



# Bazı çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir ve çinko kapsamı ile Fe/Zn oranına etkisi

✉ Güney Akınoğlu\*, ✉ Ahmet Korkmaz, ✉ Ayhan Horuz

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

## Özet

Bu çalışmanın amacı, çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir ve çinko kapsamı ile Fe/Zn oranına etkisini belirlemektir. Çalışmada 5 farklı çeltik çeşidine kum kültüründe demir sülfat heptahidrat formunda, i) 45 µM Fe (yeterli Fe), ii) 3.50 mM Fe (toksik-Fe), iii) 3.50 mM Fe (% 10 aktive bentonit içerikli kum ortamı) konsantrasyonlarında demir içeren tam besin çözeltisi uygulanmıştır. Denemede kullanılan bazı çeltik çeşitleri: Biga incisi, Osmancık-97, Hamzadere, Ronaldo ve Edirne'dir. Çeltik çeşitlerinin taze kökleri dithionite-sitrat-bikarbonat (DSB) çözeltisi ile ekstrakte edilmiş, ve bu ekstraktaki demir ve çinko konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrofotometre cihazında belirlenmiştir. Toksik düzeyde demir uygulaması taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir, çinko kapsamını ve Fe/Zn oranını arttırmıştır. Bentonit ilaveli ortamda taze köklerde ekstrakte edilebilir Fe, Zn kapsamı ve Fe/Zn oranı bentonitsiz ortamda yetiştirilen bitkilerin taze köklerine göre daha düşük bulunmuştur. Bentonitli ortamda taze köklerde Fe ve Zn tutulumu azalma göstermiştir. Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir içeren besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsam değerleri bakımında Osmancık-97 > Ronaldo > Edirne > Hamzadere > Biga incisi şeklinde sıralanmış; soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsam değerleri Osmancık-97 > Hamzadere > Edirne > Biga incisi ~ Ronaldo şeklinde sıralanmış; taze kökte Fe/Zn oran değerleri ise Ronaldo ~ Edirne > Biga incisi > Osmancık-97 > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır. Ronaldo ve Edirne çeşitlerinde demir toksikliği ortamında çinko kapsamının daha fazla azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çeltik çeşidi, taze kökte dithionite-sitrat-bikarbonat ile ekstrakte edilebilir demir ve çinko, demir toksisitesi

## The effect of toxic level iron application on fresh root with cold extractable iron and zinc content and Fe/Zn ratio in some rice varieties

### Abstract

The aim of this study is to determine the effect of toxic iron content complete nutrient solution application on cold extractable iron and zinc content and Fe / Zn ratio in fresh root in some rice cultivars. 5 different rice varieties were used in the study. These varieties used in the study are Biga Incisi, Osmancık-97, Hamzadere, Ronaldo and Edirne. Complete nutrient solution in the form of iron sulphate heptahydrate, i) 45 µM Fe (sufficient Fe), ii) 3.50 mM Fe (toxic Fe), iii) 3.50 mM Fe (containing 10 % activated bentonite) was applied to the rice varieties grown in sand culture. Fresh roots of rice varieties were extracted with dithionite-citrate-bicarbonate (DSB) solution, and iron and zinc concentrations in this extract were determined in atomic absorption spectrophotometer device. Toxic iron application increased cold extractable iron, zinc content and Fe/Zn ratio in fresh root. Extractable Fe, Zn content and Fe / Zn ratio in fresh roots in bentonite-added medium were found to be lower than in fresh roots of plants grown in bentonite-free medium. Fe and Zn uptake decreased in fresh roots in bentonite-added sand media. Rice varieties grown with the application of a toxic level of iron containing nutrient solution in bentonite-free sand media listed as Osmancık-97 > Ronaldo > Edirne > Hamzadere > Biga Incisi in terms of cold extractable iron content values in fresh roots, while cold extractable zinc content values listed as Osmancık-97 > Hamzadere > Edirne > Biga Incisi ~ Ronaldo. Fe/Zn ratio values in fresh roots of paddy varieties grown with the application of a nutrient solution containing toxic levels of iron in bentonite-free sand environment listed as Ronaldo ~ Edirne > Biga Incisi > Osmancık-97 > Hamzadere. It was determined that the zinc content of Ronaldo and Edirne varieties decreased more than other varieties under iron toxicity conditions.

**Keywords:** Rice variety, extractable iron and zinc with dithionite-citrate-bicarbonate in fresh root, iron toxicity

© 2021 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0362 3121919

E-posta : [guney\\_akinoglu@ymail.com](mailto:guney_akinoglu@ymail.com)

Geliş Tarihi : 23 Mart 2021

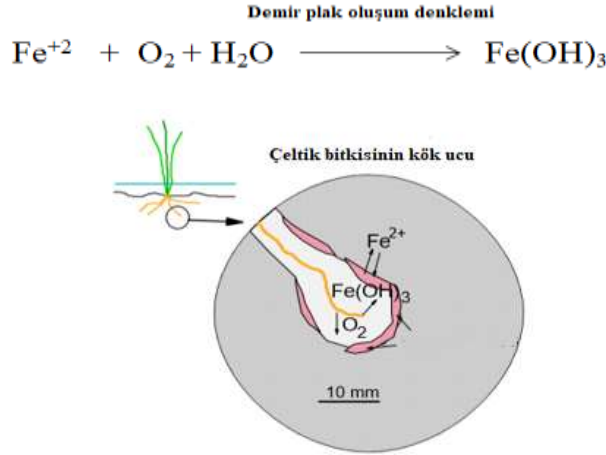
Kabul Tarihi : 06 Nisan 2021

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.901826

## Giriş

Toksik demir koşulları altında, çeltik bitkileri köklerinde Fe alınımının engellenmesi amacıyla kök bazı tolerans mekanizması olan Fe dışlama savunma mekanizması kullanır. Toprakta yerinde oluşan veya ara akış yoluyla taşınan  $Fe^{+2}$  iyonu, bitki kökleri tarafından emilmeden önce rizosferdeki oksidasyon bariyerini geçmelidir. Bu bariyeri oluşturmak için moleküler oksijen, gaz ileten bir doku veya aerenkima yoluyla gövdeden köklere kanalize olur. Bu aerenkima, artan etilen üretiminin neden olduğu indirgen koşulların oluşması üzerine şekillenir (Kawase, 1981). Sürgünlerden köklere oksijen taşınmasının ardından, genç ikincil kökler ve kök uçları oksijeni en yüksek oranlarda rizosfere yayar (Chen ve ark., 1980). Bu rizosfer bölgesinde fazla miktarda  $Fe^{+2}$  mikrobiyal veya kimyasal olarak oksitlenebilir, bu da hareketsiz  $Fe(OH)_3$  tortularının veya demir plağın oluşarak birikmesine neden olur (Şekil 1).



Şekil 1. Ferröz ( $Fe^{+2}$ ) demir oksitlendiğinde ve demir oksit olarak çökeildiğinde oluşan bir demir plak

Demir plaklar,  $Fe^{+2}$ 'nin kök dokularına alınımına engel olur (Becker ve Asch, 2005). Çeltik köklerinde demir plak oluşumu sadece toprak çözeltisindeki  $Fe^{+2}$  konsantrasyonunu azaltmakla kalmaz, aynı zamanda indirgenmiş demirin daha ileri taşınmasında fiziksel bir bariyer oluşturur (Tanaka ve ark., 1966). Kök plak oluşumu, radyal oksijen kaybı (ROK) ve enzimatik oksidasyonda dahil olmak üzere kök oksitleyici kuvvetler tarafından desteklenir (Armstrong, 1967). Kök oksidasyon gücü, esas olarak sürgünlerden aerenkima yoluyla köklere taşınan moleküler oksijene bağlıdır ve daha sonra kök uçları ve yan köklere yayılır (Chen ve ark., 1980). Aerenkima yoluyla kök bölgesinde oksidasyon ile demir dışlanma oranı, çeltik bitkisinin fenolojik aşamasına ve bitkinin kök sisteminin büyüme aşamasına bağlıdır. Sürgünlerin öz boşluğunun daha büyük bir çapı ile birlikte, Fe dışlayıcı genotip, aerenkima hacmindeki artış ve iç oksijen hareketini destekleyen yanal köklerin sayısı ile yüksek kök oksidasyon gücüne sahiptir (Wu ve ark., 2014). Su taşkınları ya da etilen tarafından indüklenen aerenkima oluşumu 2-4 haftalık bitkilerde başlar. Bitki kökünün oksidasyon gücü maksimum kardeşlenme aşamasında en yüksek seviyeye çıkar (Tadano, 1975). Kökler yaşlandıkça, aerenkima parçalanmaya başlar, böylece gaz taşıma kapasitesini kaybeder. Çeltik bitkisinin çiçeklenme aşamasından sonra kök bölgesinde çok az Fe oksidasyonu meydana gelir. Sonuç olarak, çeltiklik toprağında yetiştirilen çeltik bitkisinin bayrak yapraklarında mevsim sonunda oluşan Fe toksisite semptomları temel olarak kök oksidasyon gücünün bozulması ile ilişkilendirilmiştir (Tinh, 1999). Kökün oksidasyon gücünün önemi göz önüne alındığında, kuvvetli ve erken gelişimin yanı sıra aerenkimanın uzun ömürlülüğü Fe toleransı için istenen özelliklerdir (Jayawardena ve ark., 1977). Öte yandan, Mikroarray analizler ile yapılan çalışmalar OsIRT1, OsIRT2, OsYSL2, OsYSL15 ve OsNRAMP1 gibi Fe alım ve taşıma ile ilgili genlerin ekspresyonunun, makul ila yüksek Fe seviyelerinin varlığında köklerde oldukça baskılandığını göstermiştir (Aung ve ark., 2018). Dahası, OsNAS1, OsNAS2, OsNAAT1 ve OsDMAS1 gibi mugineik asitlerin biyosentezinde yer alan genlerin ekspresyonu, köklerde yüksek oranda baskılanır, bu da bitkilerin aşırı Fe koşulları altında rizosfere deoksimugineik asit (DMA) salımını kısıtladığını düşündürmektedir (Aung ve ark., 2018).

Bu çalışmanın amacı, kum kültüründe yetiştirilen çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir ve çinko kapsamı ile Fe/Zn oranına etkisini belirlemektir.

## Materyal ve Yöntem

Sera denemesinde kullanılan çeltik tohumları; Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Bu çeşitler: Biga incisi, Osmancık-97, Hamzadere, Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitleridir.

### Deneme

Çeltik tohumları %5.0'luk (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 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) formunda; I) 0  $\mu\text{M}$  Fe (Kontrol), II) 45  $\mu\text{M}$  Fe (yeterli Fe), III) 3.50 mM Fe (toksik Fe), IV) 3.50 mM Fe + % 10 bentonit (soda ile aktive edilmiş bentonit) şeklinde olmak üzere üç 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.

500  $\mu\text{M}$   $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 60  $\mu\text{M}$   $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ; 230  $\mu\text{M}$   $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 210  $\mu\text{M}$   $\text{CaCl}_2$ ; 160  $\mu\text{M}$   $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 2.5  $\mu\text{M}$   $\text{MnCl}_2$ ; 0.75  $\mu\text{M}$   $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ; 3.2  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0.1  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ ; 2.0  $\mu\text{M}$   $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Deneme süresi bitiminde çeltik çeşitlerinin taze kökleri dithionite-sitrat-bikarbonat (DSB) çözeltisi ile ekstrakte edilmiş, ve bu ekstraktaki demir ve çinko konsantrasyon ölçümleri, atomik absorpsiyon spektrofotometre cihazında belirlenmiştir. Gerekli hesaplamaların yapılmasının ardından bitkinin taze köklerinde soğuk ekstrakte edilebilir demir ve çinko konsantrasyonları % olarak ifade edilmiştir (Taylor ve Crowder, 1983). Ayrıca taze kökte Fe/Zn oranları hesap edilmiştir.

### İstatistiksel Analizler

Faktöriyel deneme deseni 5 x 3 olup, varyans analizi SPSS 17.0 paket programı ile yapılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### Taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir ve çinko kapsamı ile Fe/Zn oranı

Kum ortamında yetiştirilen çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 1'de, ekstrakte edilebilir demir kapsamına etkisi ilişkin değerler ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları					
Demir sülfat dozu		Çeşit		Demir sülfat dozu x Çeşit etkileşimi	
SD	F	SD	F	SD	F
2	10.55**	4	50.0**	8	100.0**

\*p<0.01; \*\*p<0.05; SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 2. Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamına etkisi

Çeltik Çeşidi	Taze köklerde soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamı (%)			Ortalama
	45 $\mu\text{M}$ Fe	3.50 mM Fe	3.50 mM Fe + % 10 Bentonit	
Biga incisi	0.030jk	1.43e	0.98f	0.81C
Osmancık-97	0.020k	2.04a	0.70h	0.92B
Hamzadere	0.031jk	1.55d	0.81g	0.79C
Ronaldo	0.12i	1.93b	0.79g	0.95A
Edirne	0.070j	1.69c	0.66h	0.80C
Ortalama	0.05C	1.73A	0.79B	

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

Çizelge 1 ve 2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere, demir dozunun, çeşitlerin ve demir dozu×çeşit interaksiyonunun taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamına etkileri  $p < 0.01$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toksik düzeyde demir uygulaması ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  formunda) taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamını, yeterli demir düzeyine göre önemli bir şekilde arttırmıştır. Bentonit ilaveli kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeşitlerinin taze köklerinde soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamı, bentonitsiz kum ortamda yetiştirilen çeşitlerinkine kıyasla önemli derecede azalmıştır. Diğer bir ifadeyle, kum ortamına bentonit ilavesi (% 10), çeşitlerin demir alımını azaltarak, taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamını önemli derecede azaltmıştır. Genel ortalamalar dikkate alındığında, çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamları yönünden istatistiksel olarak; Ronaldo > Osmancık-97 > Biga incisi ~ Edirne ~ Hamzadere şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 2).

Taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamına uygulanan demir dozlarının etkisi çeltik çeşitlerine bağlı bulunmuştur. Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Osmancık-97 > Ronaldo > Edirne > Hamzadere > Biga incisi şeklinde sıralanmıştır. Bentonitsiz kum ortamında demir toksisitesi şartlarında Osmancık-97 çeşitinin taze köklerinde demir plak içerisinde demir konsantrasyonunun diğer çeşitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Diğer yandan, bentonit ilaveli kum ortamında ise bu sıralama; Biga incisi > Hamzadere ~ Ronaldo > Osmancık-97 ~ Edirne şeklinde gerçekleşmiştir. Bentonit ilaveli ortamda ise Biga incisi çeşidinin taze köklerdeki demir konsantrasyonunun diğer çeşitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ek olarak, kum ortamına yeterli düzeyde ( $45 \mu M Fe$ ) demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Ronaldo > Edirne ~ Hamzadere ~ Biga incisi ~ Osmancık-97 şeklinde sıralanmıştır.

Kum ortamında yetiştirilen çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 3'te, ekstrakte edilebilir çinko kapsamına etkisine ilişkin değerler ise Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 3'in incelenmesinden anlaşılacağı üzere demir dozunun, çeşitlerin ve demir dozu×çeşit interaksiyonunun taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamına etkileri  $p < 0.01$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toksik düzeyde demir uygulaması ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  formunda) taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamını, yeterli demir düzeyine göre önemli bir şekilde arttırmıştır. Bu artışın nedeninin, kökte çinkonun demir oksitlere bağlanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu durum çinko toksisitesini azaltıcı bir etkiye sahiptir. Greipsson ve Crowder (1992), demir plak oluşumunun bitkilerin gelişimini artırabileceğini ve çeltik fidelerindeki aşırı Cu, Ni ve Zn toksisitesini azaltabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Çizelge 3. Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları					
Demir sülfat dozu		Çeşit		Demir sülfat dozu× Çeşit interaksiyonu	
SD	F	SD	F	SD	F
2	349.0**	4	349.0**	8	349.0**

\* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ ; SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 4. Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamına etkisi

Çeltik Çeşidi	Taze köklerde soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamı (%)			Ortalama
	$45 \mu M Fe$	$3.50 mM Fe$	$3.50 mM Fe + \% 10 Bentonit$	
Biga incisi	0.030f	0.050d	0.050d	0.044D
Osmancık-97	0.071b	0.080a	0.050d	0.067A
Hamzadere	0.020g	0.070b	0.070b	0.053B
Ronaldo	0.039e	0.049d	0.049d	0.044C
Edirne	0.050d	0.060c	0.050d	0.053B
Ortalama	0.042C	0.062A	0.054B	

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

Bentonit ilaveli kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitlerinin taze köklerinde soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamı, bentonitsiz kum ortamda yetiştirilen çeşitlerinkine kıyasla önemli derecede azalmıştır. Diğer bir ifadeyle, kum ortamına bentonit ilavesi, çeşitlerin çinko alımını azaltarak, taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamını önemli derecede azaltmıştır. Genel ortalamalar dikkate alındığında, çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamları yönünden istatistiksel olarak sırasıyla; Osmancık-97 > Hamzadere ~ Edirne > Ronaldo > Biga incisi şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4). Taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamına uygulanan demir dozlarının etkisi çeltik çeşitlerine bağlı bulunmuştur.

Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Osmancık-97 > Hamzadere > Edirne > Biga incisi ~ Ronaldo şeklinde sıralanmıştır. Bentonitsiz ortamda ise Osmancık-97 çeşidinin taze köklerindeki çinko konsantrasyonunun diğer çeşitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Diğer yandan, bentonit ilaveli (% 10) kum ortamında ise bu sıralama istatistiksel olarak; Hamzadere > Biga incisi ~ Osmancık-97 ~ Edirne ~ Ronaldo şeklinde gerçekleşmiştir. Bentonit ilaveli ortamda ise Hamzadere çeşidinin taze köklerindeki çinko konsantrasyonunun diğer çeşitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ek olarak, kum ortamına yeterli düzeyde (45  $\mu\text{M}$  Fe) demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Osmancık-97 > Edirne > Ronaldo > Biga incisi > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır.

Demir toksisitesi ortamında bentonit kili demir ve çinkoyu tutarak taze köklerde demir plak içerisinde demir ve çinko birikiminin azalmasına yol açmıştır. [Tadano \(1976\)](#), çeltik çeşitlerinde demir toksisitesi değişkenliğinden sorumlu üç mekanizma olabileceğini bildirmiştir. Bu mekanizmalar: i) rizosferde  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin oksidasyonu, ii)  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin kök yüzeyinden uzak tutulması ve iii) Kök dokularında demirin tutulmasını takiben kökten sürgünlere bu elementin taşınımının engellenmesidir.

[Mendelssohn ve ark. \(1995\)](#), kök demir plak oluşumunun varlığı ve derecesinin çoklu abiyotik ve biyotik faktörler tarafından kontrol edildiğini bildirmişlerdir. [Snowden ve Wheeler \(1995\)](#), çeltik bitkilerinin köklerinde bir dışlama mekanizması yoluyla bir demir plağın oluştuğunu ve bu sayede bitkide demir ve bazı minerallerin emiliminin sınırlanabileceğini bildirmişlerdir. [Smolders ve Roelofs \(1996\)](#), bitki kökünde demir plak oluşumunun, anoksik ve su taşkınlarına maruz kalan ortamlarda yetiştirilen sulak alan bitkileri için bir hayatta kalma stratejisi olduğunu rapor etmişlerdir. [Zhang ve ark., \(1998\)](#) çeltik köklerindeki demir plağın, gelişme ortamından çinko ve fosforu alıp, biriktirebileceğini rapor etmişlerdir. [Liu ve ark. \(2004\)](#), demir plakların yaygın olarak *Oryza sativa*, *Typha latifolia* L. ve *Phragmites australis* (kamuş) gibi sucul bitki türlerinin köklerinde oluştuğunu bildirmişlerdir. Demir plakların amorf veya kristal olabileceği bildirilmiştir ([Bacha ve Hossner, 1977](#); [Chen ve ark., 1980](#)). Demir plakların; esas olarak ferrihidrit (% 63), götit (% 32) ve az miktarda siderit (% 5) içerdiği bildirilmiştir ([Hansel ve ark., 2001](#)).

[Liu ve ark., \(2004\)](#), artan konsantrasyonda Fe stresine maruz bırakılan bitkilerin köklerinde oluşan demir plakların ihtiva ettiği demir miktarının bitki genotiplerine göre farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca demir plağın varlığının, potansiyel fitotoksik metallerin ve metaloidlerin bitki dokularına alımını azaltmak için bir bariyer veya bir tampon gibi hareket edebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar kök demir plağının, çeltik bitkilerinde Al, As, Sb, Pb ve Zn alımını azalttığını bildirmişlerdir.

Çeltik çeşitlerinde toksik düzeyde demir içerikli besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 5'te, ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına etkisine ilişkin değerler ise Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 5 ve 6'nın incelenmesinden anlaşılacağı üzere demir dozunun, çeşidin ve demir dozu $\times$ çeşit interaksyonunun taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına etkileri  $p < 0.01$  seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Toksik düzeyde demir uygulaması ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  formunda) taze kökte ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranını, yeterli demir düzeyine kıyasla önemli bir şekilde arttırmıştır. Bentonit ilaveli kum ortamında toksik düzeyde demir uygulaması sonucu taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranı, bentonitsiz ortamdakine göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, bentonitsiz ve bentonit ilaveli kum ortamlarında yetiştirilen çeşitlerin taze köklerinde soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oran değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Genel ortalamalar dikkate alındığında, çeltik çeşitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oran değerleri bakımından büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Ronaldo > Biga incisi > Edirne > Osmancık-97 > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır. Diğer bir ifadeyle, Osmancık ve Hamzadere çeltik

çesitlerinde taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsamının diğer çeltik çesitlerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına uygulanan demir dozlarının etkisi çeltik çesitlerine bağlı bulunmuştur. Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çesitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oran değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Ronaldo ~ Edirne > Biga incisi > Osmancık-97 > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır. Bentonitsiz ortamda ise Ronaldo ve Edirne çesitlerinin taze köklerdeki Fe/Zn oranının diğer çesitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ilgili çesitlerde çinko noksanlık riskini arttırabilir.

Diğer yandan, bentonit ilaveli (% 10) kum ortamında ise bu sıralama istatistiksel olarak; Biga incisi > Ronaldo > Osmancık-97 ~ Edirne > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır. Bentonit ilaveli ortamda ise Biga incisi çesidinin taze köklerdeki Fe / Zn oranının diğer çesitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Biga incisinde çinko noksanlık riskini arttırabilir.

Ek olarak, kum ortamına yeterli düzeyde (45 µM Fe) demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çesitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oran değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Ronaldo > Edirne ~ Hamzadere ~ Biga incisi ~ Osmancık-97 şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 5. Çeltik çesitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları					
Demir sülfat dozu		Çesit		Demir sülfat dozu× Çesit interaksyonu	
SD	F	SD	F	SD	F
2	4246.90**	4	119.50**	8	54.90**

\*p<0.01; \*p<0.05; SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 6. Çeltik çesitlerinde toksik düzeyde demir içerikli tam besin çözeltisi uygulamasının taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe/Zn oranına etkisi

Çeltik Çesidi	Taze köklerde soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsamı (%)			Ortalama
	45 µM Fe	3.50 mM Fe	3.50 mM Fe +% 10 Bentonit	
Biga incisi	0.99j	28.46b	19.43e	16.29B
Osmancık-97	0.29j	24.66c	14.06g	13.23D
Hamzadere	1.53j	22.20d	11.63h	11.79E
Ronaldo	3.03i	38.93a	16.03f	19.33A
Edirne	1.40j	27.96a	13.26g	14.21C
Ortalama	1.45C	287.58A	14.89B	

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

## Sonuçlar

Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çesitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir demir kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Osmancık-97 > Ronaldo > Edirne > Hamzadere > Biga incisi şeklinde sıralanmıştır. Diğer yandan, bentonit ilaveli kum ortamında ise bu sıralama; Biga incisi > Hamzadere ~ Ronaldo > Osmancık-97 ~ Edirne şeklinde gerçekleşmiştir.

Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çesitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir çinko kapsam değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Osmancık-97 > Hamzadere > Edirne > Biga incisi ~ Ronaldo şeklinde sıralanmıştır. Diğer yandan, bentonit ilaveli (% 10) kum ortamında ise bu sıralama istatistiksel olarak; Hamzadere > Biga incisi ~ Osmancık-97 ~ Edirne ~ Ronaldo şeklinde gerçekleşmiştir.

Bentonitsiz kum ortamında toksik düzeyde demir sülfatlı besin çözeltisi uygulaması ile yetiştirilen çeltik çesitleri taze kökte soğuk ekstrakte edilebilir Fe / Zn oran değerleri bakımında büyükten küçüğe doğru istatistiksel olarak sırasıyla; Ronaldo ~ Edirne > Biga incisi > Osmancık-97 > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır. Diğer yandan, bentonit ilaveli (% 10) kum ortamında ise bu sıralama istatistiksel olarak; Biga incisi > Ronaldo > Osmancık-97 ~ Edirne > Hamzadere şeklinde sıralanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Güney Akınoğlu'nun doktora tezinden hazırlanmıştır.

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.

## Kaynaklar

- Armstrong W, 1979. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.*, 7:226-332.
- Aung MS, Masuda H, Kobayashi T, and Nishizawa NK, 2018. Physiological and transcriptomic analysis of responses to different levels of iron excess stress in various rice tissues. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 64:370-385.
- Bacha RE, Hossner LR, 1977. Characteristics of coatings formed on rice roots as affected by iron and manganese additions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 41:931-935.
- Becker M, Asch F, 2005. Iron Toxicity – Conditions and management concepts. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168:558-573.
- Chen CC, Dixon JB, Turner FT, 1980. Iron coatings on rice roots: morphology and models of development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:1113-1119.
- Greipsson S, Crowder AA, 1992. Amelioration of copper and nickel toxicity by Fe plaque on roots of rice (*Oryza sativa*). *Can. J. Bot.*, 70:824-830.
- Hansel CM, Fendorf, S, Sutton S, Newville M, 2001. Characterization of Fe plaque and associated metals on the roots of mine-waste impacted aquatic plants. *Environ. Sci. and Technol.*, 35:3863-3868
- Jayawardena SDG, Watabe T, Tanaka K, 1977. Relation between root oxidizing power and resistance to iron toxicity in rice. *Crop Sci. Plant Breed. Soc. J.*, 22:38-47
- Kawase M, 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *Hortsci.*, 16:30-34.
- Liu WJ, Zhu YG, Smith FA, Smith SE, 2004a. Do iron plaque and genotypes affect arsenate uptake and translocation by rice seedlings (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture? *J. Exp. Bot.*, 55:1707-1713.
- Mendelssohn IR, Kleiss BA, Wakeley JS, 1995. Factors controlling the formation of oxidized root channels: a review. *Wetlands* 15:37-46.
- Smolders AJP, Roelofs JGM, 1996. The roles of internal iron hydroxide precipitation, sulphide toxicity and oxidizing ability in the survival of *Stratiotes aloides* roots at different iron concentrations in sediment pore water. *New Phytol.*, 133:253-260.
- Snowden R, Wheeler BD, 1995. Chemical changes in selected wetland plant species with increasing Fe supply, with specific reference to root precipitates and Fe tolerance. *New Phytol.*, 131:503-520. doi:10.1111/j.1469-8137.1995.tb03087.x
- Tadano T, 1975. Devices of rice roots to tolerant high iron concentrations in growth media. *Japan Agric. Res. Q.* 9:34-39.
- Tadano T, 1976. Studies on the methods to prevent iron toxicity in lowland rice. *Memoirs of the Faculty of Agriculture*, 10:22-88.
- Tanaka A, Loe R, Navasero SA, 1966. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12:158-164.
- Taylor GJ, Crowder AA, Rodden R, 1983. Use of DCB technique for extraction of hydrous iron oxides from roots of wetland plants. *Am. J. Bot.*, 70:1254-1257.
- Tinh TK, 1999. Reduction chemistry of acid sulphate soils: Reduction rates and influence of rice cropping. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 206, Uppsala, Sweden.
- Wu L, Shhadi MY, Gregorio G, Matthus E, Becker M, Frei M, 2014. Genetic and physiological analysis of tolerance to acute iron toxicity in rice. *Rice*, 7,8. DOI: 10.1186/s12284-014-0008-3
- Zhang X, Zhang F, Mao D, 1998. Effect of Fe plaque outside roots on nutrient uptake by rice (*Oryza sativa* L.): zinc uptake. *Plant Soil*, 202:33-39.