



BAZI ÇELTİK ÇEŞİTLERİNİN DEMİR NOKSANLIĞINA DAYANIKLILIKLARININ BELİRLENMESİ

Güney AKINOĞLU^{1*}, Ahmet KORKMAZ¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

Özet: Bu çalışmanın amacı, bazı çeltik çeşitlerinin demir noksanlığına dayanıklılıklarının belirlenmesidir. 5 farklı çeltik çeşidine ilişkin fideler %0 ve %4 kireç (CaCO₃) içeren 1 kg kuvars kumu dolu plastik saksılara her saksıda 10 bitki olacak şekilde dikilmiştir. Çeltik bitkisine her kireç dozunda 0 ve 45 µM Fe dozlarında Fe-EDDHA içeren bitki besin çözeltisi verilmiştir. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen 5 farklı çeltik çeşidinin incelenen 22 özellik bakımından 2 ana grupta toplandığı görülmüştür. Bunlardan Biga incisi ve Osmancık-97 çeşitleri birinci grubu; Ronaldo ve Edirne çeşitleri ise ikinci grubu oluşturmuştur. Diğer yandan, Hamzadere çeşidi ise Ronaldo ve Edirne çeşitlerinin oluşturduğu ikinci gruba daha yakın bulunmuştur. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeşitler arasında incelenen özellikler bakımından en yakın iki çeltik çeşidinin Biga incisi ve Osmancık-97 çeşitleri olduğu; buna karşın, birbirine en uzak çeltik çeşitlerinin ise Biga incisi ve Hamzadere çeltik çeşitleri olduğu tespit edilmiştir. Demir noksanlığına en dayanıklı çeşit Biga incisi; buna karşın, en hassas çeşidin ise Hamzadere çeşidi olduğu tespit edilmiştir. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitlerinde demir noksanlığını belirleyen en iyi özelliklerinin nisbi glutatyon redüktaz aktiviteleri ve nisbi prolin kapsamına ilişkin değerler olduğu ve bu özellikler yönünden bu çeşitlerin iyi çeşitler oldukları belirlenmiştir. Bu çeşitler aynı grupta toplanmışlardır. Ronaldo çeltik çeşidinde, nisbi glutatyon redüktaz aktivitesi ve nisbi prolin kapsamı sırasıyla %95,39 ve %90,95; Edirne çeşidinde ise sırasıyla %78,94 ve 87,21 bulunmuştur. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen Osmancık-97 ve Biga incisi çeşitlerinin ise nisbi karotenoid kapsamı yönünden iyi çeşitler oldukları ve bu çeşitlerin aynı grupta buldukları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çeltik çeşidi, Demir noksanlığı, Demir beslenme kabiliyeti ve özellikleri


Determining the Resistance of Some Rice Cultivars to Iron Deficiency


Abstract: The aim of this study is to determine the resistance of some paddy varieties to iron deficiency. Seedlings of 5 different paddy varieties were planted in plastic pots filled with 1 kg of quartz sand containing 0 %and 4 %lime (CaCO₃), with 10 plants per pot. A nutrient solution containing Fe-EDDHA in doses of 0 and 45 µM Fe in each lime dose was given to the rice plant. It was seen that 5 different paddy varieties grown under iron deficiency conditions were collected in 2 main groups in terms of 22 characteristics. While Biga pearl and Osmancık-97 varieties formed the first group, Ronaldo and Edirne varieties formed the second group. On the other hand, Hamzadere variety was found closer to the second group consisting of Ronaldo and Edirne varieties. Among the varieties grown under iron deficiency conditions, the closest two paddy varieties in terms of the characteristics examined are Biga pearl and Osmancık-97 varieties; On the other hand, it has been determined that the most distant paddy varieties are Biga pearl and Hamzadere paddy varieties. It was determined that the most resistant variety to iron deficiency was Biga pearl, while the most sensitive variety was the Hamzadere variety. It has been determined that the best characteristics determining iron deficiency in Ronaldo and Edirne paddy cultivars grown under iron deficiency conditions are relative glutathione reductase activities and values related to relative proline content and these varieties are good varieties in terms of these features. These varieties are gathered in the same group. Relative glutathione reductase activity and relative proline content were respectively 95.39%and 90.95%in Ronaldo paddy variety, while in Edirne variety it was 78.94%and 87.21%, respectively. Osmancık-97 and Biga pearl varieties grown under iron deficiency conditions are good varieties in terms of their relative carotenoid content and it has been determined that these varieties are in the same group.

Keywords: Rice variety, Iron deficiency, Iron nutritional ability and properties

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

E mail: guney_akinoglu@gmail.com (G. AKINOĞLU)

Güney AKINOĞLU  <https://orcid.org/0000-0003-4624-2876>

Ahmet KORKMAZ  <https://orcid.org/0000-0001-5595-0618>

Gönderi: 19 Mart 2021

Kabul: 31Mart 2021

Yayınlanma: 01 Temmuz 2021

Received: March 19, 2021

Accepted: March 31, 2021

Published: July 01, 2021

Cite as: Akinoğlu G, Korkmaz A. 2021. Determining the resistance of some rice cultivars to iron deficiency. BSJ Eng Sci, 4(3): 89-95.

1. Giriş

Demir; klorofil biyosentezi, fotosentez, solunum, DNA sentezi, mitokondri ve kloroplastlarda elektron sağlama, elektron taşınım zincirinde görev alma, protein sentezi ve nitratların amonyağa indirgenmesi de dahil olmak üzere bitkilerde birçok hücrel fonksiyonlarda mutlak gerekli bir elementtir (Ishimaru ve ark., 2006; Kumar ve ark., 2013).

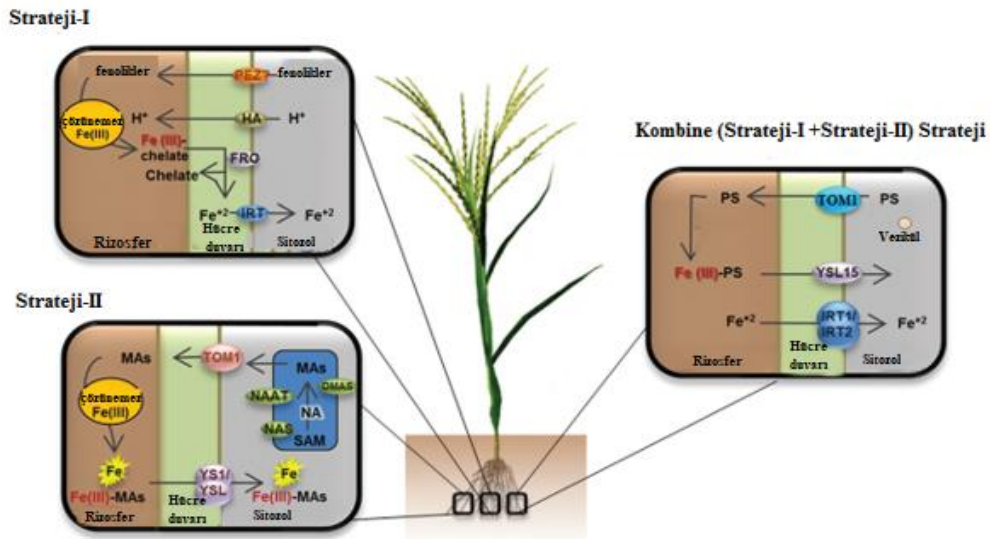
Demir; sitokrom, katalaz, peroksidaz, Fe-S (ferrodoksin), akonitaz, süperoksit dismutaz enzimi dahil hem proteini gibi hücrel redoks sisteminin ana maddesidir (Marschner, 1995). Fe⁺² ve Fe⁺³ redoks çifti enzimatik redoks reaksiyonlarını arttırarak bitki gelişmesinde önemli bir rol oynar (Gill ve Tuteja, 2010). Oksitlenmiş topraklarda demir genellikle ferrik (Fe⁺³) formda olup, oksitler ve hidroksioksitler şeklinde



bağlanır. Fe^{+3} demirin çözünürlüğü çok düşüktür. Bununla birlikte, bitkilerin başlıca demir alımı Fe^{+2} şeklinde gerçekleşir (Lindsay ve Schwab, 1982). Dolayısıyla demirin bitkiler tarafından alımı için Fe^{+2} formuna indirgenmesi gerekir. Aksi takdirde, Fe^{+3} formunun alımı ve kullanımı için köklerin içindeki şelatlama ajanları tarafından taşınması gerekir. Bu nedenle, büyüme ortamındaki olumsuzluğa cevaben bitkilerin geliştirdiği iki mekanizma vardır. (Romheld ve Marschner, 1986; Rogers ve Guerinot, 2002; Epstein ve Bloom, 2005). Bu mekanizmalardan birincisi protonların (H^+) bitki kökleri tarafından salınmasını takiben rizosferin pH değerinin düşmesidir. Rizosferdeki düşük pH düzeyi demiri çözebilir veya Fe^{+3} iyonunu Fe^{+2} formuna indirgeyebilir. Daha sonra indirgenmiş demir formu ise bitkide Fe^{+2} spesifik taşıma sistemi sayesinde plazma zarı boyunca taşınır. Bu mekanizma türü esas olarak dikotiledon bitkilerde ve otsu monokotiledonlarda gerçekleşir (Epstein ve Bloom, 2005). Bitkilerin demir alımı için indüklediği ikinci mekanizma ise bitki kökleri tarafından fitosideroforların (demir taşıyıcıları) salınmasıdır. Bu fitosideroforlar Fe^{+3} iyonunu Fe^{+2} iyonuna indirgemediği Fe^{+3} ile bir kompleks oluşturur ve bu Fe^{+3} - siderofor kompleksi daha sonra bitkinin kök hücre plazma membranları boyunca taşınır (Epstein ve Bloom, 2005). Takagi ve ark., (1984), şelatlayıcı bileşiklerin veya fitosiderofor salınmasının, dikotiledon bitkilere özgü bir durum olmadığını, ancak bu durumun

çim veya otsu bitkiler için spesifik olduğunu belirtmiştir. Şelatlama bileşikleri, protein yapısında olmayan amino asitler, mugineik asit ve avenik asitler olarak karakterize edilir.

dos Santos ve ark., (2017) yapmış oldukları bir makalede çeltikte demirin absorpsiyonu ve taşınımını incelemişlerdir. Araştırmacılar, Palmer ve Guerinot (2009); Kobayashi ve Nishizawa (2012); Bashir ve ark., (2013) tarafından verilen bilgilere göre, çeltik bitkisinin demiri absorbe etme ve taşıma yönünden Strateji-I ve Strateji-II bitkilerinin kombine özelliklerini gösterdiğini belirtmişlerdir. Şekil 1'den görüleceği üzere, çeltik bitkisinin rizosfer ortamına H^+ iyonu vererek çözünmez formdaki +3 değerli demiri (Fe^{+3}) çözmesi ve ayrıca ferrik redüktaz oksidaz enzimi sayesinde +3 değerlikli demirin, +2 değerlikli demire (Fe^{+2}) indirgenmesi suretiyle hücre içerisine alınması Strateji-I bitkilerinin özelliğidir. Diğer yandan, çeltik bitkisinin köklerinden fitosiderofor salgılaması ve bu sayede çözünmez formdaki Fe^{+3} 'ün çözünürlüğünü sağlayarak, Fe^{+3} 'ün hücre içerisine alınmasını sağlaması Strateji-II bitkilerinin bir özelliğidir. Dolayısıyla araştırmacılar, demir alımı ve taşınımı yönünden çeltik bitkisinin, hem Strateji-I hem de Strateji-II bitkileri gibi davrandığını ve bu iki özelliğin bitkide kombine ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, bazı çeltik çeşitlerinin demir noksanlığına dayanıklılıklarının belirlenmesidir.



Şekil 1. Çeltikte demirin absorpsiyonu ve taşınımı (Palmer ve Guerinot, 2009; Kobayashi ve Nishizawa, 2012; Bashir ve ark., 2013).

2. Materyal ve Yöntem

Sera denemelerinde kullanılan çeltik tohumları; Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından temin edilmiştir. Demir beslenme kabiliyetlerinin belirlenmesinde 5 farklı çeltik çeşidi kullanılmıştır. 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 40×25×5 cm boyutundaki beyaz plastik küvetlere aktarılarak 10 gün içinde çeltik fideleri haline gelmesi sağlandı. 5 farklı çeltik çeşidine ilişkin fideler %0 ve %4 kireç ($CaCO_3$) içeren 1 kg kuvars kumu dolu plastik saksılara (12×12 cm) her saksıda 10 bitki olacak

şekilde dikilmiştir. Çeltik bitkisine her kireç dozunda 0 ve 45 µM Fe dozlarında Fe-EDDHA içeren aşağıdaki bitki besin çözeltisi verilmiştir:

500 µM NH₄NO₃; 60 µM NH₄H₂PO₄; 230 µM K₂SO₄; 210 µM CaCl₂; 160 µM MgSO₄·7H₂O; 2,5µM MnCl₂; 0,75 µM (NH₄)₆Mo₇O₂₄; 3,2 µM H₃BO₃; 0,1 µM CuSO₄.

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 ayarlandı. Deneme; 2 farklı kireç dozu, 2 farklı demir dozu ve 5 farklı çeltik çeşidi üzerinden 2 × 2 × 5 faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Denemede her muamele 3 tekrerrürlü yapıldı. Deneme 50 gün sürmüştür.

Denemede fenolojik gözlemler yapılarak hasattan yaklaşık bir hafta önce çeltik çeşitlerinden taze yaprak örnekleri alınmış ve bu taze yaprak örneklerinde klorofil ve karotenoid analizleri yapılmıştır. Taze yaprak örneklerinde klorofil ve karotenoid tayinleri Arnon (1949); Witham ve ark. (1971) tarafından bildirildiği şekilde yapılmıştır.

Ayrıca hasattan bir hafta önce Portatif SPAD metre cihazı (Konica Minolta SPAD-502 Plus) ile yaprakların tam ortasından okuma ölçümleri alınarak, bitkilerin SPAD metre okuma değerleri belirlenmiştir.

Deneme süresi bitiminde çeltik bitkisinin kök ve toprak üstü kısmı hasat edilip, taze kök ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır. Çeltik çeşitleri kök ve toprak üstü kısmı şeklinde ayrılarak, etüvde 65 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan kök ve toprak üstü kısmının kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Ardından bitki kök ve toprak üstü kısmı, paslanmaz çelikten yapılmış bıçaklara sahip bir öğütücüde öğütülerek analize hazır duruma getirilmiştir.

Kök ve sapta toplam demir ve çinko, atomik absorpsiyon spektrofotometre (AAS) cihazı ile Kacar ve İnal (2008)'a göre belirlenmiştir. Ayrıca, kuru yaprak örneğinde aktif demir AAS cihazı ile belirlenmiştir (Oserkowsky, 1933).

Taze yaprak örneklerinde Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi, Amako ve ark. (1994); Katalaz (CAT) aktivitesi, Dhindsa ve ark. (1981b); Peroksidaz (POD) aktivitesi, Wakamatsu ve ark. (1993) Glutasyon redüktaz (GR) aktivite tayini, Jiang ve ark. (2002) tarafından bildirilen metotlara göre yapılmıştır. Ayrıca, taze yapraklarda prolin miktarının belirlenmesi Bates ve ark. (1973) tarafından bildirilen metoda göre yapılmıştır. Bitkinin taze dokusunda MDA içeriği Ananieva ve ark. (2002)'ne göre belirlenmiştir.

Bitkilerde gözlenen demir noksanlığı semptomları 1-5 skalasına (yaprak üzerindeki klorotik lekelerin şiddeti) göre; [1: çok şiddetli, 2: şiddetli, 3: orta düzeyde şiddetli, 4: az şiddetli, 5: çok hafif veya yok] sınıflandırılmıştır (Torun ve ark., 2017).

Çeltik bitkisi taze köklerinde ferrik redüktaz aktivitesi (FRA) tayini Ojeda ve ark. (2004) tarafından bildirilen

metoda göre yapılmıştır. Bitkinin taze köklerinden salgılanan fitosiderofor miktarı, Andiç (2011), tarafından bildirilen metoda göre yapılmıştır. Sapta demir alımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (eşitlik 1);

$$\text{Sapta Fe alımı } (\mu\text{g Fe/saksı}) = \text{Sapta Fe kapsamı (ppm)} \times \text{Sap kuru madde ağırlığı (g)} \quad (1)$$

Kum ortamında kireç ilaveli ve kireç ilavesiz koşullar altında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin demir noksanlığına tolerans indeks değeri (%) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesap edilmiştir (eşitlik 2). Demir noksanlığına tolerans indeks değeri (nisbi değer);

$$\% = (A / B) \times 100 \quad (2)$$

burada;

A= Kontrol uygulamasında (Fe0) bir çeşide ait sap kuru madde miktarı, g.

B= Yeterli demir konsantrasyonunda (45 µM Fe) bütün çeşitlerin ortalama sap kuru madde miktarı, g.

2.2. İstatistiksel Analizler

Demir beslenme indeksleri yönünden 5 farklı çeltik çeşidinin birbirlerine yakınlık ve uzaklıklarını belirlemek amacıyla Cluster (kümeleme) testi veya benzerlik testi uygulanmıştır. Cluster analizi JMP.5.0 istatistik paket programında Ward Yöntemi'ne göre yapılmıştır. Çeltik çeşitlerinin demir beslenme indekslerine göre sınıflandırılması ve hatların bu indekslere göre değişimi ve en iyi özellikleri Biplot analiz yöntemi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Demir Noksanlığı (Fe0) Şartlarında Yetiştirilen Çeltik Çeşitlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması

Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin gruplandırılması, birbirlerine yakınlık ve uzaklık durumları ile en iyi özelliklerinin belirlenmesinde incelenen 22 özelliğe ilişkin değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin birbirlerine benzerlik ve uzaklık düzeylerini ifade eden değerler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin gruplandırılmasına ilişkin dendrogram Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2 ve Şekil 2'in birlikte incelenmesinden anlaşılacağı üzere, demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen 5 farklı çeltik çeşidinin incelenen 22 özellik bakımından 2 ana grupta toplandığı görülmüştür. Bunlardan Biga incisi ve Osmancık-97 çeşitleri birinci gruba; Ronaldo ve Edirne çeşitleri ise ikinci gruba oluşturmuştur. Diğer yandan, Hamzadere çeşidi ise Ronaldo ve Edirne çeşitlerinin oluşturduğu ikinci gruba daha yakın bulunmuştur. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeşitler arasında incelenen özellikler bakımından en yakın iki çeltik çeşidinin Biga incisi ve Osmancık-97 çeşitleri (uzaklık düzeyi 24,264) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin gruplandırılması, birbirlerine yakınlık ve uzaklık durumları ile en iyi özelliklerinin belirlenmesinde incelenen 22 özelliğe ilişkin değerler

| Çeşit | Biga incisi | Osmancık-97 | Hamzadere | Ronaldo | Edirne |
|-------|-------------|-------------|-----------|---------|--------|
| I | 42,0 | 47,4 | 41,2 | 41,5 | 49,1 |
| II | 96,0 | 81,9 | 53,1 | 74,7 | 75,5 |
| III | 35,3 | 43,3 | 35,3 | 33,4 | 44,1 |
| IV | 82,6 | 74,1 | 53,1 | 69,0 | 65,6 |
| V | 76,2 | 83,6 | 83,1 | 68,7 | 60,2 |
| VI | 76,6 | 84,1 | 83,6 | 69,1 | 60,5 |
| VII | 78,6 | 76,2 | 70,0 | 52,4 | 39,7 |
| VIII | 76,1 | 73,8 | 67,8 | 50,7 | 38,4 |
| IX | 97,6 | 97,6 | 76,1 | 61,9 | 61,9 |
| X | 91,1 | 91,1 | 71,1 | 57,7 | 57,7 |
| XI | 90,9 | 80,0 | 110,2 | 100,2 | 107,2 |
| XII | 81,7 | 85,6 | 77,8 | 85,6 | 93,3 |
| XIII | 78,9 | 49,3 | 82,2 | 95,3 | 78,9 |
| XIV | 62,8 | 79,3 | 100,2 | 80,5 | 82,4 |
| XV | 50,8 | 73,6 | 85,3 | 90,9 | 87,2 |
| XVI | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,04 | 0,08 |
| XVII | 349,2 | 462,8 | 588,0 | 602,3 | 585,3 |
| XVIII | 79,5 | 67,8 | 89,9 | 56,0 | 71,4 |
| XIX | 37,1 | 58,4 | 39,2 | 69,4 | 50,2 |
| XX | 29,8 | 46,9 | 31,5 | 55,7 | 40,3 |
| XXI | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| XXII | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 |

K0'da nisbi sap kuru madde miktarı (I); K1'de nisbi sap kuru madde miktarı (II); K0'da nisbi demir alımı (III); K1'de nisbi demir alımı (IV); K0'da nisbi aktif demir kapsamı (V); K1'de nisbi aktif demir kapsamı (VI); K0'da nisbi toplam klorofil (VII); K1'de nisbi toplam klorofil (VIII); K0'da nisbi karotenoid (IX); K1'de nisbi karotenoid (X); Nisbi Fe0 peroksidad (XI); Nisbi Fe0 katalaz (XII); Nisbi Fe0 glutatyon redüktaz (XIII); Nisbi Fe0 askorbat peroksidad (XIV); Fe0'da Nisbi prolin (XV); Fe0'da Fitosiderofor salgısı (XVI); Fe0'da Ferrik redüktaz aktivitesi (XVII); Fe0'da Nisbi MDA (XVIII); K0'da nisbi SPAD okuma değeri (XIX); K1'de SPAD okuma değeri (XX); K0'da kloroz derecesi (XXI); K1'de kloroz derecesi (XXII). Not: Nisbi değer, % = [Fe0 seviyesinde belirlenen değer / yeterli demir (Fe45) seviyesinde belirlenen değer] x100 şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin birbirlerine benzerlik ve uzaklık düzeyleri

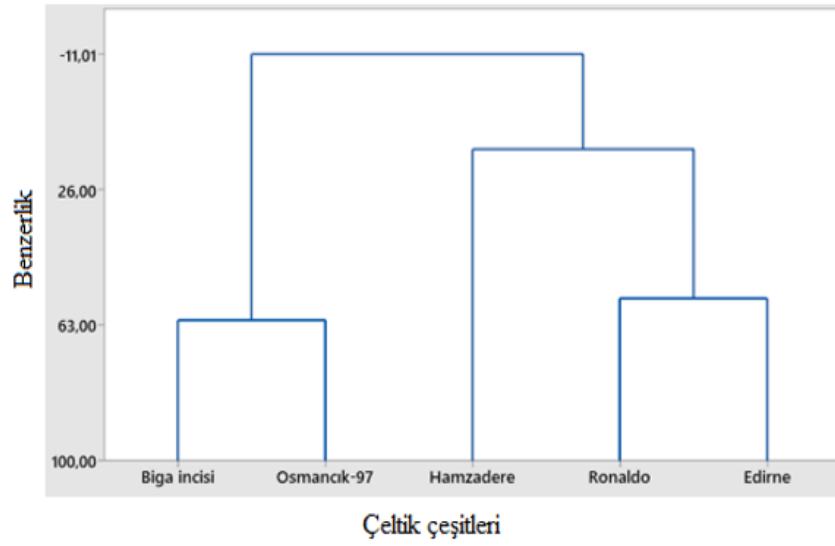
| Basamak | Grup sayıları | Benzerlik düzeyi | Uzaklık düzeyi | Gruplar arası bağlantı | Yeni gruplar | Grup içerisindeki çeşit sayısı | |
|---------|---------------|------------------|----------------|------------------------|--------------|--------------------------------|---|
| 1 | 4 | 61,5418 | 24,2649 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 3 | 55,6072 | 28,0093 | 4 | 5 | 4 | 2 |
| 3 | 2 | 14,9096 | 53,6871 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | -11,0067 | 70,0388 | 1 | 3 | 1 | 5 |

Buna karşın, birbirine en uzak çeltik çeşitlerinin ise Biga incisi ve Hamzadere (uzaklık düzeyi 70,038) çeltik çeşitleri olduğu tespit edilmiştir. Demir noksanlığına en dayanıklı çeşit Biga incisi; buna karşın, en hassas çeşidin ise Hamzadere çeşidi olduğu tespit edilmiştir.

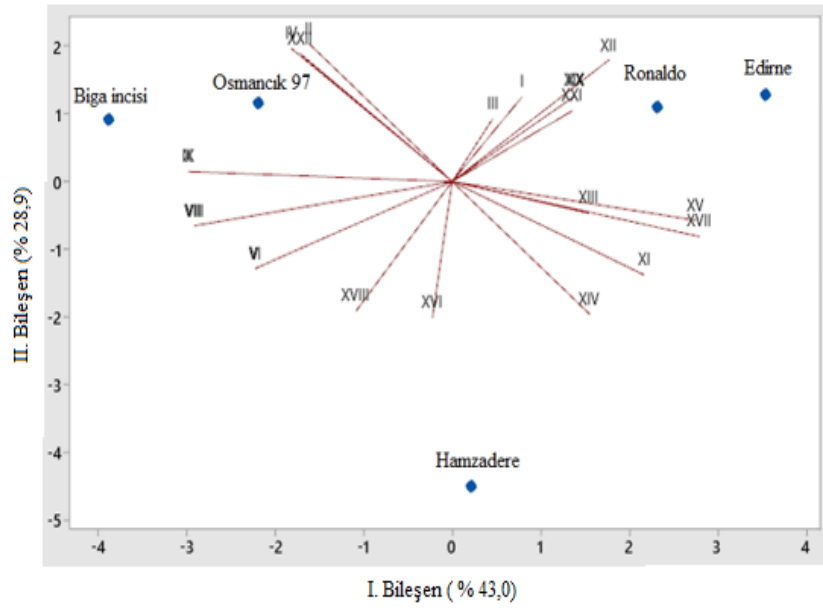
Demir noksanlığı (Fe0) şartlarında incelenen 22 özelliğe ilişkin ortalama değerler dikkate alınarak, özelliklerin çeşitlere göre sınıflandırılması ve çeşitlerin de incelenen özelliklere göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Biplot Yöntemi ile yapılan analizde PC1 (I. Ana bileşen) %43,0, PC2 (II. Ana bileşen) %28,9; PC1 ve PC2'nin toplamı ise

varyasyonun %71,9'unu oluşturmuştur.

Şekil 3'te görüldüğü gibi çeşitlere göre incelenen özellikler ve çeşitlerin dağılımı farklılık göstermiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitlerinde demir noksanlığını belirleyen en iyi özelliklerinin nisbi glutatyon redüktaz aktiviteleri ve nisbi prolin kapsamına ilişkin değerler olduğu ve bu özellikler yönünden bu çeşitlerin iyi çeşitler oldukları belirlenmiştir. Bu çeşitler aynı grupta toplanmışlardır.



Şekil 2. Demir noksanlığı şartlarında belirlenen özelliklerin nisbi değerlerine[*] göre çeltik çeşitlerinin birbirlerine yakınlık ve uzaklık durumlarını açıklayan Ward yöntemi ile oluşturulmuş bir dendrogram.



Şekil 3. Demir noksanlığı şartlarında belirlenen özellikler kapsamında çeltik çeşitlerinin Biplot analiz yöntemine göre gruplandırılması ve çeşitlerin en iyi özellikleri.

Ronaldo çeltik çeşidinde, nisbi glutasyon redüktaz aktivitesi ve nisbi prolin kapsamı sırasıyla %95,39 ve %90,95; Edirne çeşidinde ise sırasıyla %78,94 ve 87,21 bulunmuştur (Tablo 1).

Demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen Osmancık-97 ve Biga incisi çeşitlerinin ise nisbi karotenoid kapsamı yönünden iyi çeşitler oldukları ve bu çeşitlerin aynı grupta buldukları belirlenmiştir. Nisbi karotenoid kapsamı Osmancık-97 ve Biga incisi çeşitleri için sırasıyla %91,11 ve %91,1 bulunmuştur (Tablo 1). Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeşitler arasında fitosiderofor üretimi yönünden Hamzadere çeşidinin iyi bir çeşit olduğu ve bu çeşidin farklı bir grup içerisinde yer aldığı görülmüştür. Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen Hamzadere çeşidinin köklerinde üretilen fitosiderofor miktarı 0,12 $\mu\text{mol} / 10 \text{ bitki } 4 \text{ h}^{-1}$

bulunmuştur (Tablo 1).

Chen ve ark., (2014), tohumunda yüksek demir birikimine sahip bir çeltik çeşidi olan H9405 ile tohumda düşük Fe birikimine sahip bir çeşit olan Yangdao-6 çeşidinde yürütmüş oldukları bir çalışmada demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen her iki çeltik çeşidinin klorofil içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. H9405 ve Yangdao-6 çeltik çeşitlerinde klorofil-a kapsamının sırasıyla %49,1 ve %47,3; klorofil-b kapsamının sırasıyla %50,0 ve %38,5; klorofil (a+b) kapsamının sırasıyla %47,8 ve %45,4; karotenoid içeriğinin ise sırasıyla %36,8 ve %21,2 oranlarında azaldığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Ayrıca H9405 çeltik çeşidinin sürgünlerindeki Fe içeriğinin, Yangdao-6 çeltik çeşidinkinden 1-3 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir. Buna karşın Yangdao-6 çeşidinin kökünde Fe içeriği,

H9405 çeşidinininkine göre daha yüksek bulunmuştur. Çeltik çeşitleri demirce noksan ortamlara nakledildikten sonra, farklı organlarında demir kapsamının azaldığı rapor edilmiştir. Chen ve ark. (2014), tarafından yapılan bir çalışmada demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeltik bitkisi yaprağında klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil (a+b) ve karotenoid kapsamının kontrole kıyasla sırasıyla %49,1, %50,0, %47,8 ve %36,8 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen bitkinin tüm yapraklarında kloroz ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, demirce yeterli ortam koşullarında çeltik bitkisinde sürgün / kök oranının 3,23 iken; demir noksanlığı şartlarında bu oranın 5,15'e yükseldiği bildirilmiştir. Ayrıca yürütülen bu çalışmada demir eksikliği olan yapraklarda askorbat peroksidaz aktivitesi azalmıştır. Bu sonucun şaşırtıcı olmadığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Çünkü demir, peroksidazlar içerisindeki heme reaksiyon alanında vazgeçilmez bir bileşendir. Diğer yandan askorbat rejenerasyonunda anahtar rol oynayan monodehidroaskorbat redüktaz, hidroksiasilglutasyon hidrolaz ve glutasyon stransferaz aktivitesinin arttığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Ek olarak, demir noksanlığı görülen çeltik bitkisi yapraklarında, enerjiyle ilgili proteinlerin bolluğunun arttığı belirtilmiştir. Hem kök hem de yapraklarda, enerji metabolizması (ATP sentezi, glikoliz ve TCA döngüsü) ile ilgili bazı enzimlerin arttığı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Masuda ve ark. (2017), Fe eksikliğine toleranslı çeltik genotipleri yetiştirmek için bir dizi yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Öne sürülen ilk yaklaşımın, bitkideki mugineik asitlerin biyosentezini arttırmak olduğunu belirtmişlerdir. İkinci yaklaşımın ise çeltik bitkisinde Fe (III) ferrik redüktaz aktivitesini arttırmak olduğunu bildirmişlerdir. Üçüncü yaklaşımın ise çeltik bitkisinde Fe homeostazı ile ilgili genleri kontrol eden transkripsiyon faktörlerinin ekspresyonunu arttırmak olduğunu bildirmiştir. Stein ve ark. (2009), Bitki yetiştirme ortamında Fe eksikliğinin; bitkide klorozu indüklediği fotosentetik aktiviteyi azalttığı, yaprak ve kök yaşlanmasına sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir. Rong-li ve ark. (2012), aerobik şartlarda yetiştirilen çeltik bitkisinden salgılanan fitosiderofor (PS) miktarının Fe eksikliği koşulları altında artmadığını bildirmişlerdir. Selby-Pham ve ark. (2017), tarafından yapılan bir çalışmada, 5 hafta süre ile hidroponik olarak yetiştirilen çeltik bitkilerinde ilk haftadan Fe eksikliğine maruz bırakılmanın sonucunda, en genç yaprak dokularının SPAD metre ölçüm değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir azalma görüldüğü tespit edilmiş; fakat bitki taze ağırlığında önemli bir değişiklik saptanmamıştır. Kumar ve ark. (2013), SPAD okuma değerlerinin, bitkilerde klorofil konsantrasyonunun dolaylı ölçümleri olduğunu belirterek; SPAD okuma değerinin ne kadar yüksek bir değeri gösterir ise, yaprak kloroz derecesinin de o derece düşük bir sayı değerini göstereceğini bildirmiştir. Nozoye ve ark. (2014), çeltik bitkisinin günün sabah saatlerinde salgıladığı deoksimugineik asit

(DMA) seviyesinin, öğleden sonra veya gece saatlerinde salgıladığı DMA seviyesinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

4. Sonuç

Demir noksanlığı şartlarında yetiştirilen çeşitler arasında incelenen özellikler bakımından en yakın iki çeltik çeşidinin Biga incisi ve Osmançık-97 çeşitleri (uzaklık düzeyi 24,264) olduğu; buna karşın, birbirine en uzak çeltik çeşitlerinin ise Biga incisi ve Hamzadere (uzaklık düzeyi 70,038) çeltik çeşitleri olduğu tespit edilmiştir. Demir noksanlığına en dayanıklı çeşit Biga incisi; buna karşın, en hassas çeşidin ise Hamzadere çeşidi olduğu tespit edilmiştir.

Demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen Ronaldo ve Edirne çeltik çeşitlerinde demir noksanlığını belirleyen en iyi özelliklerinin nisbi glutasyon redüktaz aktiviteleri ve nisbi prolin kapsamına ilişkin değerler olduğu ve bu özellikler yönünden bu çeşitlerin iyi çeşitler oldukları belirlenmiştir. Bu çeşitler aynı grupta toplanmışlardır. Ronaldo çeltik çeşidinde, nisbi glutasyon redüktaz aktivitesi ve nisbi prolin kapsamı sırasıyla %95,39 ve %90,95; Edirne çeşidinde ise sırasıyla %78,94 ve 87,21 bulunmuştur.

Demir noksanlığı (Fe0) şartlarında yetiştirilen Osmançık-97 ve Biga incisi çeşitlerinin ise nisbi karotenoid kapsamı yönünden iyi çeşitler oldukları ve bu çeşitlerin aynı grupta buldukları belirlenmiştir.

Katkı Oranı Beyanı

AK ve GA fikri tasarladı. GA verileri topladı. AK ve GA verileri analiz etti. AK ve GA makaleyi hazırladı. Tüm yazarlar makaleyi inceledi ve onayladı. Bu makale Prof. Dr. Ahmet Korkmaz'ın danışmanlığında Dr. Güney Akinoğlu'nun yürüttüğü Doktora tezinden üretilmiştir.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışmanın bazı analiz aşamalarında bizlere sundukları katkılarından dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü'nde görev yapan araştırma görevlilerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Amako K, Chen G-X, Asada K. 1994. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. *Plant Cell Physiol*, 35: 497-504.
- Ananieva EA, Alexieva VS, Popova LP. 2002. Treatment with salicylic acid decreases the effects of paraquat on photosynthesis. *J Plant Physiol*, 159: 685-693.
- Andiç E. 2011. Buğday'da kükürt-demir ve kükürt-çinko beslenmesinin mikro besin elementi ve azot konsantrasyonuna etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121, Adana.

- Arnon D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiol*, 24: 1-12.
- Bashir K, Nozoye T, Ishimaru Y, Nakanishi H, Nishizawa NK. 2013. Exploiting new tools for iron bio-fortification of rice. *Biotechnol Adv*, 31: 1624-1633.
- Bates L, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Chen L, Zhao X, Ding C, Wang S, Ding Y. 2014. Physiological and molecular responses under Fe deficiency in two rice (*Oryza Sativa*) genotypes differing in iron accumulation ability in seeds. *J Plant Growth Regul*, 33: 769-777.
- Dhindsa RS, Plumb-Dhindsa P, Throne TA. 1981b. Leaf senescence correlated within creased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *J Exp Bot*, 32: 93-101.
- Dos Santos RS, de Araujo Júnior AT, Pegoraro C, de Oliveira AC. 2017. Dealing with iron metabolism in rice: From breeding for stress tolerance to biofortification. *Genet Mol Biol*, 40: 312-325.
- Epstein E, Bloom AJ. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, 2nd Edn. Sinauer Associates, Sunderland, UK, pp 380.
- Gill SS, Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem*, 48: 909-930.
- Ishimaru Y, Suzuki M, Tsukamoto T, Suzuki K, Nakazono M, Kobayashi T, Wada Y, Watanabe, S, Matsuhashi S, Takahashi M. 2006. Rice plants take up iron as an Fe+3 phytosiderophore and as Fe+2. *Plant J*, 45: 335-346.
- Jiang M, Zhang J. 2002. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. *J Exp Bot*, 53(379): 2401-2410.
- Kacar B, İnal A. 2008. Bitki analizleri, 1. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara, Türkiye, pp 891.
- Kobayashi T, Nishizawa NK. 2012. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *Annu Rev Plant Biol*, 63, 131-152.
- Kumar S, Asif MH, Chakrabarty D, Tripathi RD, Dubey RS, Trivedi PK. 2013. Differential expression of rice lambda class GST gene family members during plant growth, development, and in response to stress conditions. *Plant Mol Biol Rep*, 31: 569-580.
- Lindsay WL, Schwab AP. 1982. The Chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J Plant Nutr*, 5: 821-840.
- Marschner H. 1995. Function of mineral nutrients: micronutrients. In: *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, UK, pp 313-324.
- Masuda M, Shimochi E, Hamada T, Senoura T, Kobayashi T, Aung MS, Ishimaru Y, Ogo Y, Nakanishi H, Nishizawa NK. 2017. A new transgenic rice line exhibiting enhanced ferric iron reduction and phytosiderophore production confers tolerance to low iron availability in calcareous soil. *PLoS One*, 12(3): e0173441.
- Nozoye T, Nagasaka S, Bashir K, Takahashi M, Kobayashi T, Nakanishi H, Nishizawa NK. 2014. Nicotianamine synthase 2 localizes to the vesicles of iron-deficient rice roots, and its mutation in the YXXφ or LL motif causes the disruption of vesicle formation or movement in rice. *Plant J*, 77(2): 246-60.
- Ojeda M, Schaffer B, Davies FS. 2004. Root and leaf ferric chelate reductase activity in pond apple and soursop. *J Plant Nutr*, 27: 1381-1393.
- Oserkowsky J. 1933. Quantitative relation between chlorophyll land iron in green and chlorotic pear leaves. *Plant Physiol*, 8: 449-468.
- Palmer CM, Guerinot ML. 2009. Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Nat Chem Biol*, 5: 333-340.
- Rogers EE, Guerinot ML. 2002. FRD3, a member of the multidrug and toxin efflux family, controls iron deficiency responses in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 14: 1787-1799.
- Rong-li SHI, Hong-mei HAO, Xiao-yun FAN, Karim MR, Fu-suo Z, Chun-qin Z. 2012. Responses of Aerobic Rice (*Oryza sativa* L.) to Iron Deficiency. *J Integr Agric*, 11(6): 938-945
- Römheld V, Marschner H. 1986. Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. *Plant Physiol*, 80: 175-180.
- Selby-Pham J, Lutz A, Moreno-Moyano LT, Boughton BA, Roessner U, Johnson AT. 2017. Diurnal changes in transcript and metabolite levels during the iron deficiency response of rice. *Rice (N.Y)*, 10(1), DOI: 10.1186/s12284-017-0152-7.
- Stein RJ, Ricachenevsky FK, Fett JP. 2009. Differential regulation of the two rice ferritin genes (OsFER1 and OsFER2). *Plant Sci*, 177: 563-569.
- Takagi S, Kamei S, Takemoto T. 1984. Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *J Plant Nutr*, 7: 469-477.
- Torun A, Erdem H, Torun MB. 2017. Ayçiçeği genotiplerinin demir noksanlığına karşı tolerans düzeylerinin belirlenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Tek Derg*, 5 (11): 1323-1329.
- Wakamatsu K, Takahama U. 1993. Changes in peroxidase activity and in peroxidase isozymes in carrot callus. *Physiol Plant*, 88: 167-171.
- Witham FH, Blaydes DF, Devlin RM. 1971. *Experiments in plant physiology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. Pp 254.