

Fe₃O₄ NANOPARTİKÜLLERİNİN KURAKLIK STRESİ ALTINDAKİ AMERİKAN ASMA ANAÇLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

Selda DALER*

Dr., Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat; ORCID: 0000-0003-0422-1444

ÖZ

İklim değişikliği ve küresel ısınmadan kaynaklanan zararlanmalar, geniş üretim alanına ve yüksek ekonomik getiriye sahip bitki türlerinde ciddi ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Son yıllarda, 1-100 nm boyutlarındaki nanopartiküller (NP'ler), bitki büyüme ve gelişiminin düzenlenmesi, biyotik ve abiyotik stresin azaltılması ve dolayısıyla verim ile kalitenin iyileştirilmesi gibi sürdürülebilir yollarla modern tarıma katkı sağlayan etkili bir strateji olarak gündeme gelmiştir. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlardaki demir oksit (Fe₃O₄) NP uygulamalarının kuraklık stresi altındaki 1103 P Amerikan asma anaçları üzerine etkileri incelenmiştir. Çeliklerin dikimden ~8 hafta sonra; 0, 0.01, 0.1 ve 1 ppm konsantrasyonlardaki Fe₃O₄ NP solüsyonları tüm yeşil aksam pülverizasyon yöntemiyle uygulanmıştır. Fe₃O₄ NP uygulamalarından ~4 hafta sonra başlanarak yetiştirme dönemi boyunca; bitkilerin bulunduğu ortamların nemi, tarla kapasitesinin %30-40'ı aralığında tutulacak şekilde kısıtlı sulama yapılmış, kontrol gruplar ise tarla kapasitesinin %70-80'i aralığında sulanmıştır. Toplam 120 günlük yetiştirme periyodunun ardından deneme sonlandırılarak, asma fidanlarına ait morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, Fe₃O₄ NP uygulamalarının klorofil, prolin ve toplam fenolik madde miktarını artırarak; membran zararlanma indeksi ve lipid peroksidasyonunu ise azaltarak kuraklık stres toleransının iyileştirilmesinde etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, Fe₃O₄ NP'lerin asmalarda kuraklık stresinin azaltılması bakımından etkili bir strateji olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 1103 P, Fe₃O₄, nanopartikül, kuraklık stresi

THE EFFECTS OF Fe₃O₄ NANOPARTICLES ON DROUGHT-STRESSED AMERICAN GRAPEVINE ROOTSTOCKS

ABSTRACT

In this study, the effects of Fe₃O₄ NP applications at different concentrations on 1103 P American grapevine rootstocks exposed to drought stress were investigated. ~8 weeks after planting of cuttings, Fe₃O₄ NP solutions at 0, 0.01, 0.1 and 1 ppm concentrations were applied to all green parts by the pulverization method. Starting ~4 weeks after Fe₃O₄ NP applications, throughout the growing period; deficit irrigation was used to keep the humidity of the ambients in which the plants are located in the range of 30-40% of the field capacity, while the control groups were irrigated in the range of 70-80% of the field capacity. After a total cultivation period of 120 days, the trial was terminated, and the morphological, physiological and biochemical parameters were analyzed. According to the research findings, it was determined that it was effective in improving drought stress tolerance of Fe₃O₄ P applications, by increasing the amount of chlorophyll, proline and total phenolic substances, by reducing membrane damage index and lipid peroxidation. As a result of the research, it was concluded that Fe₃O₄ NPs are an effective strategy for reducing drought stress in grapevines.

Keywords: 1103 P, Fe₃O₄, nanoparticle, drought stress

GİRİŞ

Modern çağın endüstriyel devrimi olarak nitelendirilen nanoteknoloji (NT), nanometre ölçeğinde (1-100 nm) tasarlanan atomik ve moleküler malzemeler kullanılarak yürütülen araştırmaları ve geliştirilen teknolojileri ifade etmektedir [45, 75]. Nanoteknoloji; organik veya sentetik yapıdaki moleküllerin veya düzeneklerin, fiziksel ve kimyasal yapılarının incelenmesi, mevcut malzemelerin farklı üretim süreçlerinden geçirilerek daha dayanıklı, etkin

ve işlevsel hale getirilmesi; ayrıca hammadde ve enerji tasarrufu sağlanması konularını içeren bir bilim dalıdır [42, 33]. Faydaları ve potansiyel kullanım alanları oldukça fazla olan NT; enerji, ulaşım, ilaç, tekstil, tarım ve kozmetik gibi çeşitli bilimsel disiplinleri ve faaliyet sektörlerini kapsayan kolaylaştırıcı bir teknolojiler bütünüdür [55, 36, 34, 70, 75].

NT'nin tarım sistemlerinde kullanımı "Fitonanoteknoloji" olarak adlandırılmaktadır [72, 24]. Son yıllarda araştırmacılar tarafından geleneksel

*Sorumlu yazar / Corresponding author: selda.daler@yobu.edu.tr

tarım algısını değiştirmek amacıyla geliştirilen stratejiler arasında NT'nin; çimlenme, fide gelişimi ve sonraki aşamalarda bitkilerin büyümesini modüle etmedeki başarıları sayesinde, tarım sektöründe devrim yaratma niteliğinde olduğu ifade edilmektedir [25, 38].

NT'nin temelini oluşturan nanopartiküller (NP'ler), yüzey-hacim oranları, boyut ve optik nitelikleri gibi ayırt edici fizikokimyasal özelliklerinden dolayı tarımsal alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir [14, 64]. Tarımsal amaçlar için modifiye edilen NP'ler, nano-gübreler kullanılarak besin maddelerinin yavaş ve kontrollü salınımı [57] ile bitki gelişiminin düzenlenmesi [63], Nano-elisitörlerle bitkilerde sekonder metabolitlerin üretimi, nano-kapsüllenmiş pestisitlerle aktif bileşenlerin yavaş ve sürekli dağıtımı, nano-filmlerle tarımsal gıda ürünlerinin muhafaza süresinin uzatılması [13], bitki patojenlerinin ve pestisitlerin hızlı tespiti için nano-biyosensörlerin kullanımı [20], toprak ve su kirlenmelerinin nano-biyoremediasyonu [56, 64] ve su kullanım etkinliğinin artırılması gibi sürdürülebilir yollarla modern tarıma katkıda bulunmaktadır [61, 68, 58, 16, 17, 71, 78].

Sürdürülebilir kalkınmanın temeli olan su, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerindeki tarımsal sistemlerde, bitki verimliliğini kısıtlayan en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [22]. Son zamanlarda yaşanan iklimsel değişikliklerin potansiyel etkileri arasında; yıllık ortalama sıcaklıkların artmasıyla "küresel ısınma" olarak adlandırılan sıcak hava dalgalarının ve aşırı yüksek sıcaklık olaylarının giderek yaygınlaşması gündeme gelmektedir [30, 15]. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından yayınlanan raporlara göre, küresel olarak hava ve yüzey sıcaklıklarının ortalama 1-4.5°C aralığında yükseleceği ve kuraklık olaylarının daha yaygın ve şiddetli hale geleceği; bunun sonucunda da bağlardaki kuraklık kaynaklı zararlanmaların artacağı ve önemli ekonomik kayıpların yaşanabileceği tahmin edilmektedir [6, 7, 53, 54]. Dünya üzerinde 77.4 milyon tonluk üzüm üretim miktarı ile 7.3 milyon hektarlık geniş bir yüzey alanına sahip olan bağcılığın, kuraklık stresinden etkilenebilecek başlıca tarım sektörleri arasında yer aldığı bildirilmektedir [4, 26, 77, 8].

Bağcılığın yaygın olarak sürdürüldüğü diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de bağ alanlarının filoksera zararlısı ile bulaşık olması, bu zararlıya dayanıklı Amerikan asma anaçlarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir [74, 21, 18]. 99 R, 110 R, 420 A, 1103 P ve Rupestris du Lot gibi kuraklığa toleranslı anaçların, bağcılıkta kuraklığın neden olduğu zararın hafifletilmesi ve aynı zamanda hasat edilen üzümlerin verim ve kalitesinin korunması

bakımından yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [3]. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde; hüresel aktivitelerin baskılanması [32], klorofil ve karotenoid içeriğinin azalması [31], plazma membran bütünlüğü ve protein işleyişine zarar veren reaktif oksijen türlerinin (ROS) indüklenmesi [23, 10], redoks homeostazının ve metabolik fonksiyonların bozulması, stomaların kapanması, net fotosentez hızında önemli düşüşler yaşanması ve paralelinde verim kayıplarının meydana gelmesi gibi morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal birtakım tepkiler meydana gelmektedir [41, 29, 80]. Bitkiler kuraklık stresine, uyumlu çözümlerin (prolin, glisin betain vb.) birikimi, fotosentetik parametrelerin düzenlenmesi, stresle ilişkili primer ve sekonder metabolitlerin sentezi, süperoksit dismutaz "SOD", katalaz "CAT", askorbat peroksidaz "APX" ve peroksidaz "POX" gibi antioksidan enzimlerin aktivasyonu ya da gen ifadesindeki değişiklikler gibi çeşitli stratejilerle karşı koymaktadır [49, 23, 46, 35]. Bununla birlikte, antioksidan savunma sistemleri, uzun süreli kuraklık stresi koşullarında ROS'un zararlı etkilerini azaltmak için yeterli gelmeyebilmektedir. Bu nedenle bitki savunma sisteminin teşvik edilerek, kuraklık stresine karşı toleransının artırılması bakımından alternatif uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından bitkilerin yüksek verimini korumaya yönelik stratejik ve rasyonel yaklaşımların geliştirilmesi tarımsal üretimin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar tarımsal alanlarda sürdürülebilirliğin sağlanması açısından NP uygulamalarının güçlü bir potansiyel taşıdığına dikkat çekmektedir [19, 73, 48, 76, 1, 43]. NP'lerin stres toleransını iyileştirmedeki etkinliği bitki türlerine göre değişmekle birlikte, en etkili konsantrasyon aralığı da farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, NP'lerin kuraklığın neden olduğu strese karşı asmaların savunma mekanizmaları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüş herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle asmanın kuraklık stres toleransı üzerine NP uygulamalarının etki mekanizmalarının aydınlatılmasına ve en etkili konsantrasyon aralıklarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, asmanın toprak altı aksamını oluşturan ve kuraklık stresinin yaratmış olduğu olumsuz koşullardan birinci derecede etkilenecek olan Amerikan asma anaçlarında, Demir oksit (Fe_3O_4) NP uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 1103 P anacı kuraklık stresine maruz bırakılarak, farklı konsantrasyonlardaki Fe_3O_4 NP uygulamalarının; morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma NP uygulamalarının

kuraklık stresine maruz bırakılan asmalar üzerindeki etkilerinin değerlendirileceği ilk çalışma olmakla birlikte; morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametrelere ilişkin ilk verileri sağlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmanın Yürütüldüğü Yer ve Yıl

Kuraklık stresine maruz bırakılan asma anaçlarının morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine Fe₃O₄ NP uygulamalarının etkilerinin incelendiği bu çalışma, 2021-2022 yılları arasında Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesinde mevcut araştırma serası ve laboratuvarlarında yürütülmüştür.

Bitki Materyali

Araştırmada bitkisel materyal olarak, 1103 Paulsen (1103 P) Amerikan asma anaçlarına ait 1 yıllık odunsu çelikler kullanılmıştır. Bitkisel materyaller Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. “*V.berlandieri* × *V.rupestris*” melezi 1103 P anacı, %17-18 aktif kirece dayanım gösteren, alt katmanları killi-kireçli ve nemli topraklara adapte olabilen, kurak koşullara dayanıklı, tuzluluğa ve kök-ur nematodlarına orta derecede dayanıklı, kuvvetli bir anaçtır. Çeliklerinin köklenmesi kolay, aşılama randımanı yüksektir [18].

Yetiştirme Ortamlarının Hazırlanması ve Çeliklerin Dikimi

1103 P Amerikan asma anaçlarına ait bir yıllık çelikler, üzerlerinde 2'şer göz bulunacak şekilde 20-25 cm uzunluklarda hazırlanmış ve Indol Butirik Asit (IBA, 2000 ppm) içerisine hızlı daldırma yapıldıktan sonra, eşit hacimde steril torf:perlit (1:1) içeren, 11×11×22 cm boyutlarındaki polietilen malzemeden yapılmış potlara dikilmişlerdir. Çelikler, dikim işleminin hemen ardından sulanmış ve su potların drenaj deliklerinden dışarı çıkıncaya kadar sulama işlemine devam edilmiştir.

Bitkilerin Yetiştirilmesi

Bitkilerin yetiştirildiği, Fe₃O₄ NP ve stres uygulamalarının gerçekleştirildiği araştırma alanı, ~200 m² büyüklüğünde, yay çatılı, polikarbon malzemeden yapılmış, içerisinde %55'lik gölge perdesi, fanlı ısıtıcı, fan & pad ve havalandırma sistemi bulunan beton zeminli bir seradır. Denemenin kurulduğu serada, üzerinde potların yerleştirildiği; 5 m uzunluğunda, 1.20 m genişliğinde, yerden 80 cm yükseklikte ve 20 cm derinlikte köklendirme masaları bulunmaktadır. Dikim işleminin ardından çelikler, düşük sıcaklık uygulamalarının gerçekleştirileceği zamana kadar 15'er gün aralıklarla, Ollat vd. [52]

tarafından asma fidanı yetiştiriciliği için önerilen ve bileşiminde KH₂PO₄ (1.0 mM), KNO₃ (2.5 mM), NaFe (III)-EDTA (45 µM), MgSO₄.7H₂O (1.0 mM), Ca(NO₃)₂.4H₂O (2.5 mM), ZnSO₄.7H₂O (2.40 µM), CuSO₄ (0.5 µM), H₃BO₃ (46.4 µM), MnCl₂.4H₂O (9.2 µM) ve Na₂MoO₄ (0.013 µM) bulunan besin solüsyonu ile sulanmış ve solüsyonun pH'sı 6.5'e ayarlanmıştır.

Fe₃O₄ NP Uygulamaları

Çalışmada Fe₃O₄ NP kaynağı olarak, Sigma firmasına ait (CAS: 1317-61-9) Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile partikül boyutu belirlenmiş (50-100 nm) ticari ürün kullanılmıştır. Dikimden ~8 hafta sonra fidanlar üzerinde yeterli kök ve sürgün gelişiminin sağlanmasının ardından; 0, 0.01, 0.1 ve 1 ppm konsantrasyonlardaki Fe₃O₄ NP solüsyonları bitkilerin tüm yeşil yüzeyine pülverizasyon yöntemiyle uygulanmıştır.

Salisilik Asit Uygulaması

Kuraklık stresi üzerindeki olumlu etkileri önceki çalışmalarla ispatlanmış [37, 62, 2] salisilik asit (SA) uygulaması da kontrol amaçlı olarak denemeye dahil edilmiştir. Çalışmada SA kaynağı olarak, Merck firmasına ait (CAS: 69-72-7) ticari ürün kullanılmıştır. 1 mM konsantrasyondaki SA solüsyonu, Fe₃O₄ NP uygulamalarıyla eş zamanlı olarak bitkilerin tüm yeşil yüzeyine pülverizasyon yöntemiyle uygulanmıştır.

Kuraklık Stresi Uygulaması

Fe₃O₄ NP uygulamalarından ~4 hafta sonra başlanarak yetiştirme dönemi boyunca; bitkilerin bulunduğu ortamların nemi, tarla kapasitesini tamamlamak için verilecek suyun %30-40'ı aralığında tutulacak şekilde kısıtlı sulama yapılmış, kontrol gruplar ise Kulinich [40]'e göre tarla kapasitesinin %70-80'i aralığında sulanmıştır.

Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Yeterli kök ve sürgün gelişiminin sağlandığı 120 günlük yetiştirme periyodunun ardından deneme sonlandırılarak, asma fidanlarına ait sürgün taze ağırlığı (g), sürgün kuru ağırlığı (mg), sürgün uzunluğu (cm), sürgün sayısı (adet), yaprak sayısı (adet), yaprak yüzey alanı (cm²), kök taze ağırlığı (g), kök kuru ağırlığı (mg), kök uzunluğu (cm), köklenme oranı (%), fiziksel zararlanma derecesi (1-5 skalası), klorofil miktarı (SPAD), yaprak oransal nem içeriği (%), stoma iletkenliği (mmol.m⁻²sn⁻¹), yaprak sıcaklığı (°C), membran zararlanma indeksi (%), lipit peroksidasyonu (nmol.g⁻¹), prolin miktarı (µmol.g⁻¹) ve toplam fenolik madde miktarı (mg.g⁻¹) özellikleri incelenmiştir.

1. Morfolojik Özellikler

•**Sürgün Taze Ağırlığı:** Sürgünlerin taze ağırlığı 0.0001 g hassasiyetindeki analitik bir terazi yardımıyla tartılarak ortalamaları g olarak kaydedilmiştir.

•**Sürgün Kuru Ağırlığı:** Taze ağırlığı hesaplanan her bir sürgün, 72 saat süreyle 65°C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde bekletildikten sonra, kuru ağırlıkları 0.0001 g hassasiyetindeki analitik bir terazi yardımıyla tartılarak ortalamaları mg olarak belirlenmiştir.

•**Sürgün Uzunluğu:** Sürgünlerin uç noktasından başlanarak dip noktasına kadarki mesafe cetvel yardımıyla ölçülerek ortalamaları cm cinsinden kaydedilmiştir.

•**Sürgün Sayısı:** Fidanlara ait sürgünler tek tek sayılarak ortalamaları adet olarak kaydedilmiştir.

•**Yaprak Sayısı:** Sürgünlerin uç noktasında bulunan ilk tam açılmış yaprak, birinci yaprak kabul edilerek, tüm yapraklar dip kısma doğru sayılmış ve ortalamaları adet olarak kaydedilmiştir.

•**Yaprak Yüzey Alanı:** Her anaca ait sürgünlerin 1/3'lik orta kısımlarından alınan en az 3 olgun yaprağın büyüklüğü, alan ölçer (ADC BioScientific Area Meter AM 300) yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalamaları cm² cinsinden kaydedilmiştir.

•**Kök Taze Ağırlığı:** Fidanlara ait köklerin taze ağırlıkları 0.0001 g hassasiyetindeki analitik bir terazi yardımıyla ölçülerek ortalamaları g olarak kaydedilmiştir.

•**Kök Kuru Ağırlığı:** Taze ağırlıkları tespit edilen kökler, 65°C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde 72 saat süreyle bekletildikten sonra, kuru ağırlıkları 0.0001 g hassasiyetindeki analitik bir terazi yardımıyla tartılmış ve ortalamaları mg olarak belirlenmiştir.

•**Kök Uzunluğu:** Anaçlar üzerindeki en uzun kökün çıkış noktası ile son bulduğu nokta arasındaki mesafe bir cetvel yardımıyla cm olarak ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

•**Köklenme Oranı:** Fidanlar söküldükten sonra köklü bitkilerin sayısının toplam bitki sayısına oranlanmasıyla belirlenmiş ve ortalamaları %olarak ifade edilmiştir [60].

•**Fiziksel Zararlanma Derecesi:** Fidanların yapraklarındaki kloroz zararına ilişkin gözlemler Anonymous [5]'a göre 1-5 skalası temel alınarak gerçekleştirilmiştir: [1] Kloroz yok (yapraklar koyu yeşil renkte); [2] Az kloroz (damarların arası açık yeşil renkte); [3] Orta derecede kloroz (ana damarlar yeşil renkte, damar araları sarı renkte); [4] Şiddetli kloroz (%10 oranından daha az nekrozların görüldüğü sarı renkteki yapraklar); [5] Çok şiddetli kloroz (%10 oranından daha fazla nekrozların

görüldüğü sarı renkteki yapraklar) şeklinde puanlanmıştır.

2. Fizyolojik Özellikler

•**Klorofil Miktarı:** Her sürgün üzerindeki 3 farklı yaprağın, ana damarlara yakın olan 2 bölgesinden Konica Minolta SPAD-502 marka klorofilmetre cihazıyla ölçülmüş ve elde edilen ortalamalar SPAD cinsinden kaydedilmiştir [27].

•**Yaprak Oransal Nem İçeriği:** Yamasaki ve Dillenburg [79]'ün yöntemine göre yaprak örneklerinin oransal su kapsamı; hasattan hemen sonra ölçülen yaş ağırlıkları (YA), 6 saat saf su içerisinde bekletilerek saptanan turgor ağırlıkları (TA) ve 80°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tespit edilen kuru ağırlıkları (KA) dikkate alınarak aşağıdaki formüle göre yüzde (%) cinsinden hesaplanmıştır.

$$\text{Yaprak Oransal Nem İçeriği (\%)} = \frac{YA - KA}{TA - KA} \times 100$$

•**Stoma İletkenliği:** Sürgünlerin üstten 4. yapraklarında, SC-1 Leaf Porometer (Decagon, Pullman, WA) marka porometre cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Porometre üzerinde yer alan okuma sensörü ölçüm yapılacak yaprağın alt kısmında, damarların aralarına denk getirilerek yerleştirilmiş ve elde edilen değerler mmol.m⁻²sn⁻¹ olarak kaydedilmiştir.

•**Yaprak Sıcaklığı:** Sürgünlerdeki üstten 4. yaprakların yüzey sıcaklıkları porometre cihazı yardımıyla stoma iletkenliğiyle eş zamanlı olarak ölçülmüş ve elde edilen değerler °C olarak kaydedilmiştir.

•**Membran Zararlanma İndeksi:** Cork-borer aleti yardımıyla 5 farklı yapraktan 6'şar mm çapında diskler çıkarılarak 20 ml deiyonize su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra; Jenway 470 condimeter marka EC metre ile EC₁ değerleri ölçülmüş, aynı diskler 100°C'de 10 dk inkübe edildikten sonra çözeltilerin EC₂ ölçümü gerçekleştirilerek elde edilen değerden, membran zararlanma indeksi (MZİ) yüzde (%) olarak belirlenmiştir [51].

$$\text{MZİ (\%)} = \frac{EC^1}{EC^2} \times 100$$

3. Biyokimyasal Özellikler

•**Lipit Peroksidasyonu:** Lutts vd. [44]'nın metoduna göre belirlenmiştir. 1 g yaprak örneği, 10 ml %0.1'lik TCA içerisinde homojenize edilmiş ve ardından homojenat 9.000 rpm'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Oluşan süpernatanttan 1 ml alınarak, içerisinde %0.5'lik TBA (tiyobarbütirik asit) bulunan %20'lik TCA çözeltisinden 4 ml ilave edilmiştir. Reaksiyon, karışımın 100°C'de 30 dk bekletilmesiyle gerçekleştirilmiş ve tüplerin buz banyosuna aktarılmasıyla birlikte durdurulmuştur. Absorbsiyon değerleri, spektrofotometrik olarak 532 ve 600

nm’lerde ölçülmüş ve elde edilen değerler formüle yerleştirilerek MDA miktarları belirlenmiştir.

$MDA = [(A532 - A600) \times \text{Ekstrakt Hacmi (ml)} / 155 \text{ mM/cm} \times \text{Örnek Miktarı (mg)}]$

formülüyle hesaplanmıştır. Sonuçlar nmol.g^{-1} doku olarak kaydedilmiştir.

•*Prolin Miktarı*: Bates vd. [12]’nin prosedürüne göre belirlenmiştir. Yaprak örnekleri (~0.5 g) 7.5 ml %3’lük sülfosalisilik asit kullanılarak homojenize edilmiştir. Homojenatlar 6000 rpm’de 10 dk santrifüj edilmiş ve süpernatanttan 2 ml alınarak üzerine 1 ml glasiyel asetik asit ve 1 ml asit ninhidrin çözeltisi eklenerek, 1 saat süreyle 100°C’de inkübe edilmiştir. Bekleme süresinin ardından tüpler soğuk su banyosuna alınarak reaksiyon durdurulmuş ve tüplerin üzerine 4 ml tolüen eklenerek vorteks işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşan üst faz alınarak UV spektrofotometrede 520 nm’de okuma yapılmıştır. Kör numune olarak tolüen kullanılmış; elde edilen sonuçlar, prolin standardıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisi yardımıyla $\mu\text{mol.g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir.

•*Toplam Fenolik Madde Miktarı*: Ekstraksiyon işlemi Kiselev vd. [39]’nin prosedürüne göre yapılmıştır. ~0.5 g tartılan yapraklara 10’ar ml etanol eklenerek homojenizasyon yapılmıştır. Ardından örnekler, 50°C’de 30 dk süreyle inkübasyona bırakılmış ve sürenin sonunda 6000 rpm’de 10 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatantlar temiz tüplere aktararak, evaporatör cihazı yardımıyla etanolün uçması sağlanmış ve ardından tüp içerisinde kalan kısım 1 ml metanolde çözülmüştür. Yaprakların toplam fenolik madde miktarları, Folin Ciocalteu kolorimetrik metodu kullanılarak, Singleton ve Rossi [66]’nin yöntemine göre saptanmıştır. Absorbans değerleri, Perkin Elmer Lambda 25 UV spektrofotometre cihazı yardımıyla, 765 nm dalga boyunda tespit edilmiş ve alınan sonuçlar, gallik asit eşdeğeri (GAE) şeklinde mg.g^{-1} cinsinden, standart gallik asit çözeltisinden hazırlanan bir eğri yardımıyla hesaplanmıştır.

Deneme Deseni ve Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre, 3 tekerrürlü olarak dizayn edilmiş ve her tekerrürde 20 adet bitki yer almıştır. Elde edilen veriler; IBM SPSS 20.0 paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde ise Duncan çoklu karşılaştırma metodu ($p < 0.05$) kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fe_3O_4 NP’leri kuraklık stresi altındaki asmalarda morfolojik (Çizelge 1), fizyolojik (Çizelge 2) ve biyokimyasal (Çizelge 3) birtakım değişiklikler

meydana getirmiştir. Araştırma bulgularına göre sürgün taze ağırlıklarına ait en yüksek değerlerin 7.19 g olarak sulu kontrol uygulamasından elde edildiği belirlenirken; en düşük ortalamaların 4.21 g ile kurak kontrol uygulamasından alındığı saptanmıştır. Ayrıca SA uygulamasıyla birlikte, tüm Fe_3O_4 NP uygulamalarından elde edilen ortalamaların kurak kontrolden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Elde edilen verilere göre sürgün kuru ağırlıklarına ait en yüksek değerlerin 0.1 ve 1 ppm konsantrasyonlarında ki Fe_3O_4 NP uygulamalarından sırasıyla, 1518.52 ve 1634.09 mg olarak elde edildiği belirlenirken; 0.01 ppm Fe_3O_4 NP ve SA uygulamalarının sulu ve kurak kontrollerle aynı istatistiksel grupta yer aldığı saptanmıştır. Yürütülen çalışmalar, demir oksit NP’lerin bitkilerin büyüme ve verimini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur [65, 28, 59]. Askary vd. [9] tarafından yürütülen araştırmada, *Catharanthus roseus*’a uygulanan 0, 5, 10, 20, 30 ve 40 mM konsantrasyonlardaki demir oksit NP’lerin, 70 günün sonunda bitki büyüme parametreleri, fotosentetik pigmentler ve toplam protein içeriklerinde önemli artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Sürgün sayısı bakımından en yüksek değerlerin 1.94 adet ile sulu kontrol uygulamasından elde edildiği belirlenirken; 0.1 ppm Fe_3O_4 NP uygulamasının diğer kuraklık uygulamalarından daha yüksek ortalamalara sahip olduğu kaydedilmiştir. Bununla birlikte hem SA uygulaması hem de Fe_3O_4 NP uygulamaları kurak kontrolden daha yüksek ortalamalara sahip olmuştur. Araştırma bulgularına göre, ortalama sürgün uzunluklarına ait en yüksek değerlerin 36.99 cm ile sulu kontrolden elde edildiği kaydedilirken; en düşük ortalamaların 18.76 cm ile kurak kontrol uygulamasından alındığı belirlenmiştir. Kuraklık uygulamaları arasında en yüksek değerlerin yüksek konsantrasyonlarındaki Fe_3O_4 NP uygulamalarından elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, SA uygulamasıyla birlikte, tüm Fe_3O_4 NP uygulamalarından elde edilen değerlerin kurak kontrole kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Paralel olarak, Bastani vd. [11], Nano demir (Fe) kompleksinin, tütünde bitki büyümesini olumlu yönde etkilediğini bildirmiştir. Yaprak sayısı bakımından en yüksek ortalamaların sulu kontrol (6.14 adet) ve 1 ppm Fe_3O_4 NP uygulamalarından (5.81 adet) elde edildiği belirlenirken; 0.01 ppm Fe_3O_4 NP ve SA uygulamalarının, kurak kontrol uygulamasıyla aynı istatistiksel grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Yaprak yüzey alanı bakımından en yüksek değerlerin 95.44 cm^2 ile sulu kontrol uygulamasından elde edildiği belirlenirken; kuraklık uygulamaları arasında en yüksek değerlerin yüksek konsantrasyonlarındaki Fe_3O_4 NP ile SA uygulamalarından elde edildiği belirlenmiştir. Aynı

zamanda, SA ile birlikte tüm Fe₃O₄ NP uygulamalarından elde edilen ortalamaların kurak kontrolden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Fe₂O₃ NP uygulamalarının tuzluluk stresi uygulanan *Dracocephalum moldavica* L.'da toplam flavonoid miktarı, toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı olmak üzere sekonder metabolit içeriğini ve aynı zamanda GPX, APX, CAT ve GR gibi antioksidan enzimlerle birlikte antioksidan savunmayı artırdığı saptanmıştır [47]. Araştırma bulgularına göre kök taze ağırlıklarına ait en yüksek değerlerin sulu kontrol ve 0.1 ppm Fe₃O₄ NP uygulamalarından, sırasıyla 1.82 ve 1.76 g olarak elde edildiği belirlenirken; 1 ppm Fe₃O₄ NP uygulamasının, SA ile aynı istatistiksel grupta yer aldığı ve en düşük ortalamaların ise 0.87 g ile kurak kontrolden elde edildiği tespit edilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda kök kuru ağırlıklarına ait en yüksek değerlerin 90.53 mg ile 0.1 ppm Fe₃O₄ NP uygulamasından elde edildiği belirlenirken; en düşük ortalamaların kurak kontrol ve 0.01 ppm Fe₃O₄ NP uygulamalarından, sırasıyla 73.10 ve 74.46 mg olarak alındığı tespit edilmiştir. Kök uzunluklarına ait en yüksek değerlerin sulu kontrol uygulamasından 46.41 cm olarak elde edildiği kaydedilirken; en düşük değerlerin kurak kontrol ve SA uygulamalarından, sırasıyla 32.13 ve 34.07 cm olarak alındığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tüm Fe₃O₄ NP uygulamalarından elde edilen ortalamaların kurak kontrolden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Rui vd. [59], *Arachis hypogaea*'da (yer fıstığı) Fe₂O₃ NP'lerin geleneksel Fe gübrelerine kıyasla, bitki kök uzunluğu, bitki boyu, bitki biyokütlesi ve SPAD değerlerini artırdığını tespit etmiştir. Verilere göre en yüksek köklenme oranlarının %94.35 ile 1 ppm Fe₃O₄ NP uygulamasından elde edildiği belirlenirken, bu ortalamaların sulu kontrol ile aynı istatistiksel grupta yer aldığı kaydedilmiştir. Aynı özellik bakımından en düşük ortalamaların ise 75.48 ile kurak kontrol uygulamasından elde edildiği saptanmıştır. Bununla birlikte hem SA uygulaması hem de Fe₃O₄ NP uygulamaları kurak kontrolden daha yüksek ortalamalara sahip olmuştur. Fiziksel zararlanma derecesi bakımından en yüksek değerlerin kurak kontrol uygulamasından (3.22) alındığı gözlemlenirken; en düşük değerlerin ise sulu kontrol ve 1 ppm Fe₃O₄ uygulamalarından, sırasıyla 0.05 ve 0.50 olarak elde edildiği tespit edilmiştir.

Klorofil miktarı bakımından sulu kontrol (29.16) ile birlikte, 0.1 ppm Fe₃O₄ NP (25.08) ve 1 ppm Fe₃O₄ NP (23.71) uygulamalarından en yüksek değerlerin elde edildiği tespit edilirken; en düşük ortalamaların kurak kontrol uygulamasından (17.89) alındığı belirlenmiştir. Bununla birlikte SA uygulamasıyla

birlikte, tüm Fe₃O₄ NP uygulamalarının kurak kontrolden daha yüksek ortalamalara sahip olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgulara benzer olarak, Tagliavini ve Rombola [69], bitkilerin enzimatik aktivitelerinde demirin önemli bir rol oynadığını; fotosentetik indirgeme-oksidasyon reaksiyonlarında, solunumda, proteinlerin ve klorofilin biyosentezinde, atmosferik oksijenin biyolojik bağlanmasında, nitrat ve nitritlerin indirgenmesinde aktif olarak yer aldığını ifade etmektedir. Bir diğer çalışmada, Fe₂O₃ NP'lerin, *Zingiber officinale* Rosc.'de (Zencefil) protein, klorofil ve karotenoid içeriğini artırdığı saptanmıştır [67]. Elde edilen bulgulara göre, yaprak oransal nem içeriği bakımından en yüksek değerlerin sulu kontrol (%88.34) ve 0.1 ppm Fe₃O₄ NP (%72.77) uygulamalarından elde edildiği belirlenirken; en düşük ortalamaların kurak kontrolden (%55.57) alındığı ve bu değerlerin 0.01 ppm Fe₃O₄ NP ve SA uygulamalarıyla aynı istatistiksel grupta yer aldığı saptanmıştır. Araştırmada, stoma iletkenliği bakımından en düşük ortalamaların kurak kontrol ve 0.01 ppm Fe₃O₄ NP uygulamalarından sırasıyla 80.52 mmol.m⁻²sn⁻¹ ve 97.61 mmol.m⁻²sn⁻¹ olarak alındığı belirlenirken; en yüksek değerlerin 181.64 mmol.m⁻²sn⁻¹ olarak sulu kontrol uygulamasından alındığı kaydedilmiştir. Ayrıca, yüksek dozdaki Fe₃O₄ NP uygulamaları, kuraklık koşullarındaki diğer uygulamalara kıyasla daha etkili bulunmuştur. Bulgulara göre, yaprak sıcaklığı bakımından en düşük değerlerin, sulu kontrol (30.51°C) uygulamasıyla birlikte, 0.1 ppm Fe₃O₄ NP (30.54°C) ve SA (30.63°C) uygulamalarından alındığı tespit edilirken; en yüksek ortalamaların kurak kontrol (30.98°C) gruplarından elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, SA ile birlikte tüm Fe₃O₄ NP uygulamalarının kurak kontrolden daha düşük yaprak sıcaklığı ortalamalarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, membran zararlanma indeksi bakımından en yüksek ortalamaların kurak kontrol ve SA uygulamalarından sırasıyla 25.12 ve 20.47 olarak alındığı kaydedilirken; en düşük ortalamaların ise sulu kontrol (12.45), 0.1 ppm Fe₃O₄ NP (14.36) ve 1 ppm Fe₃O₄ NP (14.99) gruplarından elde edildiği tespit edilmiştir.

Verilere göre, lipit peroksidasyonu bakımından en yüksek değerlerin kurak kontrol uygulamasından (23.16 µmol.g⁻¹) alındığı belirlenirken, en düşük değerlerin sulu kontrol (7.06 µmol.g⁻¹) ve 1 ppm Fe₃O₄ NP (9.85 µmol.g⁻¹) uygulamalarından elde edildiği kaydedilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı bakımından en yüksek ortalamaların 0.1 ve 1 ppm Fe₃O₄ NP uygulamalarından sırasıyla 17.19 ve 17.85 mg.g⁻¹ olarak elde edildiği tespit edilirken; en düşük ortalamaların 5.79 mg.g⁻¹ ile sulu kontrol uygulamasından alındığı belirlenmiştir. Prolin

miktarı bakımından en düşük ortalamaların sulu ($0.21 \mu\text{mol.g}^{-1}$) ve kurak ($0.29 \mu\text{mol.g}^{-1}$) kontrol uygulamalarından elde edildiği tespit edilirken; en yüksek değerlerin $0.41 \mu\text{mol.g}^{-1}$ ile $0.1 \text{ ppm Fe}_3\text{O}_4$ NP uygulamasından alındığı saptanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara paralel olarak, Mozafari vd. [50], *in vitro* koşullarda Khoshnaw üzüm çeşidinin yumuşak odun çeliklerinde, 0, 50 ve 100 mM konsantrasyonlarda tuzluluk stresi koşullarında, demir NP'lerin (0, 0.08 ve 0.8 ppm) etkilerini incelemiştirlerdir. Araştırmacılar, demir

NP'lerin, membran stabilitesi, toplam protein içeriği ve potasyum (K) içeriğini önemli ölçüde artırırken; malondialdehit (MDA) içeriği, antioksidan enzim aktivitesi, prolin miktarı, hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı ve sodyum (Na) içeriğini azalttığını saptamışlardır. Na/K oranının en yüksek, NP uygulaması yapılmayan yüksek tuzluluk koşullarından alınırken; en düşük oranın, 0.8 ppm demir NP uygulamaları ile stressiz koşullardaki bitkilerden elde edildiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 1. Fe_3O_4 NP'lerin kuraklık stresi altındaki asma fidanlarında meydana getirdiği morfolojik değişiklikler^z

Table 1. Morphological changes caused by Fe_3O_4 NPs in grapevine saplings under drought stress^z

Sulama şekli Irrigation method	Uygulamalar Applications	Sürgün taze ağırlığı Fresh weight of the shoot (g)	Sürgün kuru ağırlığı Dry weight of the shoot (mg)	Sürgün sayısı Number of shoots (adet)	Sürgün uzunluğu Length of shoots (cm)	Yaprak sayısı Number of leaves (adet)	Yaprak yüzey alanı Leaf surface area (cm ²)
Düzenli sulama Regular irrigation	Sulu kontrol Irrigated control	7.19±0.52 a	1129.38±55.86 b	1.94±0.04 a	36.99±1.77 a	6.14±0.29 a	95.44±0.51 a
Kısıtlı sulama Deficit irrigation	Kurak kontrol Drought control	4.21±0.21 d	1135.75±57.78 b	1.30±0.03 d	18.76±1.02 e	4.42±0.48 c	87.68±0.41 e
	1 mM SA	5.23±0.42 bc	1156.67±57.51 b	1.61±0.03 c	27.75±1.31 c	4.55±0.49 bc	92.23±0.49 bc
	0.01 ppm Fe_3O_4 NP	4.69±0.23 c	1183.24±58.97 b	1.57±0.03 c	23.17±1.24 d	4.48±0.50 bc	89.52±0.42 d
	0.1 ppm Fe_3O_4 NP	5.66±0.47 b	1518.52±76.14 a	1.82±0.04 b	27.43±1.29 c	5.23±0.25 b	91.95±0.49 c
	1 ppm Fe_3O_4 NP	5.87±0.49 b	1634.09±82.45 a	1.73±0.03 c	32.03±1.68 b	5.81±0.19 a	93.14±0.44 b

^zAynı sütündeki farklı üstel harfler ortalamalar arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P<0.05$). Ortalama ± Standart Hata. SA: Salisilik asit

^zDifferent exponential letters in the same column show the statistical difference between means ($P<0.05$). Mean ± Standard Error. SA: Salicylic acid.

Çizelge 2. Fe_3O_4 NP'lerin kuraklık stresi altındaki asma fidanlarında meydana getirdiği morfolojik değişiklikler (devamı)^z

Table 2. Morphological changes caused by Fe_3O_4 NPs in grapevine saplings under drought stress (continuation)^z

Sulama şekli Irrigation method	Uygulamalar Applications	Kök taze ağırlığı Root fresh weight (g)	Kök kuru ağırlığı Root dry weight (mg)	Kök uzunluğu Root length (cm)	Köklenme oranı Rooting rate (%)	Fiziksel zararlanma derecesi Degree of physical damage (1-5 skalası)
Düzenli sulama Regular irrigation	Sulu kontrol Irrigated control	1.82±0.09 a	81.87±2.48 b	46.41±2.35 a	93.24±2.47 a	0.05±0.01 d
Kısıtlı sulama Deficit irrigation	Kurak kontrol Drought control	0.87±0.04 d	73.10±2.17 c	32.13±1.60 c	75.48±2.39 c	3.22±0.34 a
	1 mM SA	1.41±0.07 b	84.05±2.54 b	34.07±1.73 bc	86.79±2.67 b	2.03±0.20 b
	0.01 ppm Fe_3O_4 NP	1.15±0.06 c	74.46±2.21 c	37.36±1.86 b	86.51±2.53 b	1.98±0.23 b
	0.1 ppm Fe_3O_4 NP	1.76±0.09 a	90.53±2.74 a	39.55±2.01 b	85.00±2.62 b	1.15±0.29 c
	1 ppm Fe_3O_4 NP	1.52±0.08 b	83.78±2.49 b	36.24±1.80 b	94.35±2.76 a	0.50±0.42 cd

^zAynı sütündeki farklı üstel harfler ortalamalar arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P<0.05$). Ortalama ± Standart Hata. SA: Salisilik asit

^zDifferent exponential letters in the same column show the statistical difference between means ($P<0.05$). Mean ± Standard Error. SA: Salicylic acid.

Çizelge 3. Fe_3O_4 NP'lerin kuraklık stresi altındaki asma fidanlarında meydana getirdiği fizyolojik değişiklikler^z

Table 3. Physiological changes caused by Fe_3O_4 NPs in grapevine saplings under drought stress^z

Sulama şekli Irrigation method	Uygulamalar Applications	Klorofil miktarı Chlorophyll content (SPAD)	Yaprak oransal nem içeriği Leaf relative moisture content (%)	Stoma iletkenliği Stomatal conductivity (mmol.m ⁻² sn ⁻¹)	Yaprak sıcaklığı Leaf temperature (°C)	Membran zararlanma indeksi Membrane damage index (%)
Düzenli sulama Regular irrigation	Sulu kontrol Irrigated control	29.16±1.97 a	88.34±9.03 a	181.64±15.46 a	30.51±0.07 c	12.45±1.45 c
Kısıtlı sulama Deficit irrigation	Kurak kontrol Drought control	17.89±1.94 d	55.57±5.36 d	80.52±9.75 d	30.98±0.08 a	25.12±2.31 a
	1 mM SA	22.74±2.42 bc	63.56±6.56 cd	102.48±10.55 c	30.63±0.03 c	20.47±2.25 ab
	0.01 ppm Fe_3O_4 NP	22.56±2.31 bc	65.13±6.31 b-d	97.61±11.46 cd	30.75±0.05 b	17.20±1.52 b
	0.1 ppm Fe_3O_4 NP	25.08±2.16 ab	72.77±6.48 ab	115.25±12.83 bc	30.54±0.09 c	14.36±1.64 bc
	1 ppm Fe_3O_4 NP	23.71±2.02 ac	69.94±6.79 bc	134.19±12.12 b	30.77±0.04 b	14.99±1.30 bc

^zAynı sütündeki farklı üstel harfler ortalamalar arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P<0.05$). Ortalama ± Standart Hata. SA: Salisilik asit

^zDifferent exponential letters in the same column show the statistical difference between means ($P<0.05$). Mean ± Standard Error. SA: Salicylic acid

Çizelge 4. Fe₃O₄ NP'lerin kuraklık stresi altındaki asma fidanlarında meydana getirdiği biyokimyasal değişiklikler^z

Table 4. Biochemical changes caused by Fe₃O₄ NPs in grapevine saplings under drought stress^z

Sulama şekli Irrigation method	Uygulamalar Applications	Lipit peroksidasyonu Lipid peroxidation (nmol.g ⁻¹)	Toplam fenolik madde miktarı Total phenolic content (mg.g ⁻¹)	Prolin miktarı Proline content (µmol.g ⁻¹)
Düzenli sulama Regular irrigation	Sulu kontrol Irrigated control	7.06±1.41 e	5.79±1.03 d	0.21±0.05 d
Kısıtlı sulama Deficit irrigation	Kurak kontrol / Drought control	23.16±2.32 a	11.23±1.07 bc	0.29±0.04 b-d
	1 mM SA	14.94±1.49 b-d	10.44±1.29 c	0.32±0.03 bc
	0.01 ppm Fe ₃ O ₄ NP	16.71±1.67 bc	12.06±1.16 bc	0.34±0.03 b
	0.1 ppm Fe ₃ O ₄ NP	12.20±1.22 cd	17.19±1.97 a	0.41±0.02 a
	1 ppm Fe ₃ O ₄ NP	9.85±1.97 de	17.85±1.84 a	0.35±0.02 b

^zAynı sütundaki farklı üstel harfler ortalamalar arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (P<0.05). Ortalama ± Standart Hata. SA: Salisilik asit

^zDifferent exponential letters in the same column show the statistical difference between means (P<0.05). Mean ± Standard Error. SA: Salicylic acid

SONUÇ

Kuraklık stresi, küresel düzeyde bitkilerin büyümesini, metabolizmasını ve verimliliğini sınırlandıran önemli bir çevresel sorundur. Son yıllarda yaşanan iklim değişiklikleri, bağcılık sektörünün geleceği açısından önemli bir tehdit unsuru haline gelmiştir. Amerikan asma anaçlarında kuraklık stresi karşı Fe₃O₄ NP uygulamalarının etkilerinin incelendiği bu çalışma, kuraklık stresinin neden olduğu zararın hafifletilmesi bakımından Fe₃O₄ NP'lerin önemli bir potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. İstatistiksel değerlendirmeler, farklı Fe₃O₄ NP uygulamaları içerisinde en etkili konsantrasyonun 0.1-1 ppm aralığından elde edildiğini ve daha önce yürütülen araştırmaların sonucunda kuraklık stresi üzerindeki etkinliği birçok farklı bitki türünde kanıtlanmış olan salisilik asit ile kıyaslandığında, Fe₃O₄ NP uygulamalarının incelenen birçok özellik bakımından olumlu sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Adrees, M., Khan, Z.S., Ali, S., Hafeez, M., Khalid, S., Rehman, M.Z.U., Hussain, A., Hussain, K., Chatha, S.A.S., Rizwan, M. 2020. Simultaneous mitigation of cadmium and drought stress in wheat by soil application of iron nanoparticles. *Chemosphere* 238:124681.
- Ahmed, A., Aslam, Z., Naz, M., Hussain, S., Javed, T., Aslam, S., Raza, A., Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Salem, M.Z.M., Hano, C., Shabbir, R., Ahmar, S., Saeed, T., Jamal, M.A. 2021. Exogenous salicylic acid-induced drought stress tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under hydroponic culture. *PLoS ONE* 16(12):e0260556 (doi.org/10.1371/journal.pone.0260556).
- Ahmedullah, M., Himelrick, D.G., 1990. Grape Management. In: G.J. Galeta, D.G. Himelrick, L. Chandler (Eds.), *Small Fruit Crop Management*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliff, New Jersey.
- Alston, J.M., Sambucci, O. 2019. Grapes in the world economy. In: D. Cantu, M.A. Walker (Eds.): *The grape genome*. Springer International Publishing, Berlin,

Germany. pp:1-24.

- Anonymous, 1997. Descriptors for grapevine (*Vitis* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 58p.
- Anonymous, 2007. IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Eds.): *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Anonymous, 2013. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Eds.): *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Anonymous, 2021. OIV: International Organization of Vine and Wine (www.oiv.int/public/medias/7909/oiv-state-of-the-world-vitivinicultural-sector-in-2020.pdf), (Erişim: Temmuz 2022).
- Askary, M., Amirjani, M.R., Saberi, T. 2017. Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*. *Journal of Plant Nutrition* 40:7.
- Baiazidi-Aghdam, M.T., Mohammadi, H., Ghorbanpour, M. 2016. Effects of nanoparticulate anatase titanium dioxide on physiological and biochemical performance of *Linum usitatissimum* (Linaceae) under well-watered and drought stress conditions. *Brazilian Journal of Botany*, 39:139-146.
- Bastani, S., Hajiboland, R., Khatamian, M., Saket-Oskoui, M. 2018. Nano iron (Fe) complex is an effective source of Fe for tobacco plants grown under low Fe supply. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18:524-541.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
- Berekaa, M.M. 2015. Nanotechnology in food industry; advances in food processing, packaging and food safety. *International Journal of Current Microbiology*

- and Applied Sciences 4:345-357.
14. Biju, V., Itoh, T., Anas, A., Sujith, A., Ishikawa, M. 2008. Semiconductor quantum dots and metal nanoparticles: Syntheses, optical properties, and biological applications. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 391:2469-2495.
 15. Carvalho, L.C., Amâncio, S. 2018. Cutting the Gordian Knot of abiotic stress in grapevine: From the test tube to climate change adaptation. *Physiologia Plantarum* 165:330-342.
 16. Cecchin, I., Reddy, K.R., Thomé, A., Tessaro, E.F., Schnaid, F. 2017. Nanobioremediation: Integration of nanoparticles and bioremediation for sustainable remediation of chlorinated organic contaminants in soils. *International Biodeterioration and Biodegradation* 119:419-428.
 17. Chauhan, R., Yadav, H.O.S., Schrawat, N. 2020. Nanobioremediation: A new and a versatile tool for sustainable environmental cleanup-overview. *Journal of Materials and Environmental Science* 11:564-573.
 18. Çelik, H. 1996. Bağcılıkta anaç kullanımı ve yetiştiricilikteki önemi. *Anadolu Dergisi Ege Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü* 6(2):127-148.
 19. Dimkpa, C.O., White, J.C., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J. 2017. Nanoparticle and ionic Zn promote nutrient loading of sorghum grain under low NPK fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65:8552-8559.
 20. Duncan, T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363:1-24.
 21. Ergenoğlu, F., Gürsoy, S. 1991. Akdeniz bölgesi bağcılığının fidan sorunu. *Türkiye 1. Fidancılık Sempozyumu*, Ankara, s:85-95.
 22. Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B. 2006. *Physiology of Crop Production*. Food Products Press, NY, USA.
 23. Farooq, M., Wahid, A., Lee, D.J. 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum* 31:937-945.
 24. Fincheira, P., Tortella, G., Duran, N., Seabra, A.B., Rubilar, O. 2019. Current applications of nanotechnology to develop plant growth inducer agents as an innovation strategy. *Critical Reviews in Biotechnology* 40:15-30.
 25. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K. West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Sieber, S., Tilman, D., Zaks. D.P.M. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478:337-342.
 26. Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., Castellarin, S.D. 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 71(18):5717-5717.
 27. Geravandi, M., Farshadfar, E., Kahrizi, D. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology* 58(1): 69-75.
 28. Ghafari, H., Razmjoo, J. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *International Journal of Plant Production* 4:2997-3003.
 29. Gholami Zali, A., Ehsanzadeh, P. 2018. Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. *Industrial Crops and Products* 111:133-140.
 30. Greer, D.H., Weston, C. 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. *Functional Plant Biology* 37:206-214.
 31. Guo, Y.Y. Yu, H.Y. Kong, D.S. Yan, F. Zhang, Y.J. 2016. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. *Photosynthetica* 54:524-531.
 32. Hatami, M., Hadian, J., Ghorbanpour, M. 2017. Mechanisms underlying toxicity and stimulatory role of single-walled carbon nanotubes in *Hyoscyamus niger* during drought stress simulated by polyethylene glycol. *Journal of Hazardous Materials* 324:306-320.
 33. Irvani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S.V., Zolfaghari, B. 2014. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in pharmaceutical sciences* 9(6):385.
 34. Jampilek, J., Kralova, K. 2021. Nanoparticles for Improving and Augmenting Plant Functions. In *Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp:171-227.
 35. Ju, Y.L., Yue, X.F., Min, Z., Wang, X.H., Fang, Y.L., Zhang, J.X. 2020. VvNAC17, a novel stress-responsive grapevine (*Vitis vinifera* L.) NAC transcription factor, increases sensitivity to abscisic acid and enhances salinity, freezing, and drought tolerance in transgenic Arabidopsis. *Plant Physiology and Biochemistry* 146:98-111.
 36. Judy, J.D., Bertsch, P.M. 2014. Bioavailability, toxicity and fate of manufactured nanomaterials in terrestrial ecosystems. *Advances in Agronomy* 123:1-64.
 37. Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A., Terzi, R., Acet, T. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regulation* 63:27-37.
 38. Kamle, M., Kumar Mahato, D., Devi, S., Soni, R., Tripathi, V., Kumar Mishra, A., Kumar, P. 2020. Nanotechnological interventions for plant health improvement and sustainable agriculture. *3 Biotech* 10:168.
 39. Kiselev, K.V., Dubrovina, A.S., Veselova, M.V., Bulgakov, V.P., Fedoreyev, S.A. and Zhuravlev, Y.N. 2007. The rol-B gene-induced over production of resveratrol in *Vitis amurensis* transformed cells. *Journal of Biotechnology* 128(3):681-692.

40. Kulinich, I.K. 1981. Effect of drip irrigation on the growth of grapevine root system. *Vinodelie I Vinogradarstvo SSSR*, pp:24-26.
41. Kumar, A., Bernier, J., Verulkar, S., Lafitte, H.R., Atlin, G.N. 2008. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. *Field Crops Research*, 107:221-231.
42. Kuzma, J., Verhage, P. 2006. Nanotechnology in agriculture and food production: anticipated applications. Woodrow Wilson International, Washington, DC, USA. pp:22-44.
43. Linh, T.M., Mai, N.C., Hoe, P.T., Lien, L.Q., Ban, N.K., Hien, L.T.T., Chau, N.H., Van, N.T. 2020. Metal-based nanoparticles enhance drought tolerance in soybean. *Journal of Nanomaterials* 4056563.
44. Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J. 1996. NaCl-Induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78:389-398.
45. McNeil, S.E. 2005. Nanotechnology for the biologist. *Journal of leukocyte biology* 78(3):585-594.
46. Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-yilmaz, S., Mittler, R. 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment* 33:453-467.
47. 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. *Scientia Horticulturae* 272:109537.
48. Morales-Espinoza, M.C., Cadenas-Pliego, G., Perez-Alvarez, M., Hernandez-Fuentes, A.D., de la Fuente, M.C., Benavides-Mendoza, A., Valdes-Reyna, J., Juarez-Maldonado, A. 2019. Se nanoparticles induce changes in the growth, antioxidant responses, and fruit quality of tomato developed under NaCl stress. *Molecules* 24:3030.
49. Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., Magg, F. 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content: compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oreganos (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry* 111:119-128.
50. Mozafari, A.A., Asl, A.G., Ghaderi, N. 2017. 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* (doi:10.1007/s12298-017-0488-x).
51. Nayyar, H. 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environmental and Experimental Botany* 50(3):253-264.
52. Ollat, N., Geny, L., Soyer, J. 1998. Les boutures fructifères de vigne : validation d, un modèle d, étude du développement de la physiologie de la vigne, I Caractéristiques de l'appareil végétative. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 32:1-9.
53. Phogat, V., Cox, J.W., Simunek, J. 2018. Identifying the future water and salinity risks to irrigated viticulture in the Murray-Darling Basin, South Australia. *Agricultural Water Management* 201:107-117.
54. Phogat, V., Mallants, D., Cox, J.W., Šimůnek, J., Oliver, D.P., Pitt, T., Petrie, P.R. 2020. Impact of long-term recycled water irrigation on crop yield and soil chemical properties. *Agricultural Water Management* 237:106167.
55. Rai, M., Ingle, A. 2012. Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. *Applied microbiology and biotechnology* 94(2):287-293.
56. Rajput, V.D., Singh, A., Minkina, T.M., Shende, S.S., Kumar, P., Verma, K.K., Bauer, T., Gorobtsova, O., Deneva, S., Sindireva, A. 2021. Nanotechnology in Plant Growth Promotion and Protection. Potential applications of nanobiotechnology in plant nutrition and protection for sustainable agriculture. John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, NJ, USA. pp:79-92.
57. Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C., Biswas, P. 2017. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(26):6487-6503.
58. Rizwan, M., Singh, M., Mitra, C.K., Morve, R.K. 2014. Ecofriendly application of nanomaterials: Nanobioremediation. *Journal of Nanoparticles* 431787.
59. Rui, M.M., Ma, C.X., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y.K., Tang, X.L., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z.T., Hou, T.Q. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Science* 7: 815.
60. Rylski, I., Rappaport, L., Pratt, H.K. 1974. Dual effect of ethylene on potato dormancy and sprout growth. *Plant Physiology* 53:658-662.
61. Salamanca-Buentello, F., Persad, D.L., Court, E.B., Martin, D.K., Daar, A.S., Singer, P.A. 2005. Nanotechnology and the developing world. *PLOS Medicine* 2:383-386.
62. Saruhan, N., Saglam, A., Kadioglu, A. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 34:97-106.
63. Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M.G., Saradhi, P.P., Khanna, P.K., Arora, S. 2012. Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 167:2225-2233.
64. Shende, S., Rajput, V., Gade, A., Minkina, T., Sushkova, S.N., Mandzhieva, S.S., Boldyreva, V.E. 2021. Metal-based green synthesized nanoparticles: Boon for sustainable agriculture and food security. *IEEE Trans NanoBioscience* 21(1):44-54.
65. Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Shishevan, M.T., Sharifi, S.R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae* 2(2):112-113.

66. Singleton, V.L., Rossi, J.R. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.
67. Siva, G.V., Benita, L.F.J. 2016. Iron oxide nanoparticles promotes agronomic traits of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 3:230-237.
68. Subramanian, K.S., Tarafdar, J.C. 2011. Prospects of nanotechnology in Indian farming. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 81:887-893.
69. Tagliavini, M., Rombola, A.D. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy* 15(2):71-92.
70. Tarrahi, R., Mahjouri, S., Khataee, A. 2021. A review on *in vivo* and *in vitro* nanotoxicological studies in plants: A headlight for future targets. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 208:111697.
71. Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S.A., Rehman, H.U., Ashraf, I., Sanauallah, M. 2020. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment* 721:137778.
72. Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.J., Kopittke, P.M. 2016. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science* 21(8):699-712.
73. White, J.C., Gardea-Torresdey, J. 2018. Achieving food security through the very small. *Nature Nanotechnology* 13:627-629.
74. Winkler, A.J., Cook, J.A. Kliewer, W.M. Lider, L.A. 1974. *General viticulture*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. 633p.
75. Woldeamanuel, K.M., Kurra, F.A., Roba, Y.T. 2021. A review on nanotechnology and its application in modern veterinary science. *International Journal of Nanomaterials, Nanotechnology and Nanomedicine* 7(1):26-31.
76. Xiao, L., Guo, H.Y., Wang, S.X., Li, J.L., Wang, Y.Q., Xing, B.S. 2019. Carbon dots alleviate the toxicity of cadmium ions (Cd²⁺) toward wheat seedlings. *Environmental Science: Nano* 6:1493-1506.
77. Xu, W.R., Shen, W., Ma, J.J., Ya, R., Zheng, Q.L., Wu, N. 2020. Role of an Amur grape CBL-interacting protein kinase VaCIPK02 in drought tolerance by modulating ABA signaling and ROS production. *Environmental and Experimental Botany* 172:103999.
78. Yadav, R.K., Singh, N.B., Singh, A., Yadav, V., Bano, C., Khare, S., Vegetas, N. 2020. Expanding the horizons of nanotechnology in agriculture: Recent advances, challenges and future perspectives. *Vegetos* 33:203-221.
79. Yamasaki, S., Dillenburg, L.C. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11:69-75.
80. Zhang, X., Bao, Z., Gong, B., Shi, Q.H. 2020. S-adenosylmethionine synthetase 1 confers drought and salt tolerance in transgenic tomato. *Environmental and Experimental Botany* 179:104226.