

جذب و انتقال عناصر کم مصرف (آهن، مس، روی و منگنز) در ارقام مختلف لوبیا تحت شرایط کمبود و عدم کمبود آهن در خاک

سعید محمودی^۱، غلامرضا ثواقبی^۲، بابک متشروع زاده^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران؛
۲. استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران؛
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۱

چکیده

یکی از مشکلات مهم خاک‌های آهنی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش آهن و روی قابل جذب می‌باشد. راه‌های مختلفی برای رفع کمبود در این خاک‌ها وجود دارد که موثرترین و اقتصادی‌ترین روش، استفاده از ارقام عنصرکارا می‌باشد. این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی، مس و منگنز در ۱۲ رقم تجاری لوبیا (قرمز، سفید و چیتی)، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه و در یک خاک آهنی دارای کمبود آهن قابل جذب (۱/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به مرحله اجرا در آمد. آهن در دو سطح (بدون مصرف کود (FeO) و مصرف بهینه در زمان کاشت (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) به گلدان‌ها افزوده شد. پس از شش هفته در اواخر دوره رشد رویشی نسبت به برداشت گیاهان اقدام گردید. متحمل‌ترین و حساس‌ترین رقم به کمبود آهن به ترتیب ارقام درسا (۱۰۸/۹٪) و درخشان (۷۶/۱۴٪) بودند. بین مقدار جذب آهن در شرایط تنش کمبود آهن در بین ارقام مورد مطالعه در ریشه و اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که ارقام درسا، محلی خمین، دانشکده، ناز و گلی دارای بیشترین مقدار جذب و نسبت انتقال آهن، روی، مس و منگنز بودند. بالاتر بودن جذب و انتقال از ریشه به اندام هوایی عناصر کم مصرف در ارقام مختلف گیاهی یکی از جنبه‌های مهم در برنامه‌سازی زیستی با هدف بهبود کیفیت محصولات است.

واژه‌های کلیدی: کمبود آهن، آهن کارایی، جذب و انتقال نسبی عناصر کم مصرف

مقدمه

ظرفیتی را نسبت به سه ظرفیتی برای جذب ترجیح می‌دهند (Chaney et al., 1972). کمبود آهن منجر به بروز عارضه زردبرگی، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل، کاهش وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه (Mahmoudi et al., 2005)، تغییر غلظت و محتوای آهن (Tabatabaee et al., 2011) و سایر عناصر فلزی در بافت‌های گیاهی می‌شود (Chen et al., 2004)، که این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند. راه-حل پایدار برای افزایش تولید در مناطقی که دچار کمبود آهن هستند، انتخاب ارقام متحمل به کمبود آهن می‌باشد. مطالعات نشان داده تنوع ژنتیکی زیادی در پاسخ گیاهان

یکی از مشکلات خاک‌های قلیایی که بخش عمده‌ای از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را تشکیل می‌دهند کمبود آهن قابل استفاده گیاه می‌باشد (Ksouri et al., 2007). کمبود آهن در کشورهای جهان سوم عمومیت دارد و کم خونی تلفیقی از کمبود آهن و روی می‌باشد (Welch, 2002). خاک بیشتر مناطق کشاورزی جهان دارای pH بالا بوده که به تبع آن آهن قابل جذب توسط گیاهان کاهش می‌یابد (Welch et al., 1991). به رغم مقدار زیاد آهن کل در خاک مقدار قابل جذب برای ریشه گیاه اندک است. آهن به دو شکل دو و سه ظرفیتی در محلول خاک وجود دارد و گیاهان دولپه‌ای فرم دو

بررسی قرار گرفت (Mahmoodi et al., 2012). با توجه به اهمیت موضوع هدف از انجام این پژوهش بررسی توانایی جذب و نسبت انتقال نسبی آهن، روی، مس و منگنز در ارقام مختلف چیتی، قرمز و سفید لوبیا در شرایط کمبود آهن به کفایت آهن بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در تابستان ۱۳۹۰ در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. تیمارها شامل ۱۲ رقم لوبیا (*Phaseolous vulgaris* L. شامل قرمز (ناز، گلی، اختر، صیاد و درخشان)، سفید (دانشکده، پاک و شکوفا)، چیتی (درسا، محلی خمین، صدری و تلاش) و دو سطح کود آهن (صفر و در حد کفایت (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به صورت سکوسترین ۱۳۸ (مقدار تقریبی ۱۷۰ میلی‌گرم سکوسترین به ازای هر گلدان)) (Khodshenas et al., 2005) بود. پس از بررسی‌های اولیه خاک مورد نظر (دارای آهن قابل استخراج با DTPA کمتر از ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) از منطقه کردان کرج با طول و عرض جغرافیایی ۳۷°۱۷'۵۰" و ۲۸°۵۴'۳۵" انتخاب و پس از هوا خشک کردن، از الک دو میلی‌متر عبور داده شد. سپس برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee et al., 1986)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت سنج فیلیپس (Rhodes, Leoppert, 1996)، کربنات کلسیم به روش حجم سنجی (Bremner, et al., 1996)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Nelson et al., 1996)، ماده آلی به روش والکلی- بلک (Olsen et al., 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Sumner et al., 1954)، پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم (Leoppert et al., 1996) و روی (Bartels, 1996)، به روش عصاره‌گیری با DTPA و قرائت توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل 70 AA6 و pH در گل اشباع با استفاده از pH متر، مدل متره‌م (Thomas, 1996)، اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

به کمبود آهن وجود دارد (Marschner, 1995; Tabatabaee et al., 2011). اختلافات ژنوتیپی می‌تواند به توضیح یا تفسیر سازگاری گیاهان با شرایط کمبود عناصر معدنی که در سرتاسر جهان وجود دارد کمک کند (Wright, 1976). از سوی دیگر موضوع کارایی عناصر غذایی و یافتن ارقام متحمل به کمبود عناصر و نیز سازوکارهای مربوطه در راستای اصل کاهش مصرف کودهای شیمیایی در برنامه‌های زراعی به دلیل آلودگی محیط زیست، تخریب ساختمان خاک و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی اهمیت قابل توجهی یافته است (Graham et al., 1996).

گیاهان دولپه‌ای (استراتژی ۱) در پاسخ به تنش کمبود آهن پاسخ‌های خاص فیزیولوژیک و مروفولوژیک مانند افزایش ظرفیت احیاء آهن، اسیدی کردن محیط ریشه، آزادسازی ترکیبات فلاوین، تغییر شکل ریشه‌های جانبی و افزایش ریشه‌های موئین از خود نشان می‌دهند (Römheld et al., 1986). برخی سازوکارهای بکار گرفته شده توسط گیاهان آهن کاراً ممکن است بر جذب و انتقال سایر عناصر به ویژه روی و منگنز به اندام هوایی تأثیر داشته باشند. این مطلب به ویژه در بحث کیفیت محصولات کشاورزی اهمیت دارد (Michael et al., 1999). ژن‌هایی که در شرایط کمبود آهن فعال می‌شوند علاوه بر آهن، عناصری نظیر کادمیم و روی را نیز انتقال می‌دهند (Clara et al., 1998) و همچنین مشاهده شده سیستم‌های احیائی Fe^{3+} قادر به احیاء Cu^{2+} و Mn^{3+} (Welch et al., 1993; Marschner et al., 1982) نیز می‌باشند. نیکوتیان آمید که عامل انتقال‌دهنده آهن در عرض آوند چوبی ریشه است قادر به انتقال روی، مس و منگنز نیز می‌باشد (Scholz et al., 1987). در گوجه‌فرنگی و سویا آهن در طول آوند چوبی به صورت کمپلکس آهن سه ظرفیتی-سیترات (Tiffin, 1976)، منگنز Mn^{2+} ، روی به صورت کمپلکس ملات و سیترات (White et al., 1981) و مس کمپلکس با ترکیبات آلی نیتروژن‌دار (Kochian, 1991) حرکت می‌کند و همچنین در گیاهان دچار کمبود آهن غلظت کادمیم و منیزیم بیشتری در دانه در مقابل آهن کافی انباشته شد (Rodecap et al., 1994). در پژوهش‌های انجام شده، پاسخ ارقام مختلف لوبیا به کمبود آهن مورد

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some soil physical and chemical properties

Properties	ویژگی	مقدار Value
Clay (%)	رس (درصد)	23.00
Silt (%)	سیلت (درصد)	38.00
Sand (%)	شن (درصد)	39.00
Texture	کلاس بافت خاک	لومی Loam
Ec(dS/m)	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m)	0.70
pH	pH	8.20
SP	SP (درصد)	36.00
CEC(cmol ₊ /kg)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₊ /kg)	11.40
Calcium Carbonate Equivalent (%)	کربنات کلسیم (درصد)	7.23
Nitrogen (%)	نیتروژن کل (درصد)	0.053
Organic carbon (%)	کربن آلی (درصد)	0.081
Phosphor (mg/kg)	فسفر قابل جذب با بی کربنات سدیم نیم نرمال (میلی گرم در کیلوگرم)	5.60
Potassium (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم یک نرمال (میلی گرم در کیلوگرم)	190.00
Zinc (mg/kg)	روی قابل استخراج با DTPA (میلی گرم در کیلوگرم)	1.38
Iron (ppm)	آهن قابل استخراج با DTPA (میلی گرم در کیلوگرم)	1.67
Manganese (mg/kg)	منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی گرم در کیلوگرم)	3.57
Copper (mg/kg)	مس قابل استخراج با DTPA (میلی گرم در کیلوگرم)	1.61

کردن ریشه از خاک از شستشو ریشه با آب مقطر استفاده شد. کارایی ارقام مختلف لوبیا، شاخص انتقال نسبی و نسبت انتقال نسبی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید، به طوریکه Y_s و Y_p به ترتیب عملکرد ماده خشک در شرایط تنش و کفایت آهن می‌باشد (Graham et al., 1992; Graham, 1984; Cakmak et al., 1997).

$$Fe_{\text{efficient}} = \left(\frac{Y_s}{Y_p} \right) \times 100 \quad [1]$$

عملکرد ماده \times غلظت در اندام هوایی یا ریشه = Uptake
خشک ریشه یا اندام هوایی [۲]

$$100 \times (\text{غلظت در ریشه/غلظت در بخش هوایی}) = \text{انتقال نسبی} \quad [3]$$

$$100 \times \frac{\text{نسبی انتقال (آهن کمبود)}}{\text{نسبی انتقال (آهن کفایت)}} = \text{نسبت انتقال} \quad [4]$$

در پایان تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) و مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن (در سطح ۵ درصد) صورت گرفت.

در ادامه برای آزمایش گلدانی، خاک از الک ۴ میلیمتر عبور داده شده و به مقدار ۳ کیلوگرم داخل گلدان‌ها ریخته و به گلخانه منتقل گردید. سایر عناصر نظیر فسفر (۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سوپر فسفات تریپل)، نیتروژن (۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اوره) بر حسب آزمون خاک و نیاز غذایی گیاه به تمامی گلدان‌ها اضافه شد. تیمار آهن در مرحله سه برگ لوبیا به صورت محلول به گلدان‌ها اضافه گردید و سپس تا رسیدن به محدوده مطلوب ظرفیت مزرعه با آب مقطر آبیاری گردید. تعداد سه بوته تا پایان فصل رشد نگه داشته شد و در تمامی مراحل رشد رطوبت توسط آب مقطر در حد ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه (به روش وزنی) تأمین شد. در پایان دوره رشد رویشی (شش هفته) عملکرد ماده خشک و مقدار آهن، روی، مس و منگنز کل به روش خاکستر کردن خشک و عصاره گیری با اسیدکلریدریک یک نرمال (Lang et al., 1987) با دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل ۶۷۰، اندازه‌گیری شد. برای تفکیک صحیح ریشه حجم کل خاک هر گلدان درون تشتی از آب قرار گرفت تا ریشه از خاک جدا شود، ضمناً برای جدا

جدول ۲. مقدار جذب آهن، روی، مس و منگنز در ارقام مورد مطالعه لوبیا در شرایط کمبود و عدم کمبود آهن خاک

Table 2. Uptake of Fe, Zn, Cu and Mn in deficient and without deficient iron condition in soil in different cultivars of bean

سطح آهن Fe level	Cultivar	رقم	مقدار جذب آهن		مقدار جذب روی		مقدار جذب مس		مقدار جذب منگنز	
			Fe Uptake		Zn Uptake		Cu Uptake		Mn Uptake	
			اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root
µg.Plant ⁻¹										
۰ mg.kg ⁻¹ (deficient)	Naz	ناز	1251.14 ^{cd}	17509.37 ^{bc}	392.19 ^{abc}	160.92 ^{cd}	148.73 ^a	96.86 ^{cd}	1057.55 ^a	1161.17 ^c
	Goli	گلی	1797.54 ^{ab}	18866.45 ^{bc}	388.13 ^{abc}	145.17 ^{de}	138.21 ^{ab}	99.77 ^c	256.58 ^d	1145.07 ^c
	Akhtar	اختر	1583.53 ^{bc}	21231.25 ^b	364.07 ^{bc}	153.17 ^{cd}	113.97 ^{bcd}	155.98 ^a	247.30 ^d	1172.08 ^c
	Sayyad	صیاد	1743.72 ^{ab}	17023.99 ^c	339.58 ^c	164.13 ^{cd}	109.97 ^{bcd}	92.05 ^{cd}	426.43 ^c	1236.13 ^c
	Derakhshan	درخشان	1326.70 ^{cd}	7912.84 ^e	329.13 ^c	91.95 ^c	93.76 ^{de}	55.27 ^f	272.31 ^d	781.85 ^{de}
	Daneshkadeh	دانشکده	1172.41 ^{cd}	19734.53 ^{bc}	359.49 ^{bc}	165.79 ^{cd}	118.05 ^{bcd}	102.80 ^c	387.58 ^c	813.26 ^d
	Pak	پاک	1258.07 ^{cd}	13208.27 ^d	313.74 ^c	179.52 ^{bc}	85.04 ^c	122.85 ^b	391.52 ^c	1070.06 ^c
	Shokofa	شکופا	1443.09 ^{bcd}	27124.7 ^a	341.51 ^c	290.32 ^a	103.62 ^{cde}	131.89 ^b	371.82 ^c	1811.39 ^a
	Dorsa	درسا	1106.29 ^d	8401.43 ^e	449.91 ^a	127.94 ^d	120.50 ^{bcd}	87.89 ^{cd}	361.26 ^c	624.32 ^{de}
	Khomein	محلی خمین	2104.08 ^a	20814.89 ^{bc}	358.67 ^{bc}	197.56 ^b	118.78 ^{bcd}	163.01 ^a	385.76 ^c	1548.34 ^b
	Sadri	صدری	1189.34 ^{cd}	7795.51 ^e	429.14 ^{ab}	101.31 ^{fg}	130.39 ^{abc}	69.12 ^{ef}	357.05 ^c	594.32 ^e
	Talash	تلاش	1725.66 ^{ab}	17331.01 ^{bc}	325.01 ^c	120.21 ^{ef}	118.87 ^{bcd}	82.32 ^{de}	590.68 ^b	613.36 ^e
	۵ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن (کفایت) 5 mg.kg ⁻¹ (non-deficient)	Naz	ناز	1456.12 ^{cde}	31986.19 ^a	130.88 ^{cde}	300.16 ^{ab}	156.79 ^{ab}	117.12 ^{cd}	996.56 ^{bc}
Goli		گلی	1281.98 ^e	16973.31 ^d	115.66 ^{def}	269.61 ^{bc}	144.25 ^{ab}	126.82 ^{bc}	1032.68 ^{bc}	1108.78 ^a
Akhtar		اختر	1614.95 ^{abcd}	10393.41 ^e	95.72 ^{fg}	263.28 ^{cd}	140.13 ^{ab}	141.83 ^b	952.48 ^c	501.76 ^f
Sayyad		صیاد	1332.60 ^{de}	19941.59 ^d	148.45 ^{bc}	303.62 ^a	132.32 ^{ab}	126.99 ^{bc}	939.98 ^c	996.63 ^{abc}
Derakhshan		درخشان	1686.81 ^{abcde}	24512.51 ^c	136.97 ^{bcd}	272.91 ^{abc}	127.64 ^b	143.63 ^b	580.21 ^d	985.43 ^{abc}
Daneshkadeh		دانشکده	1739.41 ^{abcd}	17244.70 ^d	118.18 ^{def}	220.65 ^e	133.61 ^{ab}	104.92 ^{de}	1890.88 ^a	726.53 ^{de}
Pak		پاک	1857.77 ^{abc}	24527/41 ^c	201/18 ^a	283/82 ^{abc}	141/56 ^{ab}	178/33 ^a	1766.63 ^a	1043.86 ^{ab}
Shokofa		شکופا	1971.04 ^{ab}	28449/64 ^b	159/19 ^b	234/64 ^{de}	131/98 ^{ab}	96/55 ^e	967.47 ^{bc}	1065.38 ^{ab}
Dorsa		درسا	1571.53 ^{bcd}	10191/45 ^e	108/65 ^{efg}	180/51 ^f	142/86 ^{ab}	87/36 ^e	898.46 ^c	581.25 ^{ef}
Khomein		محلی خمین	1873.13 ^{abc}	23524/7 ^c	112/57 ^{def}	260/33 ^{ef}	137/50 ^{ab}	137/24 ^b	988.43 ^{bc}	979.61 ^{abc}
Sadri		صدری	1502.67 ^{cde}	4962.25 ^f	65.69 ^h	97.13 ^g	131.73 ^{ab}	56.61 ^f	1226.53 ^b	257.89 ^g
Talash		تلاش	2012.80 ^a	17216.31 ^d	85.25 ^{gh}	185.87 ^{ef}	157.96 ^a	89.57 ^e	598.48 ^d	837.87 ^{cd}

میانگین‌های دارای حداقل در یک حرف مشترک در یک ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد هستند.

Means at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.

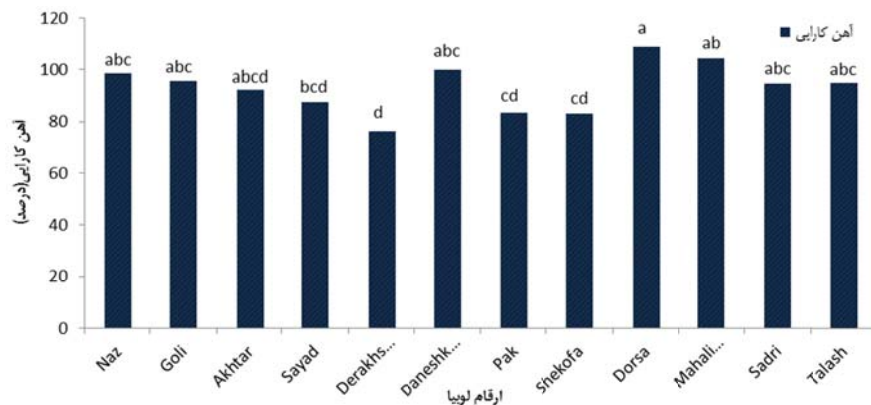
علاوه بر آهن، کاتیون‌های فلزی دیگر نظیر مس (Graham, 1981)، روی (Kochian, 1993) و منگنز (Cakmak et al., 1997) در ریشه گیاهان و ارقام مختلف به طور متفاوت جذب می‌شود. در این آزمایش به منظور یافتن عوامل مرتبط با تحمل کمبود آهن در دوازده رقم تجاری لوبیا، غلظت و جذب آهن، روی، مس و منگنز در ریشه و اندام هوایی و همچنین انتقال نسبی آهن، روی، مس و منگنز از ریشه به اندام هوایی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های حاصل از این آزمایش می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که بین ارقام مختلف لوبیا در پاسخ به تنش کمبود آهن (ویژگی آهن کارایی) و همچنین جذب و انتقال آهن و عناصر نام برده تفاوت معنی‌داری دیده می‌شود که با داده‌های عشقی زاده و همکاران (Eshghizade et al., 2009)، محمودی و همکاران (Mahmoudi et al., 2005)، گراهام (Graham, 1984)، کوچین (Kochian, 1993) و چک مک و همکاران (Cakmak et al., 1997) همخوانی دارد. کمبود آهن باعث کاهش معنی‌داری در جذب آهن در بین ارقام مورد مطالعه به جز رقم گلی، صیاد، محلی خمین، صدری و تلاش شد که با نتایج محمودی و همکاران (Mahmoudi et al., 2005) مطابقت داشت. نسبت انتقال نسبی آهن در بین ارقام مورد مطالعه لوبیا تفاوت معنی‌داری نشان داد که با نتایج عشقی‌زاده و همکاران (Eshghizade et al., 2009) همخوانی داشت. رقم محلی خمین دارای بیشترین نسبت انتقال نسبی آهن بود.

نتایج همبستگی بین نسبت انتقال نسبی عناصر ذکر شده و بروز ویژگی‌های آهن کارایی نشان داد که هیچ گونه همبستگی بین آهن کارایی و نسبت انتقال نسبی عناصر وجود ندارد، ولی بین نسبت انتقال نسبی مس و روی همبستگی مثبت معنی‌دار ($P < 0/01$) و همچنین بین نسبت انتقال نسبی مس و منگنز همبستگی منفی و معنی‌داری ($P < 0/05$) وجود دارد که نشان می‌دهد انتقال نسبی مس و روی در شرایط کمبود به کفایت روند یکسانی را نشان می‌دهد و با افزایش انتقال روی، مس هم انتقال می‌یابد که نشان دهنده عامل‌های انتقال‌دهنده یکسان در این عناصر است که با نتایج میشل و همکاران (Michael et al., 1999) و کلارا و همکاران (Clara et al., 1998) همخوانی دارد.

مقدار جذب مس در اندام هوایی و ریشه در دو حالت کوددهی (کفایت) و عدم کوددهی (کمبود) آهن در بین ارقام مورد مطالعه لوبیا تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). هنگام مواجهه گیاه با تنش کمبود آهن، ارقام ناز (۱۴۸/۷۳) و پاک (۸۵/۰۴) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب مس ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در اندام هوایی و ارقام محلی خمین (۱۶۳/۰۱) و درخشان (۵۵/۲۷) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب مس ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در ریشه را نشان دادند. در هنگام کفایت آهن در خاک، ارقام تلاش (۱۵۷/۹۶) و درخشان (۱۲۷/۶۴) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب مس ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در اندام هوایی و ارقام پاک (۱۷۸/۳۳) و صدری (۵۶/۶۱) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب مس ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در ریشه را نشان دادند (جدول ۲). انتقال نسبی مس از ریشه به اندام هوایی در هنگام تنش کمبود آهن به انتقال نسبی مس از ریشه به اندام هوایی در زمان کفایت آهن در خاک در بین ارقام مورد مطالعه لوبیا تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P < 0/01$). رقم تلاش (۱/۳۱) بیشترین و رقم اختر (۰/۱۳) کمترین نسبت را دارا بودند (شکل ۴).

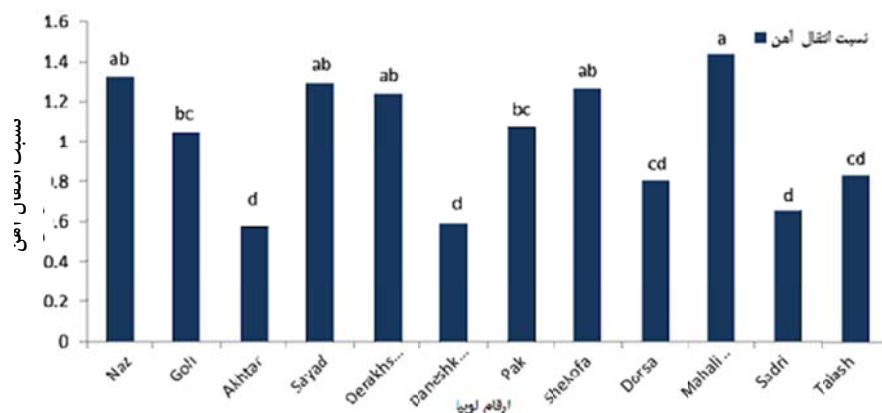
مقدار جذب منگنز در اندام هوایی و ریشه در دو حالت کوددهی (کفایت) و عدم کوددهی (کمبود) آهن در بین ارقام مورد مطالعه لوبیا تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). هنگام مواجهه گیاه با تنش کمبود آهن، ارقام ناز (۱۰۵۷/۵۵) و اختر (۲۴۷/۳۰) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب منگنز ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در اندام هوایی و ارقام شکوفا (۱۸۱۱/۳۹) و صدری (۵۹۴/۳۲) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب منگنز ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در ریشه را نشان دادند. در هنگام کفایت آهن در خاک، ارقام پاک (۱۷۶۶/۶۳) و درسا (۸۹۸/۴۶) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب منگنز ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در اندام هوایی و ارقام گلی (۱۱۰۸/۷۸) و صدری (۲۵۷/۸۹) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جذب منگنز ($\mu\text{g.Plant}^{-1}$) در ریشه را نشان دادند (جدول ۲).

انتقال نسبی منگنز از ریشه به اندام هوایی در هنگام تنش کمبود آهن به انتقال نسبی منگنز از ریشه به اندام هوایی در زمان کفایت آهن در خاک در بین ارقام مورد مطالعه لوبیا تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P < 0/01$). رقم گلی (۱/۷۹) بیشترین و رقم شکوفا (۰/۷۷) کمترین نسبت را دارا بودند (شکل ۵).



شکل ۱- تغییرات شاخص آهن کارایی در ارقام مورد مطالعه لوبیا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Fig. 1. Changes in Fe-efficient index in different cultivars of bean. Means with at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.



شکل ۲. نسبت انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی در شرایط عدم کفایت به کفایت آهن در ارقام مورد مطالعه لوبیا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

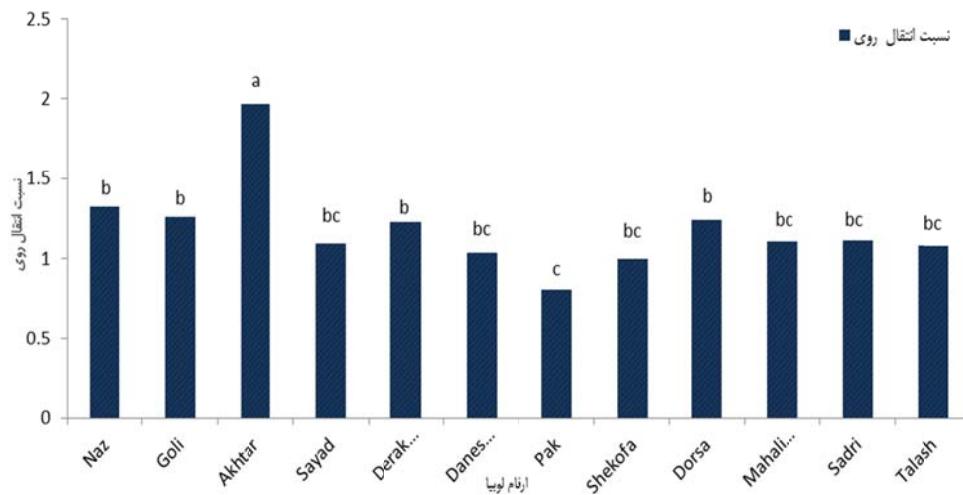
Fig. 2. Iron Transport Ratio from root to shoot in sufficient and no- sufficient condition iron in different cultivars of bean. Means at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.

همکاران (Chen et al., 2004)، کمبود آهن منجر به افزایش غلظت مس ریشه و بخش هوایی شد. کمبود آهن منجر به تحریک بیان ژن پروتئین‌های ناقل آهن می‌شود و از آنجا که فلزات سنگین توسط ناقل‌های مشابهی جذب می‌شوند، تحت شرایط کمبود آهن، تجمع روی، منگنز، مس در ریشه و بخش هوایی گیاهان افزایش می‌یابد. در مطالعه کولی و همکاران (Koleli et al., 2004) نیز غلظت مس و آهن در گیاهانی که دچار کمبود روی بودند در

همچنین مشاهده می‌شود که در رقم اختر، که نسبت انتقال نسبی روی زیادی دارد، میزان نسبت انتقال نسبی آهن کاهش یافته و در محلی خمین، که نسبت آهن زیادی از ریشه به اندام هوایی در شرایط تنش به کفایت آهن بیشتری را انتقال داده در مقابل مقدار روی کمتری انتقال پیدا کرده است. البته این نتایج در خصوص تمامی ارقام صحت ندارد و نمی‌توان تفسیر دقیقی ارائه نمود. ارقام مختلف ویژگی‌های جذب مختلفی دارند. در پژوهش چن و

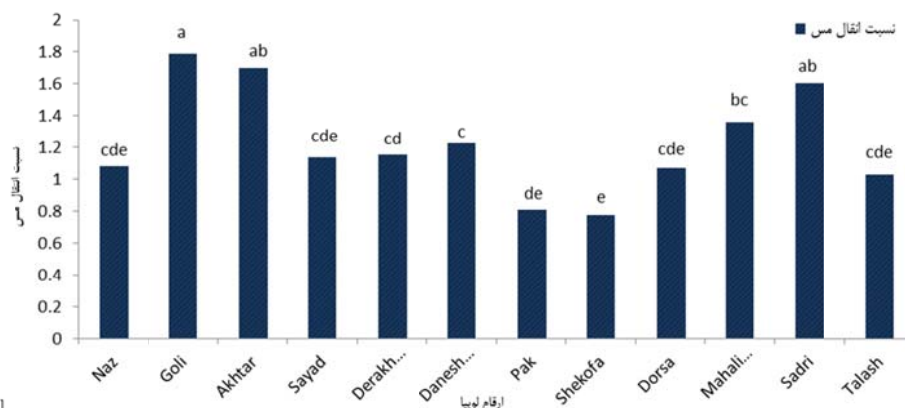
ویلچ و همکاران (Welch et al., 1993) گزارش دادند غلظت روی، منگنز و منیزیم در اندام هوایی در نخود فرنگی در شرایط کمبود آهن افزایش می‌یابد. با توجه به داده‌های حاصله می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ارقام آهن کارا که علاوه بر جذب آهن، مس، روی و منگنز را نیز در خود به مقدار نیاز انباشته می‌کنند یک راهکار مهم در جهت بهبود صنعت کشاورزی و حفظ زنجیره غذایی می‌باشد. ارقام درسا، محلی خمین، دانشکده، ناز و گلی در بالاتر نگره داشتن جذب آهن، منگنز، روی و مس موفقتر بودند. همچنین انتقال بخش عمده‌ای از آهن جذب شده از ریشه به اندام هوایی در شرایط کمبود آهن نسبت به کفایت آن می‌تواند در تحمل این ارقام در برابر کمبود موثر باشد. تغذیه متعادل گیاه و استفاده از ارقام متحمل به کمبود آهن (آهن کارا) راهی مطمئن به سمت امنیت غذایی است.

مقایسه با گیاهانی که در شرایط کفایت روی بودند، افزایش یافت. ایشان نیز دلیل این امر را وجود یک سیستم انتقال عمومی در سطح غشاء پلاسمایی برای فلزات و وجود رقابت بین عناصر فلزی برای انتقال توسط این سیستم عنوان کرد. نتایج همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین مقدار جذب آهن در ریشه و اندام هوایی در شرایط تنش آهن همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P < 0.05$) وجود دارد، که بیانگر این است هرچه مقدار آهن در شرایط تنش در ریشه افزایش یابد به اندام هوایی هم بیشتر انتقال پیدا می‌کند. مقدار جذب آهن در اندام هوایی در هنگام تنش با جذب مس و منگنز ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. در هنگام تنش مقدار جذب آهن توسط ریشه با جذب روی و مس و منگنز همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P < 0.01$) دارد که نشان دهنده سیستم انتقال‌دهنده یکسان برای هر دو عنصر است (Koleli et al., 2004).



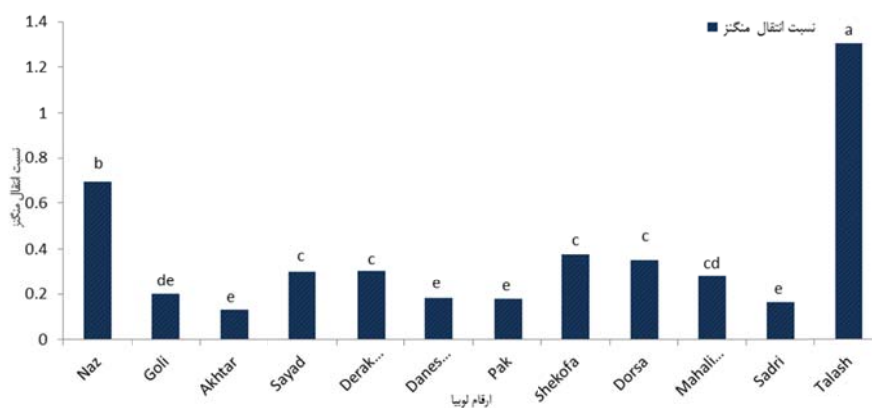
شکل ۳. نسبت انتقال روی از ریشه به اندام هوایی در شرایط عدم کفایت به کفایت آهن در ارقام مورد مطالعه لوبیا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Fig. 3. Zinc translocation Ratio from root to shoot in sufficient and no- sufficient condition iron in different cultivars of bean. Means at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.



شکل ۴- نسبت انتقال مس از ریشه به اندام هوایی در شرایط عدم کفایت به کفایت آهن در ارقام مورد مطالعه لوبیا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Fig. 4. Copper translocation Ratio from root to shoot in sufficient and no- sufficient condition iron in different cultivars of bean. Means at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.



شکل ۵. نسبت انتقال منگنز از ریشه به اندام هوایی در شرایط عدم کفایت به کفایت آهن در ارقام مورد مطالعه لوبیا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Fig. 5. Manganese translocation Ratio from root to shoot in sufficient and no- sufficient condition iron in different cultivars of bean. Means at least one letter in common are not significant difference at the level of 5%.

جدول ۳. همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مورد مطالعه لوبیا.

Table 3. Correlations between measured traits in different cultivars of bean

ترتیب Order	صفت Trait	1	2	3	4	5
1	Fe Efficiency آهن کارایی	1				
2	Fe translocation ratio نسبت انتقال آهن	-0.195	1			
3	Zn translocation ratio نسبت انتقال روی	0.01	-0.251	1		
4	Mn translocation ratio نسبت انتقال منگنز	0.086	0.071	-0.110	1	
5	Cu translocation ratio نسبت انتقال مس	0.121	-0.279	0.451**	-0.335**	1

** means significant at 1% probability level respectively

** = معنی‌دار در سطوح یک درصد

جدول ۴. غلظت آهن ریشه و اندام هوایی در ارقام مورد مطالعه لوبیا در شرایط کمبود و عدم کمبود آهن خاک
 Table 4. Root and shoot Fe Concentration in deficient and non-deficient conditions of soil iron in different cultivars of bean.

Cultivar	رقم	غلظت آهن در اندام هوایی Shoot Fe concentration		غلظت آهن در ریشه Root Fe concentration	
		کمبود Deficient	عدم کمبود non-deficient	کمبود Deficient	عدم کمبود non-deficient
mg.kg ⁻¹					
Naz	ناز	95.3 ^c	109.2 ^{ef}	5608 ^c	8459.5 ^a
Goli	گلی	138.6 ^{ab}	94.7 ^f	7411.1 ^a	5276.6 ^c
Akhtar	اختر	140.9 ^{ab}	132.7 ^{bcde}	6327.3 ^b	3408.6 ^d
Sayyad	صیاد	159.8 ^a	108.3 ^{ef}	6009.3 ^{bc}	5513.3 ^c
Derakhshan	درخشان	132.1 ^{ab}	126.7 ^{cde}	4593.6 ^{de}	5478.3 ^c
Daneshkadeh	دانشکده	96.3 ^c	139.6 ^{abcd}	6416.6 ^b	5491.5 ^c
Pak	پاک	130.3 ^b	159.9 ^{ab}	4223.5 ^e	5422.2 ^c
Shokofa	شکופا	146.9 ^{ab}	165.6 ^a	4823.3 ^d	6908.3 ^b
Dorsa	درسا	87 ^c	134.1 ^{bcde}	3075 ^g	3791.8 ^d
Khomein	محلای خمین	160.1 ^a	149 ^{abc}	4806.6 ^d	6440 ^b
Sadri	صدری	99.2 ^c	118.3 ^{def}	3643.3 ^f	2824.9 ^e
Talash	تلاش	136.7 ^{ab}	151.3 ^{abc}	7529.2 ^a	6876.6 ^b

میانگین‌های دارای حداقل در یک حرف مشترک در یک ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد هستند.
 Means at least one letter in common (in each column) are not significant difference at the level of 5%.

منابع

- Bartels, J. M., 1996. Zinc and copper. In: Sparks, D. L (Eds.) , Methods of soil analysis: Chemical methods. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp.1085-1122.
- Bremner, J. M., 1996. Nitrogen-total. In: Sparks, D. L (Eds.) Methods of soil analysis Chemical methods. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp.1085-1122.
- Cakmak, I., Ekiz, H., Yilamz, A., Torun, B., Kololi, N., Gultekin, I., Alkan, A., Eker, S., 1997. Differential response of rey, triticale, bread wheat and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant and Soil* 188, 1-10.
- Chaney, R.L., Brown, J.C., Tiffin, L.O., 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. *Plant Physiology*. 50, 213-298.
- Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Zheng, S., Lin, Q., 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia communis*. *Plant Science*. 166, 1371-1377.
- Cohen, C. K., Fox, T. C., Garvin, D. F., Kochian ,L.V., 1998. The Role of Iron-Deficiency Stress Responses in Stimulating Heavy-Metal Transport in Plants. *Plant Physiology*. 116, 1063–1072.
- Eshghizade, H.R., Khoshgofarmanesh A.H., Ashrafi A., Molem A.H., Poursorkhi N., Pourghasemian N., Gorgi M., Miladi, A., 2009. Iron efficiency of crops in solution culture. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. *Water and Soil Science*. 12, 655-664. [In Persian with English summary].
- Gee, G.W., Bauder, J.M., 1986. Partical-size analysis. In: Sparks, D. L (Eds.) ,Methods of soil analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 383-411.
- Graham, R. D., 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Advances in Plant Nutrition* 1, 57–102.
- Graham, R.D., Ascher, J.S., Hynes, S.C., 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil*. 146, 241-250.
- Graham, R.D., Welch, R.M., 1996. Breeding for stable food crop with high micronutrient density. Working Papers on Agriculture Strategies for Micronutrient. No 3. Internantional food Policy Reaserch Institute, Washengton.
- Khodshenas, N., Dadivar, M., 2005. The study on soil nutrient elements distribution under bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation in Markazi province. The 1st Iranian pulse crops symposium. [In Persian].
- Kochian, L.V., 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., Welch, R.M. (eds.), *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 229-296.
- Kochian, L.V., 1993. Zinc absorption from hydroponic solutions by plant roots. In: Robson, A.D. (ed.), *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp. 45.
- Koleli N., Eker S., Cakmak I., 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollutions*. 131, 453-459.
- Ksouri, R., Debez, A., Mahmoudi, H., Ouerghi, Z., Gharsalli, M., Lachaa, M., 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45, 315-322.
- Lamont, B.B., 2003. Structure, ecology and physiology of root cluster - A review. *Plant and Soil*. 248, 1-9.
- Lang, H.J., Reed, D.W., 1987. Comparison of HCl extraction versus total iron analysis for iron tissue analysis. *Journal of Plant Nutrition*. 10, 795-804.
- Leoppert Richard, H., Donald, L.S., 1996. Carbonate and Gypsum. p.504. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty.
- Leoppert, R.H., Inskeep, W.P., 1996. In: Sparks, D. L (Eds.), *Methods of soil analysis: Chemical methods*. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp.1085-1122.
- Mahmoudi, H., Ksouri R., Gharsalli M., Lachaal M., 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology*. 162 (11), 1237-1245.

- Mahmoodi, S., Savaghebi G.R., Motesharezadeh, B., 2012. Select of iron-efficiency bean cultivars for elimination in the aria for application in sustainable agriculture. 1st National Congress Desert. Karaj, Iran. [In Persian].
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed, Academic Press, New York, USA.
- Marschner, H., Ro Èmheld, V., Ossenberg-Neuhaus, H., 1982. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along roots of intact plants. Z. PFLANZEN Physiology, 105, 407-416.
- Michael, A. Grusak Pearson J.N., Marentes E., 1999. The physiology of micronutrient homeostasis in field crops. Field Crops Research. 60, 41-56.
- Nelson , E.W., Sommers, L.E., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks, D. L (Eds.), Methods of soil analysis: Chemical methods. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp.1085-1122.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. In: Sparks, D. L (Eds.) ,Methods of soil analysis: Chemical methods. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp. 1085-1122.
- Rhodes, J.D., 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids In: Sparks, D. L (Eds.) ,Methods of soil analysis: Chemical methods. American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, pp.1085-1122.
- Rodecap, K.D., Tingey, D.T., Lee, E.H., 1994. Iron nutrition influence on cadmium accumulation by *Arabidopsis thaliana* Heynh). Journal of Environmental Quality. 23, 239-246.
- Römheld, V., Marschner, H., 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species, Advances in Plant Nutrition. 2, 155–204.
- Sumner, M.E., Miller, W.P., 1996. Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: Sparks, D.L. (ed.), Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties, (3rd ed.), ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
- Scholz, G., Seifert, K., GruÈn, M., 1987. The effect of nicotianamine on the uptake of Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Rb and $(PO_4)^{3-}$ by the tomato mutant chloronerva. Biochemistry and Physiology Pflanzen. 182, 189-194.
- Tabatabaee, S.S., Razazi, A., Khoshgoftarmansh, A.A., Khodaeian, N., Mehrabi, Z., Fathian, Sh., Asgari, E., Ramezanzadeh, F., and Arabzadegan H., 2011. Response of different crops to iron deficiency in soilless culture. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 90 pp: 65-73. [In Persian with English Summary].
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In: Bigham, J.M., (ed.). Methods of Soil analysis. Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Tiffin, L.O., 1976. The form and distribution of metals in plants: an overview. In: Drucker, H., Wildung, R.E. (eds.), Biological Implications of Metals in the Environment. Energy Research and Development Administration Symposium, Richland, WA, Vol. 42. Nat. Tech. Info. Service, U.S. Dept. of Commerce, Springfield, VA. pp: 333-315.
- Welch, R.M., Allaway, W.H., House, W.A., Kubota, J., 1991. Geo- graphic distribution of trace element problems. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., Welch, R. M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture, 2nd ed, Soil Science Society American Inc. Madison, WI. pp 31–57.
- Welch, R.M., Norvell, W.A., Schaefer, S.C., Shaff , J.E., Kochian, L.V., 1993. Induction of iron (III) and copper (II) reduction in pea (*Pisum sativum* L.) roots by Fe and Cu status: does the root-cell plasmalemma Fe(III)-chelate reductase perform a general role in regulating cation uptake? Planta. 190, 555–561.
- Welch, R.M., 2002. Breeding strategies for biofortified staple food to reduce micronutrient malnutrition globally. Journal of Plant Nutrition. 132, 495-499.
- Wright, M.J., 1976. Plant adaption to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- White, M., Decker, A.M., Chaney, R.L., 1981. Metal complexa- tion in the xylem fluid. I. Chemical composition of tomato and soybean stem exudate. Plant Physiology. 67, 292-300.