



Kültür Bitkileri Yetiştiriciliğinde Biyofortifikasyon

Şule ORMAN^{1*}

Hüseyin OK¹

Özet

Çağımızda insanlığın en önemli sorunları arasında yer alan yetersiz beslenme; başta gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler olmak üzere dünya nüfusunun büyük bölümünü tehdit etmektedir. Gizli açlık olarak da bilinen bu durumun dünya genelinde 3 milyar insanı etkilediği düşünülmektedir. Yetersiz beslenen insanlar, tükettikleri besinlerden kendileri için gerekli olan vitamin ve mineralleri alamadıkları zaman çeşitli sağlık sorunlarıyla karşılaşabilirler. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Tarımsal Araştırmalar Danışma Grubu (CGIAR) gibi kuruluşlar konunun önemini fark ederek tarımsal ürünlerin tüketilen kısımlarının aminoasit, protein, vitamin A ve kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, selenyum, iyot gibi elementler ile zenginleştirilmesini öncelikli konu olarak kabul etmektedir. Yetersiz beslenmeyi önlemek için destekleyici gıda takviyesi kullanımı çözüm yollarından biri olarak düşünülmüştür. Ancak problemin gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal nüfusta yaygın olmasından dolayı dışarıdan farmakolojik takviyeler sağlamanın hedef nüfusa ulaşım güclüğü ve ekonomik maliyet nedeniyle sürdürülebilirliğinin zor olduğu görülmüştür. Bu nedenle yeni çözüm yolları aranmış ve beslenme sorunlarının çözümünde izlenecek yöntemlerden birinin de biyofortifikasyon olduğu belirtilmiştir. Biyofortifikasyon, toplum genelinde yaygın eksikliği görülen vitamin ve minerallerin toplum tarafından en çok tüketilen ürünlerdeki konsantrasyonlarının artırılarak, insanlardaki noksanlığının giderilmesi prensibine dayanır. Bu yolla beslenme bozukluğunun önlenmesi başta Çin (iyot), Finlandiya (selenyum), Tayland (çinko), Türkiye (çinko) olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Biyofortifikasyon çok sayıda disiplinin birlikte çalıştığı kompleks bir süreç olmakla birlikte çalışmanın başarısında agronomik uygulamalar belirleyici olmaktadır. Kültür bitkilerinin gübrelenmesine yeni bir bakış açısı kazandıran biyofortifikasyon tekniği, bilinen zirai üretim metodolojisinden farklılıklar içermektedir. Zamanla biyofortifikasyon ile konvansiyonel üretim tekniklerinin sentezinden oluşan yeni model agronomik uygulamaların yaygınlaşacağı bilim insanları tarafından öngörülmektedir. Yapılan bu derleme çalışmasında tarımsal üretimde biyofortifikasyon ile ilgili literatürler incelenerek konu hakkında bilgiler verilmiştir. Amacımız sağlıklı yarımlar için tarımsal üretimde kaliteyi artırma çabalarına farkındalık sağlamaktır.

Anahtar kelimeler: Biyofortifikasyon, gübreleme, ürün kalitesi, bitki besleme, insan beslenmesi, yetersiz beslenme

Biofortification in Cultivation of Crop Plants

Abstract

Malnutrition which is one of the most important problems of the humanity at a recent time, threatens a large part of the world population, notably underdeveloped and developing countries. It is considered that this condition known as secret starvation affects 3 billion humans around the world. When undernourished people cannot take necessary vitamins and minerals from foods, they may confront with various health problems. Noticing the importance of the subject, such foundations as World Health Organization (WHO) and Consortium of International Agricultural Research Centers (CGIAR) accept the enrichment of the edible parts of the agronomic crops with such elements as amino acid, protein, vitamin A, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, selenium and iodine as a primary subject. In order to prevent malnutrition, use of the supportive food supplement has been considered as one of the solutions. However, it's been seen that the sustainability of providing pharmacological supplements from outside is difficult due to the difficulty in transportation to the target population and economic cost since the problem is common in rural population of the underdeveloped and developing countries. Therefore, new solutions have been searched and it has been notified that biofortification is one of the methods to be

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 07059, Antalya

*Sorumlu yazar: Tel.: +90 242 310 6526; e-mail adres: suleorman@akdeniz.edu.tr

Kültür Bitkileri Yetiştiriciliğinde Biyofortifikasyon

followed in solving nutrition problems. Biofortification is based on the principle of dissolving the lack in humans by increasing concentrations in the most consumed agronomic crops of vitamins and minerals whose deficiency is commonly seen in public. Overcoming the malnutrition by this way has been applied in many regions of the world, especially China (iodine), Finland (selenium), Thailand (zinc) and Turkey (zinc) and succeeded results have been obtained. Along with biofortification's being a complex process in which several disciplines work together, agronomic applications are indicative in the success of the study. Agronomic biofortification technic which has brought a new point of view to the fertilization of the crops contains differences from known agricultural production methodology. Becoming widespread of the new model agronomic applications composed of a synthesis of biofortification and conventional production technics in time is predicted by the scientists. In this collected work, literatures about biofortification in agricultural production have been investigated and information on the subject has been given. Our aim is to provide awareness to the efforts for enhancing the quality in agricultural production for healthy tomorrows.

Key words: Biofortification, fertilization, crop quality, plant nutrition, human nutrition, malnutrition

Giriş

Bitkiler gelişimlerini tamamlamak için ihtiyaç duydukları mutlak gerekli besin maddelerini havadan, sudan ve topraktan alarak güneş ışığı yardımıyla yeni bileşikler sentezler. Tükettiğimiz bitkisel ve hayvansal ürünlerden, ihtiyaç duyduğumuz bileşik ve mineralleri yeterli ve doğru oranda almamız dengeli beslenme olarak adlandırılır. Ancak dengeli beslenen toplumlar sağlıklı beden ve zeka gelişimini tamamlayabilir. Dünyada enerji ve protein gereksinimi bakımından 800 milyon insanın yetersiz beslendiği, 2 milyara yakın insanın mikro element (Fe, B, Zn, Se) ve vitamin noksanlığı çektiği bilinmektedir (Welch 2002). Besin içeriği fakir tek tip gıda ile beslenen bu insanların sağlıklı ürünlere ulaşabilmesi için biyofortifikasyon pratik ve etkili bir çözüm olarak görülmektedir (Çakmak ve ark. 2010).

Biyofortifikasyon

Biyofortifikasyon toplumların beslenmelerinde ağırlıklı olarak yer verdiği tarım ürünlerinin tarımsal yöntemlerle besin içeriklerinin zenginleştirilmesi çalışmalarını tanımlar (Qaim ve ark. 2007). Biyofortifikasyon çalışmaları genetik biyofortifikasyon ve agronomik biyofortifikasyon olarak 2 başlık altında özetlenebilir. Genetik biyofortifikasyon; bitkinin sahip olduğu gen çeşitliliğinden faydalanılarak zenginleştirilmek istenen mineral ya da bileşikleri, diğer çeşitlere göre daha fazla biriktiren modern çeşitlerin ıslahıdır. Bu amaçla bir dizi melezleme ve gen takibinden sonra

seçilen hatların farklı iklim ve arazi şartlarında uyum ve performansları incelenerek başarılı çeşitler tohumluk olarak kullanılır. Güncel olarak Harvest Plus biyozenginleştirme programında Fe ve Zn için yabani buğday bitkilerinin sahip olduğu genetik çeşitlilikten faydalanılarak istenen özellikte modern çeşitler geliştirilmiştir (White and Broadley 2005) Çizelge 1'de Harvestplus programı ile gerçekleştirilen başarılı biyofortifikasyon çalışmaları görülmektedir. Agronomik biyofortifikasyon; yetiştiriciliği yapılan modern çeşitlerin tüketilen dokularında istenilen zenginleşmenin sağlanabilmesi için gerekli besin elementlerinin gübreleme yolu ile bitkiye

Çizelge 1. 'Harvestplus' programı ile biyofortifike edilmiş bitkiler

Bitki	Besin maddesi	Ülke	Tarih
Fasülye	Demir (Çinko)	Kongo, Ruanda	2010
Kasava	Provitamin A	Kongo, Nijerya	2011-12
Mısır	Provitamin A	Zambia	2011-12
Çeltik	Çinko (Demir)	Hindistan, Bangladeş	2012-13
Buğday	Çinko (Demir)	Pakistan, Hindistan	2012-13
Tatlı patates	Provitamin A	Uganda, Mozambik	2007
Hintdarısı	Demir (Çinko)	Hindistan	2011

sağlanmasıdır. Bu noktada asıl hedef bitkisel verim artışı değil bitki dokularında besin elementi artışıdır. Bu amaçla yapılan gübreleme gelişmiş gübreleme olarak nitelendirilmekte ve mikro element beslemesi önem kazanmaktadır. Gelişmiş gübreleme optimum seviyenin üstünde toksik sınırın altında yani lüks tüketim dahilindedir. Yapılan çalışmalar olumsuz toprak koşulları altında genetik olarak biyofortifike edilmiş çeşitlerin dahi doğru gübreleme yapılmadığı takdirde sınırlı performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Herhangi bir bitki besin elementi toprakta yeterli düzeyde bulunsa bile yine de bitkide o elementin noksanlığı görülebilir (Miller ve ark. 1984). Toprak pH'nın 6'dan 7'ye yükselmesi Zn'nun topraktaki çözünürlüğünü yaklaşık 30 kat azalttığı bilinmektedir (Marschner 1993). Benzer şekilde toprağın düşük nem ve organik madde içermesi, CaCO₃ içeriğinin yüksek olması mikro elementlerin toprakta çözünürlüğünü azaltan, bitki tarafından alınabilirliğini düşüren önemli bir faktördür. Ayrıca bu durumun dane mikro element konsantrasyonunu da baskıladığı bildirilmiştir (Çakmak 2008). Devam eden bitki besin maddesi alımı ve daneye taşınımı nedeniyle bitki gelişimi boyunca yeterli miktarda yarayışlı Zn ve Fe sağlanması danedeki bitki besin elementi konsantrasyonu üzerine kritik rol oynar (Waters and Grusak 2008) ve çevresel etkilerden kaynaklanan dane mikro element içeriğindeki farklılaşmayı azaltır (Çakmak 2010). Makarnalık buğdayda dane Zn konsantrasyonunu arttırmak amacıyla yapılan denemelerde topraktan Zn uygulaması kontrole göre dane Zn konsantrasyonunda 2 kat artış sağlarken, topraktan uygulamaların yapraklardan Zn uygulanması ile desteklendiği konularda bu artış kontrole göre 3 kat daha fazla bulunmuştur (Yılmaz ve ark. 1997; Ekiz ve ark. 1998). Toprağa Zn uygulamasının buğday danesindeki Zn konsantrasyonu üzerine benzer etkileri bir çok coğrafyada (Türkiye (Orman ve Ok 2012) Avusturya (Graham ve ark. 1992) ve Hindistanda (Shiway ve ark. 2008)) yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir. Fe'in Zn'ya göre tahılların floeminde daha az mobil olmasından dolayı (Marschner 1995; Grusak ve ark. 1999) topraktan ya da yapraklardan Fe

uygulanması ile buğday danesindeki Fe konsantrasyonunda sağlanan artış Zn'ya göre sınırlı kalmaktadır (Açıksöz ve ark. 2011). Tahılların Fe stresiyle baş etmek için geliştirdikleri bir adaptasyon olan kök bölgesine fitosiderofor salgılamak başta Fe olmak üzere mikro element alınımını teşvik eder (Römheld ve Marschner 1986). Bitkinin kükürt beslenmesinin bozulduğu durumlarda bitkinin fitosiderofor salgılamak yeteneği de gerileyerek Fe beslenmesinin de olumsuz etkilendiği gözlenmiştir. Bitkilerin mineral beslenmesi tüm elementlerin birbirini etkilediği kompleks bir süreç olması nedeniyle bitkinin diğer bitki besin elementleri ile beslenme durumu da en az biyofortifike edilmek istenen element beslenmesi kadar önem arz etmektedir. N beslenmesinin buğday danesinin biyofortifikasyonuna etkisinin incelendiği bir çalışmada artan N uygulaması ile tohumun Zn ve Fe konsantrasyonlarında %100'e varan oranlarda artış gözlendiği ancak yetersiz Zn uygulaması koşullarında N'un bu etkisinin kaybolduğu bildirilmiştir (Kutman ve ark. 2010)

Çizelge 2'de ekmeçlik ve makarnalık buğday çeşitlerine farklı Zn uygulama metodlarının danenin P ve fitik asit konsantrasyonlarına etkisi gösterilmiştir. Zn noksan topraklara yapılan Zn uygulaması özellikle bu uygulamanın topraktan yapılması, danede Zn konsantrasyonunu önemli şekilde artırırken dane P konsantrasyonunu düşürmüştür. Zn uygulaması ile ayrıca dane P konsantrasyonunun azalması ile ilişkili olarak danede fitat konsantrasyonu ve fitat/Zn molar oranında da düşüş gözlenmiştir (Erdal 1998). Bu duruma Zn'nun sağladığı verim artışıyla ortaya çıkan seyrelme etkisinin neden olması muhtemeldir (Çakmak ve ark. 1997). Tahıl danelerinde P'un depolandığı başlıca bileşik olan fitat Zn ve Fe'i bağlayıp çözünürlüğünü azaltmakta ve insanlar için daha az yarayışlı hale getirmektedir (Wise 1995; Lott ve ark. 2000). Tahıl kökenli gıdalar çok düşük miktarlarda Zn içermesinin yanı sıra bu tahılları tüketen canlılar içinde Zn'nun yarayışlılığını azaltan başta fitin olmak üzere diğer benzer özellikteki bileşiklerce zengin olduğu bilinmektedir (Çakmak ve ark. 1999b). Beslenmelerinde yüksek fitatlı besinlere yer

Kültür Bitkileri Yetiştiriciliğinde Biyofortifikasyon

Çizelge 2. Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerine farklı Zn uygulama metodlarının danenin P ve fitik asit konsantrasyonlarına etkisi

Zn Uygulama Metodu	Çeşit	Dane Zn (mg/kg)	Dane P (mg/kg)	Fitik Asit	Fitat/Zn Molar oranı
Kontrol	Kunduru	11	4.2	11.8	112
	Dağdaş	8	4.3	12.0	140
Toprak	Kunduru	17	3.3	8.7	53
	Dağdaş	16	3.3	9.5	62
Yaprak	Kunduru	19	4.0	10.3	56
	Dağdaş	28	3.5	9.8	35
Toprak+ Yaprak	Kunduru	33	3.9	9.7	30
	Dağdaş	36	3.8	10.0	29

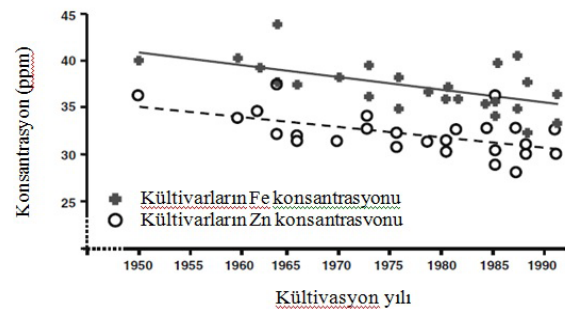
^a Veriler Orta Anadolu'da yüksek Zn noksanlığı olan topraklarda yetiştirilen ekmeklik (kv. Dağdaş) ve makarnalık (kv. Kunduru) buğdayların danedeki Zn, P, fitat konsantrasyonlarını ve fitat/Zn molar oranını göstermektedir (Erdal 1998).

veren toplumlarda mikro element yetersizliğinin daha fazla görülmesi başta Zn ve Fe'in çözünemez fitat bileşikleri oluşturarak yarayışsız forma geçmesinden kaynaklanmaktadır (Gibson 2006, Rimbach ve ark. 2008). Bu sebeple besinlerdeki Zn biyoyararlılığının belirlenmesinde fitat/Zn oranı sık kullanılan parametrelerdendir (Oberlas and Harland 2005; Hambidge ve ark. 2008). Zn gübrelemesinin dane P içeriğini azaltarak dane fitat içeriğini de azaltması insanların bu besinlerdeki mikro elementlerden daha fazla yararlanmasını sağlamaktadır. İç anadoluda yapılan tarla denemelerinde topraktan ve yapraktan birlikte uygulanan Zn'nun hem ekmeklik hem de makarnalık buğday danesinde fitat/Zn'nun molar oranını önemli şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir (Çakmak ve ark. 1999a) bu veri toplamların mikro element kaynağı olarak tahıllardan yararlanabileceğine bir kanıttır (Çakmak 2010).

Türkiye'de Biyofortifikasyon

Dünya'da en çok tahıl tüketen ülkelerden biri olan Türkiye'de günlük kalorinin %70-80'i tahıllardan sağlanmaktadır (Yücecan 1991). Türkiye'de yoğun olarak tahıl tarımı yapılan alanlarda başta Zn ve Fe olmak üzere alınabilir mikro element düzeyinin düşük olduğu bilinmektedir (Eyüpoğlu ve ark. 1994).

Ülkemizde yaşayan bireyler arasında mikro element eksikliğinin yaygın karşılaşılan bir problem olması da (Çavdar ve ark. 1991) bu durumun bir yansımasıdır. Türk toplumu için kritik öneme sahip olan buğday biyofortifikasyon çalışmalarında en çok çalışılan bitkidir. Yeşil devrimden sonra artan tarımsal verimle doğru orantılı olarak topraklardan kaldırılan bitki besin elementi miktarı da artmıştır. Bu durum toprakların mikro element içeriğinin azalmasına dolayısı ile



Şekil 1. Buğday kültürlerinin Fe ve Zn konsantrasyonları (Kültivarların (Triticum spp.) Fe ve Zn konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi (Monasterio and Graham 2000))

bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin her yıl mikro element konsantrasyonlarının düşmesine neden olmuştur. Benzer bir durum Şekil 1'de gösterilmektedir.

Ancak toprağın ve bitkinin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmayan, mikro elementleri ihmal eden gübreleme alışkanlığı ile topraklarımızda her geçen gün mikro element noksanlığı daha şiddetli görülmüş, verim ve kaliteyi sınırlandırmıştır. Ülkemizde Zn'lu gübre kullanımı ile başlayan verim ve kalite artışı (Çakmak ve ark. 1996) diğer ihmal edilen elementler içinde farkındalık yaratılmasına vesile olmuştur. Türkiye'de en yaygın üretilen tahıl türü olan buğday genelde ekmek olarak tüketilmektedir (Yücecan 1991). Buğday denesindeki Zn'nun büyük bir kısmı embriyoda ve aleron tabakasındadır. Buna karşılık endospermde kalan kısmın neredeyse onda biri kadar Zn bulunmaktadır. Daneden un elde etme işlemi için yapılan öğütme işleminde embriyo ve aleron gibi Zn ve proteince zengin dokular atılmakta ve elde edilen unun daneye göre Zn ve protein içeriği düşmektedir. Dolayısıyla un ve undan elde edilen ekmek insanlar için Zn ve proteince fakirleşmektedir. Bu besinlerle ağırlıklı beslenen kişilerde yetersiz Zn beslenmesi yaygın karşılaşılan bir sorundur (Öztürk ve ark. 2006). Benzer verilere, yapılan birçok çalışmada ulaşılmıştır (Çakmak 2002; Çakmak 2008). Bu durum tüketilen gıdaların besin içeriğinin zenginleştirilmesinin tek başına yeterli olmadığını, gıdaların sofraya gelene kadar geçirdiği proseslerde de besin içeriğini azaltıcı işlemlerden korunması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç

Gıda kalitesini artırarak dünyanın her noktasında sağlıklı bireylerin yetişmesini hedefleyen biyofortifikasyon bugüne kadar kat ettiği ilerleme ile umut vaat etmektedir. Biyofortifikasyon çok sayıda disiplinin birlikte çalıştığı kompleks bir süreç olmakla birlikte çalışmanın başarısında agronomik uygulamalar belirleyici olmaktadır. Kültür bitkilerinin gübrelenmesine yeni bir bakış açısı kazandıran biyofortifikasyon tekniği, bilinen zirai üretim metodolojisinden farklılıklar içermektedir. Zamanla biyofortifikasyon ile konvansiyonel

üretim tekniklerinin sentezinden oluşan yeni model agronomik uygulamaların yaygınlaşacağı bilim insanları tarafından öngörülmektedir. İnsanların beslenme yetersizliğini gidermeyi hedefleyen biyofortifikasyonun, şimdilik en çok tüketilen tarımsal ürünler için çalışılsa da yakın zamanda zirai üretimin daha büyük kısmında etkili olacağı ve yeni beslenme sorunlarının çözümünde de uygulanacağı düşünülmektedir. Ayrıca, biyofortifikasyonun başarısı için genetik ve agronomik yöntemlerin işbirliği ile birlikte çalışılmasının önemli olduğu kanaati taşınmaktadır.

Kaynaklar

- Açıksöz S. B., Yazıcı A., Öztürk L., Çakmak I. (2011). Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. *Plant Soil* 349, 215–225 10.1007/s11104-011-0863-2.
- Çakmak and R. M. Welch, eds. UNESCO-EOLSS Publishers: Oxford.
- Çakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302:1-17.
- Çakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil* 302:1-17.
- Çakmak, I., Ekiz, H., Yılmaz, A., Torun, B., Köleli, N., Gültekin, I., Alkan, A., and Eker, S. 1997. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant Soil* 188:1-10.
- Çakmak, I., Ekiz, H., Yılmaz, A., Torun, B., Köleli, N., Gültekin, I., Alkan, A., and Eker, S. 1997. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant Soil* 188:1-10.
- Çakmak, I., Graham, R., and Welch, R. M. 2002. Agricultural and molecular genetic approaches to improving nutrition and preventing micronutrient malnutrition globally. Pages 1075-1099 in: *Encyclopedia of Life Support Systems*. I. Çakmak and R. M. Welch, eds. UNESCO-EOLSS Publishers: Oxford.
- Çakmak, I., Graham, R., and Welch, R. M. 2002. Agricultural and molecular genetic

- approaches to improving nutrition and preventing micronutrient malnutrition globally. Pages 1075-1099 in: *Encyclopedia of Life Support Systems*. I
- Cakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H. J., and Yılmaz, A. 1999a. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-Science for Stability Project. *Field Crops Res.* 60:175-188.
- Cakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H.J. ve Yılmaz, A., 1999a. Zinc Defficiency as an Actual Problem in Plant and Human Nutrition in Turkey: A-NATO- Science for Stability Project. *Fieled Crops Research.*, 60: 175-188.
- Cakmak, I., Pfeiffer, WH. and McClafferty, B. 2010: Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chem.* 87: 10-20.
- Cakmak, I., Tolay, I., Ozdemir, A., Ozkan, H., and Kling, C. I. 1999b. Differences in zinc efficiency among and within diploid, tetraploid and hexaploid wheats. *Ann. Bot.* 84:163-171.
- Cakmak, I., Tolay, I., Ozdemir, A., Ozkan, H., and Kling, C. I. 1999b. Differences in zinc efficiency among and within diploid, tetraploid and hexaploid wheats. *Ann. Bot.* 84:163-171.
- Cavdar, A.O., Arcasoy, A., Cin, S., Babacan, S. ve Gözdaşoğlu, S., 1991. Geophagia in Turkey: Iron and zinc deficiency and zinc absorption studies and response to treatments with zinc in geophagia cases, 71-79. In: *Zinc Deficiency in Human Subjects*. Alan R, Liss, New York, NY.
- Çakmak, İ., Torun, B., Erenoğlu, B., Kalaycı, M., Yılmaz, A., Ekiz, H., Braun, H., 1996. Türkiye’de Toprak ve Bitkilerde Çinko Eksikliği ve Bitkilerin Çinko Eksikliğine Dayanıklılık Mekanizmaları *Tr.J.of Agriculture and Forestry* 20: 13-23 Özel sayı TÜBİTAK.
- Ekiz, H., Bağcı, S. A., Kiral, A. S., Eker, S., Gultekin, I., Alkan, A., and Cakmak, I. 1998. Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 21:2245-2256.
- Erdal, I. 1998. Effects of various zinc application methods on grain zinc and phytic acid concentration of different cereal species and wheat cul-tivars grown in Central Anatolia. PhD thesis. (In Turkish) Ankara Uni-versity, Graduate School of Natural and Applied Sciences: Ankara.
- Eyüpoğlu, F., Kurucu, N. ve Sanisa, U., 1994. Status of plant available micronutrients in Turkish soils (in Turkish). Annual Report, Report No: R- 118. Soil and Fertilizer Research Institute, Ankara, 1994. s: 25-32.
- Gibson, R. S. 2006. Zinc: The missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proc. Nutr. Soc.* 65:51-60.
- Graham, R. D., Ascher, J. S., and Hynes, S. C. 1992. Selection of zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant Soil* 146:241-250.
- Grusak, M. A., Pearson, J. N., and Marentes, E. 1999. The physiology of micronutrient homeostasis in field crops. *Field Crops Res.* 60:41-56
- Hambidge, K. M., Miller, L. V., Westcott, J. E., and Krebs, N. F. 2008. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model predictions. *J. Nutr.* 138:2363-2366.
- Kutman, UB., (2010). Roles of nitrogen and zinc nutrient in biofortification of wheat grain. Sabanci University. PhD Thesis.
- Lott, J. N. A., Ockenden, I., Raboy, V., and Batten, G. D. 2000. Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: A global estimate. *Seed Sci. Res.* 10:11-33.
- Marschner, H. 1993. Zinc uptake from soils. Pages 59-77 in: *Zinc in Soils and Plants*. A. D. Robson, ed. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht: The Netherlands.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press: London.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press: London.
- Miller, G.W., Pushnik, J.C. ve Welkie, G.W., 1984. Iron Chlorosis, a World Wide Problem, the Relation of Chlorophyll

- Biosynthesis to Iron. *Journal of Plant Nutrition*. 7(15): 1-22.
- Monasterio I, Graham RD (2000) Breeding for trace minerals in wheat. *Food Nutr Bull* 21:392–396 Also available via <http://foodandnutritionbulletin.org/FNB/index.php/FNB/article/view/304>
- Oberleas, D., and Harland, B. F. 2005. Diagnosis of zinc deficiency in population studies. *Trace Elem. Elec.* 22:282-287.
- Orman Ş., Ok H., "Effects of sulphur and zinc applications on growth and nutrition of bread wheat in calcareous clay loam soil", *African Journal of Biotechnology*, vol.11, pp.3080-3086, 2012.
- Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H. J., Sayers, Z., and Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germ-ination in wheat. *Physiol. Plant* 128:144-152.
- Qaim M, Stein AJ, Meenakshi JV (2007) Economics of biofortification. *Agric Econ* 37[Suppl 1]: 119–133.
- Rimbach, G., Pallauf, J., Moehring, J., Kraemer, K., and Minihane, A. M. 2008. Effect of dietary phytate and microbial phytate and microbial phy-tase on mineral and trace element bioavailability—A literature review. *Curr. Top. Nutraceut. Res.* 6:131-144.
- Römheld, V. and Marschner, H., 1986. Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. *Plant Physiol.* 80: 175-180.
- Shiway, Y. S., Kumar, D., and Prasad, R. 2008. Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 81:229-243.
- Waters, B. M., and Grusak, M. A. 2008. Whole-plant mineral partitioning throughout the life cycle in *Arabidopsis thaliana* ecotypes Columbia, Landsberg erecta, Cape Verde Islands, and the mutant line ysl1ysl3. *New Phytol.* 177:389-405.
- Waters, B. M., and Grusak, M. A. 2008. Whole-plant mineral partitioning throughout the life cycle in *Arabidopsis thaliana* ecotypes Columbia, Landsberg erecta, Cape Verde Islands, and the mutant line ysl1ysl3. *New Phytol.* 177:389-405.
- Waters, B. M., and Grusak, M. A. 2008. Whole-plant mineral partitioning throughout the life cycle in *Arabidopsis thaliana* ecotypes Columbia, Landsberg erecta, Cape Verde Islands, and the mutant line ysl1ysl3. *New Phytol.* 177:389-405.
- Welch, R. M., 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil* 247: 83-90. USDA, ARS, U.S. Plant, Soil and Nutrition Laboratory, Cornell University, Tower Road, Ithaca, NY 14853, USA.
- White, P. J., and Broadley, M. R. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci.* 10:586-583.
- White, P. J., and Broadley, M. R. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci.* 10:586-583.
- Wise, A. 1995. Phytate and zinc bioavailability. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 46:53-63.
- Wise, A. 1995. Phytate and zinc bioavailability. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 46:53-63.
- Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A., and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *J. Plant Nutr.* 20:461-471.
- Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A., and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *J. Plant Nutr.* 20:461-471.
- Yücecan, S. 1991. Besinlerin Zenginleştirilmesi. *Gıda* 16 (4) 269-275.