



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa  
Bilimleri Dergisi**  
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

<http://dergipark.gov.tr/usufedbid>  
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.900973>



*Araştırma makalesi*

## **Bazı Çeltik Çeşitlerinde Toksik Düzeyde Demir İçerikli Tam Besin Çözeltisi Uygulamasının Taze Yapraklarda Peroksidaz ve Katalaz Aktiviteleri Üzerine Etkisi**

*Ahmet Korkmaz, Güney Akınoğlu\**

*Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye*

*Geliş: 22 Mart 2021*

*Kabul: 4 Mayıs 2021 / Received: 22 March 2021*

*Accepted: 4 May 2021*

### **Abstract**

The aim of this study is to determine the effect of toxic level iron containing complete nutrient solution application on peroxidase and catalase activities in fresh leaves in some rice varieties. Iron in the form of iron sulphate is added to rice varieties grown in sand culture; Four different treatments were applied: I) 0, II) 45 µM Fe (sufficient Fe), III) 3.50 mM Fe (toxic Fe), IV) 3.50 mM Fe (toxic Fe + sand media with bentonite) as four different treatments. The rate of decrease in peroxidase activity of iron application at toxic level was calculated as-7.18 %, - 43.4 % and - 4.16 %, respectively, in Biga incisi, Osmancık-97 and Hamzadere rice varieties. Also, it was calculated as 33.6 % and 16.02 %, respectively in Ronaldo and Edirne rice varieties. According to these results, application of a nutrient solution containing toxic iron in Osmancık rice variety decreased the peroxidase enzyme activity in fresh leaves more than other varieties. While Hamzadere and Edirne rice varieties are found to be the highest peroxidase enzyme activity, Osmancık-97 and Ronaldo rice varieties have the lowest activity. The effect of Fe dose on catalase activity in fresh leaves was found to be statistically insignificant. Among the varieties grown at toxic iron level (3.50 mM Fe), the variety with the highest catalase enzyme activity value in fresh leaves is the Hamzadere variety, whereas the lowest variety is seen to be Edirne rice variety.

**Keywords:** *Rice variety, iron toxicity, peroxidase, catalase.*

### **Özet**

Bu çalışmanın amacı, bazı çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yapraklarda peroksidaz ve katalaz aktiviteleri üzerine etkisini belirlemektir. Kum kültüründe yetiştirilen çeltik çeşitlerine demir sülfat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) formunda; I) 0, II) 45 µM Fe (yeterli Fe), III) 3.50 mM Fe (toksik Fe), IV) 3.50 mM Fe (toksik Fe + bentonitli ortam) şeklinde olmak üzere dört farklı muamele uygulanmıştır. Toksik düzeyde demir uygulamasının peroksidaz aktivitesinde sağladığı azalmanın oranı, Biga incisi çeşidinde -% 7.18; Osmancık-97 çeşidinde -% 43.4; Hamzadere çeşidinde -% 4.16; Ronaldo çeşidinde -% 33.6; Edirne çeşidinde -% 16.02 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre Osmancık çeltik çeşidinde toksik düzeyde demir içeren besin çözeltisi uygulaması taze yaprakta peroksidaz enzim aktivitesini diğer çeşitlere göre daha fazla azaltmıştır. Peroksidaz enzim aktivitesi en yüksek çeşitlerin Hamzadere ve Edirne çeltik çeşitleri oldukları; buna karşın, en düşük çeşidin ise Osmancık-97 ve Ronaldo çeşitleri olduğu tespit edilmiştir. Fe dozunun taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Toksik demir düzeyinde (3.50 mM Fe) yetiştirilen çeşitler

\*Corresponding author:

E-mail: [guney\\_akinoglu@gmail.com](mailto:guney_akinoglu@gmail.com)

ORCID ID: 0000-0003-4624-2876

©2021 Usak University all rights reserved.

arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Hamzadere çeşidi olduğu; buna karşın, en düşük çeşidin ise Edirne çeltik çeşidi olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çeltik çeşidi, demir toksisitesi, peroksidaz, katalaz.

©2021 Usak University all rights reserved.

## 1. Giriş

Bitkilerin stres faktörlerine karşı olan toleransları farklıdır. Bunda bitkinin türü, stres faktörü, strese maruz kalma süresi ve strese maruz kalan doku veya organın yapısı etkilidir. Bitkilerin bu ağır metallere karşı hangi tepkiler verdiğini ve hangi savunma mekanizmaları geliştirdiğini belirlemek oldukça önemlidir [1].

Abiyotik stres şartları altında bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) olarak adlandırılan oldukça toksik ve reaktif moleküller oluşmaktadır. Bu moleküller protein, lipid karbohidrat ve DNA'nın yapısını bozarak oksidatif stresin oluşmasına neden olmaktadır. Bu hasarın önlenmesine yönelik olarak bitkiler de antioksidant savunma sistemlerine sahiptir. Bu antioksidant sistemler enzimatik (süperoksit dismutaz, SOD; katalaz, CAT; askorbat peroksidaz, APX; glutatyon redüktaz, GR vb.) ve enzimatik olmayan (fenolik bileşikler, alkaloid, askorbik asit, glutatyon vb.) olmak üzere ikiye ayrılır [2].

Ağır metaller membran lipidlerinin de dahil olduğu biyomoleküllere hasar vererek oksidatif stresin oluşmasına neden olan hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna neden olmaktadır [3]. Biyotik ve abiyotik stres bitki hücrelerinde birçok karışık savunma mekanizmasını harekete geçirmektedir. Savunmada biyokimyasal mekanizmalarda birçok antioksidan molekül görev almaktadır. Bu moleküllerden biri de peroksidazdır. Peroksidazın  $H_2O_2$ 'in yıkılmasında görev aldığı tahmin edilmesi [4] bitki savunma enzimleri arasında hücre yapısını güçlendiren savunma bariyerlerinin oluşumuna katkıda bulunan enzimlerin aktivitelerinin tespit edilmesi önemlidir.

Becana ve ark. (1998) serbest  $Fe^{+2}$  iyonunun, bitki hücreleri içerisinde Fenton reaksiyonu yoluyla tekli oksijen, süperoksit radikalleri ( $O_2^{\cdot-}$ ), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve hidroksil radikali ( $OH^{\cdot}$ ) dahil olmak üzere reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu hızlandırdığını bildirmişlerdir [5]. ROS'un, toksik olup; lipidlere, proteinlere ve nükleik asitlere verilen zararla doğrudan ilişkili olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Tiryakioğlu ve ark. (2006) bitkilerin ROS'u uzaklaştırmak ve zararlı etkilerini azaltmak için birkaç koruyucu enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizma geliştirdiğini rapor etmişlerdir [6]. CAT, peroksidazlar, askorbat peroksidaz, SOD ve glutatyon redüktaz gibi ROS temizleme enzimleri ile glutatyon, askorbat ve karotenoidler gibi birtakım antioksidanların bitkilerde ROS detoksifikasyonunu gerçekleştirdiği yine aynı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300  $\mu M$ ) uygulanan ağır metaller (kadmiyum kurşun ve kadmiyum + kurşun) SOD ve katalaz enzim aktivitesinde azalışlara neden olmuştur. SOD enzim aktivitesi, ağır metallerin kombine etkisinin (kadmiyum + kurşun) tek tek ağır metal uygulamasına göre katalaz enzim aktivitesi üzerinde daha fazla etkili olduğu bulunmuştur [7].

Bu çalışmanın amacı, bazı çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yapraklarda peroksidaz ve katalaz aktiviteleri üzerine etkisini belirlemektir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Kum kültüründe sera şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitleri Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Bu çeşitler: Biga incisi, Osmancık-97, Hamzadere, Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitleridir.

### 2.1. Deneme

Çeltik tohumları % 5.0'lık (v/v) sodyum hipoklorit çözeltisi içerisinde 15 dakika bekletilerek, tohumların sterilizasyonu sağlanmıştır. Daha sonra çeltik tohumları deiyonize su ile yıkanıp nemli bez torbalarda çimlendirildi. Çimlenen tohumlar, içerisinde perlit bulunan 40x25x5 cm boyutundaki beyaz plastik küvetlere aktarılarak 10 gün içinde çeltik fideleri haline gelmesi sağlandı. Çeltik fideleri 1 kg kuvars kumu dolu plastik saksılara (12x12 cm) her saksıda 10 bitki olacak şekilde dikilmiştir. Çeltik çeşitlerine demir sülfat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) formunda; I) 0, II) 45  $\mu M$  Fe (yeterli Fe), III) 3.50 mM Fe (toksik Fe), IV) 3.50 mM Fe (toksik Fe+ bentonitli ortam) şeklinde olmak üzere dört farklı muamele uygulanmıştır. Denemede saksılardaki kum yüzeyinden itibaren 3 cm su katmanı olacak şekilde besin çözeltisi 5 farklı çeltik çeşidine eşit hacimlerde ilave edilmiştir. Bitki besin çözeltisinin pH'sı seyreltik HCl ya da KOH çözeltisi kullanılarak 5.5'e ayarlanmıştır. Deneme 50 gün sürmüştür. Denemede Zhang ve ark. (1998) tarafından bildirilen ve demir içermeyen aşağıdaki konsantrasyonlarda mutlak gerekli besin maddelerini içeren bitki besin çözeltisi kullanılmıştır [8].

500  $\mu M$   $NH_4NO_3$ ; 60  $\mu M$   $NH_4H_2PO_4$ ; 230  $\mu M$   $K_2SO_4$ ; 210  $\mu M$   $CaCl_2$ ; 160  $\mu M$   $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 2.5  $\mu M$   $MnCl_2$ ; 0.75  $\mu M$   $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ ; 3.2  $\mu M$   $H_3BO_3$ ; 0.1  $\mu M$   $CuSO_4$ ; 2.0  $\mu M$   $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

### 2.2. Bitkinin taze yaprağında bazı enzim aktivitelerinin belirlenmesi

Taze yapraklarda peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktivitesini belirlemek amacıyla; demir noksanlığı, yeterli demir düzeyinde ve bentonitli ve bentonit ilavesiz toksik demir düzeylerinde yetiştirilen çeltik çeşitlerinden ayrı ayrı besin çözeltisi uygulamasından 3 gün sonra enzim analizleri için bitkilerden taze yaprak örnekleri alınmıştır. Hasat edilen çeltik bitkisi yaprakları sıvı azotla dondurularak, biyokimyasal analizlere kadar -86 °C'de saklanmıştır. Bazı enzim analizleri için bitki ekstraktının hazırlanmasında ise aşağıdaki proses gerçekleşmiştir:

POD ve CAT enzimlerinin ekstraksiyonu için yaklaşık 0.5 g taze yaprak örneği sıvı azot içerisinde porselen havan yardımıyla ezilip toz haline getirildikten sonra, % 1.0 (w/v) polivinil polipirrolidon (PVPP) ve 1.0 mM EDTA içeren 0.05 M sodyum fosfat tamponuyla (pH 7.8) içerisinde homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 20 dakika süresince 20.000 x g'de santrifüj edildikten sonra elde edilen süpernatantlar, enzim analizlerinde kullanılmıştır. Enzim aktivitelerinin belirleneceği örnekler, ölçüm yapılmaya kadar  $\pm 4$  °C sıcaklıkta tutulmuştur.

Taze yaprak örneklerinde Katalaz (CAT) aktivitesi, Dhindsa vd, (1981b); Peroksidaz (POD) aktivitesi, Wakamatsu vd, (1993) tarafından bildirilen metotlara göre yapılmıştır [9, 10].

Numune ölçümleri OMÜ Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü laboratuvarında Analytic Jena 40 model UV-Spektrofotometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Her aktivite tayininde ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır.

### 2.3. İstatistiksel Analizler

Faktöriyel deneme deseni 5 x 4 olup, varyans analizi SPSS 17.0 paket programı ile yapılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının çeltik çeşitlerinde taze yaprakta peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi

Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta peroksidaz aktivitesine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta peroksidaz aktivitesine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları								
Özellik	Demir sülfat dozu		Çeşit		Demir sülfat dozu × çeşit interaksyonu		Hata	
	SD	KO	SD	KO	SD	KO	SD	KO
Peroksidaz(POD)	3	0.239**	4	0.095**	12	0.024**	40	0.001

\*\*p<0.01; \*p<0.05 SD: Serbestlik derecesi; KO: Kareler ortalaması

Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta peroksidaz aktivitesine etkisine ilişkin değerler Tablo 2’de verilmiştir.

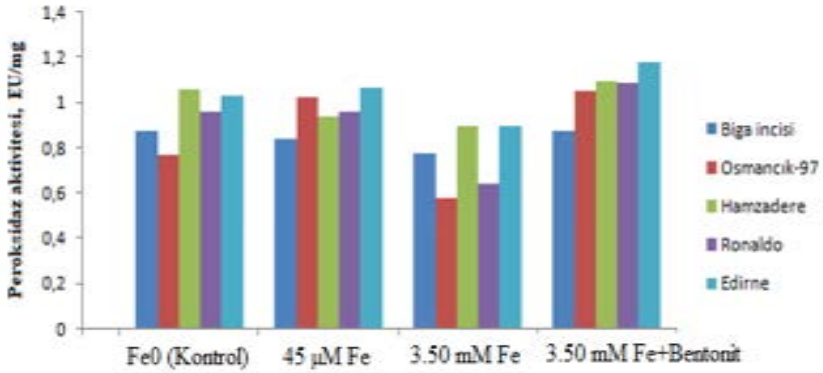
**Tablo 2.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta peroksidaz aktivitesine etkisi

Çeltik çeşidi	Peroksidaz Spesifik aktivite (EU / mg)				Ortalama
	Fe 0 (Kontrol)	45 µM Fe	3.50 mM Fe	3.50 mM Fe + % 10 Bentonit	
Biga incisi	0.873gh	0.836h	0.776i	0.877gh	0.83D
Osmancık-97	0.768i	1.021d	0.578k	1.054bcd	0.85D
Hamzadere	1.058bcd	0.937ef	0.898fg	1.096b	0.99B
Ronaldo	0.962e	0.960e	0.637j	1.085b	0.90C
Edirne	1.030cd	1.067bc	0.896fg	1.183a	1.04A
Ortalama	0.93C	0.96B	0.75D	1.05A	

\*Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında % 5 düzeyinde fark yoktur

Tablo 1 ve 2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere demir dozunun, çeşidin, demir dozu×çеşit interaksiyonunun taze yaprakta peroksidaz aktivitesine etkisi  $p < 0.01$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yeterli düzeyde demir ( $45 \mu\text{M Fe}$ ) içeren besin çözeltisi uygulaması, kontrole ( $\text{Fe0}$ ) kıyasla taze yaprakta peroksidaz aktivitesini arttırmış; fakat toksik düzeyde demir ( $3.50 \text{ mM Fe}$ ) içeren besin çözeltisi uygulaması bu enzim aktivitesini azaltmıştır. Buna karşın, bentonit ilaveli kum ortamına toksik düzeyde demir ( $3.50 \text{ mM Fe} + \% 10$  Bentonit) içeren demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması taze yaprakta peroksidaz aktivitesini arttırmıştır. Genel ortalamalar dikkate alındığında; taze yapraklarda belirlenen peroksidaz aktivite değerleri bakımından çeltik çeşitleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Edirne > Hamzadere > Ronaldo > Osmancık-97 > Biga incisi şeklinde sıralanmıştır (Tablo 2). Toksik konsantrasyonda demirli besin çözeltisi uygulaması sonucu bütün çeltik çeşitlerinde peroksidaz aktivitesi önemli derecede azalma göstermiştir.

Değişik konsantrasyonlarda demir içeren demir sülfatlı besin çözeltileri ile yetiştirilen çeltik çeşitlerinin taze yapraklarında belirlenen peroksidaz aktivite değerleri farklı bulunmuştur (Şekil 1).



**Şekil 1.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta peroksidaz enzim aktivitesine etkisi

Şekil 1'in incelenmesinden anlaşılacağı üzere toksik düzeyde demir uygulaması, kontrol ve yeterli demir düzeyi uygulamalarına kıyasla taze yaprakta peroksidaz enzim aktivitesini azaltmıştır. Yeterli demir düzeyindeki peroksidaz aktivitesine göre, toksik düzeyde demir uygulamasının peroksidaz aktivitesinde sağladığı azalmanın oranı, Biga incisi çeşidinde -% 7.18; Osmancık-97 çeşidinde -% 43.4; Hamzadere çeşidinde -% 4.16; Ronaldo çeşidinde -% 33.6; Edirne çeşidinde -% 16.02 olarak hesaplanmıştır. Toksik düzeyde demir uygulamasıyla, yeterli demir düzeyine göre peroksidaz aktivitesinde en fazla azalma Osmancık-97 çeltik çeşidinde görülmüş; buna karşın, en az azalma ise Hamzadere ve Biga incisi çeltik çeşitlerinde görülmüştür. Toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze yapraklarda belirlenen peroksidaz aktiviteleri bakımından yüksek değerden düşük değere doğru sırasıyla; Edirne, Hamzadere, Biga incisi, Ronaldo, Osmancık-97 şeklinde sıralanmıştır. Buna göre, çeşitler arasında taze yaprakta peroksidaz aktivite değeri en yüksek çeşitlerin, Edirne ve Hamzadere çeltik çeşitleri oldukları; buna karşın, en düşük çeşidin Osmancık-97 olduğu, bununla birlikte Ronaldo çeltik çeşidinin de peroksidaz aktivitesinin Biga İncisi, Hamzadere ve Edirne çeltik çeşitlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Katalaz ve

peroksidaz aktivitesi yüksek çeşitlerin demir toksisitesine dayanıklı olduğu bildirilmiştir [11, 12].

Bentonit ilaveli kum ortamına toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması bütün çeltik çeşitlerinde yaprakta peroksidaz aktivitesini, bentonitsiz kum ortamında yetiştirilen çeşitlerinkine göre arttırmıştır. Bu artışın nedeninin, bentonitli kum ortamında çeltik bitkilerinin demir alımlarının baskılanmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Peroksidaz (POD), hidrojen atomlarını vermek eğiliminde olan bileşikler ile bu atomları alıcı durumunda olan hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) bileşiği arasındaki reaksiyonu katalizleyen bir oksidoredüktazdır [13, 14]. Peroksidazlar, hidrosilik veya peroksidatif aktiviteleri yoluyla, hücre bölmelerinde ROS'un hem üretimini hem de atılmasını düzenleyebilir [15]. Ek olarak, peroksidazlar, lignin biyosentezine doğrudan katılırlar [16]. Saikia ve Baruah [21], üç farklı çeltik çeşidini (Mahsuri, Ranjit, Siyal Sali)  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  formundaki dört farklı demir (kontrol, 100, 200 ve 300  $mg\ kg^{-1}\ Fe^{+2}$ ) dozu uygulanan toprak ortamında saksılarda yetiştirmişlerdir. Araştırma bulgularına göre; 100  $mg\ Fe\ kg^{-1}$  dozunda bütün çeşitlerde POD aktivitesinde bir artış görülmüştür. Diğer yandan, demir uygulamasının en yüksek dozunda (300  $mg\ Fe^{+2}\ kg^{-1}$ ) POD aktivitesinin Siyal Sali ve Ranjit çeltik çeşitlerinde arttığı; Mahsuri çeşidinde ise azalma eğilimi gösterdiği bildirilmiştir.

### 3.2. Toksik düzeyde demir içeren tam besin çözeltisi uygulamasının çeltik çeşitlerinde taze yaprakta katalaz aktivitesi üzerine etkisi

Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi

Özellik	Varyasyon kaynakları							
	Demir sülfat dozu		Çeşit		Demir sülfat dozu × çeşit interaksiyonu		Hata	
	SD	KO	SD	KO	SD	KO	SD	KO
Katalaz (CAT)	3	5.03E-5	4	9.512E-5*	12	0.001**	40	2.45E-5

**Tablo 4.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi

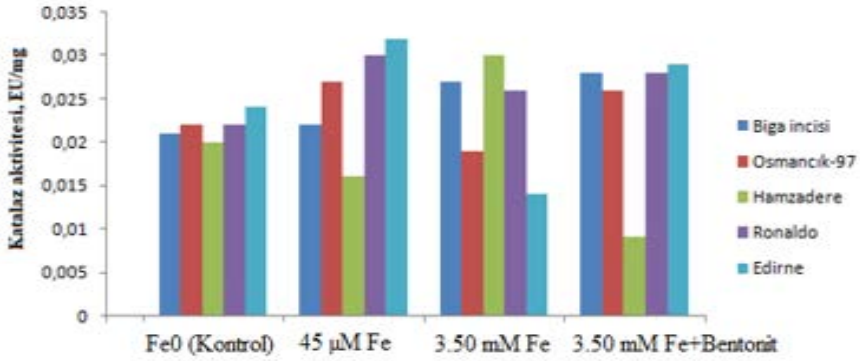
Çeltik çeşidi	Katalaz Spesifik aktivite (EU / mg)				Ortalama
	Fe 0 (Kontrol)	45 $\mu M$ Fe	3.50 mM Fe	3.50 mM Fe + % 10 Bentonit	
Biga incisi	0.021bcde	0.022bcde	0.027abcd	0.028abcd	0.0247A
Osmancık-97	0.022bcde	0.027abcd	0.019de	0.026abcd	0.0234A
Hamzadere	0.020cde	0.016ef	0.030ab	0.009f	0.0190B

Ronaldo	0.022bcde	0.030ab	0.026abcd	0.028abc	0.0266A
Edirne	0.024bcde	0.032a	0.014ef	0.029ab	0.0241A
Ortalama	0.0213	0.0257	0.0233	0.0239	

\*Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında % 5 düzeyinde fark yoktur

Tablo 3 ve 4'ün incelenmesinden anlaşılacağı üzere çeşidin taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi  $p < 0.05$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca, Fe dozu×çesit interaksyonunun taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi  $p < 0.01$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Fakat Fe dozunun taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Genel ortalamalar dikkate alındığında; Biga incisi, Osmancık-97, Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitleri taze yaprakta katalaz aktivite değerleri bakımından birbirlerine benzer ve yüksek bulunmuş; buna karşın, Hamzadere çeltik çeşidi ise taze yaprakta katalaz aktivite değeri bakımından en düşük çeltik çeşidi olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Toksik konsantrasyonda demirli besin çözeltisi uygulaması sonucu Biga İncisi ve Hamzadere çeltik çeşitlerinde katalaz aktivitesi artış gösterirken; diğer çeşitlerde azalma eğilimi göstermiştir.

Değişik konsantrasyonlarda demir içeren demir sülfatlı besin çözeltileri ile yetiştirilen çeltik çeşitlerinin taze yapraklarında belirlenen katalaz aktivite değerleri farklı bulunmuştur (Şekil 2).



**Şekil 2.** Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze yaprakta katalaz enzim aktivitesine etkisi

Şekil 2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitleri arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Edirne çeşidi olduğu; buna karşın, en düşük çeşidin ise Hamzadere çeltik çeşidi olduğu görülmektedir. Yeterli demir düzeyinde (45 µM Fe) yetiştirilen çeşitler arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Edirne çeşidi olduğu; buna karşın, en düşük çeşidin ise Hamzadere çeltik çeşidi olduğu görülmektedir. Toksik demir düzeyinde (3.50 mM Fe) yetiştirilen çeşitler arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Hamzadere çeşidi olduğu; buna karşın, en düşük çeşitlerin ise Edirne ve Osmancık-97 çeltik çeşitleri oldukları görülmektedir [11, 12].

Bentonit ilaveli kum ortamında toksik demir düzeyinde (3.50 mM Fe + % 10 Bentonit) yetiştirilen çeşitler arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Edirne çeşidi olduğu; buna karşın, en düşük çeşidin ise Hamzadere çeltik çeşidi

olduğu görölmektedir. Yeterli düzeyde demir içeren demir sülfatlı besin çözültisi uygulanan çeşitlerdeki katalaz aktivitesine göre toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözültisi uygulanan Edirne, Osmancık-97 ve Ronaldo çeltik çeşitlerinde katalaz enzim aktivitesinde azalma görölmüş olup, bu azalma oranları sırasıyla -% 56.25, -% 28.6 ve -% 13.33 olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, toksik düzeyde demir uygulaması sonucu Hamzadere ve Biga incisi çeltik çeşitlerinde katalaz aktivitesi yeterli demir düzeyine göre artmış olup, bu artış oranları sırasıyla % 87.5 ve % 22.7 olarak hesaplanmıştır.

Toksik düzeyde (3.50 mM Fe) demir sülfatlı besin çözültisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze yapraklarda katalaz aktivite değerleri bakımından yüksek değerden düşük değere doğru sırasıyla; Hamzadere, Biga incisi, Ronaldo, Osmancık-97, Edirne şeklinde sıralanmıştır. Katalaz (CAT), stres koşulları altında oluşan zararlı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in, H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub>'ya direkt olarak dönüşümünü sağlayarak hücreleri strese karşı korumada görevli en önemli enzimatik antioksidanlardan biridir [17]. Bitkiler, abiyotik stres nedeniyle oluşan reaktif oksijen türlerini antioksidan enzimler ve metabolitler aracılığıyla temizleyebilir [18, 19]. Katalaz (CAT), peroksidaz (POD), glutatyon redüktaz (GR), süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidan enzimlerin genellikle bitkilerde metal stresi altında indüklendiği rapor edilmiştir [20, 19]. Saikia ve Baruah [21] (2012), üç farklı çeltik çeşidini (Mahsuri, Ranjit, Siyal Sali) FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O formundaki dört farklı demir (kontrol, 100, 200 ve 300 mg kg<sup>-1</sup> Fe<sup>+2</sup>) dozu uygulanan toprak ortamında saksılarda yetiştirmişlerdir. Araştırma bulgularına göre; 100 mg Fe kg<sup>-1</sup> dozunda Mahsuri çeltik çeşidinde CAT aktivitesinde bir düşüş görölmesine rağmen, daha yüksek demir dozunda bu çeşidin CAT aktivitesinde artış eğilimi gözlenmiştir. Öte yandan, demir uygulamasının en yüksek dozunda (300 mg Fe<sup>+2</sup> kg<sup>-1</sup>) CAT aktivitesinin Siyal Sali ve Ranjit çeltik çeşitlerinde azalma eğilimi gösterdiği bildirilmiştir. Gao ve ark. [22] tarafından yapılan bir araştırmada hidroponik kültürde aşırı demir stresine maruz bırakılarak yetiştirilen çeltik genotiplerinin CAT ve POD aktivitelerinin azaldığı ifade edilmiştir. Shahid ve ark. [23] demir toksisitesine dayanıklı çeltik çeşitlerinin, yaprak dokularında nispeten yüksek POD, CAT ve SOD aktiviteleri gösterdiğini bildirmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Yeterli düzeyde demir (45 µM Fe) içeren besin çözültisi uygulaması, kontrole (Fe0) kıyasla taze yaprakta peroksidaz aktivitesini arttırmış; fakat toksik düzeyde demir (3.50 mM Fe) içeren besin çözültisi uygulaması bu enzim aktivitesini azaltmıştır. Toksik düzeyde demir uygulamasının peroksidaz aktivitesinde sağladığı azalmanın oranı, Biga incisi çeşidinde -% 7.18; Osmancık-97 çeşidinde -% 43.4; Hamzadere çeşidinde -% 4.16; Ronaldo çeşidinde -% 33.6; Edirne çeşidinde -% 16.02 olarak hesaplanmıştır. Toksik konsantrasyonda demirli besin çözültisi uygulaması sonucu bütün çeltik çeşitlerinde peroksidaz aktivitesi önemli derecede azalma göstermiştir.

Toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözültisi ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze yapraklarda belirlenen peroksidaz aktiviteleri bakımından yüksek değerden düşük değere doğru sırasıyla; Edirne, Hamzadere, Biga incisi, Ronaldo, Osmancık-97 şeklinde sıralanmıştır. Buna göre, çeşitler arasında taze yaprakta peroksidaz aktivite değeri en yüksek çeşitlerin, Edirne ve Hamzadere çeltik çeşitleri oldukları; buna karşın, en düşük çeşidin Osmancık-97 çeltik çeşidi olduğu tespit edilmiştir.

Fe dozunun taze yaprakta katalaz aktivitesine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Toksik demir düzeyinde (3.50 mM Fe) yetiştirilen çeşitler arasında taze yaprakta katalaz enzim aktivite değeri en yüksek çeşidin Hamzadere çeşidi olduğu; buna



karşın, en düşük çeşidin ise Edirne çeltik çeşidi olduğu görölmektedir. Toksik konsantrasyonda demirli besin çözültisi uygulaması sonucu Biga İncisi ve Hamzadere çeltik çeşitlerinde katalaz aktivitesi artış gösterirken; diğer çeşitlerde azalma eğilimi göstermiştir.

## Teşekkür

Denemede materyal olarak kullanılan çeltik çeşitlerinin teminini sağlayan; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkür ederiz. Ayrıca, bu çalışmanın laboratuvar analizleri aşamasındaki katkılarından dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü asistanlarına çok teşekkür ederiz.

Bu çalışma, Güney Akinoğlu'nun doktora tezinden hazırlanmıştır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Kaynaklar

1. Koç E, Üstün AS, Arıcı YK. Biber (*Capsicum annuum L.*) fidelerinde farklı çinko konsantrasyonlarının total protein, hidrojen peroksit içeriği ve peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2012;13(2):205-212.
2. Gill SS, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010;48: 909-930.
3. Burzynski M, Klobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress. *Photosynthesis Research*, 2004;42(4):505-510.
4. He CY, Hsiang T, Wolyn DJ. Induction of systemic disease resistance and pathogen defence responses in *Asparagus officinalis* inoculated with nonpathogenic strains of *Fusarium oxysporum*. *Journal of Plant Pathology*, 2002;51:225-230.
5. Becana M, Moran JF, Iturbe-Ormaetxe I, Escuredo PR. Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection. *Plant and Soil*, 1998;201(1):137-147. doi: 10.1023/A:1004375732137
6. Tiryakioğlu M, Eker S, Özkutlu F, Husted S, Çakmak I. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2006;20:181-189. doi:10.1016/j.jtemb.2005.12.004
7. Ak A, Yücel E. Ecotoxicological effects of heavy metal stress on antioxidant enzyme levels of *Triticum aestivum* cv. Alpu. *Biological Diversity and Conservation*, 2011;4/3:19-24.
8. Zhang X, Zhang F, Mao D. Effect of Fe plaque outside roots on nutrient uptake by rice (*Oryza sativa L.*): zinc uptake. *Plant and Soil*, 1998;202:33-39.
9. Dhindsa RS, Plumb-Dhindsa P, Throne TA. Leaf senescence correlated within creased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 1981b:32:93-101.
10. Wakamatsu K, Takahama U. Changes in peroxidase activity and in peroxidase isozymes in carrot Callus. *Physiologia Plantarum*, 1993;88:167-171.

11. Akinoğlu G. Çeltik bitkisinde demir toksisitesi, Birinci Basım, ISBN:978-625-7702-45-4, Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı; 2020. p. 148.
12. Korkmaz A, Akinoğlu G. Bitki beslemede toprak-kök etkileşimi, Birinci Basım, ISBN:978-625-7342-90-2, Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı, 2021. p. 400.
13. Nawar WW. Lipids in "food chemistry", O.R. Fennema (Ed). 3th Edition, New York: Marcel Dekker. 1996. p. 225-319.
14. Diplock A. Healty lifestyles nutrition and physical activity, Antioxidant nutrients, ILSI Europe Concise Monograph Series, 59. 1998.
15. Romero-Puertas MC, Corpas FJ, Rodriguez-Serrano M, Gomez M, del Río LA, Sandalio LM. Differential expression and regulation of antioxidative enzymes by Cd in pea plants. Journal of Plant Physiology, 2007;164:1346-1357.
16. Ranieri A, Castagna A, Baldan B, Soldatini GF. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. Journal of Experimental Botany, 2001;52(354):25-35.
17. Büyük İ, Soydam-Aydın S, Aras S. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 2012;69(2):97-110.
18. Dat JF, Vandenabeele S, Vranova E, Van Montagu M, Inze D, Van Breusegem F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cellular and Molecular Life Science, 2000;57:779-795.
19. Kabir AH. Biochemical and molecular changes in rice seedlings (*Oryza sativa* L.) to cope with chromium stress. Plant Biology. 2016;18:710-719.
20. Cuypers A, Smeets K, Ruytinx J, Opendakker K, Keunen E, Remans T. The cellular redox state as a modulator in cadmium and copper responses in *Arabidopsis thaliana* seedlings. Journal of Plant Physiology, 2011;168:309-316.
21. Saikia T, Baruah KK. 2012. Iron toxicity tolerance in rice (*Oryza sativa*) and its association with antioxidative enzyme activity. Journal of Crop Science, 2012;3(3):90-94
22. Gao PP, Zheng GH, Wu YH, Liu P. Effect of exogenous potassium on photosynthesis and antioxidant enzymes of rice under iron toxicity. Russian Journal of Plant Physiology, 2013;61:47-52.
23. Shahid M, Shukla AK, Nayak AK, Tripathi R, Meher J, Lal B, Gautam P. Root activity and antioxidant enzyme activities of rice cultivars under different iron toxicity mitigation options. Journal of the Indian Society of Soil Science, 2017;65(3): 341-348.