2025). Bu parametre açısından bulgular, çilek köklerinde putresin etkisinin sınırlı ancak doza bağlı olabileceğini göstermektedir.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çeşidi çilek bitkilerinde uygulanan putresin uygulamalarının kök mimarisi parametrelerinden olan kök yüzey alanına etkilerine ait rakamsal değerler Tablo 4.10' da, grafiksel olarak ise Şekil 4.10'da verilmiştir.

**Tablo 4.10.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-yüzey alanı üzerine etkisi (mm<sup>2</sup>)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	477,6±24,0a	274±47,4b	338,5±25,8b	351,7±17,4b	360,5±25,8
50	363,4±5,80b	291±22,7b	269,0±65,9b	378,8±18,1b	325,6±26,01
100	280,0±7,9b	311±41,8b	376,2±56,7b	274,3±40,8b	310,5±26,1
UYG ORT	373,7±35,9	292,2±20,1	327,9±30,5	334,9±20,9	
P UYG					0,150
P TUZ					0,238
P TUZXUYG					0,044
INTERAKSİYONU					



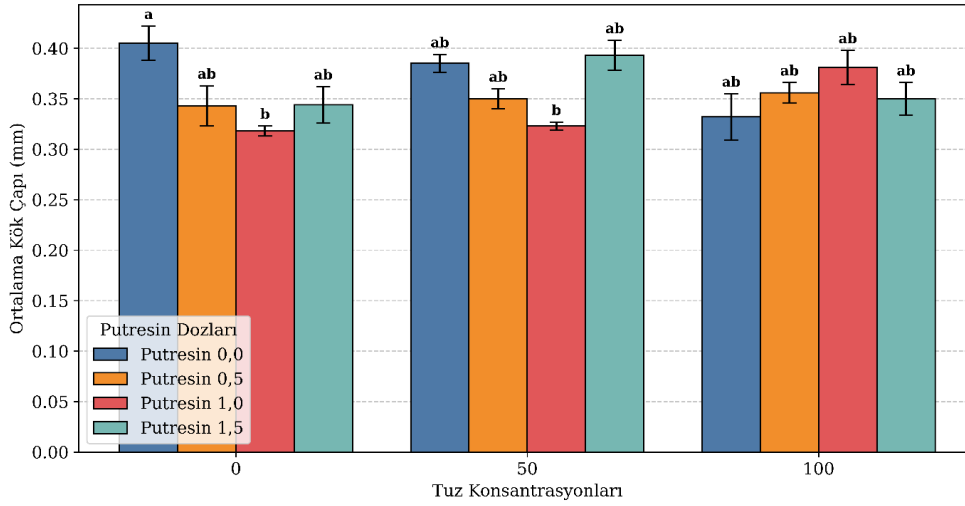
**Şekil 4.10.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-yüzey alanı üzerine etkisi (mm<sup>2</sup>)

Çalışma sonuçlarına göre; putresin ve tuz uygulamalarının tek başına kök yüzey alanı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi bulunmamıştır. Ancak putresin × tuz interaksyonu anlamlıdır (P=0,044), yani uygulama kombinasyonları kök yüzey alanını etkilemiştir. Maksimum ve minimum değerlere bakıldığında; en yüksek kök yüzey alanı 0 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında (477,6 mm<sup>2</sup>) gözlenmiştir. En düşük kök yüzey alanı 100 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında (280,0 mm<sup>2</sup>) ölçülmüştür. Tuz ve putresin kombinasyonları, özellikle orta ve düşük putresin dozlarında kök yüzey alanını artırabilir veya sınırlayabilir; interaksiyon etkisi bu nedenle önemlidir. Uygulama kombinasyonları açısından; tuz uygulanmayan koşullar ve düşük putresin dozları, kök yüzey alanının maksimuma ulaşmasını sağlamıştır. Yüksek tuz konsantrasyonu (100 mM) ve düşük Putresin, kök yüzey alanını sınırlandırmıştır. Orta düzeydeki putresin dozları (1,0–1,5 mM), tuz konsantrasyonuna bağlı olarak kök yüzey alanında artış sağlayabilir, bu da interaksiyonun önemini vurgulamaktadır. Bu parametrelere etkileri ile ilgili olarak, putresin × tuz interaksiyonunun anlamlı olması, putresin'in etkisinin tuz stresine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Orta düzeydeki putresin dozları, yüksek tuz stresinde kök yüzey alanını kısmen koruyabilir veya artırabilir. Bu durum, bitkilerin stres koşullarında kök su alım kapasitesini ve besin alımını korumak için poliaminleri kullanabileceğini göstermektedir (Alcázar et al., 2010). Bulgular, Putresin'in kök yüzey alanı üzerindeki etkisinin tuz stresi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Hamidi Moghaddam ve ark., 2025).

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan çilek bitkilerinde uygulanan putresin uygulamalarının kök mimarisi parametrelerinden olan ortalama kök çapına etkilerine ait rakamsal değerler Tablo 4.11'de, grafiksel olarak ise Şekil 4.11'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-ortalama kök çapı üzerine etkisi (mm)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	0,405±0,017a	0,343±0,02a b	0,318±0,005b	0,344±0,018a b	0,352±0,019
50	0,385±0,009a b	0,350±0,01a b	0,323±0,004b	0,393±0,015a b	0,363±0,009 9
100	0,332±0,023a b	0,356±0,01a b	0,381±0,017a b	0,350±0,016a b	0,355±0,009 2
<b>UYG ORT</b>	0,374±0,014	0,350±0,009	0,341±0,011	0,363±0,011	
<b>P UYG</b>					0,080
<b>P TUZ</b>					0,643
<b>P TUZ X UYG</b>					0,004
<b>INTERAKSIYON</b>					
<b>U</b>					



**Şekil 4.11.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-ortalama kök çapı üzerine etkisi (mm)

Bu çalışmada farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan çilek bitkilerine uygulanan putresin dozlarının tek başına ortalama kök çapı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak putresin × tuz interaksyonu anlamlıdır (P=0,004), yani kök mimarisi parametrelerinden olan kök çapı, uygulama kombinasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Maksimum ve minimum değerler göz önünde tutulduğunda ise; en büyük kök çapı değeri 0 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında (0,405 mm) gözlenmiştir. En küçük kök çapı değeri de 0 mM tuz ve 1 mM putresin uygulamasında (0,318 mm) elde edilmiştir. Tuz ve putresin kombinasyonları, özellikle orta ve düşük putresin dozlarında kök çapında artış veya azalmaya neden olabilir; bu durum interaksyonun önemini göstermektedir. Uygulama kombinasyonları açısından da; Tuza maruz bırakılmayan aynı zamanda da putresin uygulanmayan koşullar kök çapını

maksimuma taşımaktadır. Düşük düzeyli putresin dozları (1,0 mM) özellikle kontrol (0) ve düşük tuz dozlarında kök çapını azaltmıştır. Yüksek putresin dozu (1,5 mM) ise, farklı tuz seviyelerinde çap üzerinde stabil bir etki göstermektedir.

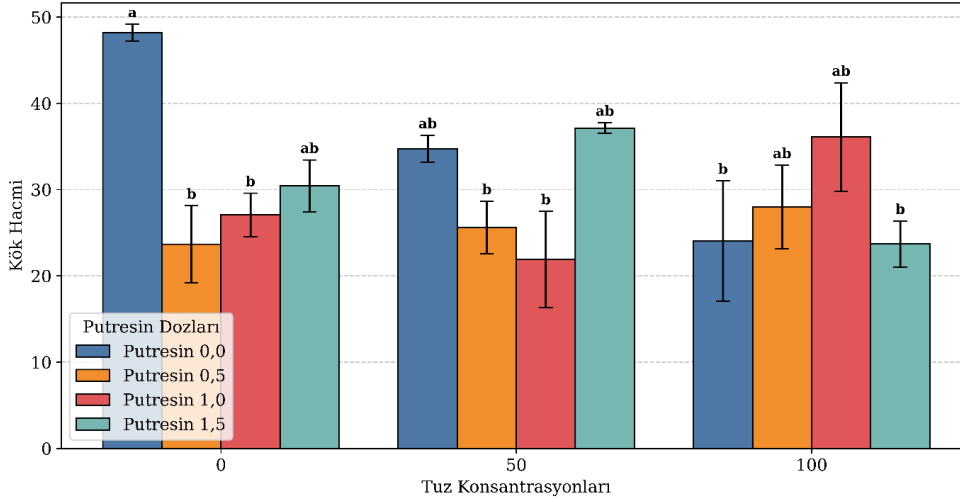
Kök çapı, bitkilerin mekanik destek ve su/alıcı yüzey kapasitesi açısından kritik bir parametredir. Tuz stresi, iyon dengesizliği ve osmotik stres yoluyla kök hücrelerinin genişlemesini sınırlayabilir (Munns ve Tester, 2008; Saha ve ark., 2010; Muradoğlu ve ark., 2025).

Maksimum kök çapının her iki değişkenin kontrol gruplarında gözlenmesi, doğal koşullarda kök hücrelerinin optimal genişleme kapasitesine sahip olduğunu ifade etmektedir. Minimum kök çapı ise orta düzeydeki putresin dozu ile tuz uygulanmayan (0) koşullarda ortaya çıkmıştır. Bu durum, poliaminlerin doza bağlı etkisi ile uyumludur; literatürde aşırı veya yetersiz dozun kök hücre genişlemesini sınırlayabileceği bildirilmiştir (Alcázar ve ark., 2010; Saha ve ark., 2010). Poliaminler kök gelişimini destekleyici etkiye sahiptir; antioksidan sistemleri güçlendirir, hücre zarını stabilize eder ve reaktif oksijen türlerinin yol açtığı hasarı azaltır (Gill ve Tuteja, 2010; Fareed ve ark., 2024). Putresin × tuz interaksiyonunun anlamlı olması, kök çapının hem poliamin dozu hem de tuz stresi ile birlikte şekillendiğini göstermektedir. Orta düzeydeki putresin dozları tuz dozlarına bağlı olarak kök çapını daraltabilir veya stabilize edebilir. Bulgular, çilek köklerinde putresin'in etkisinin bundan önce değerlendirilen kök mimarisine ilişkin parametrelerine benzer şekilde doza ve tuz stresi ile kombinasyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Farklı tuz dozlarındaki ortamlara maruz bırakılan çilek bitkilerinde uygulanan putresin dozlarının kök mimarisi parametrelerinden olan kök hacmi üzerine etkileri ile ilgili rakamsal değerler Tablo 4.12' de grafiksel olarak ise Şekil 4.12' de verilmiştir.

**Tablo 4.12.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-kök hacmi üzerine etkisi

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				
	0	0,5	1	1,5	TUZ ORT
0	48,18±0,99a	23,67±4,45b	27,06±2,52b	30,43±3,01ab	32,33±3,13
50	34,73±1,55ab	25,62±3,03b	21,90±5,56b	37,11±0,62ab	29,84±2,35
100	24,03±6,97b	27,97±4,84ab	36,09±6,29ab	23,70±2,67b	27,95±2,77
UYG ORT	35,65±4,07	25,75±2,18	28,35±3,27	30,41±2,26	
P UYG					0,041
P TUZ					0,326
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,003



**Şekil 4.12.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-kök hacmi üzerine etkisi

Araştırmada putresin uygulamalarının kök hacmi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir ( $P=0,041$ ). Tuz uygulamasının tek başına etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış ( $P=0,326$ ), putresin  $\times$  tuz interaksyonu ise istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,003$ ). Kısacası kök hacmi, uygulama kombinasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca; en yüksek kök hacmi 0 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında ( $48,18 \text{ cm}^3$ ) gözlenmiştir. En düşük kök hacmi ise 50 mM tuz ve 1 mM putresin uygulamasında ( $21,90 \text{ cm}^3$ ) elde edilmiştir. Orta ve yüksek dozlu putresin dozları, tuz konsantrasyonuna bağlı olarak kök hacmini artırabilir veya azaltabilir; interaksyon bu nedenle önemlidir. Uygulama kombinasyonları açısından, tuz ve putresin uygulanmayan koşullar kök hacminin maksimumuna ulaştırmıştır. 50 mM tuz ve 1,0 mM putresin kombinasyonu kök hacmini minimuma düşürmüştür. 1,5 mM putresin dozu, tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak kök hacmini muhafaza etmiştir.

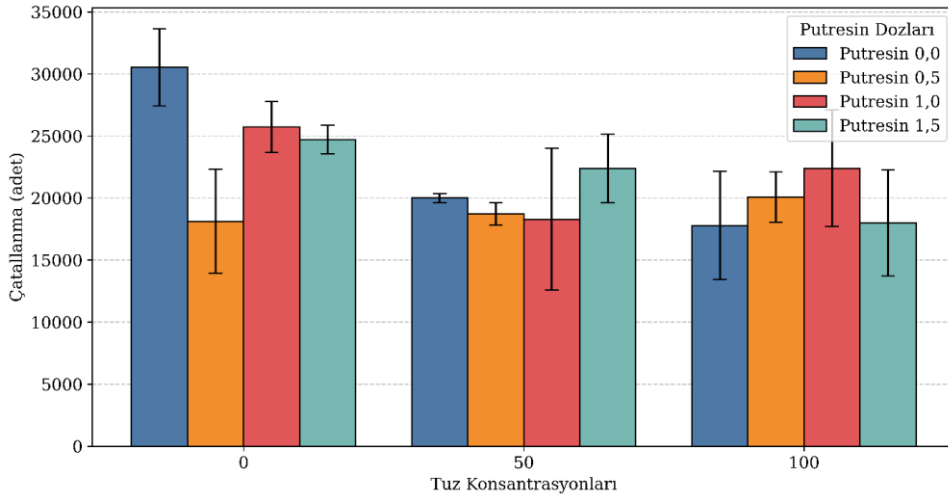
Kök mimarisi parametrelerinden birisi olan kök hacmi, bitkilerin su ve besin alım kapasitesini belirleyen kritik bir parametrelere dendir. Tuz stresi, kök hücre bölünmesini ve uzamasını sınırlayarak hacmin azalmasına neden olabilir (Ioannidis ve Kotzabasis, 2007; Munns ve Tester, 2008). Tuzun kök hacmi üzerinde tek başına anlamlı etkisinin olmaması, çilek bitkisinin orta tuz seviyelerine kısmi tolerans gösterebildiğini ifade edebilir. Maksimum kök hacminin tuzsuz ve putresin uygulanmayan grupta elde edilmesi, stresin olmadığı koşullarda kök gelişiminin optimal olduğunu göstermektedir. Buna rağmen yüksek tuz + putresin kombinasyonlarında görülen hacim düşüşü, stomatal kapanma ve kök büyüme gerilemesi ile ilişkili olabilir (Zhu, 2001). Minimum hacim, orta düzeydeki putresin dozunda ve 50 mM tuz uygulamasında ortaya çıkmıştır; bu durum,

poliaminlerin doza bağılı etkisinin ve tuz stresinin birleşik etkisini yansıtmaktadır. Poliaminler, kök hacmini artırıcı yönde etki gösterebilir; antioksidan savunma mekanizmalarını destekleyerek hücre zarını stabilize eder ve reaktif oksijen türlerinin yol açtığı hasarı azaltır. Ayrıca poliaminler, bitki kök gelişiminde sinyal molekülleri olarak görev yapar ve oksidatif stres toleransına katkı sağlar (Ioannidis ve Kotzabasis, 2007; Alcázar et al., 2010). Kök hacmini artırıcı etkiler, hücre bölünmesi ve hücre duvarı genişlemesinin desteklenmesi ile ilişkilidir (Bouchereau ve ark., 1999). Kök hacmi, bitkilerin su ve besin alım yüzeyini temsil eden önemli bir mimari parametredir. Bu parametrenin artması genellikle daha güçlü su/iyon alımı ve çevresel streslere karşı yüksek adaptasyon ile ilişkilendirilir. Putresin × tuz interaksiyonunun anlamlı olması, kök hacminin hem poliamin dozu hem de tuz stresi ile birlikte şekillendiğini göstermektedir. Orta düzeydeki putresin dozları, tuz stresi altında hacmi minimuma düşürebilirken, yüksek dozlar stabilize edici rol oynayabilir. Bu çalışma sonuçlarına göre maksimum kök hacminin putresin uygulanmadığında elde edilmesi, düşük seviyeli stres koşullarında bitkinin kendi büyüme potansiyelini koruduğunu göstermesini ifade edebilir. Orta düzeyli putresin dozlarında hacmin düşmesi, aşırı poliamin birikiminin hücre büyümesini olumsuz etkileyebileceğini düşündürür ki; bu etki poliamin metabolizmasının dengesizliğine bağılı olabilir (Kasukabe ve ark., 2004; Tiburcio et al., 2014).

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan çilek bitkilerine uygulanan putresin dozlarının bitkilerin kök mimarisi parametrelerinden kök çatallanması üzerine etkilerine ilişkin sayısal değerler Tablo 4.13’ de, grafiksel olarak ta Şekil 4.13’ de verilmiştir.

**Tablo 4.13.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-çatallanma üzerine etkisi (adet)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)					TUZ ORT
	0	0,5	0,82	1,46	1,72	
0	30526±3109	18121±415	25732±2082	24713±1172	24773±1807	
50	19998±372	18731±915	18285±5718	22394±2768	19852±1453	
100	17786±4353	20087±2035	22394±4693	17999±4257	19566±1786	
UYG ORT	22770±2502	18980±1399	22137±2643	21702±1798		
P UYG					0,543	
P TUZ					0,069	
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,377	



**Şekil 4.13.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-çatallanma üzerine etkisi (adet)

Araştırma sonuçlarına göre hem putresin uygulamaları, hem de tuz uygulamalarının kök çatallanmaya etkileri istatistiki anlamda etkili bulunmamıştır ( $P=0,543$ ;  $P=0,069$ ). Bununla paralel olarak putresin  $\times$  tuz etkileşimi de anlamlı değildir ( $P=0,377$ ). En yüksek çatallanma sayısı her iki uygulama için kontrol (0) koşullarında gerçekleşmiştir (Tuz=0; putresin=0) ile elde edilmiştir ( $30\,526 \pm 3\,109$  adet). En düşük çatallanma sayısı ise 100 mM tuz ve 0 mM putresin uygulamasında ( $17\,786 \pm 4\,353$  adet) görülmüştür. Genel ortalamalar, tuz stresi arttıkça kök çatallanma sayısında düşüş eğilimi olduğunu göstermektedir, ancak bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

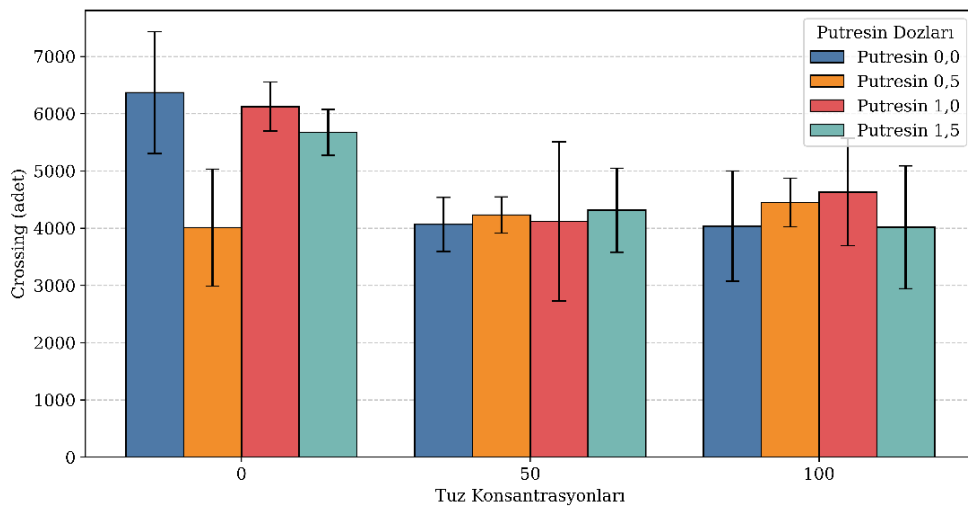
Kök çatallanma sayısı, kök sisteminin toprak hacmini etkili kullanma kapasitesinin bir göstergesidir. Daha fazla çatallanma, su ve besin alım yüzeyinin genişlemesi anlamına gelir (Fitter, 1991). Tuz stresi, iyonik ve osmotik problemlere yol açarak kök büyümesini olumsuz etkileyebilir. Hem hücre uzaması hem de bölünmesi azalabilir; bunun sonucu olarak çatallanma sayısı düşebilir (Läuchli ve Grattan, 2007). Bu çalışmada, maksimum kök çatallanma tuz ve putresin uygulanmamış grupta görülmüştür. Bu durum stres koşullarının yetersiz olduğu ortamda kök mimarisinin genişleme eğilimini göstermektedir. Tuz stresi arttıkça genel çatallanma sayısı düşme eğilimi göstermiş ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Poliaminler, hücre proliferasyonunu ve hücre duvarı esnekliğini modüle eden küçük organik bileşiklerdir. Özellikle kök uç bölgesinde poliamin dağılımı, lateral kök oluşumu ve çatallanmayı etkileyebilir (Wu ve ark., 2012; Hashem ve ark., 2021). Benzer sonuçlar Tang ve ark. (2005) tarafından Virginia çam fidelerinde elde edilmiştir. 0,001 mM'de Put uygulamasının köklenme sıklığını artırdığını ve kök uzamasını teşvik ettiğini, 0,01–1

mM'de Put uygulamasının ise köklenme sıklığını azalttığını ve kök uzamasını düşürdüğünü göstermişlerdir. Bu çalışmada putresin uygulamalarının tek başına çatallanma sayısını arttırıcı ya da azaltıcı bir etkisi istatistiksel olarak görülmemiş olsa da, dağılım eğilimlerinde tuz uygulaması yapılmamış koşulda lateral kök primordiumunu destekleyebileceğine dair literatürlerde bulgular vardır. Tuz stresi altındaki bitkilerde poliamin metabolizmasının değişerek lateral kök gelişimini sınırlandırabileceğine ilişkin bulgular da rapor edilmiştir (Kasukabe et al., 2004; Mahdavian ve ark., 2021; Hamidi Moghaddam ve Sorkhoeih, 2025).

Çalışmada farklı tuz konsantrasyonları koşullarında yetiştirilen çilek bitkilerine uygulanan putresin dozlarının bitkilerin kök mimarisi parametrelerinden olan crossing (kök dallanması) üzerine etkileri sayısal olarak Tablo 4.14' de, grafiksel olarak ise Şekil 4.14 de verilmiştir.

**Tablo 4.14.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi kesişen kök üzerine etkisi (adet)

UYGULAMA (Putresin)					
TUZ	0,0	0,5	1	1,5	TUZ ORT
0	6368±1063	4010±1022	6123±429	5672±403	5544±438
50	4067±471	4230±316	4118±1393	4313±734	4182±344
100	4036±963	4448±425	4631±938	4015±1073	4282±386
UYG ORT	4824±566	4228±338	4957±584	4667±468	
P UYG					0,728
P TUZ					0,052
P TUZxUYG INTERAKSİYONU					0,667



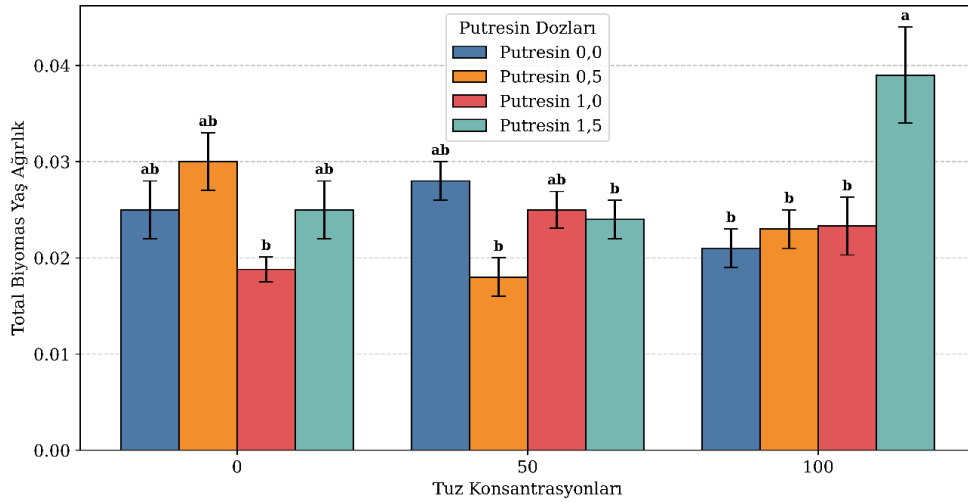
**Şekil 4.14.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi crossing üzerine etkisi (adet)

Çalışma sonuçlarına göre; putresin uygulamalarının ve tuz dozlarının, kesişen kök sayısında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı ( $P=0,728$  ve  $P=0,052$ ) görülmüştür. Dolayısıyla putresin  $\times$  tuz interaksiyonunun da kesişen kök sayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ( $P=0,667$ ). Çilek bitkilerine ait kök mimarisi parametrelerinden kesişen kök sayısı en yüksek uygulama hem tuz, hem de putresin uygulamaları açısından kontrol uygulamaları ( $6\ 368 \pm 1\ 063$  adet) olurken, en düşük kesişen kök sayısı 50 mM tuz + 0 mM putresin uygulamasından ( $4\ 067 \pm 471$  adet) elde edilmiştir. Farklı tuz konsantrasyonlarında köklerden dallenma sayıları kısmen sayısal olarak azalırken, yüksek putresin dozları dallenma sayılarını biraz artırsa da bu farklılık istatistiksel anlamda önemli değildir (Tablo 4.14 ve Şekil 4.14). Kök crossing (kesişen kök sayısı), kök mimarisinin karmaşıklığını ve toprak hacmini kullanma potansiyelini gösterir. Daha fazla kesişen kök sayısı, su ve besin alım kapasitesini artırabilir (Lynch, 1995; Mohammadi Alagoz ve ark., 2025). Tuz, bitkilerde lateral ve çapraz kök gelişimini sınırlandırabilir, çünkü osmotik stres hücre uzamasını kısıtlar ve iyonik toksisite kök uç meristeminde bozulmalara yol açar (Shabala ve Cuin, 2008). Bu çalışma sonuçlarında da en yüksek kesişen kök sayısı tuz uygulanmamış ortamda gözlenmiş, tuz uygulamaları kesişen kök sayısını kısmen düşürmüştür. Bununla birlikte uygulamaların ortalamaları arasındaki fark istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır. Poliaminler, kök uç bölgesinde hücre uzamasını destekleyerek lateral kök oluşumunu ve kesişen kök sayısını etkileyebilir (Berberich ve ark., 2015). Bununla birlikte bu çalışmada putresin uygulamalarının kesişen kök sayısına istatistiki anlamda etki gözlenmemiştir. Yapılan çalışma raporlarında, poliaminlerin etkisinin tür, doz ve stres koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Bouchereau ve ark., 1999; Taghreed ve Thamer, 2024). Bu çalışmadaki kesişen kök sayısı sayısındaki sayısal küçük değişim, çilek bitkisinin kök mimarisinin tuz ve orta düzey poliamin dozlarına karşı nispeten stabil olduğunu göstermektedir. Nitekim; Shabala ve Cuin (2008) çalışmasında, hafif tuz stresinin bazı bitkilerde kök mimarisini sınırlı etkilediği belirtilmiştir.

Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-toplam yaş ağırlık üzerine etkisi ile ilgili sayısal değerler Tablo 4.15' de grafiksel olarak ta Şekil 4.15' de verilmiştir.

**Tablo 4.15.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-toplam yaş ağırlık üzerine etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	0,025±0,003 ab	0,030±0,003 ab	0,0188±0,001 3b	0,025±0,003 ab	0,025±0,0017
50	0,028±0,002 ab	0,018±0,002 b	0,0250±0,001 9ab	0,024±0,002 b	0,024±0,0013
100	0,021±0,002 b	0,023±0,002 b	0,0233±0,003 0b	0,039±0,005 a	0,026±0,0022
UYG ORT	0,025±0,001	0,024±0,001	0,023±0,001	0,029±0,002	
P UYG					0,031
P TUZ					0,446
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,001



**Şekil 4.15.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kök mimarisi-toplam yaş ağırlık üzerine etkisi (g)

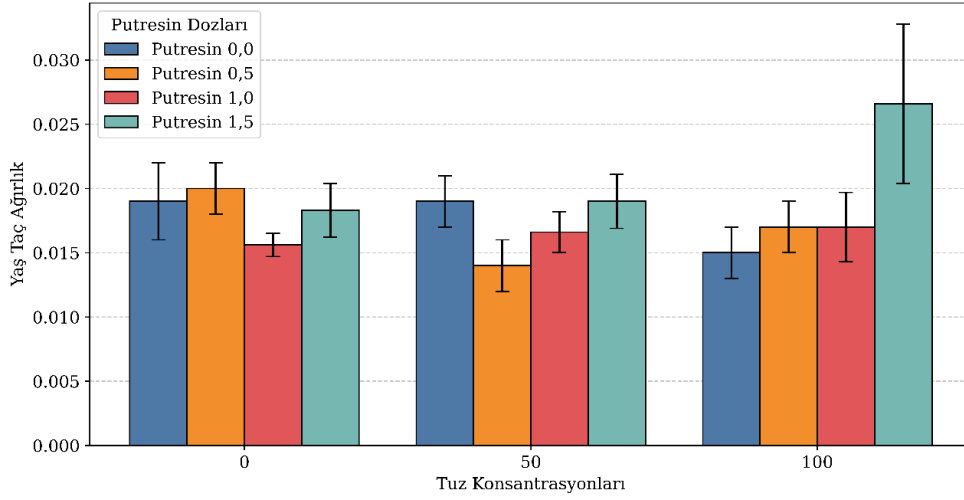
Çalışma sonunda putresin uygulamasının, kök total yaş biyoması üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,031$ ). Tuz uygulamalarının etkisi ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $P=0,446$ ). Putresin  $\times$  tuz interaksiyonunun kök yaş biyoması (g) üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmuştur ( $P=0,001$ ). En yüksek kök total yaş biyoması 100 mM tuz + 1,5 mM putresin uygulamasından ( $0,039 \pm 0,005$  g). En düşük kök total yaş biyoması ise 0 mM tuz + 1 mM putresin uygulamasında elde edilmiştir ( $0,0188 \pm 0,0013$  g). Ortalama değerlere bakıldığında, putresin uygulamasının orta ve yüksek dozlarda kök biyomasını artırdığı, tuz etkisinin ise tek başına belirgin olmadığı görülmektedir. Çalışmada yüksek putresin + yüksek tuz kombinasyonu, kök yaş biyomasında belirgin bir artış sağlamıştır. Kök total biyoması, bitkinin toprak

kaynaklarını etkin kullanma kapasitesinin ve stres toleransının önemli bir göstergesidir. Tuz stresinin, kök büyümesini ve toplam biyoması artırma kapasitesini sınırlandırabilecek en önemli abiyotik stres faktörlerden biri olduğu ifade edilmektedir (Munns ve Tester, 2008). Bu çalışmada tek başına tuz uygulamasının biyomasa anlamlı etkisi görülmemiştir, ancak yüksek putresin ile birlikte uygulandığında kök biyomasını artırıcı bir etki gözlenmiştir. Putresin gibi poliaminler, kök hücre proliferasyonu ve hücre duvarı esnekliğini artırarak stres koşullarında kök büyümesini desteklemektedir. (Alcázar et al., 2010; Gill ve Tuteja, 2010). Fesleğen bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar, farklı konsantrasyonlarda putresinin de dahil olduğu poliaminlerin uygulamasının kontrol bitkilerine kıyasla kök yaş ağırlığı ve kuru ağırlığını artırdığını ortaya koymuştur (Danaee ve Abdossi, 2019). Literatürde, poliaminlerin özellikle tuz ve kuraklık stresinde kök biyomasını artırdığı rapor edilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010; Taghreed ve Thamer, 2024). Bu bulgular, Alcázar ve ark. (2010) ile Gill ve Tuteja (2010) tarafından bildirilen poliaminlerin stres toleransı ve kök gelişimi üzerindeki olumlu etkileri ile uyumludur. Tuz stresinin kök yaş biyoması üzerindeki etkisinin, putresin ile kombine edildiğinde azaltıldığı görülmektedir. Bu, poliaminlerin stres koşullarında kök metabolizmasını stabilize edici etkisi ile açıklanabilir.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan çilek bitkilerinde putresin dozlarının bitki taç ağırlığı üzerine etkileri sayısal olarak Tablo 4.16' da, grafiksel olarak ise Şekil 4.16' da verilmiştir.

**Tablo 4.16.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının taç yaş ağırlığı üzerine etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)					TUZ ORT
	0,0	0,5	0,1	1	1,5	
0	0,019±0,003	0,020±0,002	0,0156±0,0009	0,0183±0,0021	0,018±0,0012	
50	0,019±0,002	0,014±0,002	0,0166±0,0016	0,0190±0,0021	0,017±0,0010	
100	0,015±0,002	0,017±0,002	0,0170±0,0027	0,0266±0,0062	0,019±0,0014	
UYG ORT	0,018±0,0014	0,017±0,0004	0,016±0,0001	0,021±0,0001		
P UYG					0,068	
P TUZ					0,470	
P TUZXUYG INTERAKSİYON U					0,075	



**Şekil 4.16.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının taç yaş ağırlığı üzerine etkisi (g)

Çalışma sonunda putresin uygulamasının, yaş taç ağırlığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $P=0,068$ ), ancak yüksek dozlarda sayısal bir artış gözlenmiştir. Tuz uygulamalarının yaş taç ağırlığına etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $P=0,470$ ). Putresin  $\times$  tuz interaksiyonunun etkisi de istatistiksel olarak anlamlı değildir. Çileklerde en yüksek yaş taç ağırlığı: 100 mM tuz + 1,5 mM putresin uygulamasından ( $0,0266 \pm 0,0062$  g). En düşük yaş taç ağırlığı ise (0 mM tuz + 1 mM putresin uygulamasından ( $0,0156 \pm 0,0009$  g) elde edilmiştir. Ortalama değerlere bakıldığında, orta ve yüksek putresin dozları özellikle yüksek tuz koşullarında yaş taç ağırlığını artırıcı bir eğilim göstermiştir. Uygulama kombinasyonları açısından yüksek putresin + yüksek tuz kombinasyonu, taç biyomasında maksimum değeri sağlamıştır. Tuz uygulamasının yapılmadığı ve orta düzeyli putresin uygulamaları, taç ağırlığını sınırlı oranlarda artırmıştır (Tablo 4.16; Şekil 4.16).

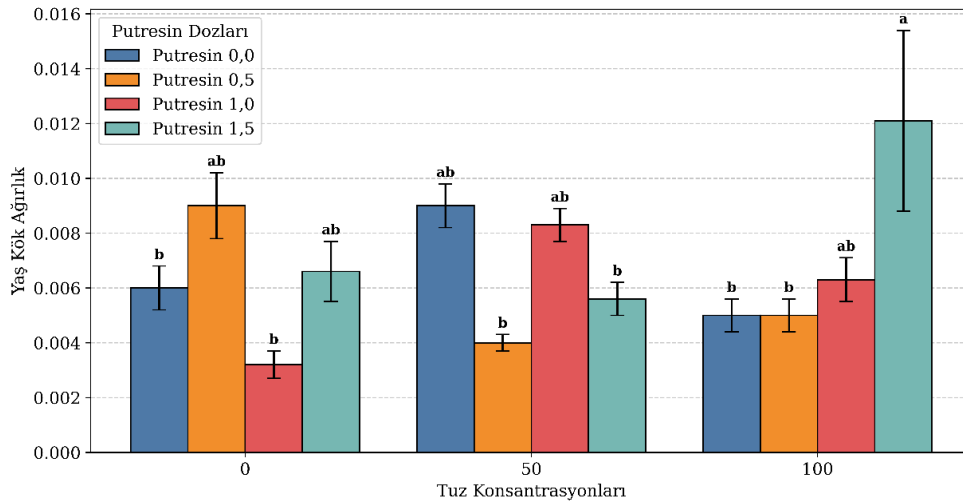
Yaş taç ağırlığı, bitkinin fotosentetik organlarının ve kaynak dağılımının bir göstergesidir. Taç ağırlığının artması, bitkinin enerji üretim kapasitesinin ve verim potansiyelinin göstergesi olarak kabul edilir (Taiz ve Zeiger, 2008). Tuzun, bitkilerde ozmotik stres ve iyonik toksisite oluşturarak taç biyomasını azaltabileceğine dair raporlar mevcuttur (Parida ve Das, 2005; Shabala ve Cuin, 2008; Taghreed ve Thamer, 2024). Bu çalışmada, yüksek tuz konsantrasyonunda bile yaş taç ağırlığı belirgin şekilde düşmemiştir; aksine yüksek putresin uygulamalarıyla artış eğilimi gözlenmiştir. Talaat ve ark. (2005), yapraktan uygulanan putresinin ardışık gelişim aşamalarında sürgün ve yaprakların farklı büyüme parametreleri üzerinde faydalı etkileri olduğunu ve bunun endojen  $GA_3$ , IAA, sitokininler ve ABA seviyelerindeki artışla ilişkili olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca,

Putresin ve tiaminin yapraktan uygulanması, Putresin uygulamasının *Dahlia pinnata* (yıldız çiçeği) bitkilerinde bitki boyunu, sürgün sayısını, yaprak sayısını, yaprak ve gövde taze ve kuru ağırlığını ve gövde çapını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir (Mahgoub ve ark., 2011). *Antirrhinum majus*'ta (aslanagzı), yapraktan putresin püskürtülmesi de bitki boyu, sürgün sayısı, yaprak sayısı, yaprak alanı ve gövde taze ve kuru ağırlığı gibi büyüme parametrelerinde artışa yol açmıştır (Badawy ve ark., 2015). Humik asit ve putresinin gül üzerindeki etkisine ilişkin bir çalışmada, humik asit ile putresin uygulamasının gövde taze ve kuru ağırlığını, yaprak alanını ve bitki boyunu artırdığı bulunmuştur (Dastyaran ve ark., 2014). Poliaminler, hücre uzaması ve bölünmesini destekleyerek taç organlarında büyümeyi teşvik eder (Kusano ve ark., 2008; Taiz ve Zeiger, 2008). Putresine ayrıca sürgün büyümesini de düzenler. Bununla ilgili olarak, Nahed ve ark. (2009) Putresinin yapraktan uygulanmasının, uygulama yapılmamış bitkilere kıyasla bitki boyunu, bitki başına yaprak sayısını ve bitki başına yaprakların taze ve kuru ağırlığını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Benzer şekilde, Youssef ve ark. (2004), Putresinin *Matthiola incana* (şebboy) bitkilerine yapraktan uygulanmasının, vejetatif büyüme aşamasında bitki boyunu, bitki başına yaprak sayısını ve bitki başına yaprakların taze ve kuru ağırlığını önemli ölçüde artırdığını bildirmiştir. Bu çalışmada, yüksek putresin dozlarının özellikle tuz stresine maruz kalan bitkilerde taç ağırlığını artırması, putresin uygulamasının stres toleransını desteklediğini göstermektedir. Literatürde, poliamin uygulamalarının bitkilerde taç ve yaprak biyomasını artırabileceği ve stres koşullarında organ büyümesini koruyabileceği bildirilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010; Alcázar et al., 2010; Ioannidis ve ark., 2012). Dolayısıyla bu çalışmanın bulguları, literatürde rapor edilen putresin ve poliaminlerin büyüme destekleyici ve stres azaltıcı etkileriyle uyumludur.

Farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen çilek bitkilerinde putresin dozlarının bitkilerin yaş kök ağırlıklarına olan etkisine ilişkin sayısal veriler Tablo 4.17'de, grafiksel veriler ise Şekil 4.17' de verilmiştir.

**Tablo 4.17.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının yaş kök ağırlığına etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				
	0,0	0,5	1	1,5	TUZ ORT
0	0,006±0,0008 b	0,009±0,0012 ab	0,0032±0,0005 b	0,0066±0,0011 ab	0,0063±0,0006
50	0,009±0,0008 ab	0,004±0,0003 b	0,0083±0,0006 ab	0,0056±0,0006 b	0,0068±0,0004
100	0,005±0,0006 b	0,005±0,0006 b	0,0063±0,0008 ab	0,0121±0,0033 a	0,0078±0,0010
UYG ORT	0,0067±0,0005	0,0063±0,0006	0,0061±0,0006	0,0081±0,0001	
P UYG					0,157
P TUZ					0,430
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,000



**Şekil 4.17.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının yaş kök ağırlığına etkisi (g)

Şekil 4.17.'den de görüldüğü gibi; putresin uygulaması, yaş kök ağırlığı üzerinde tek başına istatistiksel olarak anlamlı bir etki yapmamıştır ( $P=0,157$ ). Tuz uygulamasının etkisi de anlamlı değildir ( $P=0,430$ ). Buna karşın, putresin  $\times$  tuz interaksiyonunun yaş kök ağırlığına olan etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,000$ ). En yüksek yaş kök ağırlığı, 100 mM tuz + 1,5 mM putresin dozunda ( $0,0121 \pm 0,0033$  g), en düşük yaş kök ağırlığı ise 0 mM tuz + 1 mM putresin dozunda ( $0,0032 \pm 0,0005$ g) tespit edilmiştir. Orta düzeydeki putresin dozları, düşük tuz konsantrasyonunda kök ağırlığını artırabilirken, yüksek tuz + yüksek putresin kombinasyonu maksimum biyomasi sağlamıştır. Uygulama kombinasyonları açısından ise, putresin  $\times$  tuz interaksiyonu belirgin olup, yüksek putresin dozları tuz stresine rağmen kök ağırlığını artırmıştır. Tuz

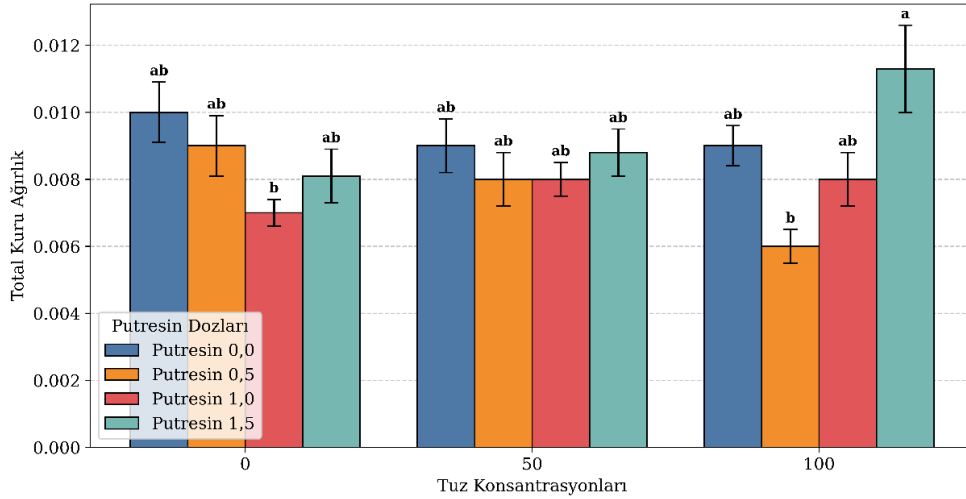
uygulanmayan kontrol grubunda ise, orta düzeydeki putresin dozları kök büyümesini sınırlı bir şekilde artırmıştır (Tablo 4.17; Şekil 4.17).

Yaş kök ağırlığı, bitkinin su ve besin alım kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Tuz stresi, kök gelişimini sınırlayarak bitkinin su ve mineral alımını olumsuz etkileyebilir (Taiz ve Zeiger 2008; Munns ve Tester, 2008). Abiyotik stres koşullarının genelinde olduğu gibi, tuz stresine maruz kalan bitkilerde de, kök hücre bölünmesi ve uzaması engellenebilir, kök hacmi ve ağırlığı azalabilir (Parida ve Das, 2005). Bu çalışma sonuçlarına göre, tek başına tuz uygulamalarının yaş kök ağırlığı üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Bununla birlikte poliaminlerin tuz stresinden etkilenmeyi farklı büyüme ve gelişme parametrelerini stabilize ettiği düşünüldüğünde, putresin uygulaması, farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan bitkilerde kök hücre proliferasyonu ve uzamasını teşvik ederek stres koşullarında kök biyomasını artırma kapasitesine sahip olabilirler (Kusano ve ark., 2008; Alcazar ve ark., 2010; Habip ve ark., 2023; Daler ve ark., 2025). Bu çalışmada, yüksek putresin dozları yüksek tuz koşullarında yaş kök ağırlığını artırmış ve interaksiyon etkisiyle maksimum değer elde edilmiştir. Yapılan benzer çalışmalarda poliamin uygulamalarının stres koşullarında kök ağırlığını artırdığı ve kök gelişimini koruduğu bildirilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010; Alcázar ve ark., 2010; Daler ve ark., 2025). Bu bulgular, yüksek putresin + yüksek tuz kombinasyonunun kök ağırlığını artırıcı etkisini açıklayıcı niteliktedir.

Farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen çilek bitkilerine uygulanan putresin dozlarının bitki toplam kuru ağırlığına etkisi sayısal olarak Tablo 4.18’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.18’de verilmiştir.

**Tablo 4.18.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının toplam kuru ağırlığa etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0	0,5	1	1,5	
0	0,010±0,0009 ab	0,009±0,0009 ab	0,007±0,0004 b	0,0081±0,0008 ab	0,0089±0,0004
50	0,009±0,0008 ab	0,008±0,0008 ab	0,008±0,0005 ab	0,0088±0,0007 ab	0,0086±0,0003
100	0,009±0,0006 ab	0,006±0,0005 b	0,008±0,0008 ab	0,0113±0,0013 a	0,0088±0,0005
UYG ORT	0,0098±0,0004 4	0,0082±0,0003 5	0,0075±0,0003 3	0,0094±0,0006 3	
P UYG					0,004
P TUZ					0,947
P TUZXUYG INTERAKSİYO NU					0,028



**Şekil 4.18.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının toplam kuru ağırlığa etkisi (g)

Çalışma sonuçları, putresin uygulamalarının, total kuru ağırlık üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ( $P=0,004$ ). Buna karşın tuz uygulamalarının etkisi anlamlı değildir ( $P=0,947$ ). Putresin  $\times$  tuz interaksiyonu ise aynen putresin uygulamalarının etkisine benzer şekilde istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,028$ ). Bu uygulamalar içinde en yüksek total kuru ağırlık (100 mM tuz + 1,5 mM)putresin uygulamasından ( $0,0113 \pm 0,0013$  g); en düşük total kuru ağırlık ise 0 mM tuz + 1 mM putresin uygulamasından elde edilmiştir ( $0,007 \pm 0,0004$  g). Araştırmada elde edilen bulgulara göre uygulamaların toplam kuru madde içeriğine olan artırıcı etkisi, yüksek putresin dozları özellikle yüksek tuz koşullarında gerçekleşmektedir. Uygulama kombinasyonları açısından; yüksek putresin + yüksek tuz kombinasyonu, toplam biyomasın maksimum değerini sağlamıştır. Oysa ki, tuz uygulanmayan koşullarda orta düzeyli putresin dozları toplam kuru ağırlığı sınırlı oranlarda artırmıştır (Tablo 4.18 ve Şekil 4.18).

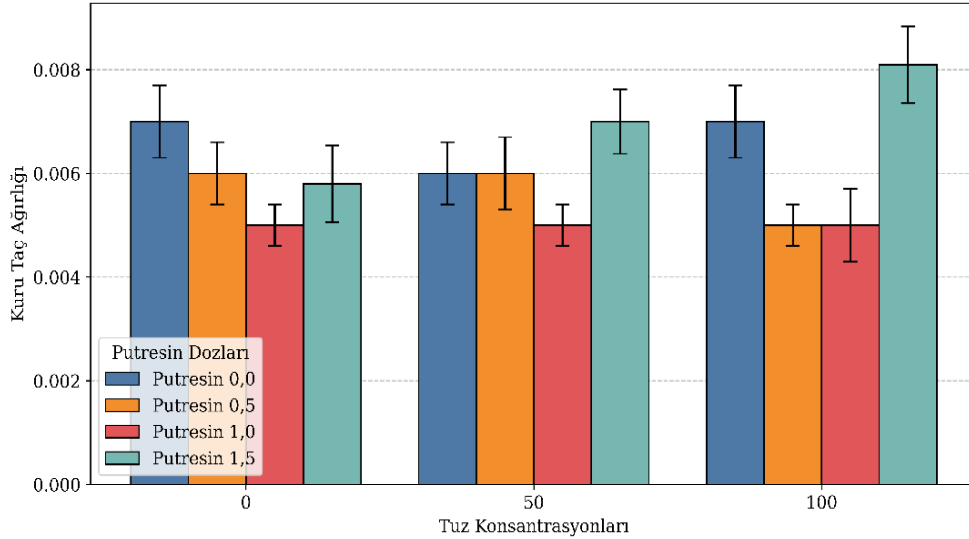
Total kuru ağırlık, bitkinin tüm organlarında biriken biyomasın göstergesidir ve stres koşullarında bitkinin büyüme performansını yansıtır (Taiz ve Zeiger, 2008). Abiyotik streslerden en önemlisi olan tuz stresi, bitkide su ve iyon dengesini bozarak büyümeyi sınırlar ve total biyoması azaltabilir. Bitkiler yaşam döngüleri boyunca tuzluluğun zararlı etkilerine karşı hassastır, ancak en savunmasız oldukları dönem çimlenme ve fide evresidir. Tuzun bitki büyümesi üzerindeki olumsuz etkileri, yetiştirme ortamının ozmotik potansiyelinde azalma, spesifik iyon toksisitesi ve besin dengesizliği ile ilişkilidir (Munns ve Tester, 2008; Atta ve ark., 2022). Poliaminlerin strese karşı hücrel yanıtta yer aldığına dair ilk gösterge, bitkilerin kuraklık, ısı, soğuk ve tuz stresi

altında kaldığında gözlemlenen poliamin içeriğindeki değişimdir Genel olarak, Put, Spd ve Spm seviyelerinin çeşitli türlerde stres altında arttığı belgelenmiştir (Blázquez, 2024). Bu çalışmada tek başına tuz uygulaması total kuru ağırlığı önemli ölçüde etkilememiştir; ancak yüksek putresin ile kombine edildiğinde maksimum biyomas sağlanmıştır. Poliaminler, hücre bölünmesi ve uzamasını destekleyerek stres koşullarında toplam biyoması artırabilir (Kusano ve ark., 2008; Blázquez, 2024). Özellikle yüksek putresin dozları, tuz stresine maruz kalan bitkilerde kök ve taç organlarında biriken biyoması artırmıştır. Yapılan benzer çalışmalarda, putresin ve diğer poliaminlerin stres koşullarında bitkilerin toplam biyomasını koruduğu ve artırdığı rapor edilmiştir (Alcázar ve ark., 2010; Gill ve Tuteja, 2010; Chen ve ark., 2019; Kaur ve Das, 2023). Dolayısıyla bu çalışmanın bulguları, yüksek putresin dozlarının tuz stresi altında bile bitki büyümesini desteklediğini doğrulamaktadır.

Farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen San Andreas çilek çeşidine ait bitkilerde uygulanan putresin dozlarının taç kuru ağırlığına etkilerine ait sayısal değerler Tablo 4.19’da, garfikselle değerlendirme ise Şekil 4.19’da verilmiştir.

**Tablo 4.19.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kuru taç ağırlığına etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0,0	0,5	1	1,5	
0	0,007±0,0007	0,006±0,0006	0,005±0,0004	0,0058±0,00074	0,0061±0,00035
50	0,006±0,0006	0,006±0,0007	0,005±0,0004	0,0070±0,00062	0,0063±0,00030
100	0,007±0,0007	0,005±0,0004	0,005±0,0007	0,0081±0,00074	0,0065±0,00040
UYG ORT	0,0070±0,0003a	0,0058±0,0003a	0,0055±0,0003ab	0,0070±0,0004b	
P UYG					0,011
P TUZ					0,620
P TUZXUYG INTERAKSİYONU					0,203



**Şekil 4.19.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin uygulamalarının kuru taç ağırlığına etkisi (g)

Tablo ve şekilden de görüldüğü üzere, putresin uygulamasının, taç kuru ağırlığı üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,011$ ). Oysa ki, tuz uygulamalarının etkileri ise tek başına istatistiki olarak anlamlı değildir ( $P=0,620$ ). Putresin  $\times$  tuz interaksiyonunun etkisi ise istatistiki olarak anlamlı değildir ( $P=0,203$ ). En yüksek taç kuru ağırlığı 100 mM tuz + 1,5 mM putresin uygulamasında ( $0,0081 \pm 0,00074$  g), en düşük taç kuru ağırlığı ise 0 mM tuz + 1 mM putresin uygulamasından ( $0,005 \pm 0,0004$  g) elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre, 0 mM ve 100 mM tuz koşullarında yüksek putresin dozları taç kuru ağırlığını artırıcı etki göstermiştir. Uygulama kombinasyonları açısından ise, tuz stresi altında yüksek putresin uygulamaları, taç kuru ağırlığını artırarak stresin olumsuz etkilerini sınırlandırabilmiştir. Orta düzeydeki putresin dozları ise düşük tuz konsantrasyonlarında sınırlı bir artış sağlayabilmiştir (Tablo 4.19 ve Şekil 4.19).

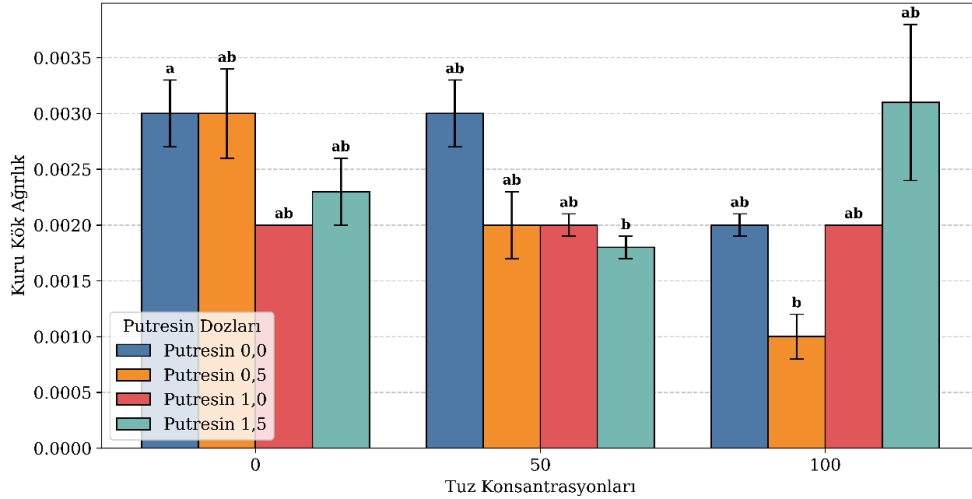
Bitkiler, bu stres koşulları altında bitki metabolizmasını, fitokimyasal aktiviteyi, stres metabolitlerini (glutasyon, glibet, poliaminler) ve antioksidan enzim seviyelerini düzenleyerek abiyotik stres koşullarına tepki verir (Nezhadahmadi ve ark., 2013). Ayrıca, tuzluluk stresi normalden daha fazla reaktif oksijen türünün (ROS) birikmesine neden olur. Bu ROS'lar doğrudan membran lipitleri ve birçok makromolekülle etkileşime girerek bitkilerde verim ve kalitenin azalmasına neden olurken, aynı zamanda malondialdehit (MDA) içeriğini de artırır (Toscano ve ark., 2016). Tüm abiyotik stresler, kinaz birikiminde artış, ROS'un aşırı ifadesi ve mitozu durduran hormonların (ABA, JA) sentezi gibi farklı sinyal uyarıları üretir. Ortaya çıkan sinyal molekülleri, hücre

döngüsündeki kontrol noktalarında uyarılmaya neden olarak hücre döngüsü fazlarındaki geçişleri bozar. Sonuç olarak, hücre yapısında DNA replikasyonunda azalma olur ve hücrelerin mitotik bölünme fazına geçişinde bozulma meydana gelir (Kadota ve ark., 2005). Taç kuru ağırlığı, bitkinin fotosentez sonucu ürettiği assimilatların bitkinin tüm organlarında olduğu gibi, taç taç kısmındaki birikimini de yansıtır. Tuz stresi, bitkinin assimilat üretimini sınırlayarak taç biyomasını azaltabilir (Munns ve Tester, 2008). Putresin gibi poliaminler, hücre bölünmesini ve metabolik aktiviteyi destekleyerek stres koşullarında taç organlarında biyomas birikimini artırabilir (Kusano ve ark., 2008). Bu çalışmada yüksek putresin dozları, tuz stresine rağmen taçda biyoması artırmış ve en yüksek değerleri sağlamıştır. Literatürde, poliaminlerin stres koşullarında assimilat dağılımını ve organ biyomasını artırdığı bildirilmektedir (Alcázar ve ark., 2010; Gill ve Tuteja, 2010). Dolayısıyla bu çalışmanın bulguları da, yüksek putresin uygulamasının stres koşullarında bile taç organında biyomas birikimini desteklediğini doğrulamaktadır.

Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan San Andreas çilek çeşidine ait bitkilere uygulanan putresin dozlarının kök kuru ağırlığına olan etkisine ait sayısal değerler Tablo 4.20’de, garfikselleştirme ise Şekil 4.20’de verilmiştir.

**Tablo 4.20.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi (g)

TUZ	UYGULAMA (Putresin)				TUZ ORT
	0	0,5	1	1,5	
0	0,003±0,0003 a	0,003±0,0004 ab	0,002±0,0000 ab	0,0023±0,0003 ab	0,0027±0,0002
50	0,003±0,0003 ab	0,002±0,0003 ab	0,002±0,0001 ab	0,0018±0,0001 b	0,0023±0,0001
100	0,002±0,0001 ab	0,001±0,0002 b	0,002±0,0000 ab	0,0031±0,0007 ab	0,0022±0,0002
UYG ORT	0,0028±0,0002 2	0,0023±0,0002 2	0,0020±0,0000 5	0,0024±0,0002	
P UYG					0,036
P TUZ					0,144
P TUZXUYG INTERAKSİYON NU					0,008



**Şekil 4.20.** Farklı tuz konsantrasyonlarında putresin dozlarının kuru kök ağırlığı üzerine etkisi (g)

Tablo 4.20 de görüldüğü üzere, putresin uygulamasının, kök kuru ağırlığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P=0,036$ ). Buna karşın, tuz uygulamasının etkisi ise anlamlı bulunmamıştır ( $P=0,144$ ). Putresin  $\times$  tuz etkileşiminin etkisi de putresin uygulamasıyla paralel olarak istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P=0,008$ ). Tabloda en yüksek kuru kök ağırlığı 100 mM tuz + 1,5 mM putresin uygulamasından ( $0,0031 \pm 0,0007$  g), en düşük kuru kök ağırlığı ise 100 mM tuz + 0,5 mM putresin dozlarından ( $0,001 \pm 0,0002$  g) elde edilmiştir. Kök kuru ağırlığına ait ortalama değerlere göre, yüksek putresin dozları tuz stresine rağmen kök biyomasını artırıcı etki göstermiştir. Tuz stresi altında yüksek putresin dozları diğer kök mimarisi ve gelişim parametrelerinin genelinde olduğu gibi kök biyomasını da destekleyerek maksimum değerleri sağlamıştır. Bununla birlikte orta düzeyli putresin dozları ise düşük tuz koşullarında kök ağırlığını sınırlı bir şekilde artırmıştır (Tablo 4.20 ve Şekil 4.20). Abiyotik stres etkileşimlerinde, poliaminler düşük sıcaklık, kuraklık, oksidatif stres, tuzluluk, N veya B gibi besin eksiklikleri veya metal toksisitesi gibi stres faktörlerine karşı toleransta rol oynar (González-Hernández ve ark., 2022). Putresin, kendi başına bir sinyal molekülü olmakla kalmaz, aynı zamanda fitohormonlar ve gaz molekülleri gibi birçok molekülle de etkileşime girer (Anwar ve ark., 2015). Bitki büyümesinin artmasının, poliaminlerin'in birçok süreçte hücre çoğalması ve farklılaşmasının hormonal ikinci habercileri olarak hareket etmesinden veya bitkinin oksin/CK oranına duyarlılığını düzenlemesinden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca, PA'ların metabolizması, bitki büyümesi için önemli bir sinyal bileşeni olarak kabul edilen NO üretimiyle ilişkilidir (Pál ve ark., 2015). Bu bağlamda, birçok çalışma Putresin

içeriğindeki değişikliklerin kök büyümesini ve gelişimini etkileyebileceğini göstermiştir. Örneğin, ADC aktivitesindeki azalma nedeniyle Putresinin tükenmesi, *Phaseolus vulgaris* bitkilerinde kök uzunluğunun azalmasına yol açmıştır (Palavan Ünsal 1987). Dahası, Lee (1997) 0,01 ila 1 mM arasında değişen konsantrasyonlarda Put uygulamasının, 25 °C'de in vitro koşullar altında yetiştirilen *Oryza sativa*'nın kesilmiş kökünde kök uzamasını artırdığını göstermiştir. Benzer şekilde, Tarengi ve ark. (1995), 1 mM Put eksojen uygulamasının çilek mikro kesimlerinde köklerdeki Put seviyesinde ve kök uzunluğunda artışa yol açtığını göstermiştir. Aynı şekilde, Wu ve ark. (2010), 4 aylık üç yapraklı portakalın kök gelişimi, bitki büyümesi ve biyokütle üretimi üzerindeki arbusküler mikorizal mantar (AMF) ve Put'un etkisini araştırırken, toplam kök uzunluğunun, izdüşüm alanının, yüzey alanının ve kök hacminin, sadece AMF uygulamasına kıyasla Put uygulamasıyla önemli ölçüde arttığını gözlemlemiştir. Kök Kuru ağırlığı, bitkinin stres koşullarında su ve besin alım kapasitesini ve kök gelişimini yansıtan önemli bir parametredir. Tuz stresi, kök uzamasını ve hücre bölünmesini olumsuz etkileyerek bitkinin kök biyomasını azaltıcı etki yapabilir (Munns ve Tester, 2008). Putresin stres koşullarında hücre zarlarını stabilize ederek ve antioksidan sistemleri güçlendirerek kök gelişimini destekler (Gill ve Tuteja, 2010). Bu çalışmada yüksek putresin dozları, özellikle tuz stresine maruz kalan bitkilerde kuru kök ağırlığını artırmış ve interaksiyon etkisiyle maksimum değer elde edilmiştir. Literatürde, poliamin uygulamalarının tuz stresi altında kök gelişimini artırdığı ve kök biyomasını koruduğu bildirilmiştir (Alcázar ve ark., 2010; Kusano ve ark., 2008). Bu bulgular, yüksek dozdaki putresin uygulamalarının kök biyomasını destekleyerek stres koşullarında bitki büyümesini koruduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile, farklı putresin dozlarının ve tuz (NaCl) konsantrasyonlarının çilek bitkisinin gelişim parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. SPSS ile yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Putresin uygulamaları, tuz stresine maruz kalan bitkilerde klorofil sentezine ve fotosentetik kapasiteye koruyucu etki yapmaktadır. Çoğu parametre üzerindeki tuz uygulamasının etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır, ancak yüksek tuz koşullarında biyomas birikimi sınırlı olarak azalmıştır. Kök yüzey alanı, ortalama kök çapı, kök hacmi, total biyomas (yaş) ve kuru kök ağırlığı gibi kök mimarisine ilişkin parametrelerde putresin × tuz interaksyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum, putresinin kök gelişimi üzerindeki etkisinin tuz stresi düzeyi ile değiştiğini göstermektedir. Kök hacmi ve toplam biyomas, özellikle yüksek putresin uygulamaları ile tuz stresi altında artış göstermiştir.

Putresin uygulamalarının total kuru ağırlık ve kuru taç ağırlığına etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Tuz uygulaması tek başına anlamlı olmamakla birlikte, yüksek putresin dozları tuz stresi altında organ biyomasını artırmıştır. Putresin, çilek bitkisinde hem kök hem de nadir durumlarda taç ve meyve organlarının büyümesini artırıcı ve stres toleransını destekleyici bir etki göstermektedir. Tuz stresi, SPAD, ACI ve bazı biyomas parametrelerini olumsuz etkilerken, yüksek putresin uygulamaları bu etkiyi sınırlamaktadır. Bazı parametrelerde (özellikle kök mimarisi ve total biyomas) interaksiyon etkisinin önemli bulunması, putresin ve tuzun birlikte etkisinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Çilek yetiştiriciliğinde orta ve yüksek putresin dozları (1–1,5 mM), tuz stresine karşı bitkinin fotosentetik kapasitesini ve biyomasını artırmak için kullanılabilir. Özellikle tuzlu topraklarda veya sera koşullarında, putresin uygulaması ile bitki verimliliği desteklenebilir. Tuz stresi altında bitki büyümesini desteklemek için poliamin uygulamaları, ekosistem dostu bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Putresin uygulamasının optimum dozunun belirlenmesi, bitkinin farklı gelişim dönemlerine göre yapılacak ayarlamalarla verim artışı sağlayabilir.

İleriki çalışma önerileri açısından, spermidin, spermine gibi diğer poliaminlerin de çilek üzerindeki etkileri araştırılabilir. Bu sayede putresin ile karşılaştırmalı sonuçlar elde edilebilir. Bitkilerin tüm büyüme dönemlerinde farklı tuz konsantrasyonları altında putresin uygulamalarının etkileri incelenebilir. Putresin ve tuz stresinin klorofil sentezi,

antioksidan sistemler ve kök gelişimi üzerindeki moleküler etkileri gen ekspresyon düzeyinde araştırılabilir. Bu, stres toleransının biyokimyasal ve genetik temellerini ortaya koyacaktır. Meyve verimi, şeker içeriği, organik asit ve antosiyanin gibi kalite parametreleri putresin ve tuz etkileşimleri altında ölçülebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abbasi, N. A., Ali, I., Hafiz, I. A., & Khan, A. S. (2017). Application of polyamines in horticulture: A review. *International Journal of Biosciences*, 10(5), 319-342.
- 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.
- Akcin, A., & Yalcin, E. (2016). Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata Pall.* and *Suaeda prostrata Pall.* subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany*, 39(1), 101-106.
- Alcázar, R., Bueno, M., Tiburcio, A.F., 2020. Polyamines: small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells* 9, 2373.
- Alcázar, R., Bitrián, M., Bartels, D., Koncz, C., Altabella, T., & Tiburcio, A. F. (2010). Polyamine metabolic canalization in response to drought and salinity stress. *Plant Signaling & Behavior*, 5(3), 243–250. <https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10789>
- Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., ... & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology letters*, 28(23), 1867-1876.
- Amacher, J. K., Koenig, R., & Kitchen, B. (2000). Salinity and plant tolerance. *AG-SO*, 3, 1.
- Amin A.A., Gharib F.A., Abouzienna H.F (2013). Dawood M.G. Role of Indole-3-Butyric Acid or/and Putrescine in Improving Productivity of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Plants. *Pak. J. Biol. Sci.*16:1894–1903. doi: 10.3923/pjbs.2013.1894.1903.
- Anonim (2025). FAOSTAT, (27.03.2025- 10:38)
- Anonim(2025)TUIK 2025-27.03.2025 saat:10:38)
- Anwar R., Mattoo A.K., Handa A.K. Polyamines. Springer; Tokyo, Japan: 2015. Polyamine Interactions with Plant Hormones: *Crosstalk at Several Levels*; pp. 267–302
- Ashraf, M., & Wu, L. (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(1), 17-42.
- Atta K.Adhikary S.Mondal S.Mukherjee S. Pal A.Mondal S.et al. (2022b). A review on stress physiology and breeding potential of an underutilized, multipurpose legume: rice bean (*Vigna umbellata*). In: JhaU. C.NayyarH.AgrawalS. K.Siddique K. H.

- M. (eds) Developing climate resilient grain and forage legumes. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-16-9848-4\_11
- Badawy E.M., Kandil M.M., Mahgoub M., Shanan N., Hegazi N (2015). Chemical Constituents of *Celosia argentea* var. *Cristata* L. Plants as Affected by Foliar Application of Putrescine and Alpha-Tocopherol. *Int. J. ChemTech Res.*8:464–470
- Baniasadi, F., Saffari, V. R., & Moud, A. A. M. (2018). Physiological and growth responses of *Calendula officinalis* L. plants to the interaction effects of polyamines and salt stress. *Scientia Horticulturae*, 234, 312-317.
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences*, 24(1), 23-58.
- Berberich, T., Sagor, G.H.M., Kusano, T. (2015). Polyamines in Plant Stress Response. In: Kusano, T., Suzuki, H. (eds) Polyamines. Springer, Tokyo. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55212-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55212-3_13)
- Blázquez M. A. (2024). Polyamines: Their Role in Plant Development and Stress. *Annual review of plant biology*, 75(1), 95–117. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070623-110056>
- Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F. and Martin-Tanguy, J. (1999) Polyamines and Environmental Challenges: Recent Development. *Plant Science*, 140, 103-125. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00218-0)
- Chen D, Shao Q, Yin L, Younis A and Zheng B (2019) Polyamine Function in Plants: Metabolism, Regulation on Development, and Roles in Abiotic Stress Responses. *Front. Plant Sci.* 9:1945. doi: 10.3389/fpls.2018.01945
- Cherifi K, Anagri A, Boufous El Houssine, El Mousadik A (2017). Effect of sodium chloride (NaCl) on the growth of six *Acacia* species. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* 4(4):105-113
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862. Tanji, K. K. (2002). Salinity in the soil environment. In *Salinity: Environment-plants-molecules* (pp. 21-51). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Daler, S., Kaya, O., Kılıç, T., Hajizadeh, H. S., Bay, H., Ates, F., Yilmaz, T., & Hatterman-Valenti, H. (2025). Exogenous putrescine enhances lime stress tolerance in grapevine rootstock-scion combinations. *BMC plant biology*, 25(1), 854. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06873-4>

- Danaee E., Abdossi V. (2019). Phytochemical And Morphophysiological Responses In Basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant To Application Of Polyamines. *J. Med. Plants*.18:125–133.
- Dastyaran M., Hosseini Farahi M. (2014). The Effect of Humic Acid and Putrescin on Vegetative Properties and Vase Life of Rose in a Soilless System. *J. Soil Plant Interact.*;5:241–250.
- D'Inca, R., Mattioli, R., Tomasella, M., Tavazza, R., Macone, A., Incocciati, A., Martignago, D., Polticelli, F., Fraudentali, I., Cona, A., Angelini, R., Tavazza, M., Nardini, A., & Tavladoraki, P. (2024). A *Solanum lycopersicum* polyamine oxidase contributes to the control of plant growth, xylem differentiation, and drought stress tolerance. *The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology*, 119(2), 960–981. <https://doi.org/10.1111/tpj.16809>
- Fareed, S., Haider, A., Ramzan, T., Ahmad, M., Younis, A., Zulfiqar, U., Rehman, H. U., Waraich, E. A., Abbas, A., Chaudhary, T., & Soufan, W. (2024). Investigating the growth promotion potential of biochar on pea (*Pisum sativum*) plants under saline conditions. *Scientific reports*, 14(1), 10870. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59891-x>
- Feng, G., Zhang, F., Li, X., Tian, C., Tang, C., & Rengel, Z. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12(4), 185-190.
- Finn, C.E., Moore, P.P., Yorgey, B.M., Lee, J., Strik, B.C., Kempler, C. & Martin, R.R. 2013 ‘Charm’ strawberry HortScience. 48 1184 1188
- Fitter, A. H. (1991). Characteristics and functions of root systems. *Plant and Soil*, 136, 171–181. <https://doi.org/10.1007/BF00011142>
- Giampieri, Francesca & Alvarez-Suarez, José & Mazzoni, Luca & Romandini, Stefania & Bompadre, Stefano & Diamanti, Jacopo & Capocasa, Franco & Mezzetti, Bruno & Quiles, José & Ferreiro Cotorruelo, Maria & Tulipani, Sara & Battino, Maurizio. (2012). The potential impact of strawberry on human health. *Natural product research*. 27. 10.1080/14786419.2012.706294.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010)a. Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. *Plant signaling & behavior*, 5(1), 26-33.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010)b. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- González-Hernández, A. I., Scalschi, L., Vicedo, B., Marcos-Barbero, E. L., Morcuende, R., & Camañes, G. (2022). Putrescine: A Key Metabolite Involved in Plant Development, Tolerance and Resistance Responses to Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 2971. <https://doi.org/10.3390/ijms23062971>
- Groppa, M., Benavides, M. Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids* 34, 35–45 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00726-007-0501-8>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014, 701596. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Gupta, K., Dey, A., & Gupta, B. (2013). Plant polyamines in abiotic stress responses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2015–2036. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1239-4>
- Habib, A., Ben Maachia, S., Namsi, A., Harbi Ben Slimane, M., Jeandet, P., & Aziz, A. (2023). Evaluation of Salt Stress-Induced Changes in Polyamine, Amino Acid, and Phytoalexin Profiles in Mature Fruits of Grapevine Cultivars Grown in Tunisian Oases. *Plants*, 12 (23), 4031. <https://doi.org/10.3390/plants12234031>
- Hamidi Moghaddam, A., Sorkhoeih, M.K. Evaluation of putrescine's effects on the growth, visual quality, and some physio-biochemical parameters of Henna (*Lawsonia inermis* L.) under salinity stress conditions. *BMC Plant Biol* 25, 1735 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07949-x>
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Hashem, A. M., Moore, S., Chen, S., Hu, C., Zhao, Q., Elesawi, I. E., Feng, Y., Topping, J. F., Liu, J., Lindsey, K., & Chen, C. (2021). Putrescine Depletion Affects Arabidopsis Root Meristem Size by Modulating Auxin and Cytokinin Signaling and ROS Accumulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8), 4094. <https://doi.org/10.3390/ijms22084094>

- He, F., Xu, C., Fu, X., Shen, Y., Guo, L., Leng, M., & Luo, K. (2018). The MicroRNA390/TRANS-ACTING SHORT INTERFERING RNA3 module mediates lateral root growth under salt stress via the auxin pathway. *Plant Physiology*, 177(2), 775-791.
- Hossain M. S. (2019). Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. *Int. Res. J. Biol. Sci.* 1 (1), 1–3.
- Hussain, S. S., Ali, M., Ahmad, M., & Siddique, K. H. M. (2011). Polyamines: Natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Biotechnology Advances*, 29(3), 300–311. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.003>
- Ioannidis N.E, Kotzabasis K (2007). Effects of polyamines on the functionality of photosynthetic membrane in vivo and in vitro, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, Volume 1767, Issue 12, p:1372-1382, ISSN 0005-2728, <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2007.10.002>.
- Ioannidis, N. E., Cruz, J. A., Kotzabasis, K., & Kramer, D. M. (2012). Evidence that putrescine modulates the higher plant photosynthetic proton circuit. *PloS one*, 7(1), e29864. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029864>
- Jing, H. K., Wu, Q., Huang, J., Yang, X. Z., Tao, Y., Shen, R. F., & Zhu, X. F. (2022). Putrescine is involved in root cell wall phosphorus remobilization in a nitric oxide dependent manner. *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, 316, 111169. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111169>
- Kadota, Y. et al. (2005). Cell-cycle-dependent regulation of oxidative stress responses and Ca<sup>2+</sup> permeable channels NTPC1A/B in tobacco BY-2 cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 336, 1259–1267
- Kandil M.M., Ibrahaim S.M.M., El-Hanafy S.H., El-Sabwah M.M. (2015). Effect of Putrescine and Uniconazole on Some Flowering Characteristics, and Some Chemical Constituents of *Salvia splendens* F. *Plant. Int. J. ChemTech Res.* 8:174–186.
- Kasukabe, Y., He, L., Nada, K., Misawa, S., Ihara, I. and Tachibana, S. (2004). Overexpression of Spermidine Synthase Enhances Tolerance to Multiple Environmental Stress and Up-Regulates the Expression of Various Stress-Regulated Genes in Transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology*, 45, 712-722. <https://dx.doi.org/10.1093/pcp/pch083>

- Kaur, Y., Das, N. (2023). Roles of Polyamines in Growth and Development of the Solanaceous Crops Under Normal and Stressful Conditions. *J Plant Growth Regul* 42, 4989–5010. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10841-9>
- Keutgen, A. J., & Pawelzik, E. (2008). Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food chemistry*, 107(4), 1413-1420.
- Kotuby-Amacher J, Koenig K and Kitchen B (2000). Salinity and Plant Tolerance; Available at <https://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-SO-03.pdf>
- Kumar P.Sharma P. K. (2020). Soil salinity and food security in India. *Front. Sustain. Food Systems*.4. doi: 10.3389/fsufs.2020.533781
- Kuru Berk S, Gündoğdu M., Demirer Durak E (2025). Intercourse of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Putrescine Treatments on Agro Morphological and Biochemical Properties of Strawberry Festival cv. *J.of Plant Growth Regulation*, 44(4):1583-1594
- Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., & Takahashi, Y. (2008). Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta*, 228(3), 367–381. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0772-7>
- Läuchli, A. ve Grattan, S. R. (2007). Plant growth and development under salinity stress. *In Plant Stress Physiology* (pp. 327–350). Springer.
- Lee T.-M. (1997). Polyamine Regulation of Growth and Chilling Tolerance of Rice (*Oryza sativa* L.) Roots Cultured in Vitro. *Plant Sci*.122:111–117. doi: 10.1016/S0168-9452(96)04542-6.
- Liu, J. H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, 24(1), 117–126. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.24.117>
- Liu, J. H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, 24(1), 117–126. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.24.117>
- Liu, J. H., Wang, W., Wu, H., Gong, X., and Moriguchi, T. (2015). Polyamines function in stress tolerance: from synthesis to regulation. *Front. Plant Sci*. 6:827. doi: 10.3389/fpls.2015.00827
- Liu, J. X., Srivastava, R., Che, P., & Howell, S. H. (2007). An endoplasmic reticulum stress response in Arabidopsis is mediated by proteolytic processing and nuclear

- relocation of a membrane-associated transcription factor, bZIP28. *The Plant Cell*, 19(12), 4111-4119.
- Lynch J. (1995). Root Architecture and Plant Productivity. *Plant Physiology*, 109(1), 7–13. <https://doi.org/10.1104/pp.109.1.7>
- Mahdavian M, Sarikhani H, Hadadinejad M. and A. Dehestani (2021). Biochemical and morphological response of Carrizo citrange and Volkameriana rootstocks to putrescine and water stress. *Acta Horticulturae*, DOI:10.17660/ActaHortic.2021.1315.9
- Mahgoub M., el Aziz N.G.A., Mazhar A.M.A (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. Plant to Foliar Spray with Putrescine and Thiamine on Growth, Flowering and Photosynthetic Pigments. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*10:769–775.
- Mahgoub M., el Aziz N.G.A., Mazhar A.M.A (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. Plant to Foliar Spray with Putrescine and Thiamine on Growth, Flowering and Photosynthetic Pigments. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*10:769–775.
- Mansour, M. M. F., Salama, K. H. A., Ali, F. Z. M., & Abou Hadid, A. F. (2005). Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *Gen. Appl. Plant Physiol*, 31(1-2), 29-41.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). Further elements of importance. In *Principles of plant nutrition* (pp. 639-655). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mengoli, M., Chriqui, D., & Bagni, N. (1992). Putrescine biosynthesis and oxidation in normal and hairy root tobacco plants. *Journal of plant physiology*, 140(2), 153-155.
- Mohammadi Alagoz, S., Asgari Lajayer, B., Azimzadeh, Z., Kheirizadeh Arough, Y., & Dell, B. (2025). Role of Polyamines in Mitigating Salinity Stress in Ornamental and Food Crops. *Physiologia plantarum*, 177(6), e70649. <https://doi.org/10.1111/ppl.70649>
- Munns, C. F., Rauch, F., Zeitlin, L., Fassier, F., & Glorieux, F. H. (2004). Delayed osteotomy but not fracture healing in pediatric osteogenesis imperfecta patients receiving pamidronate. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(11), 1779-1786.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.

- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Muradoğlu, F., Batur, Ş., Hasanov, M., & Güler, E. (2025). Putrescine eases saline stress by regulating biochemicals, antioxidative enzymes, and osmolyte balance in hydroponic strawberries (cv. Albion). *Physiologia plantarum*, 177(3), e70259. <https://doi.org/10.1111/ppl.70259>
- Nahed G.A.A., Lobna S.T (2009). Soad M.I. Some Studies on The Effect Of Putrescine, Ascorbic Acid And Thiamine On Growth, Flowering And Some Chemical Constituents Of Gladiolus Plants At Nubaria. *Ozean J. Appl. Sci.*2:169–179.
- Nezhadahmadi, A., Prodhon, Z. H. & Faruq, G. (2013). Drought tolerance in wheat. *Sci. World J.* 2013, 1–12
- Ndjonka, D., Da'dara, A., Walter, R. D., & Lüersen, K. (2003). Caenorhabditis elegans S-adenosylmethionine decarboxylase is highly stimulated by putrescine but exhibits a low specificity for activator binding. *Biological chemistry*, 384(1).
- Pál M., Szalai G., Janda T (2015). Speculation: Polyamines Are Important in Abiotic Stress Signaling. *Plant Sci.* 237:16–23. doi: 10.1016/j.plantsci.2015.05.003.
- Palavan-Ünsal N. (1987). Polyamine Metabolism in the Roots of Phaseolus vulgaris Interaction of the Inhibitors of Polyamine Biosynthesis with Putrescine in Growth and Polyamine Biosynthesis. *Plant Cell Physiol.*28:565–572.
- Pandey, B. B., Deotale, R. D., Jaybhaye, V. R., Chinmalwar, Y. A., Suryavanshi, V., & Davhale, P. N. (2017). Morpho-physiological and yield responses of maize plant to foliar sprays of polyamine (putrescine) and IBA. *J. Soils and Crops* 27 (1) 114-119.
- Pandolfi, C., Pottosin, I., Cuin, T., Mancuso, S., & Shabala, S. (2010). Specificity of polyamine effects on NaCl-induced ion flux kinetics and salt stress amelioration in plants. *Plant and cell physiology*, 51(3), 422-434.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Paul, S., & Roychoudhury, A. (2017). Seed priming with spermine and spermidine regulates the expression of diverse groups of abiotic stress-responsive genes during salinity stress in the seedlings of indica rice varieties. *Plant Gene*, 11, 124-132.

- Rashid, Z.S., A.T. Homed, M.D. Abdulhadi and F.F. Idan. (2025). Physiological response of strawberry cv. Camarosa to 5-aminolevulinic acid and putrescine in relation to growth and reproduction. *Sarhad Journal of Agriculture*, 41(3): 1463-1470. doi <https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2025/41.3.1463.1470>
- Sadeghi, A., Koobaz, P., Azimi, H., Karimi, E., & Akbari, A. R. (2017). Plant growth promotion and suppression of *Phytophthora drechsleri* damping-off in cucumber by cellulase-producing *Streptomyces*. *BioControl*, 62(6), 805-819.
- Saeed Akram, M., Ashraf, M., Shahbaz, M., & Aisha Akram, N. (2009). Growth and photosynthesis of salt-stressed sunflower (*Helianthus annuus*) plants as affected by foliar-applied different potassium salts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(6), 884-893.
- Saha, J., Brauer, E.K., Sengupta, A., Popescu, S.C., Gupta, K., & Gupta, B. (2015). Polyamines as redox homeostasis regulators during salt stress in plants. *Frontiers Environmental Sci.*, 3, 21
- Saha, P., Chatterjee, P., & Biswas, A. K. (2010). NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense system and osmolyte accumulation in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Indian journal of experimental biology*, 48(6), 593–600.
- Shabala, S., & Cuin, T. A. (2008). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia plantarum*, 133(4), 651–669. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01008.x>
- Shan, L. E. I., Li, C., Chen, F., Zhao, S., & Xia, G. (2008). A Bowman-Birk type protease inhibitor is involved in the tolerance to salt stress in wheat. *Plant, cell & environment*, 31(8), 1128-1137.
- Sharma, Y. K., & Davis, K. R. (1997). The effects of ozone on antioxidant responses in plants. *Free Radical Biology and Medicine*, 23(3), 480-488.
- Sheokand, S., Kumari, A., & Sawhney, V. (2008). Effect of nitric oxide and putrescine on antioxidative responses under NaCl stress in chickpea plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 14(4), 355-362.
- Sheskin DJ (2004). Hand Book of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures 3rd ed. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL 1193p.
- Shi, K., Huang, Y. Y., Xia, X. J., Zhang, Y. L., Zhou, Y. H., & Yu, J. Q. (2008). Protective role of putrescine against salt stress is partially related to the improvement of

- water relation and nutritional imbalance in cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, 31(10), 1820-1831.
- Silveira, J. A. G., Melo, A. R. B., Viégas, R. A., & Oliveira, J. T. A. (2001). Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environmental and experimental Botany*, 46(2), 171-179.
- Şahin G., Öргеç M (2022). Güncel Bir Bakış Açısıyla Poliaminlerin Bitki Büyüme ve Gelişimi Üzerine Etkileri. *Turk J Agric Res*. 9(2): 255-264© TÜTAD ISSN: 2148-2306 e-ISSN: 2528-858X doi: 10.19159/tutad.1088744
- Taghreed, A. H., & Thamer, H. R. A.-F. (2024). Impact of exogenous ascorbic acid and putrescine on vegetative, root system morphology and chemical composition of clementine Mandarin saplings. *Plant Science Today*, 11(3). <https://doi.org/10.14719/pst.4075>
- Taiz, L ve Zeiger, E. (2008). Bitki Fizyolojisi. Palme Yayınevi, ISBN: 9789944341615. 888 s.
- Takahashi, T., & Kakehi, J. (2010). Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Annals of Botany*, 105(1), 1–6. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp259>
- Talaat I.M., Bekheta M.A., Mahgoubi M.H (2005). Physiological Response of Periwinkle Plants (*Catharanthus roseus* L.) to Tryptophan and Putrescine. *Int. J. Agric. Biol.* 7:210–213.
- Tang W., Newton R.J (2005b). Polyamines Promote Root Elongation and Growth by Increasing Root Cell Division in Regenerated Virginia Pine (*Pinus virginiana* Mill.) Plantlets. *Plant Cell Rep.*;24:581–589. doi: 10.1007/s00299-005-0021-5.
- Tang, W., & Newton, R. J. (2005a). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, 46(1), 31-43.
- Tarengi E., Carré M., Martin-Tanguy J. (1995). Effects of Inhibitors of Polyamine Biosynthesis and of Polyamines on Strawberry Microcutting Growth and Development. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* (PCTOC).42:47–55. doi: 10.1007/BF00037681
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527.

- Tiburcio, A. F., Altabella, T., Bitrián, M., & Alcázar, R. (2014). The roles of polyamines during the lifespan of plants: from development to stress. *Planta*, 240(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2055-9>
- Toscano, S., Farieri, E., Ferrante, A. & Romano, D. Physiological and biochemical responses in two ornamental shrubs to drought stress. *Front. Plant Sci.* 7, 645–657 (2016).
- Tuzlacı, H. İ., & Ertürk, Y. (2023). Örtü Altı Ve Açık Alandaki Organik Çilek Yetiştiriciliğinde Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bazı Bakterilerin Tekli Ve İkili Kombinasyon Uygulamalarının Bitki Gelişimi İle Verim Parametrelerine Etkinliklerinin Belirlenmesi. *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing*, 557-563.
- Türemiş, N., Ağaoğlu, S., 2013. Çilek. Ağaoğlu, S. ve Gerçekçioğlu, R. (Eds.). Üzümsü Meyveler. Tomurcukbağ Ltd. Şti. Eğitim Yayın No:1, Ankara.
- Türkan, I., & Demiral, T. (2008). Yüksek bitkilerin tuzluluk toleransı mekanizmaları. *Abiyotik stres ve bitki tepkileri. IK International, Yeni Delhi* , 106-123.
- Vasilogiannakopoulou, T., Begou, O., Karali, C. S., Efthymiou, G., Roubelakis, M., Gorgoulis, V., Gkouskou, K. K., Gika, H., & Eliopoulos, A. G. (2025). Putrescine functions as a metabolic checkpoint in replication stress-induced senescence. *Cellular and molecular life sciences: CMLS*, 82(1), 410. <https://doi.org/10.1007/s00018-025-05962-9>
- Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed Brassica juncea by inducing antioxidative defense system. *Journal of Plant Physiology*, 162(6), 669-677.
- Vinocur, B., & Altman, A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current opinion in biotechnology*, 16(2), 123-132.
- Wang W, Paschalidis K, Feng J-C, Song J and Liu J-H (2019). Polyamine Catabolism in Plants: A Universal Process With Diverse Functions. *Front. Plant Sci.* 10:561. doi: 10.3389/fpls.2019.00561
- Wang, J., Meng, Y., Li, B., Ma, X., Lai, Y., Si, E., & Wang, D. I. (2015). Physiological and proteomic analyses of salt stress response in the halophyte *Halogeton glomeratus*. *Plant, Cell & Environment*, 38(4), 655-669.

- Wise, K. J., Gillespie, N. B., Stuart, J. A., Krebs, M. P., & Birge, R. R. (2002). Optimization of bacteriorhodopsin for bioelectronic devices. *Trends in biotechnology*, 20(9), 387-394.
- Wu Q.S., Zou Y.N., He X.H (2010). Exogenous Putrescine, Not Spermine or Spermidine, Enhances Root Mycorrhizal Development and Plant Growth of Trifoliolate Orange (*Poncirus trifoliata*) Seedlings. *Int. J. Agric. Biol.*12:576–580.
- WU, Q.-S., ZOU, Y.-N., LIU, M., & CHENG, K. (2012). Effects of Exogenous Putrescine on Mycorrhiza, Root System Architecture, and Physiological Traits of *Glomus mosseae*-Colonized Trifoliolate Orange Seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2), 80–85. <https://doi.org/10.15835/nbha4027926>
- Yadav V., Singh N.B., Singh H., Singh A., Hussain I (2019). Putrescine Affects Tomato Growth and Response of Antioxidant Defense System Due to Exposure to Cinnamic Acid. *Int. J. Veg. Sci.*25:259–277. doi: 10.1080/19315260.2018.1508110.
- Yavuzlar, E. E., & Ünal, N. (2023). In VİTRO koşullarda farklı poliamin uygulamalarının çilekte tuzluluk stresi üzerine etkileri. *Meyve Bilimi*, 10(1), 173-183.
- Yousefi F., Jabbarzadeh Z., Amiri J., Rasouli-Sadaghiani M.H (2019). Response of Roses (*Rosa hybrida* L. ‘Herbert Stevens’) to Foliar Application of Polyamines on Root Development, Flowering, Photosynthetic Pigments, Antioxidant Enzymes Activity and NPK. *Sci. Rep.*;9:16025. doi: 10.1038/s41598-019-52547-1.
- Youssef A.A., Mahgoub M.H., Talaat I.M (2004). Physiological and Biochemical Aspects of *Matthiola incana* L. Plants under the Effect of Putrescine and Kinetin Treatments. *Egypt. J. Appl. Sci.*19:492–510.
- Zaidalkilani AT, Al-Kaby AH, El-Emshaty AM, Alhag SK, Al-Shuraym LA, Salih ZA, Taha AA, Al-Farga AM, Ashmawi AE, Hamad SA, Abd El-Raouf HS, Ahmed SE, El-Taher AM, Chamba MVM, Badawi TA. (2024). Effect of Salt Stress on Botanical Characteristics of Some Table Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars. *ACS Omega*. 2024 Nov 19;9(48):47788-47801. doi: 10.1021/acsomega.4c08161. PMID: 39651085; PMCID: PMC11618406.
- Zhu J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in plant science*, 6(2), 66–71. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)1838-0](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)1838-0)

## ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Gonca Yıldırım
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0009-0008-3082-3628

EĞİTİM BİLGİLERİ	
<b>Lisans</b>	
Üniversite:	Atatürk Üniversitesi
Fakülte:	Ziraat Fakültesi
Bölümü:	Bahçe Bitkileri
Mezuniyet Yılı:	2009
<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Mezuniyet Yılı:	-
<b>Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler</b>	
<b>Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler</b> .....	
<b>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler</b> Yıldırım, G., Ertürk, Y. (2023) Polyamines In Horticulture, Their Activities, The Mechanisms Of Effects and Their Future Roles Ahi Evran III International Conference on Scientific Research, (pp 213-220)	
<b>Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan makaleler</b> .....	
<b>Ulusal Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler</b> .....	



# CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This certificate is proudly presented to

**Gonca YILDIRIM**

of participation in oral and technical presentation, recognition and appreciation of research contributions to Ahi Evran 3<sup>rd</sup> International Conference on Scientific Research held on May 3-4, 2023 / Odlar Yurdu University, Baku-Azerbaijan with the paper entitled

EFFECTS OF POLYAMINES IN HORTICULTURE, MECHANISMS OF ACTION, FUTURE ROLES

