نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، ص. ۳۸۲-۳۷۳

Agroecology
Vol. 5, No. 4, Winter 2014, p. 373-382

اثر سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن در گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)

قربانعلی اسدی[۱]، علی مومن[۲]، مینا نورزاده نامقی[۳] و سرور خرم‌دل[٤*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰٦
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰٤/۳۱

چکیده

افزایش کارایی مصرف نیتروژن یکی از راه‌کارهای مهم بهبود تولیدات کشاورزی و کاهش خطر بروز آلودگی‌های زیست محیطی در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار است. به منظور مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن در گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح کود نیتروژن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار)، سه سطح کود گاوی (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار)، سه سطح ورمی‌کمپوست (۲، ۴ و ۶ تن در هکتار) و شاهد بودند. عملکرد دانه، زیست‌توده و محتوای نیتروژن زیست‌توده اندازه‌گیری و سپس کارایی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس آنها محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر تمامی صفات مورد مطالعه اسفرزه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه و زیست توده اسفرزه برای تیمار شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست به ترتیب با ۵۴/۸ و ۹۸/۲ گرم در متر مربع مشاهده شد. با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست توده افزایش یافت. بالاترین کارایی مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده اسفرزه برای شاهد بدست آمد. بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن اسفرزه به ترتیب با ۸/۹ و ۷/۰ گرم نیتروژن جذب شده به ازای گرم نیتروژن موجود در خاک برای تیمار پنج تن در هکتار کود دامی و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن حاصل شد. سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کود شیمیایی برتری داشتند. به‌طوری‌که مصرف کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد، کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن شد، لذا می‌توان مصرف نهاده‌های آلی را به‌عنوان راهکاری پایدار برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان دارویی نظیر اسفرزه در بوم‌نظام‌های زراعی مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود کارایی مصرف نیتروژن، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی را نیز تحت تأثیر آزادسازی تدریجی عناصر غذایی به دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، کشاورزی پایدار، گیاه دارویی، نسبت جذب نیتروژن

مقدمه

نیتروژن کلیدی‌ترین عنصری است که باعث باروری خاک و تولید محصولات کشاورزی می‌شود و در مقایسه با سایر عناصر ضروری مقدار بیشتری از آن مورد نیاز گیاه می‌باشد (Berenguer et al., 2009). حساسیت رشد گیاهان نسبت به مصرف کود نیتروژن حائز اهمیت است، به طوری که کاهش محتوی نیتروژن خاک، تولید اندام‌های رویشی و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد و در نهایت باعث کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود (Dordas & Sioulas, 2008).

توانایی گیاه برای جذب نیتروژن از خاک به نوع خاک، محیط و گونه گیاهی بستگی دارد، به‌طوری‌که نتایج برخی برآوردها نشان داده است که ۷۰-۵۰ درصد نیتروژن مصرفی در خاک از دسترس خارج شده و جذب گیاه نمی‌شود (Singh, 2005). نتایج برخی بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که استفاده طولانی‌مدت از کودهای شیمیایی مقدار این کودها را در خاک افزایش می‌دهد و باعث تخریب ساختار خاک و کاهش پتانسیل تولیدی آن در درازمدت می‌شود (Yang et al., 2006). استفاده ناکارآمد از کودهای شیمیایی به‌ویژه در نظام‌های فشرده، بهره‌وری و کارایی مصرف کودها را به میزان زیادی کاهش

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی گروه زراعت و اصلاح نباتات و دانشجوی کارشناسی ارشد میوه‌کاری گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir)

داده است. بعنوان مثال، کارایی مصرف نیتروژن برای تولید غلات در جهان ۳۳ درصد برآورد شده است (Raun & Johnson, 1999).

با توجه به محدودیت‌های زیست محیطی- اقتصادی، هزینه بالای کودهای نیتروژن، آبشویی نیتروژن و اثرات منفی آن روی محیط زیست، کشاورزی اکولوژیک به دنبال جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی است که علاوه بر کاهش مشکلات زیست محیطی، کارایی را نیز بهبود بخشد (Gastal & Lemaire, 2002). به همین منظور، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در جهت تولید محصولات کشاورزی برای کاهش استفاده بی‌رویه کودها، کاهش هزینه‌ها و حفظ محیط زیست بسیار حائز اهمیت است (Fageria et al., 2008). بالا بردن کارایی نیتروژن به دلیل افزایش سود، بهبود رشد و عملکرد محصول، کاهش هزینه‌ها و همچنین کاهش انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به محیط از دیگر اهداف مهم مصرف استفاده از نهاده‌های آلی می‌باشد (Mahmuti et al., 2009). نتایج برخی مطالعات (Huang et al., 2011) نیز نشان داده است که کاربرد بیش از حد کود نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی، علاوه بر کاهش کارایی مصرف این عنصر، افزایش آبشویی نیترات (NO_3^-) و آلودگی آب‌های زیرزمینی را به دنبال دارد. بدین ترتیب از دیگر راهکارها می‌توان به استفاده از کودهای آلی و زیستی اشاره کرد. کودهای آلی منابع طبیعی بسیار مناسبی برای حفاظت و تقویت باروری خاک می‌باشند که ماده آلی خاک و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را تأمین می‌کنند (Walters et al., 1992). استفاده از این منابع کودی همچنین، از طریق بهبود شرایط فیزیکی خاک و به تبع آن ایجاد محیط مناسبی برای توسعه سیستم ریشه‌ای، رشد و تولید گیاه را بهبود می‌بخشند (Darwish et al., 1995).

توسعه نظام‌های زراعی و بهبود روش‌های مدیریتی، توانایی گیاهان را برای جذب نیتروژن از خاک بهبود می‌بخشد و میزان تلفات این عنصر را به حداقل می‌رساند. به‌طور کلی، کارایی زراعی یا بهره‌وری نیتروژن (NUE[1]) به‌عنوان عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن قابل دسترس تعریف می‌شود. کارایی زراعی حاصلضرب دو فاکتور فیزیولوژیکی شامل کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن ($NupE$[2]) و کارایی مصرف یا کارایی فیزیولوژیک نیتروژن ($NutE$[3]) می‌باشد. کارایی جذب، میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه به ازای واحد نیتروژن قابل دسترس و کارایی مصرف میزان عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه می‌باشد (Moll et al., 1982).

1- Nitrogen use efficiency
2- Nitrogen uptake efficiency
3- Nitrogen utilization efficiency

اسفرزه با نام علمی *Plantago ovata* Forsk. متعلق به تیره Plantaginaceae از جمله گیاهان دارویی ارزشمندی است که در کشورهای آسیایی و اروپایی به صورت گسترده مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Zargari, 1996). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که رشد و عملکرد این گونه با ارزش نیز مشابه سایر گیاهان، تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که حداکثر رشد و عملکرد دانه این گیاه در سطح ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد، اما تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن کاهش رشد اسفرزه را موجب گردید (Ashraf et al., 2006). نتایج مهشواری و همکاران (Maheshwari et al., 2000) نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه، تعداد سنبله و طول سنبله اسفرزه برای تیمار ۲۵ کیلوگرم نیتروژن بدست آمد. همچنین، عملکرد دانه اسفرزه در تیمار ۲۵ کیلوگرم نسبت به شاهد ۳۰ درصد افزایش داشت. پوریوسف و همکاران (Pouryousef et al., 2007) با بررسی تأثیر نظام‌های مختلف کودی روی خصوصیات کمّی و کیفی اسفرزه گزارش نمودند که عملکرد دانه، عملکرد و محتوی موسیلاژ و فاکتور تورم دانه اسفرزه تحت تأثیر مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

بر این اساس، با توجه به نقش مثبت نیتروژن به‌عنوان عنصری ضروری و مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان و اهمیت شناخت تأثیر سطوح و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن و بهبود دهنده کارایی مصرف این عنصر، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات شاخص‌های کارایی نیتروژن شامل جذب، مصرف و بهره‌وری در سطوح مختلف کودهای شیمیایی و آلی و همچنین مقایسه کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کاربرد این کودها با در نظر گرفتن سطح نیتروژن یکسان در گیاه دارویی اسفرزه طراحی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نهاده‌های مختلف آلی و شیمیایی بر عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و انواع شاخص‌های کارایی نیتروژن روی گیاه دارویی اسفرزه، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح کود نیتروژن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره، سه سطح کود دامی (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کود گاوی)، سه سطح ورمی‌کمپوست

(۲، ۴ و ۶ تن در هکتار) و شاهد بودند. لازم به ذکر است کـه مقـادیر کود آلی به صورت معادل با محتوی نیتروژن در کود اوره تعیین شدند (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج خصوصیات خاک، کود دامی و ورمی‌کمپوست

Table 1- The results of soil, manure and vermicompost analysis

نمونه Sample	بافت Texture	نیتروژن (%) Nitrogen (%)	فسفر (%) Phosphorus (%)	پتاسیم (%) Potassium (%)	ماده آلی (%) Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)
خاک Soil	لومی- سیلتی Silty-loam	0.084	0.002	0.03	0.43	7.8	2.87
کود گاوی Cow manure	-	0.99	0.9	1.3	18	-	-
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	1.3-1.6	-	0.9-1.5	35-40	7.8-8.2	2-2.3

از آنجا که در حدود ۵۰ درصد نیتروژن در کـود دامـی طـی سـال اول پس از اضـافه کـردن ایـن نهـاده آلـی بـه خـاک آزاد مـی‌شـود (Rezvani Moghaddam et al., 2014)، لـذا میـزان کـود دامـی بصورت دو برابر میزان کود اوره بر حسـب محتـوی نیتـروژن در نظـر گرفتـه شـد. قبـل از انجـام آزمـایش، نمونـه‌بـرداری جهـت تعیـین خصوصیات خاک و کودهای آلی مورد استفاده انجام شد که نتـایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین در نیمه دوم اسفند ماه کـه شامل دیسک و تسطیح بود، کودهای آلی بـه خـاک اضـافه و سـپس بطور کامل با لایه سطحی مخلوط شدند. کود نیتـروژن در دو مرحلـه همزمان با کاشت و به شیوه سرک در مرحله سه برگی همـراه بـا آب آبیاری به خاک اضافه شد. عملیـات کاشـت بـه صـورت دسـتی و بـا مخلوط کردن بذر همراه با ماسه بادی روی پشته‌هـایی بـا فاصـله ۵۰ سانتی‌متر و روی پنج ردیف به طول سه متر انجام گرفت. بـه منظـور تسهیل در سبز شدن گیاهان، اولین آبیاری بلافاصله بعـد از کاشـت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار تـا پایـان فصـل رشـد انجام شد. بعد از سبز شدن کامل بوته‌ها، عملیات تنک در مرحله ۶-۴ برگی برای دستیابی به تراکم ۲۰ بوته در متر مربع انجام شد. به‌منظور جلوگیری از تأثیر علف‌های هرز بـر اقتصـاد نیتـروژن، کنتـرل آنهـا از طریق وجین دستی طی دو نوبت در طول فصل رشد انجام گرفت.

با شروع مشاهده علائم ظـاهری گیـاه همچـون زردی و خشـک شدن برگ‌ها، قهوه‌ای شدن سنبله‌هـا و صـورتی رنـگ شـدن بـذرها عملیات برداشت بوته‌ها صورت گرفت. برای اندازه‌گیـری عملکـرد بـا حذف اثرات حاشیه‌ای (حذف دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متری ابتـدا و انتهای هر ردیف)، بوته‌ها از سطح ۴/۵ مترمربـع جمـع‌آوری شـدند. اندام‌های هوایی جمع‌آوری و جهت تعیین درصد نیتروژن به آزمایشگاه منتقل شدند. بمنظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و پس از هضـم بـا اسید سولفوریک و کاتالیزور، مقدار نیتروژن موجود در عصـاره حاصـل توسط روش کجلدال (Ogg, 1960) اندازه‌گیری شد.

محاسبه شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن بـر اسـاس مطالعـه بینگام و همکاران(Bingham et al., 2012) طبق معـادلات شـماره (۱) تا (۵) به صورت زیر انجام گرفت:

$$NupE = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

$$NutE_b = B / N_{off} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$NutEg = G_w / N_{off} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$NUE_b = B / N_s \quad \text{معادله (۴)}$$

$$NUE_g = G_w / N_s \quad \text{معادله (۵)}$$

در این معادله، NupE: کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن، N_{off}: نیتروژن موجود در زیست‌توده (گرم در متر مربع)، N_s: نیتروژن موجود در خاک که شامل نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن مصرفی (گرم در متر مربع) می‌باشد، $NutE_b$: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست‌توده، B: عملکرد زیست‌توده (گرم بر متر مربع)، NutEg: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه، G_w: عملکرد دانه (گرم بر متر مربع)، NUE_b: کارایی استفاده (بهره-وری) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست توده و NUE_g: کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه می‌باشد.

لازم به ذکر است که به منظور تعیین این شاخص‌ها از داده‌های عملکرد دانه اسفرزه در مقاله اسدی و همکاران (Asadi et al.,

2013) استفاده شد. در نهایت، تجزیه آماری داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار SAS 9.1 (Sabouri Rad et al., 2012) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد دانه اسفرزه معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲)؛ بطوری‌که تمامی تیمارهای کودی باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب با ۵۴/۸ و ۴۷/۶ گرم در متر مربع برای تیمار شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). جزئیات دقیق‌تر تأثیر کودها و سطوح مختلف شیمیایی آلی بر خصوصیات کمّی اسفرزه در مقاله اسدی و همکاران (Asadi et al., 2013) به تفصیل ارائه شده است.

عملکرد زیست توده: تأثیر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد زیست توده اسفرزه معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ تمامی تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد باعث افزایش عملکرد زیست توده اسفرزه شدند، به‌طوری‌که تیمارهای متناظر کود آلی در مقایسه با کود شیمیایی باعث افزایش بیشتر عملکرد زیست توده شدند. بیشترین و کمترین عملکرد زیست توده به ترتیب برای تیمار ۶ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شاهد با ۹۸/۲ و ۸۲/۶ گرم در متر مربع بدست آمد (جدول ۳). صالحی و همکاران (Salehi et al., 2011) گزارش کردند که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فراهم کردن جذب عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک، باعث افزایش زیست توده بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) می‌شود. مصرف ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیوماس علف لیمو[1] (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. *motia* Burk.) را ۱۰/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که دلیل این امر به توانایی کود دامی در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک نسبت داده شد (Rao, 2001).

درصد نیتروژن زیست توده: تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر درصد نیتروژن زیست توده اسفرزه معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که تمامی تیمارها به غیر از مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. همچنین در کودهای آلی و شیمیایی، با افزایش سطوح کودی درصد نیتروژن زیست توده نیز افزایش یافت (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود روند افزایش درصد نیتروژن در زیست توده هماهنگ با عملکرد دانه و عملکرد زیست توده است، به‌طوری‌که با افزایش درصد نیتروژن عملکرد زیست توده نیز افزایش یافت. نتایج برخی مطالعات (Bandyopadhyay & Sarkar, 2005; Serret et al., 2008; Baitilwake et al., 2011) نیز مشابه با نتایج این آزمایش می‌باشد. در مطالعه‌ای روی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) مشاهده شد که با افزایش سطح کود مصرفی تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، محتوی نیتروژن بافت‌های گیاهی افزایش پیدا کرد (Singh, 2012). با این‌وجود، رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2014) با بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی درصد نیتروژن اندام‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که درصد نیتروژن اندام‌های مختلف سیاهدانه کمتر تحت تأثیر منبع کودی و میزان نیتروژن خاک قرار می‌گیرد. آنها این موضوع را به متحرک بودن نیتروژن و فرآیندهای تأثیرگذار بر تخصیص این عنصر متحرک در داخل گیاه نسبت دادند.

محتوای نیتروژن زیست توده: تیمارهای مختلف کودی تأثیر معنی‌داری (p≤۰/۰۱) بر میزان نیتروژن زیست توده اسفرزه داشت (جدول ۲). با این وجود، تمامی تیمارها به غیر از تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند؛ به‌طوری‌که در نتیجه کاربرد ۶ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، ۱۵ تن در هکتار کود دامی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، محتوای نیتروژن زیست توده نسبت به شاهد به ترتیب ۴۰، ۳۵ و ۲۴ درصد افزایش یافت. با مقایسه تیمارهای مختلف مشخص گردید که ورمی‌کمپوست و کود دامی بیشترین تأثیر را در افزایش محتوی نیتروژن زیست توده نشان دادند و در مقایسه با کود شیمیایی از این جهت برتری داشتند (جدول ۳). به نظر می‌رسد که آبشویی بیشتر نیتروژن در تیمارهای مصرف نیتروژن به صورت شیمیایی به‌دلیل بالا بودن تحرک نیتروژن و در نتیجه کاهش فراهمی این عنصر در خاک، در نهایت کاهش رشد و زیست توده گیاه را به دنبال داشته است. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد همین امر علت کاهش محتوای نیتروژن زیست توده اسفرزه در تیمارهای مصرف شیمیایی نیتروژن در مقایسه با تیمارهای آلی باشد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2014) نیز به نتایج مشابهی روی گیاه دارویی سیاهدانه دست یافتند.

کارایی جذب نیتروژن (بازیافت): اثر تیمارهای مختلف کودی بر کارایی جذب نیتروژن اسفرزه معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن اسفرزه به ترتیب برای تیمار ۵ تن در هکتار کود دامی و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به ترتیب با ۸/۹۴ و ۷/۰۱ گرم نیتروژن جذب شده به گرم

1- Palmarosa

نیتروژن موجود در خاک) بدست آمد. همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد، با افزایش مصرف کود از میزان کارایی جذب نیتروژن کاسته شد که به نظر می‌رسد دلیل این امر به افزایش تلفات نیتروژن و به تبع آن کاهش فراهمی و از دسترس خارج شدن این عنصر تحت تأثیر دلایل مختلف از جمله آبشویی مربوط باشد. در این ارتباط سینگ (Singh, 2012) گزارش کرد که کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطح کودی کاهش پیدا کرد و این کاهش در شرایط بدون مالچ در مقایسه با کاربرد مالچ شدیدتر بود. وی دلیل این موضوع را به آبشویی بیشتر کود در شرایط عدم استفاده از مالچ مربوط دانست. در آزمایشی روی پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) گزارش شد که افزایش کود نیتروژن مصرفی از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کارایی جذب نیتروژن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد Zhang et al., (2012).

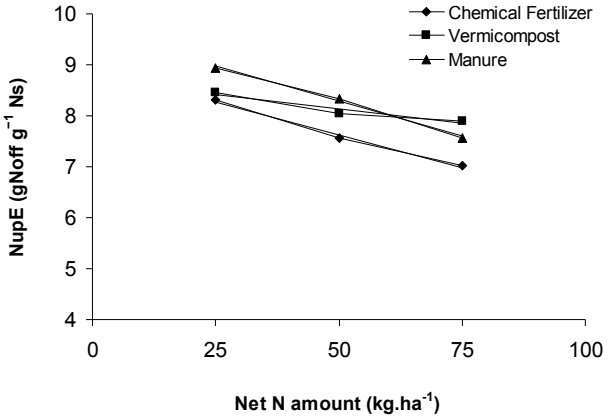
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد نیتروژن، محتوای نیتروژن زیست توده، عملکرد و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و زیست توده اسفرزه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for percentage of nitrogen, nitrogen content of biomass, yield and nitrogen use efficiency indices based on seed and biological yields of isabgol under different fertilizer treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	درصد نیتروژن زیست توده Percent nitrogen of biomass	محتوای نیتروژن زیست توده Nitrogen content of biomass	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی مصرف نیتروژن NUtE		بهره‌وری نیتروژن NUE	
							عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield
بلوک Block	2	0.42^{ns}	0.72^{ns}	0.009^{ns}	0.008^{ns}	0.49^{ns}	14.89^{ns}	52.15^{ns}	0.001^{ns}	0.003^{ns}
تیمار Treatment	9	21.57**	82.21**	0.04**	0.08**	0.95*	75.83**	201.47**	0.94**	2.66**
خطا Error	18	0.26	10.06	0.01	0.009	0.4	11.58	33.64	0.001	0.005

ns، * و **: به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی جذب نیتروژن اسفرزه

Fig. 1- Effect of different levels of organic and chemical fertilizers on isabgol NupE

با وجود عدم اختلاف معنی‌دار، کارایی جذب نیتروژن اسفرزه برای سطوح متناظر تیمارهای کود آلی در مقایسه با کود شیمیایی بالاتر بود که دلیل این امر را می‌توان به فراهمی مناسب‌تر نیتروژن طی فرآیند معدنی شدن تدریجی کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی نسبت داد. نتایج آزمایشی روی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) نشان داد که کارایی جذب نیتروژن با مقدار مصرف کود نیتروژن رابطه عکس داشت، به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود بر اساس قانون بازده نزولی، کارایی بازیافت نیتروژن کاهش یافت

(Ameri et al., 2007).

کارایی مصرف نیتروژن (فیزیولوژیک): تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر شاخص کارایی مصرف نیتروژن اسفرزه بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار این شاخص بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده به ترتیب برابر با ۵۷/۳۵ و ۹۹/۵۹ گرم عملکرد به ازای گرم نیتروژن جذب شده در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) به‌دست آمد که در مقایسه با تمامی تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). در مقایسه کودهای آلی و شیمیایی بیشترین مقدار این شاخص بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده به ترتیب با ۴۹/۷۶ و ۸۶/۶۳ گرم عملکرد به ازای گرم نیتروژن جذب شده برای تیمار ۲۵ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب شده زیست توده با کارایی مصرف نیتروژن، چنین به نظر می‌رسد که دلیل افزایش کارایی مصرف نیتروژن در تیمارهای کود شیمیایی در مقایسه با کودهای آلی به کاهش میزان نیتروژن در دسترس گیاه بدلیل بالا بودن میزان آبشویی و در نتیجه کاهش جذب نیتروژن در این تیمارها مربوط باشد.

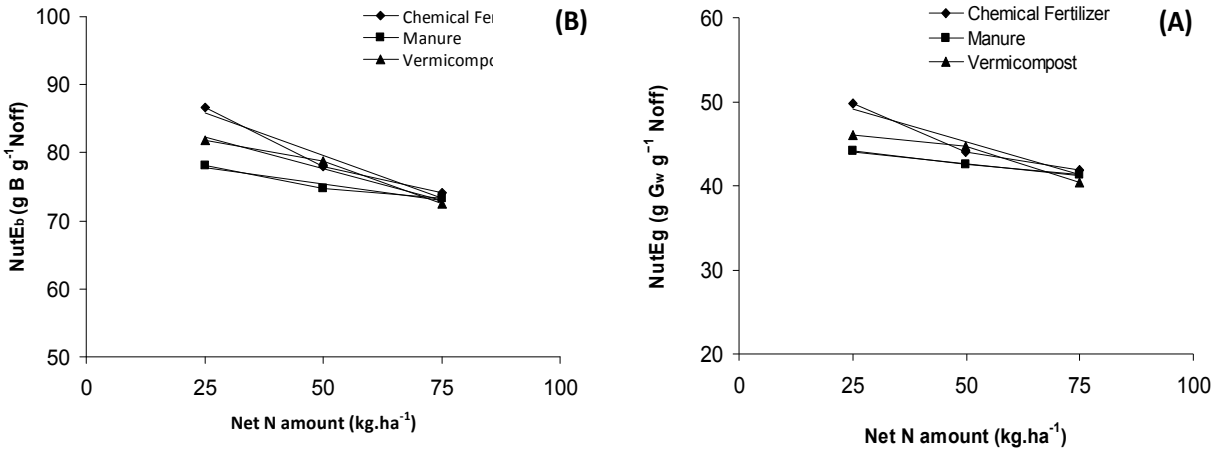
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده اسفرزه

Table 3- Mean comparisons for the effect of different levels of chemical and organic fertilizers on yield and nitrogen efficiency indices based on seed and biological yields of isabgol

تیمار Treatment	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد زیست توده (گرم بر متر مربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	درصد نیتروژن زیست توده Percent nitrogen of biomass (٪)	محتوای نیتروژن زیست توده (گرم بر متر مربع) Nitrogen content of biomass ($g.m^{-2}$)	کارایی جذب نیتروژن NUPE ($gNper\ g^{-1}$ Ns)	کارایی مصرف نیتروژن NUtE		بهره‌وری نیتروژن NUE	
						عملکرد دانه Seed yield ($g\ G_w$ per g^{-1} N)	عملکرد زیست توده Biological yield ($g\ B\ g^{-1}$Noff)	عملکرد دانه Seed yield ($g\ G_w$ per g^{-1} Ns)	عملکرد زیست توده Biological yield ($g\ B\ g^{-1}$ Ns)
۲۵ گیلوگرم نیتروژن در هکتار 25 $kg.ha^{-1}$ N	48.53fe*	84.52f	1.16bc	0.97de	8.3ab	49.76b	86.63b	3.93b	6.85b
۵۰ گیلوگرم نیتروژن در هکتار 50 $kg.ha^{-1}$ N	49.16e	87.03e	1.29ab	1.12bdc	7.56bc	44.04bc	77.93bc	3.31e	5.87e
۷۵ گیلوگرم نیتروژن در هکتار 75 $kg.ha^{-1}$ N	50.59d	89.53d	1.36a	1.21abc	7.01c	41.89c	74.09c	2.92g	5.16h
۵ تن کود دامی 5 $t.ha^{-1}$ Manure	48.63fe	86.03fe	1.28ab	1.1dc	8.94a	44.19bc	78.17bc	3.94b	6.98b
۱۰ تن کود دامی 10 $t.ha^{-1}$ Manure	52.21c	91.8c	1.35ab	1.23abc	8.34ab	42.49c	74.74c	3.52d	6.19d
۱۵ تن کود دامی 15 $t.ha^{-1}$ Manure	53.92b	95.56b	1.37a	1.31ab	7.57bc	41.35c	73.27c	3.11f	5.51g
۲ تن ورمی‌کمپوست 2 $t.ha^{-1}$ vermicopost	48.06fg	85.32fe	1.22ab	1.04dc	8.46ab	46.09bc	81.81bc	3.89b	6.92b
۴ تن ورمی‌کمپوست 4 $t.ha^{-1}$ vermicopost	53.31b	93.94b	1.27ab	1.19abc	8.05abc	44.71bc	78.77bc	3.59c	6.33c
۶ تن ورمی‌کمپوست 6 $t.ha^{-1}$ vermicopost	54.84a	98.25a	1.39a	1.36a	7.9abc	40.45c	72.45c	3.16f	5.67f
شاهد Control	47.58g	82.57g	1.01c	0.83e	8.47ab	57.35a	99.59a	4.84a	8.4a

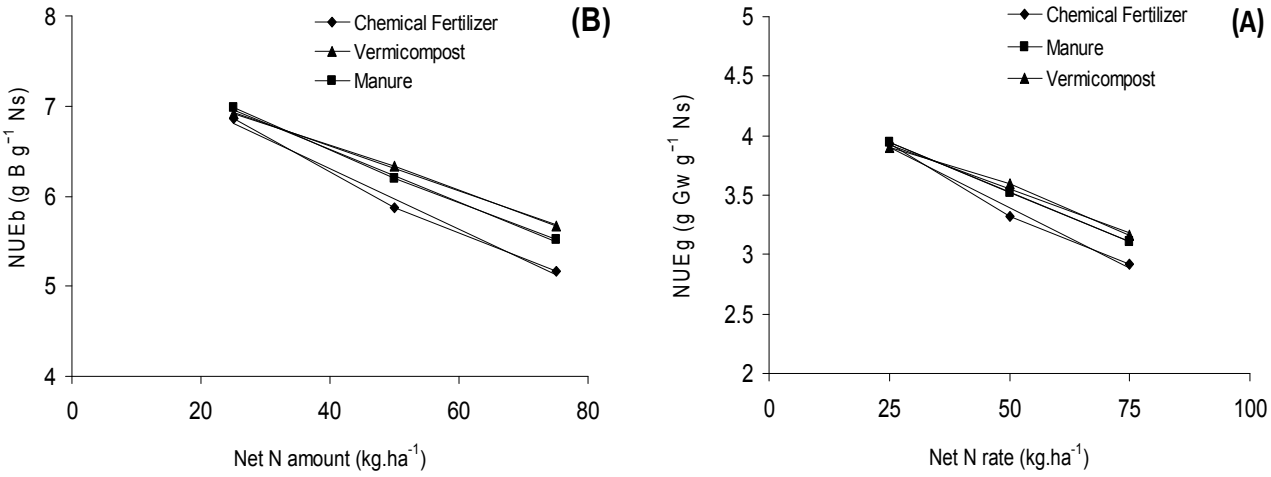
* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, means with a common letter at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test are not significantly different statistically.



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی مصرف نیتروژن بر اساس (الف) عملکرد دانه و (ب) زیست توده اسفرزه

Fig. 2- Effect of different levels of organic and chemical fertilizers on NutE based on (a) seed yield and (b) biological yield of isabgol



شکل ۳- اثر سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر بهره‌وری نیتروژن بر اساس (الف) عملکرد دانه و (ب) زیست توده اسفرزه

Fig. 2- Effect of different levels of organic and chemical fertilizers on NUE_g based on (a) seed yield and (b) biological yield of isabgol

در همین راستا، تیمسینا و همکاران (Timsina et al., 2001) پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن برنج (*Oryza sativa* L.) در مقایسه با گندم (*Triticom aestivom* L.) را به دنیتریفیکاسیون و آبشویی بیشتر نیتروژن در مزارع برنج نسبت دادند. همچنین با توجه به شکل ۲- الف و ب مشخص است که با افزایش میزان کود مصرفی (اعم از کودهای آلی و شیمیایی)، میزان کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. باندیوپادهیای و سارکار (Bandyopadhyay & Sarkar, 2005) در مطالعه خود روی برنج، بهبود جذب نیتروژن در سطوح پایین‌تر کودی را دلیل این موضوع بیان نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست توده اسفرزه افزایش یافت. اگرچه بر اساس قانون بازده نزولی بالاترین کارایی مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده برای شاهد بدست آمد و با افزایش مقدار کود کارایی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن کاهش یافت، ولی بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن اسفرزه به ترتیب با ۸/۹ و ۷/۰ گرم نیتروژن جذب شده به ازای گرم نیتروژن موجود در خاک برای تیمار ۵ تن در هکتار کود دامی و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بدست آمد. همچنین از آنجا که کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کود شیمیایی برتری داشتند و مصرف

کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد، کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن شد، لذا می‌توان مصرف نهاده‌های آلی را بعنوان راهکاری پایدار برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان دارویی در بوم‌نظام‌های مختلف زراعی مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود کارایی نیتروژن، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی را تحت تأثیر آزادسازی تدریجی عناصر غذایی به دنبال دارد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از طرح شماره ۲۲۵۰۵/۲ مورخ ۱۳۹۱/۰۵/۰۱ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Ameri, A., Nassiri, M., and Rezvani Moghadam, P. 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5(2): 315-325. (In Persian with English Summary)
2. Asadi, G.A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, and Khorramdel, S. 2013. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata*) affected by different fertilizers. Journal of Horticultural Science in Press. (In Persian with English Summary)
3. Ashraf, M., Ali, Q., and Rha, E.S. 2006. Effect of varying nitrogen regimes on growth, seed yield, and nutrient accumulation in Isabgol. Journal of Plant Nutrition 29: 535-542.
4. Baitilwake, M.A., de Bolle, S.D., Salomez, J., Mrema, J.P., and de Neve, S.D. 2011. Effects of manure nitrogen on vegetables' yield and nitrogen efficiency in Tanzania. International Journal of Plant Production 5: 417-430.
5. Bandyopadhyay, K.K., and Sarkar, M.C. 2005. Nitrogen use efficiency, 15N balance, and nitrogen losses in flooded rice in an inceptisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1661-1679.
6. Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., and Lloveras, J. 2009. Nitrogen fertilization of irrigated maize under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 30: 163-171.
7. Bingham, I.J., Karley, A.J., White, P.J., Thomas, W.T.B., and Russell, J.R. 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. European Journal of Agronomy 42: 49-58.
8. Darwish, O.H., Persaud, N., and Martens, D.C. 1995. Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soils. Plant and Soil 176: 289-295.
9. Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial Crops and Products 27: 75-85.
10. Fageria C., and Li, Y.C. 2008, N.K., Baligar, V. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. Journal of Plant Nutrition 31: 1121-1157.
11. Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany 53: 789-799.
12. Huang, M., Liang, T., Ou-Yang, Z., Wang, L., Zhang, C., and Zhou, C. 2011. Leaching losses of nitrate nitrogen and dissolved organic nitrogen from a yearly two crops system, wheat-maize, under monsoon situations. Nutrient Cycling in Agroecosystems 91: 77-89.
13. Jones, D., and Haggar, R.J. 1997. Impact of nitrogen and organic manures on yield, botanical composition and herbage quality of two contrasting grassland field margins. Biological Agriculture and Horticulture 14: 107-123.
14. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nasiri Mahallati, M. 2007. The effects of irrigation intervals and manure on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* Forsk. and *Plantago psyllium*. Asian Journal of Plant Sciences 6: 1229-1234.
15. Maheshwari, S.K., Sharma, R.K., and Gangrade, S.K. 2000. Performance of isabgol or blond psyllium (*Plantago ovata*) under different levels of nitrogen, phosphorus and biofertilizers in shallow black soil. Indian Journal of Agronomy 45: 443-446.
16. Mahmuti, M., West, J.S., Watts, J., Gladders, P., and Fitt, B.D.L. 2009. Controlling crop disease contributes to both food security and climate change mitigation. International Journal Agricultural sustainability 7: 189–202.
17. Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562–564.
18. Ogg, C.L. 1960. Determination of nitrogen by the micro-Kjeldahl method. Journal of the Association of official Analytical Chemists 43: 689-693.
19. Pouryousef M., Chaichi M.R., and Mazaheri, D. 2007. Effect of different soil fertilizing systems on seed and mucilage yield and seed P content of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Plant Sciences 6: 1088-1092.
20. Rao, B.R.R. 2001. Biomass and essential oil yields of rainfed palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. motia Burk.) Supplied with different levels of organic manure and fertilizer nitrogen in semi-arid tropical climate. Industrial Crops and Products 14: 171-178.
21. Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal

91: 357-363.
22. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M., and Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 3(30): (In Persian with English Summary)
23. Sabouri Rad, S., Kafi, M., Nezami, A., and Banayan Aval, M. 2012. Evaluation of germination behavior of kochia seed (*Kochia scoparia* L. Schard.) under different temperatures and salinity stress levels. Agroecology 4(4): 282-293.
24. Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Asgharzade, A. 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(2): 188-201. (In Persian with English Summary)
25. Serret, M.D., Ortiz-Monasterio, I., Pardo, A., and Araus, J.L. 2008. The effects of urea fertilization and genotype on yield, nitrogen use efficiency, $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$ in wheat. Annals of Applied Biology 153: 243-257.
26. Singh, M. 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 59: 273-279.
27. Singh, U. 2005. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. In: Basra, A., Goyal S., and Tishner, R. (Eds.), Enhancing the Efficiency of Nitrogen Utilization in Plants, Journal of Crop Improvement. Food Product Press. The Haworth Press Inc. 213–257.
28. Timsina, J., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., and Amin, M.R. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. Field Crops Research 72: 143-161.
29. Walters, D.T., Aulakh, M.S., and Doran, J.W. 1992. Effects of soil aeration, legume residue, and soil texture on transformations of macro- and micronutrients in soils. Soil Science 153: 100-107.
30. Yang, S.M., Malhi, S.S., Song, J.R., Xiong, Y.C., Yue, W.Y., Lu, L.L., Wang, J.G., and Guo, T.W. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems 76: 81-94.
31. Zargari, A. 1994. Medicinal Plants No.4. 6th Editions, Tehran University Press, Iran p. 194-205. (In Persian)
32. Zhang, D., Li, W., Xin, C., Tang, W., Eneji, A.E., and Dong, H. 2012. Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. Field Crops Research 138: 63-70.