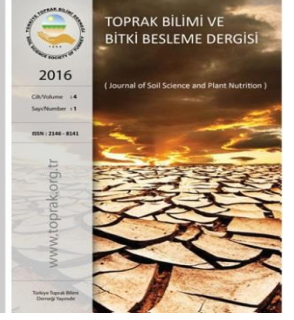




TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Bitkilerde demir klorozunun nedenleri ve giderilme yöntemleri

Ayhan Horuz *, Ahmet Korkmaz, Güney Akınoğlu, Elif Boz

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

Özet

Bu çalışmada bitkilerde demir (Fe) klorozuna neden olan toprak şartları, Fe alımında etkin ve etkin olmayan bitkilerin özellikleri, bitki köklerinde demir stresine bağlı olarak ortaya çıkan fizyolojik değişiklikler ve demirin biyokimyasal fonksiyonları ortaya konulmuştur. Ayrıca bitkilerin Fe alımında aktif demirin rolü, demire bağlı klorozun belirtileri, giderilme yöntemleri ve Fe noksanlığının genetik kontrolü incelenmiştir. Bitkilerde demir klorozu görülmemesi için Fe etkin ve kloroza dayanıklı genotiplerin tercih edilmesi gerektiği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitki, demir, kloroz

The reasons of iron chlorosis in plants and removing methods

Abstract

Soil conditions inducing iron chlorosis in plant, characteristics of efficient and inefficient plants in Fe uptake, physiological changes in plant roots emerging due to Fe stress and biochemical functions of iron were revealed in this study. Also, the role of active Fe in iron uptake by plants, indications of chlorosis depend on iron, removing methods and genetic control of iron chlorosis were investigated. It was suggested that Fe efficient and resistant genotypes to chlorosis should be preferred to prevent iron chlorosis.

Keywords: Plant, iron, chlorosis.

© 2016 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Demir topraklarda toplam olarak çok fazla bulunan bir besin elementi olmasına rağmen, bitkilerde eksikliği sonucu kloroza çok sık rastlanır. Bitkilerde demir klorozunun sebebi olarak toprakta demirin mutlak eksikliği nadiren görülmektedir. Bu tarz Fe klorozu özellikle kumlu topraklarda ve turba topraklarda rastlanır. Bitkilerde demir eksikliğine sebep olan faktörler, çoğunlukla kök yoluyla topraktan mevcut demirin absorpsiyonunu, bitki içinde taşınımını ve metabolizmasını engelleyen faktörlerdir. Bunlar toprağın yüksek pH'sı, kalsiyum karbonat, toprak çözeltisinde aşırı Ca^{++} ve HCO_3^- iyonları konsantrasyonu ve demirin diğer elementlerle interaksiyonudur. Zira bitkilerde demir klorozunun ortaya çıkışında eriyebilir Ca^{++} , HCO_3^- , CO_2 ve P'un rolü uzun zamandan beri bilinmektedir (Loué, 1986; Shalau, 2010).

Bitkilerde demir eksikliği çok yaygın olmamakla birlikte asit topraklarda da görülebilir. Bununla beraber ciddi demir eksikliği kalkerli topraklarda çok daha yaygın olup kalker klorozu olarak adlandırılır. Özellikle sulamayla değerlendirilen kurak ve yarı kurak bölgelerde kalkerli topraklarda demir klorozu yaygın bir problemdir. Kalkerli topraklar CO_3^{2-} kapsamı, toprak çözeltisinde Ca^{++} konsantrasyonu ve pH'sı yüksek olan topraklardır (Loué, 1986; Lopez-Millan ve ark., 2000; Vallejo ve ark., 2000). Demir Klorozuna neden olan şartlar özetle (Römheld ve Marschner 1986; Bergmann, 1992); 1. Demirce fakir topraklar, 2. Serbest veya

* Sorumlu yazar:

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

Tel.: 0(362) 3121919

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: nutullah@omu.edu.tr

aktif kireç kapsamı yüksek topraklar, 3. Toprak veya sulama suyunun HCO_3^- kapsamının yüksekliği, 4. Toprakta aşırı su veya aşırı sulama, 5. Tarım makineleri tarafından toprağın sıkışması ve kök gelişiminin engellenmesi, 6. Alınabilir fosforca zengin topraklar, 7. Aşırı miktarda ağır metaller (Mn, Cu ve Zn), 8. Toprağın kötü havalanması (aşırı CO_2), 9. Özellikle kireçli topraklarda potasyumun noksanlığı, 10. Nitratça zengin azotlu gübre uygulamaları, 11. Yüksek düzeyde fizyolojik alkalın karakterli azotlu gübre uygulamaları, 12. Ekstrem sıcaklıklar ve yüksek ışık intensitesi, 13. Çok düşük organik madde muhtevası veya turba topraklarda olduğu gibi çok yüksek organik madde muhtevası, 14. Ağaçlarda ve üzüksü bitkilerde ürün aşırı ürün tutması ile metabolizma ürünlerinin köklere yeterince taşınmaması sonucu kök gelişimi azalarak, gelecek yıl demir alımının azalması, 15. Nematod ve diğer organizmalar tarafından köklerin zarar görmesi, şeklinde sıralanabilir.

Bu ortam ve kültürel teknik şartlara ilaveten bitki türlerinin ve aynı türün varyetelerinin demir klorozuna farklı hassasiyetleri sebebiyle genetik faktör de demir klorozuna sebep olan faktörler arasında ifade edilmektedir. Bu nedenle demir klorozu durumunda hem ortam hem de tür ve varyetelerinin dikkate alınması gerekir. Diğer yandan Loué (1986)'ye göre intensif ziraat, aşırı azotlu gübre kullanımı sebebiyle ve azotlu gübre kullanımında etkili fakat demir alımında az etkili yüksek verim potansiyeline sahip bitkilerin seçilmeleri nedeniyle, demir klorozunu artırıcı bir faktördür. Bu nedenle yoğun tarım yapılan ve demir kloroz riski yüksek işletmelerde demir klorozuna karşı dayanıklı türlerin ve çeşitlerin seçimi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada bitkilerde demir klorozunun nedenleri, giderilme yöntemleri ve genetik kontrolü incelenmiştir. Ayrıca demir etkin ve demir etkin olmayan bitkilerin özellikleri verilerek bitkisel üretim faaliyetleri sırasında demir klorozu ile karşılaşmamak için çeşit ve anaç seçiminin önemi belirtilmiştir.

Bitkilerin demir alımı ile demir alımında etkin ve etkin olmayan bitkilerin özellikleri

Demir yaşlı yapraklardan genç yapraklara taşınmadığı için yeşil bitkiler gelişme dönemi boyunca sürekli olarak topraktan demir absorbe ederler. Bitki köklerinde demir, büyük oranda Fe^{+2} , Fe -şelat ve az miktarda da Fe^{+3} şeklinde absorbe edilmektedir. İnorganik demirin bitki köklerine elverişliliği köklerin, kök çevresinin pH'sını düşürme ve Fe^{+3} 'ü Fe^{+2} 'ye indirgeme yeteneğine bağlıdır (Aktaş, 1994).

Bitki içerisinde demir alifatik hidroksi asit (malik, sitrik asit gibi), fenol, tiol, polisakkarid ve önemli şelat ajanları olarak rol oynayan amino asitler ile şelat formunda taşınır. Brown (1978)'e göre kökler tarafından alınan Fe^{+2} iyonları ksilemde Fe^{+3} 'e okside edilerek, sitrik asit ile kompleks oluşturur ve bitkinin yukarı kesimlerine taşınır. Fe^{+3} -sitrata kısa dalga boylu ışık (450-500 nm) tarafından Fe^{+2} -sitrata indirgenir. Böylece Fe^{+2} hücrelerde metabolize olur. Demirin transloke edildiği yerde bir çok bitkinin salgısı demir sitrat kompleksi içerir (Brown ve ark., 1991).

İnorganik demirin aksine, demir şelat dediğimiz çözünebilir organik demir bileşikler; kök salgılarından, organik maddeden, mikroorganizmaların metabolik ürünlerinden veya toprağa ilave edilen demir kilyet gübrelere kaynaqlanan ürünlerden ortaya çıkar. Webley ve Duff (1965), kök bölgesinden salgılanan ketoglukonik asidin demiri çözdüğü ve çözünen bu demirin de bitkiler tarafından kolayca alındığını tespit etmiştir. Lindsay (1974), bitki köklerinde salgılanan kilyetlerin, metal iyonlarının örneğin demirin çözünlüğünü artırarak onu kompleksleştirdiğini ve böylece çözünebilir hale getirilen demirin, diffüzyon yolu ile kök hücreleri tarafından absorbe edildiğini ve bu absorpsiyonda Fe-EDDHA'nın, FeDTPA ve FeEDTA'dan daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Bitki cins, tür ve hatta çeşitleri arasında, demir alımı ve demiri kullanmaları bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılık hem inorganik demirden hem de Fe-kilyetlerinden yararlanmada görülebilmektedir. Aynı toprak üzerinde, aynı koşullar altında yetiştirilen aynı türden farklı iki bitki çeşidinden biri şiddetli demir noksanlığı belirtileri gösterirken, diğeri tamamen normal gelişebilmektedir. Bazı bitkiler demir stresli altında, kök bölgesi pH'sını düşürme ve köklerin indirgeme kapasitesini artırma kabiliyetindedirler. Bunun sonucu olarak kök bölgesinde bulunan demirin alınabilirliği büyük oranda artmaktadır. Demir stresine maruz kalınca köklerden dışarı H^+ iyonları vererek rizosfer pH'sını düşürme kabiliyetinde olan bitkiler "demir etkin" bitkiler olarak adlandırılmaktadır (Aktaş, 1994). Fe-etkin bitkiler demir stresine maruz kalınca H^+ iyonu üretmelerinin mekanizması bakımından iki gruba ayrılabilirler (Egmond ve Aktaş, 1977). Birinci grup bitkiler (dikotiledon ve gramineae dışındaki monokotiledon bitkiler) anyon alımını azaltıp, katyon alımını arttırmakta böylece normal beslenmede OH^- iyonu üretirken demir

strestli altında H^+ iyonu üretimine geçmektedir. Yani stoplazma içerisine ferrus demiri (Fe^{+2}) alma yeteneğine sahiptirler. Bu bitkiler toprakta Fe alımı sınırlandırıldığında kökler tarafından Fe alımını teşvik eden fizyolojik ve morfolojik değişiklikler meydana getirirler (Römheld, 1987; Bienfit, 1988; Marschner, 1995). İkinci grup bitkilerde Fe stresine maruz kalınca hem anyon hem de katyon alımı azalmaktadır. Ancak anyon alımındaki azalma daha büyük boyutlarda olduğundan, normal beslenmede OH^- iyonu üreten bitki, demir strestli altında yine H^+ iyonu üretimine geçmektedir. Fe strestli altında OH^- iyonu üretmeye devam eden bitkiler "Fe-etkin olmayan" bitkiler olarak adlandırılır. Egmond ve Aktaş (1977), Fe-etkin olmayan bitkilerde de Fe strestli altında anyon alımının azaldığını, ancak bu bitkilerde katyon alımının daha büyük ölçüde azalması nedeniyle bitkilerin OH^- iyonu üretmeye devam ettiklerini saptamışlardır. Fe etkin bitkilerin demir strestli altında iyonik dengelerinde ortaya çıkan değişimin sonucu olarak H^+ iyonu üretmeleri ve bunu kökleriyle rizosfere salgılamaları bitkinin demirden yararlanmasını etkileyen önemli bir olaydır. Köklerden çıkarılan H^+ iyonları rizosfer pH'sını düşürerek inorganik demir bileşiklerinin çözünürlüklerini artırmaktan başka, Fe^{+2} 'ye indirgenmesini teşvik ederek ortamdaki alınabilir demir miktarını artırır (Aktaş, 1994).

Aktaş (1994), Römheld ve Marschner, (1979)'a istinaden Fe-etkin bitkilerde, demir stresi altında görülen bu fizyolojik değişikliğe paralel olarak köklerde bazı morfolojik değişimlerinde ortaya çıktığı, kök uçlarının kalınlaştığı ve kılcal köklerde artış olduğu saptanmıştır. Fe-etkin olmayan bitkilerde demir stresi altında böyle bir fizyolojik veya morfolojik değişimler olmaz. Demir etkin bitkilere özgü demir alımını strateji I olarak adlandırılmaktadır. Brown ve ark. (1971)'e göre demir etkin bitkiler resesif bir gene sahiptir. Araştırmacılar bu bitkiler için bazı kriterler açıklamışlardır.

1. Beslenme ortamındaki H^+ iyonlarının ayrılması ile pH'nın düşmesi
2. Beslenme ortamından redüksiyonu etkileyici maddelerin ayrılması
3. Köklerin üst yüzeyinde Fe^{+3} 'ün Fe^{+2} 'ye redüksiyonu
4. Kökler ve ksilem iletim demetlerinde malat, sitrat, süksinat, oksalat, akonit gibi organik asitlerin ve özellikle de sitrik asidin artması
5. Kök suyunda fosfat konsantrasyonunun azalması

Römheld ve Kramer (1983) demir etkin bitkiler için şu sınıflandırmayı yapmıştır.

1. Kök fizyolojisi ve morfolojisinde önemli değişimler
2. H^+ akışının artması
3. Redüksiyonu etkileyen maddelerin ayrılmasının artması
4. Kortikal hücrelerin plazmelammasında demir redüksiyon kapasitesinin artması

Monokotiledon ve özellikle dikotiledon bitkilerin etkin varyeteleri demir noksanlığına ilk olarak rizodermal transfer hücreleri oluşumu ile tepki göstermektedir. İkinci olarak çok fazla Fe^{+3} redüksiyon aktivitesinin kök üst bölgesinde arttığı ve bunun dışında H^+ 'nin serbest kalması ile rizosferde pH'nın düştüğü görülmektedir. Bu şekilde rizosfer pH'nın düşmesi Fe^{+2} konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Gramineae bitkileri demir alımında özel bir duruma sahip bulunmaktadır. Bu özellik fitosiderofor adı verilen demir taşıyıcılarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Sideroforlar mugenik ve avenik asit gibi protein olmayan amino asitlerden oluşmaktadır. Bitkilerin köklerinden ayrılan Fitosideroforlar rizosferde Fe^{+3} -şelat kompleksi oluştururlar. Şelatize olmuş demir kök hücrelerinin plazma membranına transfer edilir ve orada Fe^{+3} -şelat olarak plazmaya gönderilir. Fitosideroforların ayrılması ve demir alımına katılımı Strateji II olarak adlandırılmaktadır. Römheld ve Marschner (1986) Strateji II bitkilerinin, yani Gramineae'lerin yüksek pH ve HCO_3^- değerlerine hassaslıklarının az olduğunu bildirmektedirler. Yani rizosferde Fe^{+3} -fitosideroforların serbest kalması yararlı hale geçmelerini sağlamaktadır. Gramineae'ler kireçli topraklarda yeşil kalırken çeşitli dikotiledonların örneğin, ayçiçeği ve yer fıstığında kloroz görülmektedir.

Bitkilerden salınan bu tür sideroforların yanında mikrobiyel olarak ta ayrılan bazı sideroforlar bulunmaktadır. Bu sideroforlar Fe^{+3} ile toprakta şelat kompleksi oluşturarak bitkiler tarafından demirin alınmasını kolaylaştırır.

Bitki köklerinde demir stresine bağlı olarak ortaya çıkan fizyolojik değişiklikler

Ayçiçeği ile yapılan çalışmalarda Fe stresli, kök korteks hücrelerinin genişlemesine bağlı olarak kök uçlarının kalınlaşmasına ve şişmesine sebep olduğunu göstermiştir. Ayrıca rizodermik hücrelerin bölünmesi ve kök tüylerinin miktarı da artar. Kök uçlarındaki bu değişiklikler köklerde indirgen maddelerinin (fenol)

birikimine ve H⁺ iyonlarının salgılanmasına neden olur. Bütün bunlar bitkinin şelat bağlama yeteneğini artırdığı gibi demir stresi altında demirin alımını ve taşınımını artırmaktadır (Kacar ve Katkat, 2009). pH Hariç tutulursa indirgeyici maddeler Fe setresi altında şelat oluşturma mekanizmasından sorumludur. Demir etkin bitkilerin kök uçlarındaki şişmeye bağlı olarak ortaya çıkan fenol bileşikleri kök yüzeylerindeki demiri indirger. Fe stresi altında ayçiçeği bitki köklerinin fenol muhtevsındaki artışlar Çizelge 1'de gösterilmiştir (Römheld ve Marschner, 1981).

Çizelge 1. Ayçiçeği bitkisinin farklı kök bölgesinde Fe stresine bağlı fenol muhtevası (Römheld ve Marschner, 1981).

Muamele	Fenol muhtevası (mg Klorogenik asit, ek./g kuru ağırlık)	
	Kök ucu 0-1.5 cm	Esas (ana) kök 2-4 cm
+Fe	449	298
-Fe	2003	449

Demir stresi altında Fe-etkin bitki çeşitleri tarafından şelattan demirin ayrılma mekanizması:

1. Rizodermal hücrelerde plazmalemmada özel bağlayıcılar üzerinde şelat moleküllerinin tutulması
2. Şelat bağlarının zayıflatılması
3. Sorbe edilen şelatlardan demirin indirgenmesi
4. Düşük stabiliteli Fe⁺²-şelatlardan şelatların ayrılması
5. Plazmalemmada özel bağlanma yerlerine Fe⁺²'nin bağlanması ve daha sonra da hücre içerisinde plazmalemma boyunca taşınması.

Fe stresi altında şişen kök uçlarında fenollerin birikmesi ile Fe şelatlarının oluşumu ve demir komplekslerinin indirgenmesi fenollerin rizodermisin dış yüzeylerinde birikmesiyle gerçekleşmektedir (Römheld ve Marschner, 1979). Demir şelatların alım mekanizmasında fenollerin gerekliliği, Fe⁺³ bileşiklerinin sağlanmasından sonra ayçiçeği bitkilerinin klorotik kök uçlarında mavi rengin oluşumu ile gözlenmiştir. Oluşan mavi renk Fe-şelat komplekslerinden kaynaklanmaktadır. FeEDDHA gibi sentetik demir şelatları ile yapılan çalışmalarla da fenollerin plazmalemma boyunca demir taşınımına aracılık ettiği sonucuna varıldı (Römheld ve Marschner, 1981).

Bitkide demirin biyokimyasal fonksiyonları ve aktif demir

Demir bitkide birçok fizyolojik etkileri sebebiyle metabolik bir öneme sahiptir. Demir değişik enzimlerin aktif gruplarının bir ögesidir. Onun en iyi bilinen fonksiyonu hemin enzimlerinin prostatik gruplarında görev almasıdır. Özellikle oksidasyon ve solunum (respirasyon) zinciriyle alakalı olan enerji metabolizmasında elektron taşıyıcı olarak rol oynar. Bu enzimlerden katalaz reaksiyonunu katalizleyerek, bitkilerde peroksidin zararlı metabolik etkisini önler. Bu reaksiyonda Cu'da görev alır. Bir diğer enzim peroksidaz olup O₂'i peroksitten substrata okside eder (Kacar ve ark., 2010).

Değişik sitokromlar da demir bulundurlar. Sitokromlar sitrik asit (Krebs) döngüsünde pirüvik asidin CO₂ ve H₂O'ya kadar parçalanmasını katalize ederler (fotosentezin tersi). Böylece oluşan yüksek enerjili fosfat bileşikleri (ATP) fosfatı H⁺ atomlarına bağlarken bir yandan da elektron verir. Aynı zamanda sitokrom oksidazda bu fosfat bağlarını verirler. Sitokrom oksidaz H⁺ atomlarının moleküler oksijene taşınmasını sağlayarak solunum zincirini katalize eder (Kacar ve ark., 2010). Bir bakıma Fe solunum enerji üretiminden direkt olarak sorumludur. Fe kaybı solunum oranını düşürerek gelişme için mevcut enerji miktarını azaltır. Örneğin Hücre bölünmesi yavaşlar veya zarar görür. Aktif iyon alımı da Fe yetersizliği sonucu yavaşlar. Yetersiz Fe bulunduran bitkilerde katalaz aktivitesi peroksidaz aktivitesinden daha fazla inhibe olur (Kacar ve Katkat, 2009). Bezelye ile yapılan denemede hem Fe eksikliğinde hemde fazlalığında peroksidaz aktivitesinde artış görülmüştür. Peroksidaz:katalaz aktivitesi katsayısı demir miktarına bağlı olarak değişir. Bitkide yeterli demir olduğu zaman 39 civarında minimum bir değere ulaşır. Katalaz aktivitesi:peroksidaz aktivitesi oranı demir eksikliğini belirlemeye yardımcı olur. Demirin en önemli fizyolojik işlevi bitkide çeşitli enzimleri aktive ederek birçok biyokimyasal reaksiyonun katalizlenmesini sağlamaktır (Bergmann, 1992). Katalaz, peroksidaz, sitokrom oksidaz gibi enzimleri aktive etmektedir. Demir beslenmesinin domates bitkisinde Fe ve klorofil kapsamları ile enzim aktivitesi üzerine etkisi Çizelge 2'de verilmiştir (Machold, 1968).

Çizelge 2. Demir beslenmesinin domates bitkisinde Fe ve klorofil kapsamları ile enzim aktivitesi üzerine etkisi (Machold, 1968).

İşlem	Fe Kapsamı, ppm		Klorofil ppm, yaş ağırlık	Nisbi Enzim Aktivitesi	
	HCl'de Çözünabilir (aktif Fe)	Total		Katalaz	Peroksidaz
Yeterli Fe	10.3	18.5	3.52	100	100
Yetersiz Fe	4.3	11.1	0.25	20	56

Karbonhidrat yıkımı ve solunumun merkezi olan mitokondrilerde fazla miktarda demir içerir. Buna karşılık mitokondrilerdeki demir % 80 oranında porfirin halkasına bağlı değildir. Mitokondrilerdeki demir çoğunlukla nükleik asitlere ve proteinlere bağlı olup DNA ile protein türevleri arasında bir köprü görevi yaptığını inanılmaktadır. Önemli bir demir bileşiği olan ferrodoksin klorofil miktarı ile yakinen bağlantılı olup özellikle kloroplastlarda bulunup divalent demir ihtiva eder, fakat porfirin halkası taşımaz. Değişik dehidrogenaz ve hidrogenazlar elektron transfer reaksiyonları gerçekleştirme kabiliyetindedir. Ferrodoksin ışık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümünü kapsayan fotosentezin birinci kademesinde elektron alıcısı ve taşıyıcısı olarak pridin nükleotitler (NADP) ile beraber rol oynar. ATP gibi NADP'nin de indirgenmiş bir formu olan NADPH fotosentezin ikinci kademesinde CO₂ fiksasyonu gibi işlemlerde enerjice zengin molekül olarak görev yapar (Kacar ve ark., 2010). Demir kendi başına klorofilin sentezinde görev almamakla birlikte diğer elementlerle beraber klorofil sentezini doğrudan etkiler. Katalaz aktivitesinde bitkinin demir durumu ve klorofil senteziyle doğrudan bağlantılıdır. Fe-9-protoporfirin klorofilin önemli bir öncü bileşiği olup demir eksikliği olan bitkilerde konsantrasyonu çok düşüktür. Demir eksikliği klorofil a ve b'nin dışında karotin, ksantin, lutein gibi diğer pigmentlerin de miktarını azaltır (Kacar ve Katkat, 2009). Demirin plastitlerin gelişiminde yaprak pigmentlerinin taşınmasında rol oynadığı bulunmuştur. Bu durum kloritik mısır yapraklarının sağlıklı yapraklara göre neden % 82 oranında daha az kloroplast proteini içerdiğini açıklar (Bergmann, 1992).

Demir eksikliğinde fotosentez oranı önemli ölçüde azalırken asimilasyon oranı (alınan mg CO₂/mg klorofil) üs cinsinden artar. Yani klorofil miktarı azaldıkça Fe halen solunumda görevini yapar. Bu da Fe enzimlerinin fotosenteze direkt olarak karıştığını gösterir. Bu sebeple Fe eksikliğine çok ya da orta derecede dirençli olan bitkilerin yapraklarında nekroz görülmez (Kacar ve Katkat, 2009).

Demir, klorofilin yapısında yer almamakla beraber, bitkinin demir beslenmesi ile klorofil kapsamı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Yeterli ve yetersiz demir beslenmesi ile klorofil kapsamı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Aktaş, 1994). Yeterli ve yetersiz demir beslenmesi ile bitkinin demir kapsamı, klorofil kapsamı ve enzim aktivitesi arasındaki ilişkilere ait bazı araştırmalar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 3 ve 4).

Çizelge 3. Demir uygulamasının mısır bitkisinde Fe alımı ve klorofil kapsamı üzerine etkisi (Aktaş, 1994).

Uygulanan Fe ppm	Total Fe ppm	Aktif Fe, ppm	Klorofil, ppm
		(%1.5 o-Phenantroline)	(yaş ağırlık)
0	56.0	6.3	3.47
10	89.0	7.3	4.55

Bitkiler proton iyonları (H⁺ iyonları), indirgeyici maddeler ve farklı amino asit içeren şelat ajanları (fitosiderofor) salgılayarak spesifik bir alım mekanizması vasıtasıyla beslenme ortamındaki demirin yararlanılabilirliğini artırabilirler (Römheld ve Marschner, 1986).

Çizelge 4. Besin çözeltilisinde yetiştirilen mısır bitkisinde demir beslenmesinin bitkinin Fe ve klorofil kapsamı üzerine etkisi (Aktaş, 1994).

Çözeltide Fe Kaynağı	Fe Kapsamı, ppm		Klorofil, ppm (yaş ağırlık)
	Total	%1.5 o-Phenantroline	
- Fe	70	3.0	2.0
FeSO ₄	94	5.5	3.6
Fe-EDDHA	140	6.5	4.1

Bitki bünyesinde bulunan toplam demirin her zaman metabolik olarak aktif olmadığı bilinmektedir. Kimi hallerde bitkilerde yeterli düzeyde demir bulunmasına rağmen, yinede demir noksanlığı belirtileri görülmektedir. Hatta demir noksanlığı olan bitkilerin, sağlıklı bitkilerden daha fazla toplam Fe içerdiği durumlarda saptanmıştır. Bu durum bitkide bulunan demirin her zaman metabolik işlevini yapmadığını fikrini ve bitkide "aktif demir", "inaktif demir" kavramlarının doğmasına yol açmıştır, bitki bünyesinde

metabolik aktif olan demirin Fe^{2+} olduğu, Fe^{3+} iyonlarının ise daha çok inaktif oldukları sanılmaktadır (Aktaş, 1994). Mengel ve ark. (1979) yeşil yaprakların aktif Fe kapsamının klorozlu yapraklara göre daha fazla olduğunu belirterek, bu kriterin klorozlu yaprakların teşhisinde uygun bir parametre olduğunu bildirmiştir (Çizelge 5). Demirin nükleik asit metabolizmasında da rolü olduğu sanılmaktadır. Price ve ark. (1972), demir noksanlığı olan alglerde kloroplastlarda normalin yarısı kadar RNA bulunduğunu saptamıştır. Özet olarak demir, solunum, fotosentez, biyolojik azot fiksasyonu ve nitrat indirgenmesi gibi olaylarda cereyan eden farklı oksidoredüksiyon reaksiyonlarında anahtar bir elementtir.

Çizelge 5. Kültür üzümünün (*Vitis vinifera*) yeşil ve klorozlu yapraklarında demirin çözünürlüğü (Mengel ve ark. 1979).

	H ₂ O	Aktif Fe (0.5N HCl)	Toplam Fe
Yeşil yaprak	4.8	48	107
Klorozlu genç yaprak	4.8	36	108
Klorozlu yaşlı yaprak	4.8	36	108
FeEDDHAuygulanmış yaprak	7.2	58	139

Bitkilerde demir klorozunun belirtileri

Demir eksikliği sonucu, klorofil maddesinin sentezlenememesiyle bitkilerin genç yapraklarında ve özellikle son çıkan yapraklarda görülen kloroz damarlar arası sararma şeklinde ortaya çıkar (Resim 1).



Resim 1. Bazı bitkilerde Fe kloroz belirtileri

Demir eksikliğine maruz kalan yaprakta ince damarlar yeşil kalarak, damarlar arası tamamıyla sarıya döner (Turan ve Horuz, 2012). Geniş yapraklı bitkilerde yapraklar adeta sarı zemin üzerinde yeşil bir ağ manzarası gösterir. Noksanlığın çok şiddetli olması halinde yeni çıkan yapraklarda hiç klorofil bulunmadığı için yaprak beyaz bir renk alır (Aktaş, 1994; Kacar ve Katkat, 2009). Şiddetli klorotik durumlarda ve noksanlığın ileri dönemlerinde, yapraklarda dökülmeler görülür. Dallar uç kısımlardan başlayarak tamamen yapraksız bir görünüm alır. Bütün dal, hatta bitkinin tamamı kuruyup ölebilir. Herhangi bir meyve bahçesinde önce birkaç ağaçta kloroz rastlanmakta, şiddetli kloroz durumunda bütün bahçe etkilenir (Başar, 1997).

Cinelli (1995) ayva bitkisini kullanarak bikarbonat ortamında Fe noksanlık belirtilerini şu şekilde sınıflandırmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Ayva bitkisinde Fe noksanlığına bağlı olarak ortaya çıkan simptom seviyeleri, (Cinelli, 1995).

Simptom seviyesi	Belirtileri
0	Yeşil
1	Damarlar arası dokular sarı, damarlar yeşil
2	Damarlar arası dokular sarı, damarların çoğunluğu sarı
4	Nekrotik lekeler ile beyaz yapraklar

Demir klorozunun giderilme yöntemleri

Başar (1997)'a göre, demir klorozunu gidermek veya bitkisel üretim faaliyetleri sırasında demir klorozu ile karşılaşmamak için alınması gereken önlemler şunlardır:

1. Toprakların fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi

- Derin köklü bitkilerin yetiştirilmesi
- Aşırı toprak nemliliğinin giderilmesi
- Tarım makinaları v.b. nedeniyle oluşan toprak sıkışmasının önlenmesi
- Toprağın derine doğru gevşetilmesi
- Organik gübre uygulamalarında, ayrışmasını tamamlamış veya çok hızlı parçalanmayan materyallere yer verilmelidir.

2. Gübreleme

- Yeşil aksam/kök oranını arttıracak gübrelemeden vazgeçilmesi (Yüksek oranda N ve P uygulanması hali)
- Kök bölgesinde pH düşürücü gübreleme programı uygulanması
- Yüksek fosfor uygulamalarından vazgeçilmesi

3. Demir klorozuna dayanıklı genotiplerin belirlenmesi

- İlgili genotiplerin ıslah ve fizyolojik çalışmalarla belirlenmesi
- Çukurova gibi yörelerde 2. ürün olarak demir klorozuna daha dayanıklı Strateji-II bitkilerinin dikkate alınması.
- Meyvecilikte anaçların önceden kontrollü koşullarda yetersiz demir beslenmesine karşı köklerin geliştirdiği mekanizmalar açısından test edilmesi.

4. Kök büyümesi ve verim düzenlemesi çalışmaları

- Yaprakların meyveye oranını arttırıcı önlemler
- Hasat tarihinin gereksizce uzatılmaması

5. Demir gübrelemesi

- Toprakların gübrenmesinde, yüksek pH'lardaki kararlılığın fazla olması nedeniyle daha çok Fe-EDDHA tercih edilmelidir.
- Meyve ağaçlarında toprak pH'sına, klorozun şiddetine ve ağaç yaşına göre uygulanacak Fe-EDDHA miktarı belirlenmelidir. Ağaç büyüklüğüne ve meyve plantasyona bağlı olarak, meyve bahçelerine tavsiye edilen uygulama miktarı 70-140 gr. dir. Çok büyük hacimli ağaçlarda şiddetli klorozu ortadan kaldırmak için bu oran 500 gr' kadar çıkabilir. Üzüm bağlarında her asma bitkisi başına 10-50 gr, sebze ve çileklerde m²'ye 3-6 gr, çiçekler ve süs bitkileri için m²'ye 6-12 gr Fe-sequestrin 138 uygulanır.

- Yaprak gübrelemesinde genellikle %0.2 konsantrasyonda Fe-EDDHA veya Fe-EDTA uygulanmasına bitkilerin ilk gelişme dönemlerinde (erken) başlanılmalı ve kloroz düzelinceye kadar 10-20 günde bir tekrar edilmelidir.

Çeşitli bitkiler için uygulanacak yaprak gübrelemesi konsantrasyonları (Fe-EDDHA ve Fe-EDTA için) (Bergmann, 1992 ve Başar, 1997):

Elma, Armut	: %0.15-0.30
Kiraz, Erik	: %0.10-0.15
Şeftali	: %0.05-0.10
Açelya	: %0.30-0.40
Gül	: %0.10-0.15
Tarla Bitkileri	: %0.20

Fe-EDDHA'nın pahalı oluşu nedeniyle:

- Yanmış ahır gübresi veya turba ile birlikte FeSO₄'ün veya demir çelik endüstrisinin atığı olan demir tozunun kullanılması önerilebilir.
- Fe-sülfat ile birlikte K₂SO₄ gübresinin uygulanmasının klorozun giderilmesinde Fe-EDDHA kadar etkili olduğu bildirilmiştir (Shaviv ve Hagin, 1987).
- Selüloz endüstrisi artıklarından lignin sülfonatların çok iyi bir Fe-şelatı olduğunu gösteren bulgular mevcuttur.

Demir klorozunun genetik kontrolü

Genetik bakımdan bitkiler iki alınma stratejisine göre sınıflandırılır Bergmann (1992).

Çizelge 7. Bitkilerde demir alımına bağlı olarak ortaya çıkan özel mekanizmalar (Bergmann, 1992).

Genetik Özellik	Strateji-I (Ayçiçeği,soya fasulyesi, yerfıstığı ve çoğunlukla diğer dikotiledonlar)	Strateji-II (Çavdar, yulaf, buğday, çeltik ve diğer Gramineae'ler)
Rizodermal hücrelerin oluşumu	Önemli	Önemsiz
Yüksek proton ayrılması	Önemli	Önemsiz
Plazmamembranda Fe redüksiyonu	Önemli	Sınırlı Seviyede Önemli
Yüksek fenol bileşiklerinin ayrılması	Önemli	Sınırlı Seviyede Önemli
Fitosideroforların ayrılmasının artması	Önemsiz	Yüksek Seviyede Önemli

Her iki grupta stratejideki bitkilerde kloroza neden olan bazı etkenlere karşı duyarlılıkları Çizelge 8'de verilmiştir (Başar, 1997).

Çizelge 8. Strateji I ve II bitkilerinin kloroza neden olan kimi etkenlere karşı duyarlılıkları, (Başar, 1997)

	Strateji I	Strateji II
Yüksek pH ve HCO ₃ ⁻	Yüksek	Az
Yüksek nem ve yetersiz havalanma	Yüksek	Az
Yük.O.M.+Yüksek CaCO ₃ +Yüksek nem	Yüksek	Az
Yüksek fosfor gübrelemesi	Az	Yüksek
Tuzluluk	Yüksek	Az
Düşük toprak sıcaklığı	Yüksek	Az

Bitki genotipleri, toprak çözeltisinde gereksinmelerinin altında çözünebilir veya alınabilir demir olduğunda kökleri aracılığıyla bir takım mekanizmalar geliştirerek, çözeltideki alınabilir demir konsantrasyonunu artırmaya çalışırlar. Bu mekanizmaların etkinliği ve özelliği genotipten genotipe farklı olduğu içindir ki bitki çeşitleri demirin varlığına farklı reaksiyon göstermektedir. Anılan bu mekanizmalar literatürlerde iki grup (strateji) altında incelenmektedir. Tüm çift benekli bitkiler ve buğdaygil dışındaki tek çenekli bitkilerin demir açlığında geliştirdikleri mekanizmalar benzer olduğundan bunlar I. grupta (strateji I) incelenmiştir. Bu gruptaki bitkiler, demire açlık duyduklarında toprakta alınamaz formdaki demirin alınabilirliğini artıran bir takım salgılar (şelatorlar, H⁺ iyonu) verirler. Bu salgılar yoluyla topraktaki demirin hareketliliği ve çözünürlüğü artmaktadır. Ayrıca bu bitkiler Fe-redüktaz enzimini de aktifleştirerek Fe'in hücreye kolayca alınmasını sağlamaktadır. Strateji I tipindeki bitkiler rizosferin asitleşmesi ve fenolik bileşiklerin salınması

ile ferrik şelatları indirgemek için köklerin indirgeme kapasitesini artırır. Bu değişim subapikal kök zonundaki morfolojik değişiklikler ile ilgilidir (Bergmann, 1992; Kacar ve Katkat, 2009).

Strateji II'ye yalnızca tahıllar (Graminaea) girer. Bu mekanizmaya sahip bitkiler Fe'e açlık duyduklarında, kök uçlarından toprağa fitosiderofor denilen özel bir Fe şelatörü salgırlar. Bu şelatör yardımıyla toprakta alınamaz formdaki demiri alınabilir forma dönüştürmektedirler. Kökler tarafından salgılanan fitosideroforlar rizosferde Fe⁺³ ile şelat oluşturur. Fe⁺³-fitosiderofor kök hücrelerinin plazma membranına transfer edilir. Burada Fe⁺³, Fe⁺²'ye indirgenerek absorbe edilir (Horuz ve Turan, 2012). Demir eksikliğinin arttığı yerlerde fitosideroforlar salınarak demirin alımı ve taşınımı sağlanır. Fitosideroforların salgılanma etkinliği buğdaygil türleri arasında farklıdır. Örneğin buğday, arpa ve mısır gibi kloroza dayanıklı çeşitler daha çok sıvı salarken darı gibi dayanıksız çeşitlerde sıvı salınma oranı azdır. Onun içindir ki, örneğin aynı toprak koşullarında sorgum Fe klorozu gösterirken; mısır, arpa veya buğdayda genellikle kloroz ortaya çıkmaz (Bergmann, 1992; Aktaş, 1994).

Arpa bitkisi kireçli toprakta demir eksikliğine maruz kaldığında kök sıvısı salgılar. Fe yeterli bitkilere yapraklara Fe sitrat halinde Fe tatbiki kök sıvısı salınmasını azaltır. Demirin şelat oluşturması ve Fe-kök sıvısı kompleksi demirin yetersizliğini önler. Buna göre Kireçli bir toprakta 3 hafta süreyle yetiştirilen arpa (*Hordeum vulgare*) bitkisi tarafından kök salgılarının (fitosiderofor) demir yayınlılığı üzerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, yapraklara % 0.3 Fe sitrat uygulandığında kök salgısı salınma oranının demirsiz ortamda demirli ortamdakine göre oldukça fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 9). Fitosideroforlar Fe, Mn, Zn ve Cu ile kompleks oluşturmaktadır; ancak oluşan bu kompleks demir de çok daha fazladır. Ayrıca bu çeşit bitkilerin fitosiderofor salgılama oranları sabah saatlerinde öğleden sonraki saatlere nispeten oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir (Römheld, 1991).

Çizelge 9. Demir yayınlılığı düşük olan kireçli toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin yapraklarına uygulanan Fe sitratın fitosiderofor salgılanmasına olan etkisi (Römheld, 1991).

Yaprak Uygulaması	Klorofil Konsantrasyonu (mg/g sap kuru ağı)	Fitosiderofor serbestlenme oranı (nmol/bitki/4sa.)
-Fe sitrat	6.8	74 ± 18
+Fe sitrat	9.1	16 ± 8.0

Kirece toleranslı genotipler yüksek KDK'ya ve düşük esterleşmiş asidik gruplara sahiptirler. Bu durum Al toksisite çalışmalarında da gözlenmiştir. Al toleransı Lotus genotiplerinin köklerinde KDK'sı düşüktür. Yüksek Al aktivitesi düşük KDK ile birlikte metilleşmiş pektinlerin artmasına neden olur. Al'a duyarlı genotiplerde pektinlerdeki azalma hücre duvarı, sitoplazma ve hücre zarının zarar görmesine neden olur. Kök KDK'sı stres şartlarında erik çeşitlerinden GF 677, Mr. S.1/3 ve 1/6 artarken, Mr.S.1/16 ve 2/3'de bir farklılık görülmemiştir. Fe stresine dirençli genotipleri seçmek için KDK iyi bir parametredir (Cinelli ve Viti, 1995).

Demir eksikliği klorozuna sadece bitki çeşidi değil aynı zamanda çeşidin (kalem) aşılandığı anaç'da buna sebep olabilir. Birçok ıslah, seleksiyon ve melezleme çalışmaları demir alımı, taşınımı ve kullanımında, çeşitler arasındaki farklılığın genetikseliğin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Demir eksikliği kireç içeren topraklarda veya kireçli su ile sulanan topraklarda yetişen acı bakla, açelya, kamelya, calluna ve benzeri gibi asidofilik bitkilerde daha fazla görülür. Alkalın toprak şartlarına adapte olmuş Okaliptus gibi bitkilerde yüksek P:Fe oranından dolayı kloroz başladığında, yani bu çeşit bitkiler demir stresine maruz kaldıklarında kök sistemlerini daha fazla geliştirerek besin ortamından daha fazla demir ekstrakte edebilirler. Bu tür bitkilerde çok hafif bir kloroz görülebilir. Ahududu, bektası üzümü, böğürtlen, sardunya çiçeği, kasımpatı ve ardıç kloroza hassas olan bazı bitki çeşitleridir (Bergmann, 1992).

Meyve verim ve kalitesini önemli ölçüde etkileyen demir elementi alımının, kireçli topraklarda anaç kullanımı ile arttırılabildiği bilinmektedir (Rombola ve Tagliavini, 2006). 3309C, 143A, 1616C, Sori, 420A, Siefriedrebe, Dr-Decker-Rebe ve 34EM gibi klorotik olmaya çok fazla meyli olan anaçlar kireçli topraklar üzerinde kültivasyon için uygun değildir. "161-49, 41B, 333EM, R31 anaçları hafif bir kloroz meyline sahiptir. Kloroza hassasiyeti az olan 5BB, SO4, 26G, 8B, 5C ve 125AA anaçları kireçli topraklarda iyi gelişirler. Kirece tolerans yönünden bazı asma çeşit ve anaçları Çizelge 10'da verilmiştir (Bergmann, 1992). Kirece dayalı demir eksikliğinde asma çeşitlerinin kökleri ile rizosfer pH'sını düşürmek için farklı tip tepki ve kabilyet geliştirmeleri,çeşitler arasındaki genetik farklılığın bir sonucudur.

Çizelge 10. Asma Çeşit ve Anaçlarının Kirece Toleransı (Bergmann, 1992).

İyi	Kirece Tolerans	
	Orta	Düşük
Welschriesling	Rhine Riesling	Muskat ottonel
White Burgundy	Müller Thurgau	Traminer
Neuburger	Frühroter Veltliner	Bouvier
Rulander	Green Veltliner	
Zierfandler(geççi)	Muskat Silvaner	
Rotgipfler	Gutedal	
Blaufrankisch	Blaue Zweigelt	
St.Laurent		
Blauer Portugieser		
Blauer Burgunder		
Anaçlar	Kirece Tolerans(%)	
Riparia Portalis	15'ekadar çok düşük	
AramonXRiparia, 143A(Aripa)	20'ye kadar	
BerlandieriXRiparia,Teleksi C5	40'a kadar	
BerlandieriXRiparia,S04	45'e kadar	
BerlandieriXRiparia, Kober 5BB	50'ye kadar	
BerlandieriXRiparia, Teleksi 8B	60'a kadar	
BerlandieriXChaselas, 41B	80'e kadar çok yüksek	

Gfi-25-4 Amerikan asmaları Avrupadaki Silvaner asma çeşitlerinden daha fazla kloroza hassastır. Müller-Thurgau asmaları (RieslingxSilvaner)'da kloroza çok hassas olup, kötü hava koşullarında derhal kloroz belirtileri gösterir. Ancak havaların düzelmesiyle kloroz belirtileri tekrar kaybolur. Çeşidin aşılandığı anaç bu yönde daha büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin kendi kökleri üzerinde büyüyen Avrupa asma anaçlarında kloroz görülmez. Silvaner çeşidi 1201 anacına aşılandığında yeşil, Ganzin I anacına aşılandığında hafif bir şekilde sarıya dönerken, 8B anacına aşılandığında ise belirgin bir şekilde kloroz belirtileri göstermektedir. Ayrıca Gutedel çeşidi 143 anacı üzerinde sarıya dönerken, Portuguese çeşidi yeşil kalmaktadır. Hidrofonik deneyler kök ağırlıklarının karşılaştırılmasında farkın büyük olmamasına rağmen, kloroza dayanıklı bir çeşit olan "Faber" in Huxel çeşidine göre köklerinden 2 kat daha fazla H⁺ iyonu salgıladığını göstermiştir. Ayrıca proton salgılaması ışıkta karanlıktakinden önemli derecede yüksektir (Bergmann, 1992).

Kireçli bir toprak üzerine meyve bahçesi veya üzüm bağı tesis edileceği zaman kloroza az duyarlı çeşit ve anaç seçimi oldukça önemlidir. Böyle topraklar için çeşit seleksiyonu mısır, süpürge darısı, soya fasulyesi, domates ve süs bitkileri gibi ürünler için de önemlidir. Örneğin buğday ve patates doğal şartlar altında demir eksikliğine hassas değildir. Hububatlar demir eksikliğine duyarlılıklarına göre şu şekilde sıralanmaktadır.

Yulaf > Arpa > Buğday > Çavdar > Triticale

Bazı meyve çeşitleri demir eksikliğine hassasiyetlerine göre aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Şeftali > Ayvaya aşılanmış armut > Kırmızı ve siyah kuş üzümü > Erik > Ayva > Elma > Filizlenmiş ağaç gövdesine aşılanmış armut > Kayısı > Kiraz

Haziran ayının ilk haftasında asma anaçlarının altıncı boğumlarından alınan tek gözlü yeşil çelikler, knudson-c temel besin ortamına ayrı ayrı ilave edilen farklı kireç dozları (%0, 10, 20, 30, 40, 50, CaCl₂ ve CaO) ile hazırlanan ortamlara, invitro koşullarda, dikilmişler. Bitkilerin 24°C sıcaklıkta, 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık koşullarda iki ay süreyle gelişme durumları incelenmiştir. Bitkiler besin ortamına ilave edilen kireçten olumsuz yönde etkilenmişlerdir. Kireç oranlarının artmasıyla sürgün uzunluğu, sürgün ağırlığı, kök uzunluğu, kök ağırlığı ve yaprak sayısında azalmaların meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca kireç oranlarındaki artışa bağlı olarak yapraklarda sararmalar ve bitkide kurumaların hızlandığı gözlenmiştir. Çalışma sonunda ChaselasXBerlandieri 41B anacının yüksek oranda kirece dayanabilmesine rağmen, ChaselasXBerlandieri 420A ve Rupestris du Lot asma anaçları ancak orta derecede bir dayanıklılık göstermişlerdir. Riparia Gloire anacının kirece dayanımı ise en az olarak saptanmıştır (Bergmann, 1992).

Sonuç

Topraklarda demir oksit miktarının genellikle yüksek olmasına karşın özellikle CaCO₃ içeren topraklarda ortaya çıkan FeCO₃'dan kaynaklanan demir noksanlığı riski çok yaygın görülmektedir. Demir klorozunu önlemek için topraktan ya da yaprak yoluyla demirli gübrelerin verilmesi uzun dönemler boyunca klorozu

engellemede ekonomik görülmemektedir. Özellikle intensif ziraat yapılan ve demir kloroz riski yüksek kireçli araziye sahip işletmelerde demir klorozuna karşı dayanıklı türlerin ve çeşitlerin seçimi oldukça önemlidir. Bu çerçevede farklı bitki çeşitleri test edilerek demir etkinlikleri tespit edilmelidir. Meyve bahçeleri ilk tesis edilirken Fe etkin ve kloroza dayanıklı, çeşit ve anaçlar tercih edilmelidir.

Ayrıca bitki doku kültürleri yöntemlerinden yararlanılarak bazı anaçların kirece (CaCl_2 , CaO) mukavemetlerinin saptanarak, kısa sürede sonuç veren anaç ıslahı çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

Kaynaklar

- Aktaş M, 1994. Bitki besleme ve toprak verimliliği (2. baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1361, Ankara,
- Başar H, 1997. Bitkilerde demir klorozu ve giderilme yöntemleri. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. s. 124-474
- Bergmann W, 1992. Nutritional disorders of plant; Development, Visual and Analytical Diagnosis. p. 223-247.
- Bienfait HF, 1988. Mechanisms in Fe-efficiency reactions of higher plants. *Journal of Plant Nutrition* 11: 605-629.
- Brown JC, 1978. Mechanizm of iron uptake by plants. *Plant, Cell and Environmental* 1: 249-257.
- Brown JC, Chaney RL, Ambler JE, 1971. A new tomato mutant inefficient in the transport of iron. *Physiologia Plantarum* 25(1):48-53
- Brown JC, Jolley VD, Mel Lytle C, 1991. Comparative evaluation of iron solubilizing substances (phytosiderophores) released by oats and corn; Iron-efficient and iron-inefficient plant. *Plant and Soil* 130: 157-163.
- Cinelli F, 1995. Physiological responses of clonal quince root-stocks to iron-deficiency induced by addition of bicarbonate to nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition* 18(1): 77-89.
- Cinelli F, Viti R, 1995. Practical use of root cation exchange capacity as a predictive marker of lime-induced chlorosis tolerance in prunus cerasifera L. Rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 18 (1): 65-75.
- Egmond FV, Aktaş M, 1977. Iron nutritional aspects of ionic balance of plants. *Plant and Soil* 48, 685-703.
- Güneş A, Aktaş M, 1991. Mısır bitkisinde demir noksanlığının giderilmesinde nitrifikasyon inhibisyonunun etkisi. Toprak İlmi Derneği XI. Bilimsel Toplantı Tebliğleri, s. 481-495.
- Kacar B, Katkat V, Öztürk Ş, 2010. Bitki Fizyolojisi. Nobel Yayın No:848, Ankara, s. 225-285,
- Kacar B, Katkat V, 2009. Bitki Besleme. Nobel yayınları, Ankara, 659 s
- Lindsay WL, 1974. Role of chelation in micronutrient availability. The plant Root and Its Environment, Univ. Press of Virginia, pp. 507-524.
- Lopez-Millan AF, Morales F, Andaluz A, Gogercena Y, Abadia A, De Lals Rivas J, Abadiz J, 2000. Protective mechanisms in roots of iron deficient sugar beet: changes in carbon assimilation and oxygen use. *Plant Physiology* 124: 885-897.
- Machold O, 1968. Effect of nutritional condution on the status of iron in leaves, on the chlorophyll content and on the activity of catalase and peroxidase. *Flora Ab. A.* 159: 1-25.
- Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London.
- Mengel K, Scherer HW, Malissiovas N, 1979. Chlorosis from the aspects of soil chemistry and vine nutrition. *Mitt. Klosterneuburg* 29: 151-156.
- Price CA, Clarck HE, Funkhouser HE, 1972. Functions of micronutrients in plants. In: Micronutrients in Agriculture. Mordvedt JJ, Giordano PM, Lindsay WL (Eds.). SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp. 231-242.
- Rombola AD, Tagliavini M, 2006. Iron nutrition of fruit tree crops. In: Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. Barton L, Abadia J (Eds.). Springer, pp. 61-83.
- Romheld V, 1987. Existence of two different strategies for the acquisition of iron in higher plants, In: Iron transport in microbes, plants, and animals. Winkelmann G, van der Helm D, Neilands JB (Eds.). VCH, Weinheim, Germany. pp. 353-374.
- Römheld V, 1991. The role phytosiderophores in acquisition of iron and other micronutrient in graminaceous species. An ecological approach. *Plant and Soil* 130: 127-134
- Römheld V, Kramer D, 1983. Relationship between proton efflux and rhizodermal transfer cell induced by iron deficiency. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 113: 73-83.
- Römheld V, Marschner H, 1979. Fine regulation of iron uptake by the Fe-efficient *Helianthus annuus*. The Soil-Root interface. Academic press, pp. 405-417.
- Römheld V, Marschner H, 1981. Effect of Fe stress on utilization of Fe chelates by efficient and inefficient plant species. Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, Postfach 106, pp. 551-560.
- Römheld V, Marschner H, 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. In: Advances in Plant Nutrition Tinker B, Lauchli A (Eds.). Vol. 2. pp.155-204.
- Shalau J, 2010. Laboratories Conducting Soil, Plant, Feed or Water Testing. Publication AZ1111, College of Agriculture and Life Science, University of Arizona.
- Shaviv A, Hagin J, 1987. Correction of lime induced chlorosis by application of iron and potassium sulphates. *Fert. Res.* 13: 161-167.
- Turan M, Horuz A, 2012. Bitki Besleme. Bitki Beslemenin Temel İlkeleri. Karaman MR (Ed.). Ankara, s. 123-347.
- Vallejo GEB, Morales F, Cistue L, Anunciscion A, Abadia J, 2000. Iron deficiency decreases the Fe(III)-chelate reducing activity of leaf protoplasts. *Plant Physiology* 122: 337-344.
- Webley DM, Duff RB, 1965. The incidence in soils and other habitats of microorganisms producing-ketogluconic acid. *Plant and Soil.* 22: 307-313.