

Farklı Dozlarda Uygulanan Fe₃O₄ Nanopartikülünün Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Çilek (*Fragaria × ananassa* Duch, cv. ‘Albion’) Bitkilerinin Büyüme Özellikleri Üzerine Etkisi

Sinem ÖZTÜRK ERDEM^{1*}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bilecik

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): sinem.erdem@bilecik.edu.tr

Özet

Çilek (*Fragaria × ananassa* Duch.) bitkileri, hem ekonomik değeri hem de besin değeri nedeniyle önemli bir tarımsal üründür. Ancak, tuzluluk stresi çileklerin verimini ve kalitesini olumsuz yönde etkileyen önemli çevresel faktörlerden biridir. Son yıllarda, nanoteknoloji alanındaki ilerlemeler, bitki beslenmesinde ve stres yönetiminde yeni yaklaşımlar sunmuştur. Bu çalışma, farklı tuzluluk seviyelerinde (T₀, T₃₀ ve T₆₀ mM NaCl) yetiştirilen çilek bitkilerine değişik dozlarda demir (II, III) oksit (Fe₃O₄) nanopartikül (NP₀, NP_{0.01}, NP_{0.1}, NP₁ mg L⁻¹) uygulamalarının bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada gövde uzunluğu (mm), kök uzunluğu (cm), yaprak sayısı (adet), kök-gövde yaş ve kuru ağırlıkları (g), yaprak alanı (cm²) ve yaprak oransal su içeriği (%) belirlenmiştir. Tuz dozları arttıkça incelenen özelliklerin değerlerinde azalmalar görülse de Fe₃O₄ nanopartikül uygulamalarının bu olumsuz etkiyi hafiflettiği belirlenmiştir. Çalışmada, kök uzunluğu, yaprak alanı, bitki yaş-kuru ağırlık özellikleri bakımından tuz dozları arasında, yaprak alanı, bitki kuru ağırlığı ve kök yaş ağırlığı bakımından Fe₃O₄ nanopartikülleri arasında istatistiki olarak önemli farklar belirlenmiştir. Gövde uzunluğu, yaprak alanı, bitki kuru ağırlığı üzerine tuz dozu ve Fe₃O₄ nanopartikül interaksyonu etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur. İncelenen özelliklerin tümünde T₀ uygulaması en yüksek değerlere sahip olmuştur. Fe₃O₄ nanopartikülleri ise incelenen özelliklere göre farklı etki göstermiştir. En yüksek gövde uzunluğu 29.37 mm ile T₀ × NP₁ (1 mg L⁻¹) uygulamasında bulunurken, yaprak alanı en yüksek T₀ × NP_{0.01} (33.05 cm²) uygulamasından elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Fe₃O₄ nanopartiküllerin tuz stresine karşı çilek bitkilerinin toleransını artırmak için potansiyel bir strateji olabileceğini göstermektedir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi :28.04.2024
Kabul Tarihi :30.05.2024

Anahtar Kelimeler

NaCl
demir (II, III) oksit
tuzluluk
yaprak oransal su içeriği

The Effect of Fe₃O₄ Nanoparticles Applied at Different Doses on the Growth Characteristics of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch, cv. ‘Albion’) Plants Under Salt Stress

Abstract

Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants are an important agricultural crop due to their economic value and nutritional content. However, salinity stress is one of the significant environmental factors that adversely affect the yield and quality of strawberries. In recent years, advancements in nanotechnology have introduced new approaches in plant nutrition and stress management. This study aims to determine the effects of various doses of iron oxide (II, III) nanoparticles (NP₀, NP_{0.01}, NP_{0.1}, NP₁ mg L⁻¹) on the growth of strawberry plants grown under different salinity levels (T₀, T₃₀, and T₆₀ mM NaCl). In the study, stem length (mm), root length (cm), number of leaves, fresh and dry weights of root and stem (g), leaf area (cm²), and leaf relative water content (RWC) (%) were determined. Although the values of the examined characteristics decreased as the salinity doses increased, it was found that the application of Fe₃O₄ NPs mitigated this adverse effect. In the study, statistically significant differences were determined between the salinity doses in terms of root length, leaf area, and fresh-dry weight characteristics, and between the Fe₃O₄ nanoparticles in terms of leaf area, plant dry weight, and root fresh weight. The interaction effect of salinity dose and Fe₃O₄ nanoparticles on stem length, leaf area, and plant dry weight was found to be statistically significant. The T₀ treatment exhibited the highest values for all examined characteristics. The Fe₃O₄ nanoparticles showed different effects depending on the characteristics studied. The highest stem length, 29.37 mm, was found in the T₀ × NP₁ (1 mg L⁻¹) treatment, while the highest leaf area, 33.05 cm², was obtained from the T₀ × NP_{0.01} treatment. The results indicate that iron nanoparticles could be a potential strategy to enhance the tolerance of strawberry plants to salt stress.

Research Article

Article History

Received :28.04.2024
Accepted :30.05.2024

Keywords

NaCl
iron (II, III) oxide
salinity
leaf relative water content

1. Giriş

Çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.), *Rosaceae* familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Dünyada gün geçtikçe yetiştiriciliği artan çilek üretiminin ekim alanı 2022 yılında 397.603 hektara, verimi ise 9.57 milyon tona ulaşmıştır (FAO, 2022). Çilek tadı, aroması içeriğindeki antosiyaninler ve flavonoidler de dahil olmak üzere zengin biyoaktif bileşenleri ile üzüm meyveler arasında önemli bir yere sahiptir (Mazzoni ve ark., 2020). Ancak çilek tuza duyarlı bir bitkidir ve tuz stresi mineral elementlerin emilimini, antioksidan enzimlerin aktivitesini ve çileklerin kalitesini etkilemektedir (Saidimoradi ve ark., 2019). Tuzluluğun aynı zamanda yaprak nekrozunu ve yaşlanmayı hızlandırdığı, terleme ve fotosentez oranlarını azalttığı, besin alımını etkilediği, karbonhidrat ve protein kaynaklarını azalttığı bilinmektedir (Yaghubi ve ark., 2019).

Tarım alanlarının yaklaşık olarak üçte biri tuzluluk sorunu ile karşı karşıyadır. Bu durumun yanlış sulama uygulamaları ve fazla kimyasal gübre kullanımından kaynaklı olarak ilerleyen zamanlarda daha da artması beklenmektedir (Zhao ve ark., 2020). Kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağın tuzluluk nedeniyle bozulma oranı yılda % 2 seviyesine ulaşmış durumdadır (Liu ve ark., 2022). Tahminlere göre, 2050 yılına kadar tarım arazilerinin yarısından fazlasının tuzluluk problemi yaşayacağı ve bu durumun her yıl küresel olarak yaklaşık 12 milyar ABD doları tutarında ekonomik kayba yol açacağı beklenmektedir (Machado ve Serralheiro, 2017).

Tuzluluk, tarım ve gıda güvenliği üzerinde doğrudan etkilere sahiptir. Bu nedenle, tuzluluk toleransının geliştirilmesi, küresel gıda güvenliği ve modern tarımın sürdürülebilir ilerlemesi gibi çift yönlü zorlukların üstesinden gelmek için hayati önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için, tarımsal sistemlerde dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve verimlilik sağlamak amacıyla küresel tuz stresi sorunlarına karşı yeni teknolojilerin geliştirilmesi son derece önemlidir (Hoffmann ve ark., 2020).

Nanoteknolojinin, tarımsal uygulamalarda devrim niteliğinde yenilikler sunarak bitki büyümesini, verimliliğini artırmada önemli bir rol oynadığı gibi abiyotik streslere, özellikle tuzluluk ve kuraklık gibi koşullara karşı direncini artırma potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir. Nanoteknolojinin tarımsal sistemlere entegrasyonu, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunarak, gıda güvenliğinin sağlanmasına ve tarımın gelecekteki iklim değişikliklerine adaptasyonuna yardımcı olabilir. Bu bağlamda, nanopartiküllerin (NP) kullanımı, modern tarımın sürdürülebilirliği ve verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Nanopartiküller yüksek yüzey alanına, hareketliliğe, re-aktiviteye ve parçacık şekline sahiptir (Al-Khayri ve ark., 2023). Nanopartiküller 1 ila 100 nm boyutlarında olup, küre, çubuk, tüp, lif, disk, solucan, kare ve elipsoid gibi farklı şekillere sahip parçacıklardır. Bu parçacıklar, büyük yüzey alanı/hacim oranı, kristal yapı, ayarlanabilir gözenek boyutu ve canlı organizmalarda hücrel ve moleküler düzeyde güçlü aktivite gibi birçok benzersiz özelliğe sahiptir (Abobatta, 2018; Sarkar ve ark., 2021). Nanopartiküllerin, bitkiler için daha büyük emilim verimliliğine sahip olup, geleneksel gübreler ile kıyaslandığında ürün verimliliğinde % 20-30'luk bir artış sağladığı belirlenmiştir (Liu ve ark., 2022). Bunun yanında son yıllarda yapılan araştırmalar, demir nanopartiküllerinin kuraklık stresi (Alabdallah ve ark., 2021), su stresi (Waqas Mazhar ve ark., 2022), tuzluluk stresi (Moradbeygi ve ark., 2020; Tawfik ve ark., 2021) olmak üzere çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkisini azaltabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, tuz stresi altında yetiştirilen 'Albion' çilek çeşidine farklı dozlarda Fe₃O₄ nanopartikül uygulamalarının bitkilerin büyümesine etkileri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Materyal olarak Kaliforniya'da 'Cal94-16' ve 'Diamante' çeşitlerinin melezlenmesi sonucu elde edilmiş, büyüme periyodu

bakımından nötr gün özelliği gösteren, meyve renk, şekil ve kalite açısından iyi bir çeşit olan 'Albion' çeşidi kullanılmıştır (Shaw ve Larson, 2009). Çilek fideleri Çiltar Tarım İşletmesi Ltd. Şti.'den frigo fide olarak temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

Çalışma 2023 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkez müdürlüğünde bulunan yüksek tünel (40°06'37.7"N ve 30°00'03.0"E) içerisinde yürütülmüştür.

Fideler 22.05.2023 tarihinde 3:1 oranında torf: perlitten oluşan karışımla doldurulmuş üç litrelik plastik saksılara dikilmiştir. Deneme, bölünmüş parseller deneme desenine göre ana parsellere tuz (NaCl) dozları ve alt parsellere Fe₃O₄ nanopartikülleri (Sigma–Aldrich, CAS: 1317-61-9) gelecek şekilde üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışma her tekerrürde 10 bitki ve toplamda 360 adet bitki ile yürütülmüştür. Çalışmada üç farklı tuz

konsantrasyonu (0, 30 ve 60 mM L⁻¹) ve 4 farklı Fe₃O₄ nanopartikül konsantrasyonu (0, 0.01, 0.1, ve 1 mg L⁻¹) kullanılmıştır.

Deneme kurulduktan 45 gün sonra bitki 3-4 yapraklı döneme geldiğinde, farklı tuz dozları haftada 2 kez 50 mM L⁻¹ olacak şekilde 5 hafta boyunca uygulanmıştır. Ayrıca, Fe₃O₄ NP uygulaması da tuz uygulamasının başlangıcında bir kez ve ilk uygulamadan iki hafta sonra bir kez olmak üzere toplam iki uygulama yapılmıştır. Gübreleme, Koç ve ark (2015)'in uyguladığı dozlara göre yapılmıştır. Deneme sonunda gövde uzunluğu (mm), kök uzunluğu (cm), yaprak sayısı (adet), kök-gövde yaş ve kuru ağırlıkları (g) İpek (2015)'e göre, yaprak alanı deneme sonunda koparılan yaprakların tarayıcıdan taranarak WinFOLIA programında ölçülmesi ile bulunmuştur (İpek ve ark., 2009). Yaprak oransal su içeriği ise (YOSİ) (%) ise Sanchez ve ark. (2004) ile Demiral ve Türkan (2005)'a göre aşağıda verilen Eşitlik 1 kullanılarak yapılmıştır.

$$YOSİ (\%) = \frac{TA-KA}{TuA-KA} \times 100 \quad (1)$$

(Taze Ağırlık: (TA), Kuru Ağırlık: (KA), Turgor Ağırlığı: (TuA))

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen veriler Bölünmüş Parseller Deneme Desenine göre Minitab 19 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir (Anonim, 1995). Denemeye konu olan işlemler arasındaki farklılıklar DUNCAN çoklu karşılaştırma testi ile ortaya konulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, farklı tuzluluk seviyelerinde (0, 30 ve 60 mM NaCl) yetiştirilen çilek bitkileri üzerinde demir nanopartikül dozlarının (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg L⁻¹) bitki gelişimine etkileri incelenmiştir (Tablo 1 ve 2). Kök gövdesi yada ana taç olarak adlandırılan çilek gövdesinin gövde uzunluğunun genellikle 2.5 cm civarında olduğu bilinmektedir (Türemiş ve ark., 2021). Tablo 1'de görüldüğü gibi gövde uzunluğun

bakımından tuz ve Fe₃O₄ NP uygulamaları arasında istatistiki açıdan fark bulunamamıştır. Tuz konsantrasyonu arttıkça gövde uzunluğunda azalma görülmüştür. Fe₃O₄ NP uygulamasında ise kontrole göre uygulamaların tümünde olumlu etki gözlenirken, en iyi sonuç NP₁ dozundan (22.17 mm) elde edilmiştir. Gövde uzunluğu üzerine tuz × Fe₃O₄ NP interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Tuz dozları arttıkça gövde uzunluğunda azalmalar görülse de Fe₃O₄ NP uygulamalarının bu olumsuz etkiyi hafiflettiği belirlenmiştir. En iyi gövde uzunluğu 29.37 mm ile T₀ × NP₁ (1 mg L⁻¹) interaksiyonunda bulunurken, T₃₀ ve T₆₀ tuz uygulamalarında Fe₃O₄ NP dozları arttıkça gövde uzunluğunda artış olduğu ve her iki tuz uygulamasında da 1 mg L⁻¹ Fe₃O₄ NP (NP₁) uygulamasının en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Tablo 1. Farklı tuz ve Fe₃O₄ NP dozlarının incelenen özelliklerinin ortalama değerleri

		G.U.	K.U.	Y.S.	Y.A.	B.Y.A.	B.K.A.	K.Y.A.	K.K.A.
Tuz	T ₀	23.22	12.94 ^a	9.60	30.01 ^a	13.59 ^a	4.77 ^a	19.81	6.27
	T ₃₀	21.18	10.69 ^{ab}	8.19	26.77 ^b	8.69 ^b	4.57 ^a	19.27	4.65
	T ₆₀	18.80	6.72 ^b	6.53	23.89 ^b	7.22 ^c	3.18 ^b	17.47	3.95
Fe ₃ O ₄ NP	NP ₀	18.79	11.19	6.96	24.74 ^b	9.37	4.46 ^{ab}	15.52 ^b	4.17
	NP _{0.01}	20.86	9.77	8.74	27.16 ^{ab}	10.07	4.10 ^{ab}	22.04 ^a	5.81
	NP _{0.1}	20.48	9.45	8.80	27.12 ^{ab}	10.86	4.65 ^a	17.58 ^{ab}	4.21
	NP ₁	24.12	10.05	7.93	28.54 ^a	9.04	3.47 ^b	20.26 ^{ab}	5.63

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak fark yoktur (P<0.05)

Gövde uzunluğu (mm): (G.U.), Kök uzunluğu (cm): (K.U.), Yaprak sayısı (adet): (Y.S.), Yaprak alanı (cm²): (Y.A.), Bitki yaş ağırlığı (g): (B.Y.A.), Bitki kuru ağırlığı (g): (B.K.A.), Kök yaş ağırlığı (g): (K.Y.A.), Kök kuru ağırlığı (g): (K.K.A.)

Kök uzunluğu verileri incelendiğinde tuz uygulamaları istatistiki açıdan önemli bulunurken, Fe₃O₄ NP doz uygulamaları arasında istatistiki açıdan bir fark gözlenmemiştir. Uygulanan tuz dozu arttıkça kök uzunluğunda azalmalar meydana gelmiş ve en iyi kök uzunluğu 12.94 cm ile T₀ uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 1). Kök uzunluğu üzerine tuz × NP interaksyonunun etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur (Tablo 2). En yüksek kök uzunluğu 16.72 cm ile T₀ × NP₀ interkasiyonundan elde edilmiştir.

Tawfik ve ark. (2021), tuzlu ortamda demir oksit nanopartiküllerinin (0, 20, 40, 60 ppm) *Moringa oleifera* bitkisinde büyüme, fizyolojik özellikler ve besin içeriklerine olan etkisini araştırdıkları çalışmada en iyi büyüme artışını 40 ppm Fe₃O₄ nanopartikül ile elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda bu nanopartiküllerin bitkinin fizyolojik özellikleri ve besin içeriğini iyileştirerek tuzlu koşullar altında büyümeyi teşvik edebileceğini ifade etmişlerdir. Li ve ark. (2021) yaprağa püskürterek Fe₃O₄ NP uygulaması ile *Pseudostellaria heterophylla*'na da büyümeyi, birim alan başına kök ve kök yumru veriminin kuru madde dağılımını önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir.

Tuz stresi altındaki bitkiler ihtiyaç duydukları suyu alamamakta ve mineral madde dengesizliği nedeniyle vejetatif gelişimde azalmalar meydana gelmektedir. Bu durumun da yaprak sayısının azalmasına sebep olduğu bilinmektedir (Kluge, 1976; Bertamini ve ark., 2006). Yaprak sayısı bakımından tuz ve demir uygulamaları arasında istatistiki açıdan fark bulunmamıştır (Tablo 1) Fakat tuz dozu arttıkça yaprak sayısında azalma meydana

gelmiştir. En fazla yaprak sayısı 9.60 adet ile kontrol (T₀) uygulamasında elde edilmiş, onu sırasıyla 8.19 adet ile T₃₀ uygulaması ve 6.53 adet ile T₆₀ uygulaması takip etmiştir. En iyi Fe₃O₄ NP dozu ise 0.01 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Yaprak sayısı üzerine tuz × Fe₃O₄ NP etkisi istatistiki olarak önemsiz olmuştur. intereksiyonu Tuz dozu arttıkça yaprak sayısının azaldığı ancak T₃₀ ve T₆₀ uygulamasında demir nanopartikül dozlarının uygulamaya göre yaprak sayısını arttırdığı ve en iyi Fe₃O₄ NP dozunun her ikisinde de 0.01 mg L⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

Yaprak alanı bakımından tuz ve Fe₃O₄ NP dozları arasında istatistiki olarak önemli farklar bulunmuştur. Yaprak alanı uygulanan tuz dozu arttıkça azalmıştır. Fe₃O₄ NP uygulamasında ise kontrole göre diğer uygulamaların tümünde artış gözlenmiştir (Tablo 1). Yaprak alanı interaksyon verileri incelendiğinde, en iyi yaprak alanının T₀ × NP_{0.01} (33.05 cm²) ve T₃₀ × NP_{0.01} (30.47 cm²)'de elde edildiği belirlenmiştir. Yaprak alanındaki azalma ile birlikte birim alandaki CO₂ fiksasyonun da azaldığı (Costa França ve ark., 2000) ve böylece bitkinin fotosentez kapasitesinin düşmesi sonucu bitkinin gelişme ve büyümesinde gerileme olduğu bilinmektedir (Türkan ve ark., 2005). Fe₃O₄ nanopartikülleri kullanılarak yapılan çeşitli çalışmalar da nanopartiküllerin kuraklık stresi altında bitkilerin fotosentez performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Bu nanopartiküller, bitkilerin büyümesini ve fotosentetik pigment içeriklerini artırarak fotosentezi ve solunumu teşvik etmektedir (Feng ve ark., 2022). Tuz dozları arttıkça Fe₃O₄ NP uygulamalarının kontrole göre yaprak alanlarında artışa neden olduğu ve bu da Fe₃O₄ NP'lerinin olumlu etkisinin olduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 2. İncelenen özelliklerin tuz ve Fe₃O₄ NP interaksiyonuna ait ortalama değerleri

Tuz	Fe ₃ O ₄ NP	G.U.	K.U.	Y.S.	Y.A.	B.Y.A.	B.K.A.	K.Y.A.	K.K.A.
T ₀	NP ₀	19.23 ^b	16.72	9.22	29.46 ^{ab}	13.11	4.72 ^{abc}	16.00	5.44
	NP _{0.01}	23.20 ^{ab}	12.44	9.56	33.05 ^a	14.22	4.86 ^{abc}	25.44	6.52
	NP _{0.1}	21.07 ^{ab}	11.65	10.52	28.42 ^{a-d}	13.48	4.46 ^{abc}	19.44	4.96
	NP ₁	29.37 ^a	10.93	9.11	29.13 ^{abc}	13.56	5.04 ^{ab}	18.33	8.15
T ₃₀	NP ₀	18.59 ^b	10.42	6.44	22.58 ^{bcd}	7.22	4.56 ^{abc}	15.89	3.76
	NP _{0.01}	21.37 ^{ab}	9.78	9.56	30.47 ^a	9.33	4.77 ^{abc}	21.89	6.32
	NP _{0.1}	21.82 ^{ab}	10.28	9.00	26.24 ^{a-d}	10.56	5.92 ^a	18.19	4.42
	NP ₁	22.93 ^{ab}	12.26	7.78	27.79 ^{a-d}	7.67	3.04 ^{bc}	21.11	4.11
T ₆₀	NP ₀	18.56 ^b	6.44	5.22	22.19 ^{cd}	7.78	4.11 ^{abc}	14.67	3.31
	NP _{0.01}	18.02 ^b	7.09	7.11	22.59 ^{bcd}	6.67	2.68 ^{bc}	18.78	4.60
	NP _{0.1}	18.56 ^b	6.42	6.89	22.07 ^d	8.56	3.58 ^{abc}	15.11	3.26
	NP ₁	20.07 ^b	6.95	6.89	28.69 ^{a-d}	5.89	2.34 ^c	21.33	4.63

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak fark yoktur (P<0.05)

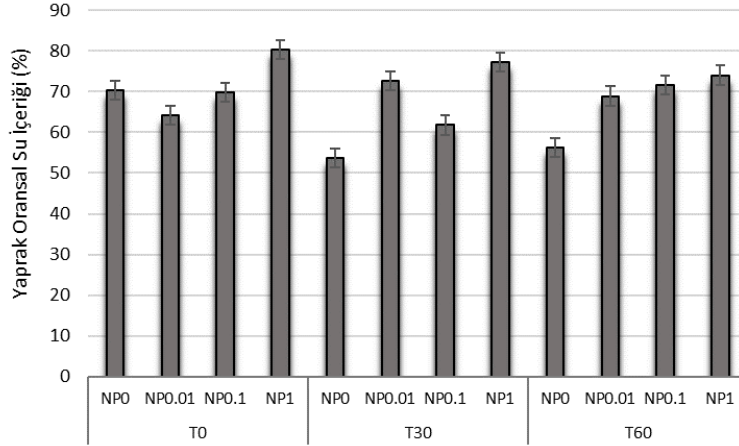
Gövde uzunluğu (mm): (G.U.), Kök uzunluğu (cm): (K.U.), Yaprak sayısı (adet): (Y.S.), Yaprak alanı (cm²): (Y.A.), Bitki yaş ağırlığı (g): (B.Y.A.), Bitki kuru ağırlığı (g): (B.K.A.), Kök yaş ağırlığı (g): (K.Y.A.), Kök kuru ağırlığı (g): (K.K.A.)

Bitkiler, büyüme ve gelişme dönemlerinde tuz stresine maruz kaldıklarında, hücre içi su dengesini korumakta zorlanır ve bu da vejetatif gelişimlerinde azalmaya neden olmaktadır. Tuz stresi, osmotik dengesizlik yarattığından bitki-kök yaş ve kuru ağırlıklarında belirgin azalmalar meydana gelmektedir (Kluge, 1976). Bu koşullar altında bitkiler, su alımını ve kullanımı optimize edemedikleri için büyüme ve gelişim süreçleri olumsuz etkilenmektedir (Bertamini ve ark., 2006). Tablo 1'de görüldüğü gibi tuz uygulama dozu arttıkça bitki yaş ve kuru ağırlıklarında azalma görülmüştür. Bitki yaş ağırlığı bakımından Fe₃O₄ NP uygulamaları arasındaki farklar istatistiki olarak önemsiz bulunurken, bitki kuru ağırlığı bakımından ise istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. En iyi doz 0.01 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Bitki yaş ağırlığı üzerine Tuz × Fe₃O₄ NP interaksiyonunun etkisi önemsiz bulunmuştur. T₃₀ ve T₆₀ tuz uygulamalarında en iyi NP_{0.1} dozunda sırasıyla 10.56 g ve 8.56 g bulunmuştur. Bitki kuru ağırlığında da en iyi NP uygulaması T₃₀ uygulaması, NP_{0.1} dozunda elde edilmiştir (Tablo 2).

Kök yaş ve kuru ağırlığın bakımından tuz dozları arasında istatistiki açıdan bir fark gözlenmemiştir. Her ikisinde de en iyi kök yaş-kuru ağırlık kontrol uygulamasında (T₃₀) elde edilmiştir. NP uygulaması incelendiğinde kök yaş ve kuru ağırlığında en iyi Fe₃O₄ NP uygulamasının ve NP_{0.1} dozundan elde edildiği, bunların sırasıyla 22.04 g ve 5.81 g olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Çilekte tuz

stresinin büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkilediği, bitki-kök yaş ve kuru ağırlıklarını azalttığı bir çok çalışmada ortaya konulmuştur (Kaya ve ark., 2002; Rahman ve ark., 2002; Pırlak ve Eşitken, 2004; Bertamini ve ark., 2006; Efeoğlu ve ark., 2009; Abbaspour ve ark., 2012; Bolat ve ark., 2014; Saidimoradi ark., 2019). Bu olumsuz etkiyi azaltmak için de çeşitli çalışmalarda salisilik asit (Karlıdağ ve ark., 2009), rizobakteri (PGPR) (Karlıdağ ve ark., 2010), humik asit (Saidimoradi ve ark., 2019), kalsiyum (Yaşar ve ark., 2020), potasyum nitrat (Özkorkmaz ve Öner, 2022), putresin (Hasanov, 2023) uygulamaları yapılmış ve bu uygulamaların tuz stresinin etkisini azalttığı belirlenmiştir. Son yıllarda Fe₃O₄ nanopartikül üzerine yapılan çalışmalarda aynı şekilde tuz stresinin etkisini azalttığı yöndedir (Mozafari ve ark., 2018; Alkhatib ve ark., 2019; Moradbeygi ve ark., 2020; Feng ve ark., 2022).

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ), bitkinin su durumu ve su tutma kapasitesini değerlendiren önemli bir fizyolojik parametre olup hücresel düzeydeki zararı yansıtmaktadır (Balestrasse ve ark., 2010). Tuz uygulama dozu arttıkça YOSİ'de azalma görülmüş ancak bu olumsuz etkinin, Fe₃O₄ NP uygulaması ile azaldığı belirlenmiştir (Şekil 1). Tuz stresi altında, limon (Aras ve ark., 2015), yenidoğru (García-Legaz ve ark., 2008) ve çilek (Karlıdağ ve ark., 2009) gibi birçok meyve türünde yaprak oransal su içeriğinin azaldığı bildirilmiştir.



Şekil 1. Yaprak oransal su içeriğine (%) ait tuz × Fe₃O₄ NP dozlarının interaksiyon grafiği

4. Sonuç

Bu çalışmada, çilek bitkilerine farklı tuzluluk seviyelerinde (0, 30 ve 60 mM NaCl) çeşitli dozlarda Fe₃O₄ nanopartikül (0, 0.01, 0.1, 1 mg L⁻¹) uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, demir nanopartikül uygulamalarının tuzluluk stresinin meydana getirdiği olumsuz etkilerini hafiflettiği belirlenmiştir. Nanopartiküllerin etki spektrumlarının, nanopartikülün türüne, konsantrasyonuna, boyutuna ve etkilenen bitki türlerine bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterdiği bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar, demir nanopartiküllerin tuz stresine karşı çilek bitkilerinin toleransını artırmak için potansiyel bir strateji olabileceğini göstermektedir, ancak optimal doz ve tuzluluk seviyeleri için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Abbaspour, H., Saekdi-Sar, S., Afshari, H., Abdel-Wahhab, M.A., 2012. Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology*, 169: 704-709.
- Abobatta, W.F., 2018. Nanotechnology application in agriculture. *Acta Scientific Agriculture*, 2(6): 99-102.
- Alabdallah, N.M., Hasan, M.M., Hammami, I., Alghamdi, A.I., Alshehri, D., Alatawi, H.A., 2021. Green synthesized metal oxide nanoparticles mediate growth regulation and physiology of crop plants under drought stress. *Plants*, 10(8): 1730.

Alkhatib, R., Alkhatib, B., Abdo, N., Al-Eitan, L., Creamer, R., 2019. Physio-biochemical and ultrastructural impact of (Fe₃O₄) nanoparticles on tobacco. *BMC Plant Biology*, 19: 253.

Al-Khayri, J.M., Rashmi, R., Ulhas, R., Sudheer, W.N., Banadka, A., Nagella, P., Aldaej, M.I., Rezk, A.A., Shehata, W.F., Almaghasla, I., 2023. The role of nanoparticles in response of plants to abiotic stress at physiological, biochemical, and molecular levels. *Plants*, 12(2): 292

Anonim, 1995. Minitab reference manual. (Release 7.1). Minitab, state coll (minitab reference manual).

Aras, S., Arslan, E., Eşitken, A., 2015. Biochemical and physiological responses of lemon plant under salt stress. *Paper presented at 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment*, Conference Proceedings Book, 30 October, Konya, Turkey, s. 877-883.

Balestrasse, K.B., Tomaro, M.L., Batlle, A., Noriega, G.O., 2010. The role of 5-aminolevulinic acid in the response to cold stress in soybean plants, *Phytochemistry*, 71(17-18): 2038-2045.

Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K., Nedunchezian, N., 2006. Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44(1): 151-154.

- Bolat, I., Dıkılıtas, M., Ercişli, S., İkinci, A., Tonkaz, T., 2014. The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. Hindawi Publishing Corporation, *Scientific World Journal*, 1: 769732.
- Costa França, M.G., Pham Thi, A.T., Pimentel, C., Pereyra Rossiello, R.O., Zuily-Fodil, Y., Laffray, D., 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 43(3): 227-237.
- Demiral, T., Türkan, İ., 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 53: 247-257.
- Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., Çiçek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75: 34-42.
- FAO, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>), (Erişim Tarihi: 01.03.2024).
- Feng, Y., Kreslavski, V.D., Shmarev, A.N., Ivanov, A.A., Zharmukhamedov, S.K., Kosobryukhov, A., Shabala, S., 2022. Effects of iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*) Plants. *Plants*, 11(14): 1894.
- García-Legaz, M.F., López-Gómez, E., Beneyto, J.M., Navarro, A., SánchezBlanco, M.J., 2008. Physiological behaviour of loquat and anger rootstocks in relation to salinity and calcium addition. *Journal of plant physiology*, 165(10): 1049-1060.
- Hasanov, M., 2023. Tuz stresine maruz bırakılan çilek bitkisinde farklı putresin dozlarının fizyolojik faaliyetler üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Hoffmann, J., Berni, R., Hausman, J. F., Guerriero, G., 2020. A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops: tomato as a model. *Biomolecules*, 10(9): 1284.
- İpek, M., 2015. In vitro şartlarda Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarının kurak stresine karşı tepkilerinin belirlenmesi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İpek, M., Pırlak, L., Eşitken, A., Dönmez, M.F., Şahin, F., 2009. Kireçli topraklarda yetiştirilen çilekte bitki büyümesini artıran bakterilerin (BBAB) verim ve gelişme üzerine etkileri. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Kongre Bildiriler Kitabı, 10-12 Haziran, Kahramanmaraş, s. 73-77.
- Karlidağ, H., Esitken, A., Yildirim, E., Donmez, M.F., Turan, M., 2010. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 34(1): 34-45.
- Karlidağ, H., Yildirim, E., Turan, M., 2009. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, 66(2): 180-187.
- Kaya, C., Ak, B.E., Higgs, D., Murillo-Amador, B., 2002. Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(5): 631-636.

- Kluge, M., 1976. In *Water and Plant Life: Problems and Modern Approaches* (Ed: O.L. Lange, L. Kappen, E.D. Schulze). *Carbon and nitrogen metabolism under water stress*, Springer Berlin Heidelberg. pp. 243-252.
- Koç, A., Balcı, G., Ertürk, Y., Keles, H., Bakoğlu, N., 2015. San Andreas çilek çeşidinde farklı tuz konsantrasyonlarında mikroorganizma uygulamalarının meyve kalitesi üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8(2): 47-51.
- Li, J., Ma, Y., Xie, Y., 2021. Stimulatory effect of Fe₃O₄ nanoparticles on the growth and yield of *Pseudostellaria heterophylla* via improved photosynthetic performance. *HortScience*, 56(7): 753-761.
- Liu, C., Mao, B., Yuan, D., Chu, C., Duan, M., 2022. Salt tolerance in rice: Physiological responses and molecular mechanisms. *The Crop Journal*, 10(1): 13-25.
- Machado, R.M.A., Serralheiro, R.P., 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2): 30.
- Mazzoni, L., Di Vittori, L., Balducci, F., Forbes-Hernández, T.Y., Giampieri, F., Battino, M., Mezzetti, B., Capocasa, F., 2020. Sensorial and nutritional quality of inter and intra—Specific strawberry genotypes selected in resilient conditions. *Scientia Horticulturae*, 261: 108945.
- Moradbeygi, H., Jamei, R., Heidari, R., Darvishzadeh, R., 2020. Investigating the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense by applying iron oxide nanoparticles in *Dracocephalum moldavica* L. plant under salinity stress. *Sci Hortic.*, 272: 109537
- Mozafari, A.A., Asl, A.G., Ghaderi, N., 2018. Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage under in vitro conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 24(1): 25-35
- Özkorkmaz, F., Öner, F., 2022. Potasyum nitratın (KNO₃) tuz stresi altındaki mısır (*Zea mays indentata* L.) bitkisinde çimlenme özellikleri Üzerine Etkileri. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(4): 806-815.
- Pırlak, L., Eşitken, A., 2004. Salinity effects on growth, proline and ion accumulation in strawberry plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54(3): 189-192.
- Rahman, S.M.L., Mackay, A.W., Quebedeaux, B., Nawata, E., Sakuratani, T., Mesbah Uddin, A.S.M., 2002. Superoxide dismutase activity, leaf water potential, relative water content, growth and yield of a drought-tolerant and a drought-sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Subtropical Plant Science*, 54: 16-22.
- Saidimoradi, D., Ghaderi, N., Javadi, T., 2019. Salinity stress mitigation by humic acid application in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 256: 108594.
- Sanchez, F.J., Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L., 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86: 81-90.
- Sarkar, R.D., Singh, H.B., Kalita, M.C., 2021. Enhanced lipid accumulation in microalgae through nanoparticle-mediated approach, for biodiesel production: A mini-review. *Heliyon*, 7(9): e08057
- Shaw, D.V., Larson, K.D., 2006. Strawberry plant named “Albion”. Patent US PP16228 P3. *The Regents of the University of California, Oakland, CA*.
- Tawfik, M.M., Mohamed, M.H., Sadak, M.S., Thaloonth, A.T., 2021. Iron oxide nanoparticles effect on growth, physiological traits and nutritional contents of *Moringa oleifera* grown in saline environment. *Bulletin of the National Research Centre*, 45: 1-9.

- Türemiş, N.F., Burğut, A., Sayğı, H., 2021. Organik tüplü çilek fidesi üretim yöntemlerinin geliştirilmesi. *Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Enstitü Yayın No: 103.*
- Türkan, I., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H., 2005. Differential response of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168: 223–231.
- Waqas Mazhar, M., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Akram, R., Shahid, A., Shokralla, S., Al-Ghobari, H., Alataway, A., Dewidar, A.Z., El-Sabrout, A.M., 2022. Seed priming with iron oxide nanoparticles raises biomass production and agronomic profile of water-stressed flax plants. *Agronomy*, 12(5): 982.
- Yaghubi, K., Vafae, Y., Ghaderi, N., Javadi, T., 2019. Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12): 1439–1451.
- Yaşar, F., Yıldırım, Ö., Üzal, Ö., 2020. Tuz stresi altındaki biber bitkisindeki kalsiyum uygulamalarının antioksidatif enzim aktivitelerine etkisinin araştırılması. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(2): 346-357.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., Shabala, S., 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The innovation*, 1(1).

Atf Şekli	Öztürk Erdem, S., 2024. Farklı Dozlarda Uygulanan Fe ₃ O ₄ Nanopartikülünün Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Çilek (<i>Fragaria × ananassa</i> Duch, cv. ‘Albion’) Bitkilerinin Büyüme Özellikleri Üzerine Etkisi. <i>ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 8(3): 804-812. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13121183 .
To Cite	Öztürk Erdem, S., 2024. The Effect of Fe ₃ O ₄ Nanoparticles Applied at Different Doses on the Growth Characteristics of Strawberry (<i>Fragaria × ananassa</i> Duch, cv. ‘Albion’) Plants Under Salt Stress. <i>ISPEC Journal of Agricultural Sciences</i> , 8(3): 804-812. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13121183 .