نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 3، پاییز 1396، ص. 637-618

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 3, Fall 2017, p. 618-637

راهبردهای گذار از کشاورزی رایج به پایدار در ایران:
I- بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها

علیرضا کوچکی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[1]، روح اله مرادی[2] و حامد منصوری[3]

تاریخ دریافت: 1392/07/20
تاریخ پذیرش: 1392/09/21

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، مرادی، ر.، و منصوری، ح. 1396. راهبردهای گذار از کشاورزی رایج به پایدار در ایران: I- بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها. بوم‌شناسی کشاورزی، 9(3): 618-637.

چکیده

بهبود کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی اولین مرحله برای گذار از کشاورزی رایج به کشاورزی پایدار می باشد. در این راستا مطالعه حاضر جهت بررسی وضعیت موجود کارایی استفاده از نهاده‌های مختلف وارائه راهکارهاییبه‌منظور افزایش کارایی استفاده از نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی کشور صورت گرفت. بدین منظور، مطالعات انجام گرفته شامل 177 پژوهش در زمینه میزان و کارایی استفاده از نهاده‌های مختلف از منابع اطلاعاتی متنوع موجود استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که به‌طور کلی با افزایش میزان مصرف نهاده‌های مختلف در گروه‌های مختلف گیاهان زراعی، کارایی زراعی استفاده از نهاده‌ها کاهش یافت. شیب کاهش کارایی مصرف نیتروژن به‌ازای افزایش یک کیلوگرم از این نهاده برای گیاهان زراعی مختلف از 1/2 در گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تا 0/12 در گروه حبوبات متفاوت بود. این روند برای کارایی مصرف آب از 10/62 برای سیب‌زمینی تا 0/27 در چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) حاصل شد. در منابع مختلف راهکارهای متفاوتی برای افزایش مصرف نهاده‌ها ارائه شده است. در زمینه بهبود کارایی مصرف نیتروژن، راهکارهایی همچون مدیریت نوع منبع کودی مورد استفاده، تقسیط کاربرد نیتروژن و همچنین محلول‌پاشی گزارش شده است. برای بهبود کارایی مصرف آب نیز به تغییر روش‌های آبیاری رایج به سمت آبیاری تحت فشار، استفاده از خاکپوش‌ها و شخم کاهش‌یافته اشاره شده است. تغییر در تراکم و آرایش کاشت به منظور دریافت حداکثر تشعشع نیز به عنوان روش‌های بهبود کارایی جذب نور بیان گردید. برای بهبود کارایی مصرف سایر نهاده‌های شیمیایی و به‌ویژه علف‌کش‌ها استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، تقسیط زمان مصرف و ترکیب آن‌ها با افزودنی‌هایی همچون مویان‌ها و روغن‌ها پیشنهاد شده‌است. با توجه به نتایج این بررسی، بین کارایی مصرف آب و نیتروژن رابطه مثبت ولی ضعیف با ضریب تبیین 0/049 مشاهده شد، در صورتی که بین کارایی سایر نهاده‌ها رابطه مشخصی مشاهده نشد. به‌طور کلی علی‌رغم این‌که مطالعات و پژوهش‌هایی در این زمینه در سطح کشور انجام گرفته است و راهکارهایی جهت بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها ارائه شده است ولی اتخاذهای لازم در جهت انتقال این راهکارها به کشاورزان در سطح کشور مورد نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کاشت، بهره‌وری، بوم سازگار، تقسیط، خاکپوش، مویان

مقدمه

گرچه نظام‌های زراعی رایج در طی نیم‌قرن گذشته با اتکا به نهاده‌های شیمیایی، به‌نژادی گیاهی و بهره‌گیری از فن‌آوری‌های مکانیزاسیون در تولید مواد غذایی در جهان نقش به‌سزایی ایفا کرده اند، ولی تبعات ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از منابع پایه کشاورزی و

1، 2 و 3- به ترتیب استاد، دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی (استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان) و دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی (استادیار، مؤسسه تحقیقات چغندرقند، همدان)، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir

DOI:10.22067/jag.v9i3.27137

آسیب‌های زیست‌محیطی حاصله موجب نگرانی بشر شده است (Kamkar & Mahdavi Damghani, 2008). در حال حاضر بیش از 6/5 میلیارد تن فرآورده کشاورزی در سطح جهان تولید می‌شود. علی‌رغم این حجم زیاد تولید هنوز نزدیک به یک میلیارد نفر در معرض گرسنگی قرار دارند و این درحالی است که حدود همین تعداد در معرض بیش غذایی بوده و با بیماری‌هایی چون چاقی، دیابت و سکته مواجه هستند (FAO, 2009). بدین ترتیب به‌نظر می رسد تولید مواد غذایی به شکل فعلی نتوانسته است مشکل غذا در سطح جهان را حل نماید و بازنگری در بینش‌های رایج از یک طرف و نگاه همه‌جانبه به نظام‌های تولید از طرف دیگر ضرورتی انکار ناپذیر خواهد بود (Gliessman & Rosemeyer, 2010).

طی سال‌های اخیر، در برنامه‌های دو موسوم توسعه کشور، ضرورت پرداختن به مسئله پایداری کشاورزی وتوجه به معیارها واصول توسعه پایدار مورد تأکید قرارگرفته‌است (Koocheki, 1998). نگرش بوم‌شناختی به تولید غذا به‌ویژه برای کشورهایی که نظام بهره‌برداری زمین در آن‌ها عمدتاً خرده مالکی بوده و مبنای تولید بر شرایط ویژه زمانی و مکانی[1] استوار است، می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. این نوع نگرش مغایرتی با هیچ گونه فن‌آوری نخواهد داشت و تنها لازم است به‌جای فشرده‌سازی نهاده‌های شیمیایی که از خارج از محیط (نهاده‌های خارجی) وارد می شود، فشرده‌سازی بوم شناختی[2] صورت گیرد. در این حالت گرچه عمده نهاده‌ها درونی است و در قالب فرآیندهای بوم‌شناختی و روابط بیولوژیکی و با استفاده از عملیات زراعی و الگوهای کشت مطلوب شکل می‌گیرد، ولی برخی نهاده‌های خارجی بوم‌سازگار مورد لزوم، می‌تواند از خارج از محیط کشت تأمین شود. از طرف دیگر، این نوع نظام‌ها عموماً کم‌نهاده هستند و تنظیم نهاده‌پذیری برای گیاهان زراعی مربوطه نیاز به برخی عملیات به‌نژادی و در نتیجه اصلاح ارقامی سازگار به نهاده‌های کم و به‌عبارت دیگر تیپ‌های ایده‌آل کم‌نهاده[3] دارد. علاوه بر آن، با چنین دیدگاهی نمی‌توان از روش‌های رایج نظام‌های پایدار در مدیریت استفاده نمود و ضروری است کلیه ابعاد آن از جمله عملیات به‌زراعی، به‌نژادی، توزیع و بازاریابی و بالاخره فرآوری و همچنین آموزش، ترویج و پژوهش‌های مربوطه در قالب نظام‌های بوم‌شناختی و پایدار طراحی شوند (Gliessman & Rosemeyer, 2010). بدون تردید لازم است پژوهش‌های کشاورزی، هم از نظر ساختاری و هم از نظر کارکردیمتناسب با مبانی بوم‌شناسی طراحی و اجرا شوند که در این مورد می‌توان پژوهش‌های درون مزرعه را نمونه‌ای از آن ذکر کرد. در همین راستا ضروری است که آموزش و ترویج کشاورزی پایدار نیز متناسب با تفکر کشاورزی پایدار طراحی و اجرا شود (Koocheki, 1998).

گرچه موضوع افزایش عملکرد و تولید بیشتر محصول مهم‌ترین هدف در فعالیت‌های کشاورزی است، ولی لازم است اولاً برای حصول چنین هدفی، هدف‌های مهم دیگری مانند حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی نادیده گرفته نشود، ثانیاً عملکرد مطلوب در دراز مدت مورد نظر باشد و نه لزوماً عملکرد زیاد در کوتاه مدت و ثالثاً ضروری است خدمات دیگری از قبیل چرخه آب و عناصر غذایی، ترسیب کربن، تنوع زیستی و تلطیف محیط و چشم اندازهاکه می‌تواند از فعالیت‌های کشاورزی متکی بر اصول بوم‌شناختی حاصل شود نیز به‌صورت کمی در محاسبات وارد شوند و به‌عبارت دیگر، به جای عملکرد شاخص دیگری به نام کارکرد، که عملکرد می‌تواند بخشی از آن باشد، به‌کار گرفته شوند و بدین ترتیب کشاورزی از حال تک کارکردی به وضعیت چند کارکردی[4] ارتقاء داده شود (Nassiri Mahallati et al., 2007).

برای بسیاری از کشاورزان روی آوردن سریع به عملیات و الگوهای کشاورزی پایدار امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای رسیدن به پایداری کامل در بوم‌نظام‌های کشاورزی که سازگار با محیط باشند، باید تغییر از کشاورزی رایج به پایدار با گام‌های آهسته‌تری صورت پذیرد. برای این منظور سه گام مؤثر معرفی شده است (Gliessman & Rosemeyer, 2010): سطح اول شامل افزایش کارایی نهاده‌ها از قبیل کود و سموم شیمیایی است که در حال حاضر در کشاورزی رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند. سطح دوم مربوط به جایگزینی نهاده‌های رایج با نهاده‌ها و عملیات بوم سازگار بوده و سطح سوم نیز طراحی مجدد بوم‌نظام‌های کشاورزی به نحویاست که کارکرد آن بر مجموعه ای از فرآیندهای اکولوژیکی استوار باشد. به‌عبارت دیگر، برای دستیابی به نظام‌های پایدار کشاورزی باید کارایی عملیات، فرآیندها و نهاده‌ها را افزایش داد، نهاده‌های بوم سازگار را جایگزین نهاده‌ها و

1- Time and space specific
2- Ecological intensification
3- Low input idotype
4- Multifunctional

عملیات زیان‌بار کرد و در نهایت سامانه‌های نوینی مبتنی بر اصول بوم‌شناختی ایجاد کرد (Kamkar & Mahdavi Damghani, 2008).

هدف از این مقاله که قسمتی است از طرح پژوهشی جامعی با عنوانبررسی وضعیت کارایی استفاده از نهاده‌های نیتروژن، آب، نور و سموم کشاورزی در ایران، ارائه راهکارهای بهبود کارایی استفاده از این نهاده‌هابه‌عنوان گام اولِ گذار از کشاورزی رایج به پایدار می‌باشد. گام‌های دیگر گذار به کشاورزی پایدار که به‌صورت مختصر در بالا ذکر شده است، در مقالات جداگانه‌ای بررسی و ارائه خواهد شد (Koocheki et al., 2013b).

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی وضعیت گذار از کشاورزی رایج به کشاورزی پایدار در اکوسیستم‌های زراعی کشور، منابع و تحقیقات انجام گرفته در کشور در زمینه بهبود و افزایش کارایی نهاده‌ها و منابع که در حقیقت گام اول برای گذار از کشاورزی رایج به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور 177 پژوهش انجام گرفته در سطح کشور کهبه‌صورت مقالات علمی پژوهشی در منابع مختلف موجود بود، در زمینه مصرف نهاده‌های مختلف و همچنین کارایی آن‌ها در محصولات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نهاده‌های مصرفی مورد مطالعه شامل آب، نیتروژن، نور و علف کش‌ها (به‌عنوان نمونه‌ای از نهاده‌های شیمیایی غیرتغذیه‌ای) برای غلات دانه ریز (گندم (*Triticum eastivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) و دانه درشت (ذرت (*Zea mays* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، حبوبات (لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس (*Lens esculinaris* L.))، گیاهان روغنی (کلزا (*Brassica napus* L.)، آفتابگردان(*Helianthus annuus* L.)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.)، گیاهان دارویی، سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) بودند.

در این تحقیق ابتدا میانگین و دامنه کارایی مصرف نهاده‌ها در محصولات مختلف و همچنین رابطه بین افزایش مصرف نهاده‌ها با میزان کارایی مصرف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعاتی که کارایی مصرف نهاده‌ها گزارش نشده بود، بر اساس میزان نهاده مصرفی و عملکرد اقتصادی ثبت شده، میزان کارایی زراعی مصرف منابع با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد.

کارایی مصرف نیتروژن (NUE):

معادله (1) $$NUE = \frac{Y}{Ns}$$

در این معادله، **Y**: عملکرد گیاه زراعی ($kg.ha^{-1}$) و Ns: نیتروژن خالص مصرفی ($kg.ha^{-1}$) می‌باشد.

کارایی مصرف آب (WUE):

معادله (2) $$WUE = \frac{Y}{Ws}$$

در این معادله، **Y**: عملکرد گیاه زراعی ($kg.ha^{-1}$) و Ws: میزان آب مصرفی ($m^3.ha^{-1}$)

کارایی مصرف نور (RUE)

معادله (3) $$RUE = \frac{Dm}{Rc}$$

در این معادله، Dm: ماده خشک گیاه زراعی ($kg.ha^{-1}$) و Rc: میزان تشعشع تجمعی (Cumulative) دریافتی توسط کانوپی گیاه ($g.MJ^{-1}$) می باشد.

در مرحله بعدی پتانسیل افزایش کارایی مصرف منابع بدون افزایش نهاده‌ها و با اتکا به عملیات مدیریتی و همچنیناراهکارها و راهبردهای موجود در جهت بهبود هر کدام از کارایی مصرف نهاده‌ها و منابع مصرفی بررسی و وضعیت مطالعات انجام گرفته در این زمینه در کشور به‌صورت فراتحلیل ارزیابی شد. در نهایت رابطه بین کارایی انواع نهاده‌ها با استفاده از اطلاعات مربوط در این زمینه مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طور کلی وضعیت نظام‌های زراعی ایران از لحاظ پایداری در رابطه با کارایی مصرف نهاده‌ها با هم و بهبود آن‌ها که گام اول ورود به کشاورزی پایدار است، با استفاده از اطلاعات موجود مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

کارایی مصرف نیتروژن

نتایج بررسی مطالعات مختلف نشان داد که دامنه کارایی مصرف زراعی نیتروژن برای گیاهان مختلف در ایران متفاوت می‌باشد (جدول1). از آن‌جایی‌که کارایی زراعی نیتروژن از نسبت بین عملکرد اقتصادی گیاه و نیتروژن مصرفی به‌دست می‌آید (Koocheki et al., 2013a)، محدوده کارایی مصرف نیتروژن در گیاهان مختلف وابستگی شدیدی به نوع اندام اقتصادی گیاهان دارد. به‌عنوان مثال،

اندام اقتصادی مورد استفاده در گیاه سیب‌زمینی غده آن با میانگین عملکرد حدود 30 تن در هکتار (Organization, 2011 Agricultural Jihad) می‌باشد و این موضوع باعث شده است که کارایی مصرف آن به‌طور چشم‌گیری بالاتر از دیگر گیاهان مورد بررسی باشد (جدول 1).

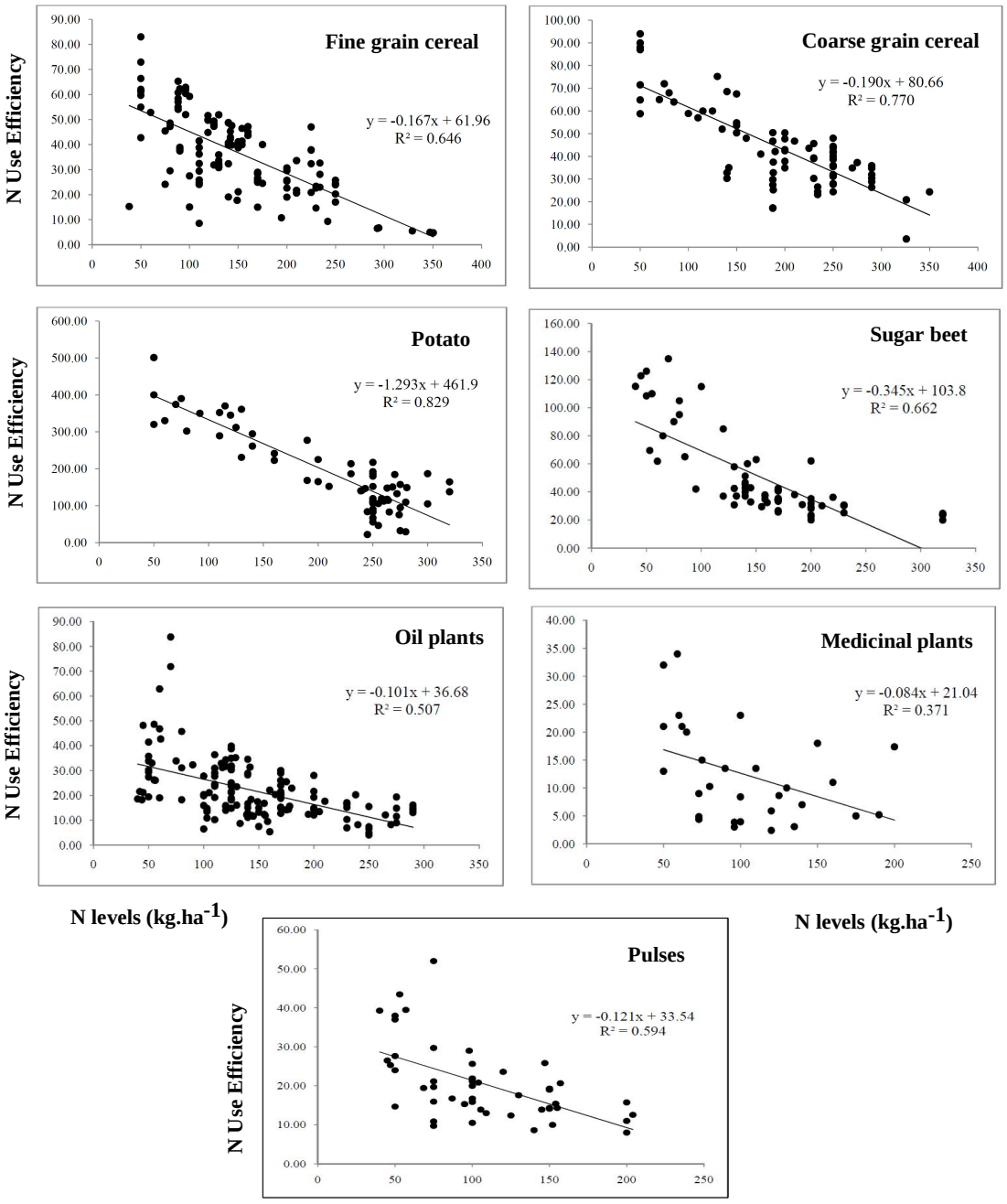
جدول 1- دامنه و میانگین کارایی زراعی مصرف نیتروژن (NUE) گیاهان مختلف در ایران
Table 1- Range and average of NUE for various crop in Iran

کارایی مصرف نیتروژن NUE	پنبه Cotton	حبوبات Pulses	گیاهان دارویی Medicinal plants	گیاهان روغنی Oil plants	چغندر قند Sugar beet	سیب‌زمینی Potato	غلات دانه‌درشت Coarse grain cereal	غلات دانه‌ریز Fine grain cereal
واحد Unit	kg fiber. kg^{-1} N	kg seed. kg^{-1} N	kg dry matter. kg^{-1} N	kg seed. kg^{-1} N	kg sugar. kg^{-1} N	kg tuber. kg^{-1} N	kg grain. kg^{-1} N	kg grain. kg^{-1} N
دامنه Range	9-16.8	8-52	2.4-34	4-83.7	19.8-134	22-501	3.6-94	4.76-83
میانگین Average	13.1	20.6	12.3	21.9	49.9	190	43.5	37.33

دامنه کارایی مصرف نیتروژن برای غلات دانه ریز و دانه درشت به ترتیب 83-4/76 و 94-3/6 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن با میانگین حدود 37 و 44 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد. میانگین بالاتر کارایی مصرف نیتروژن در غلات دانه درشت نسبت به غلات دانه ریز به دلیل عملکرد بالاتر غلات دانه درشت نسبت به غلات دانه ریز می‌باشد. یعنی به‌عبارتی، غلات دانه درشت برای تولید یک کیلوگرم دانه، نیتروژن کمتری را نسبت به غلات دانه ریز مصرف می‌کنند. همان‌طور که قبلا نیز اشاره شد، گیاه سیب‌زمینی نسبت به دیگر گیاهان از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری با میانگین 190 و دامنه 501-22 برخوردار می‌باشد (جدول 1). در این تحقیق ما برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن گیاه چغندرقند، عملکرد شکر را به‌عنوان عملکرد اقتصادی مدنظر قرار دادیم و بر این اساس، دامنه و میانگین کارایی مصرف نیتروژن برای این گیاه در ایران به ترتیب 134-19/8 و 50 می‌باشد (جدول 1). همچنین، دامنه کارایی مصرف نیتروژن برای گیاهان روغنی و حبوبات به ترتیب 83/7-4 و 52-8 با میانگین حدود 22 و 21 به‌دست آمد (جدول 1). برای گیاه پنبه نیز، عملکرد وش به‌عنوان مبنای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن قرار گرفت و دامنه و میانگین به ترتیب 16/8-9 و 13 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن برای این گیاه مشاهده شد. از طرفی، گیاهان دارویی دارای کمترین میانگین کارایی مصرف نیتروژن با مقدار حدود 12 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن در بین گروه‌های مختلف گیاهان مورد بررسی بود (جدول1). به‌نظر می‌رسد، کارایی پایین مصرف نیتروژن در گیاهان دارویی به دلیل عملکرد پایین این گیاهان و نیز عدم واکنش زیاد این گروه از گیاهان به کود شیمیایی باشد.

رابطه کارایی مصرف نیتروژن با مقدار مصرف آن

بررسی رابطه کارایی مصرف نیتروژن با مقدار مصرف آن برای گیاهان مختلف در شکل 1 نشان داده شده‌است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در غلات دانه ریز شامل گندم، جو و برنج رابطه منفی بین افزایش سطوح نیتروژن و کارایی مصرف آن با ضریب تبیین 0/65 وجود داشت. به‌طوری‌که به ازای افزایش هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن آن‌ها 0/167 درصد کاهش یافت (شکل1). در غلات دانه درشت ذرت و سورگوم نیز افزایش سطوح نیتروژن منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن در این گیاهان شد. در این گیاهان به ازای افزایش هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن با شیب 0/19 کاهش یافت و ضریب تبیین آن 0/77 بود (شکل1). این خود نشان‌دهنده این مطلب است که در غلات دانه درشت، افزایش سطوح نیتروژن تأثیر منفی بیشتری بر میزان کارایی مصرف آن نسبت به غلات دانه‌ریز دارد. از آن‌جایی‌که غلات دانه-درشت از زیست توده و ماده خشک بیشتری نسبت به غلات دانه ریز برخوردار می‌باشند، به‌نظر می‌رسد در سطوح بالای نیتروژن، بیشتر نیتروژن مصرفی به اندام‌های غیر زایشی اختصاص می‌یابد و نیتروژن افزوده شده نقشی در تولید اقتصادی نداشته که این موضوع خود منجر به کاهش بیشتر کارایی مصرف نیتروژن در این گیاهان نسبت به غلات دانه‌ریز می‌شود.



شکل 1- رابطه کارایی مصرف نیتروژن (عملکرد اقتصادی بر نیتروژن مصرفی) با میزان استفاده از نیتروژن در گیاهان مختلف

Fig. 1- Relation of NUE (economical to used N ratio) and N application rates in various crops

برای گیاه سیب‌زمینی، کارایی مصرف نیتروژن از نسبت عملکرد غده تولیدی به نیتروژن مصرفی محاسبه شد و در این گیاه همبستگی بالاتری با ضریب تبیین 0/83 بین کاربرد و کارایی مصرف نیتروژن نسبت به غلات مشاهده گردید. در سیب‌زمینی نیز با افزایش سطوح

نیتروژن در هکتار، روند نزولی با شیب 1/29 درصد در میزان کارایی مصرف نیتروژن این گیاه مشاهده شد (شکل1). این موضوع نشان‌دهنده این است که به ازای افزایش هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان کارایی مصرف آن 1/29 واحد کاهش می‌یابد. در گیاه چغندر قند نیز همبستگی منفی بین کاربرد و کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد. به‌طوری‌که در این گیاه به ازای افزایش هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان کارایی مصرف آن حدود 0/35 واحد با ضریب تبیین 0/66 کاهش نشان داد (شکل1). در گروه حبوبات شامل نخود، لوبیا و عدس نیز همبستگی منفی با ضریب تبیین 0/59 بین کارایی مصرف نیتروژن و سطوح کاربرد آن مشاهده شد (شکل1). نتایج بررسی‌ها نشان داد که در کشت و کار حبوبات در ایران، به ازای افزایش یک کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف آن حدود 0/12 واحد کاهش یافت.

در گیاهان روغنی شامل آفتابگردان، کلزا و کنجد همبستگی ضعیف‌تری با ضریب تبیین 0/51 بین کارایی مصرف و کاربرد نیتروژن نسبت به گونه‌های زراعی قبل مشاهده شد. در این گیاهان به ازای افزایش هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان کارایی مصرف آن با شیب حدود 0/10 واحد کاهش یافت (شکل1). در بین گروه‌های گیاهی مختلف، گیاهان دارویی کمترین همبستگی را بین کاربرد و کارایی مصرف نیتروژن نسبت به دیگر گروه‌های گیاهی دارا بودند. به‌طوری‌که در این گیاهان ضریب تبیین بین کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و کارایی مصرف آن 0/37 واحد بود و به ازای هر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، میزان کارایی مصرف نیتروژن حدود 0/08 واحد کاهش نشان داد (شکل1).

بهبود کارایی مصرف نیتروژن

همان‌طور که ذکر شد، برای گذار از کشاورزی رایج به کشاورزی پایدار، اولین گام افزایش کارایی عملیات رایج به منظور کاهش استفاده از نهاده‌های پرهزینه، کمیاب یا نهاده‌هایی که خسارت زیست‌محیطی دارند، می‌باشد (Gliessman & Rosemeyer, 2010). هدف اصلی در این مرحله استفاده از نهاده‌ها با کارایی بالاتر می‌باشد، به‌صورتی که علاوه بر عملکرد اقتصادی فواید زیست‌محیطی هم مدنظر قرار می‌گیرد. با بهبود کارایی استفاده از نهاده‌ها، مقدار استفاده از آن و به‌تبع آن اثرات منفی آن‌ها بر محیط زیست کاهش خواهد یافت. روش‌های مختلفی برای بهبود و افزایش کارایی استفاده از نهاده‌های مختلف کشاورزی ارائه شده است. به‌عنوان مثال تراکم و فواصل مطلوب محصولات زراعی، استفاده از ماشین آلات مناسب، پیش‌آگاهی آفات برای استفاده کارآمد از آفت‌کش‌ها، زمان و نحوه صحیح مصرف کودهای شیمیایی و آب را می‌توان ذکر نمود (Gliessman & Rosemeyer, 2010). البته باید خاطر نشان کرد با این‌که بهبود کارایی استفاده از منابع، از اثرات منفی کشاورزی رایج می‌کاهد ولی قادر به قطع وابستگی به نهاده‌های خارجی نمی‌باشد.

منابع مختلف کود شیمیایی نیتروژن در ایران برای گیاهان مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. تأثیر این منابع بر بهبود عملکرد گیاهان متفاوت بوده و به‌تبع آن کارایی متفاوتی را شامل می‌شوند. در زراعت گیاه گندم مشاهده شده‌است که استفاده از کود نیتروژن با منبع اوره نسبت به سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم از عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار است (جدول2). همچنین، نیترات آمونیوم نسبت به سولفات آمونیوم کارایی مصرف نیتروژن بالاتری را شامل شد. اخیرا در کشور کود اوره در اشکال کندرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن‌جایی‌که در انوع کندرها حلالیت کود کاهش می‌یابد، راندمان جذب و استفاده کود توسط گیاه بهبود یافته و از آبشویی آن جلوگیری می‌گردد، بنابراین گیاه در بازه زمانی طولانی‌تری از کود استفاده می‌نماید (Salahi-Farahi & Faraji, 2010; Asadi et al., 2011). برخی تحقیقات نشان داده‌است که استفاده از انواع اوره کندرها میزان کارایی استفاده از نیتروژن را نسبت به اوره عادی بهبود چشم‌گیری می‌دهد. در گیاه گندم مشاهده شد که کاربرد اوره در اشکال اوره گوگردی و فرم میزان کارایی مصرف نیتروژن را نسبت به اوره معمولی به ترتیب حدود 14 و 19 درصد افزایش داد (جدول2). میرلوحی و همکاران (Mirlohi et al., 2001) در بررسی تأثیر انواع مختلف کود شیمیایی نیتروژن در کشت و کار گیاه برنج مشاهده نمودند که کارایی مصرف نیتروژن در زمان استفاده از اوره به ترتیب حدود 41 و 16 درصد بیشتر از سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم بود (جدول2).

جدول 2- کارایی استفاده از نیتروژن تحت تأثیر منابع مختلف نهاده‌های نیتروژن در برخی گیاهان

Table 2- Effect of different resources of nitrogen on NUE in various crops

نوع کود Fertilizer type	کلزا Canola	سیب‌زمینی Potato	برنج Rice	گندم Wheat
اوره Urea	27.66	168.4	32.63	47.04
سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	18.78	134.2	22.98	32.34
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	22.90	142.02	28.09	37.75
اوره با پوشش گوگردی Sulfur urea	34.65	20.2.6	–	53.63
اوره فرم Urea-formaldehyde	–	217.3	–	56.44
منبع Reference	طاهرخانی و همکاران (Taherkhani et al., 2005)	ضیائیان و کشاورز (Ziaeian & Keshavarz, 2010)	میرلوحی و همکاران (Mirlohi et al., 2001)	مصطفوی‌راد و همکاران (Mustafavi-rad et al., 2007)، نورقلی‌پور و همکاران (Nurgholi-Pur et al., 2008)

ضیائیان و کشاورز (Ziaeian & Keshavarz, 2010) نیز اثر انواع مختلف کود شیمیایی نیتروژن را بر عملکرد سیب‌زمینی مورد بررسی قرار دادند. بررسی کارایی مصرف نیتروژن در این تحقیق نیز نشان می‌دهد که کود اوره نسبت به سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم از کارایی مصرف نیتروزن بالاتری برخوردار بود و همچنین از این نظر، کود نیترات آمونیوم نسبت به سولفات آمونیوم برتری نشان داد (جدول 2). همچنین بررسی‌ها نشان داد که کاربرد کود اوره در اشکال اوره با پوشش گوگردی و فرم میزان کارایی مصرف نیتروژن در گیاه سیب‌زمینی را نسبت به اوره عادی به ترتیب حدود 20 و 29 درصد بهبود بخشید (جدول2). در مورد گیاه کلزا نیز روند مشابه با گیاهان مذکور مشاهده شد (جدول 2)، به‌طوری‌که استفاده از اوره میزان کارایی مصرف نیتروژن را در این گیاه به ترتیب حدود 47 و 20 درصد نسبت به استفاده از سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم افزایش داد و استفاده از اوره با پوشش گوگردی میزان این کارایی را حدود 25 درصد نسبت به اوره معمولی بهبود بخشید.

یکی از عوامل مهم دیگر که در بهبود کارایی مصرف نیتروژن نقش دارد، تقسیط آن می‌باشد. از آن‌جایی‌که کود نیتروژن دارای حلالیت بالایی می‌باشد، با مصرف یک‌باره آن در ابتدای فصل رشد، گیاه قادر نمی‌باشد که تمام نیتروژن موجود در خاک را طی زمان محدود جذب کرده و این موضوع باعث آبشویی نیتروژن شده و علاوه بر صدمات زیست محیطی، گیاه برای ادامه رشد با کمبود نیتروژن مواجه می‌شود. حال اگر به‌جای مصرف یک‌باره نیتروژن در ابتدای فصل رشد، این عنصر در زمان‌های مختلف به خاک افزوده شود، گیاه به‌تدریج آن را جذب نموده و از آبشویی نیتروژن جلوگیری می‌گردد.

بررسی مطالعات مختلف در مورد گیاه گندم نشان داد که به‌طور میانگین تقسیط دو مرحله ای کود نیتروژن، کارایی مصرف آن را نسبت به شرایط کاربرد کل کود نیتروژن در زمان کاشت (عدم تقسیط) حدود شش درصد بهبود بخشید و این افزایش در تقسیط سه مرحله‌ای در گندم حدود 12 درصد بود (جدول3). این موضوع خود به‌خوبی نشان‌دهنده افزایش کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کاربرد چندمرحله‌ای آن به‌جای کاربرد یک‌باره می‌باشد. همچنین، در گیاه برنج نیز کاربرد چندمرحله‌ای کود نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن در این گیاه نسبت به کاربرد یک‌باره آن شد (جدول3). به‌نظر می‌رسد از آن‌جایی‌که گیاه برنج در شرایط غرقابی و در حضور آب رشد می‌کند، آبشویی نیتروژن در زراعت آن از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد و کاهش میزان آبشویی نیتروژن و دیگر عناصر نقش مهمی در بهبود عملکرد و همچنین کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی ورود نیتروژن به رودخانه‌ها و دریا می‌گردد. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داد که تقسیط دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای نیتروژن در کشت و کار برنج، میزان کارایی مصرف نیتروژن را به ترتیب حدود

12 و 16 درصد نسبت به کاربرد کل کود در زمان انتقال نشاء افزایش داد (جدول3)، که این موضوع از طرفی مربوط به کاهش آبشویی نیتروژن و از طرف دیگر بهبود عملکرد برنج در شرایط تقسیط بود.

جدول 3- تأثیر زمانبندی کوددهی بر میزان کارایی استفاده از نیتروژن در برخی گیاهان

Table 3- Effect of splitting of fertilization on NUE in various crops

نوع تقسیط Form of split	نخود Chickpea	بابونه Chamomile	گلرنگ Safflower	سویا Soybean	سیب‌زمینی Potato	ذرت Maize	برنج Rice	گندم Wheat
عدم تقسیط No-split	10.12	3.82	13.42	10.84	198.4	26.36	38.86	34.24
دو مرحله‌ای tow stage	18.93 (87.05%)*	3.94 (3.14%)	16.55 (23.32%)	13.82 (27.49%)	222.9 (12.33%)	31.94 (21%)	43.65 (12.33%)	36.18 (5.66%)
سه مرحله‌ای Three stage	– –	3.10 (-18.85%)	17.07 (27.19%)	15.75 (43.63%)	241.3 (21.58%)	32.11 (22%)	45.13 (16.13%)	38.25 (11.71%)
منبع Reference	کشفی و همکاران (Kashfi et al., 2011)	میرلوحی و همکاران (Mirlohi et al., 2009)	صلاحی فرحی و فرجی (Salahi-Farahi & Faraji, 2010)	میرشکاری و همکاران (Mirshekari et al., 2007), دادنیا و خدابنده (Dadnia & Khodabande, 1998)	جامی معینی و همکاران (Jami Moeini et al., 2009)	بهرانی و سیدی (Bahrani & Seyyedi, 2005)	علی عباسی و اصفهانی (Aliabasi & Esfahani, 2007), علی عباسی و همکاران (Aliabasi et al., 2009), میر لوحی و همکاران (Mirlohi et al., 2001)	آناقلی و همکاران (Anagholi et al., 2006), بهرانی و طهماسبی سروستانی (Bahrani & Tahmasebi Sarvestani, 2005), لام و ترون (Lamm & Trooien, 2003)

*اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد افزایش کارایی مصرف نیتروژن نسبت به شرایط عدم تقسیط می‌باشد.

*The numbers in parentheses indicate a percentage increase in nitrogen consumption efficiency relative to non-split condition.

در گیاه ذرت تقسیط نیتروژن تأثیر بیشتری بر بهبود کارایی مصرف آن نسبت به گندم و برنج داشت، به‌طوری‌که تقسط دو مرحله‌ای نیتروژن میزان این کارایی را حدود 21 درصد و تقسیط سه مرحله‌ای حدود 22 درصد نسبت به شرایط عدم تقسیط افزایش دادند (جدول3). افزایش کارایی مصرف نیتروژن در گیاه سیب‌زمینی با تقسیط دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای نیتروژن نسبت به عدم تقسیط به ترتیب حدود 12 و 22 درصد مشاهده شد (جدول3). نتایج بررسی‌ها نشان داد که در گیاه سویا (*Glycine max* L.) نیز تقسیط نیتروژن باعث بهبود کارایی مصرف آن نسبت به عدم تقسیط شد و تقسیط دو مرحله‌ای کارایی مصرف نیتروژن را حدود 27 درصد افزایش داد و تقسیط سه مرحله‌ای تا 44 درصد این صفت را نسبت به کاربرد کل کود در زمان کاشت بهبود بخشید (جدول 3). گیاه گلرنگ و نخود نیز بهبود کارایی مصرف نیتروژن در شرایط تقسیط را نسبت به عدم تقسیط نشان دادند (جدول3). به‌نظر می‌رسد در گیاهان دارویی تقسیط نیتروژن تأثیر چندانی بر بهبود کارایی مصرف نیتروژن ندارد. این موضوع به‌نظر می‌رسد به‌دلیل کودپذیری پایین این گروه گیاهان باشد. بنابراین، باید در زراعت گیاهان دارویی از سطوح پایین کودهای شیمیایی استفاده نمود. به‌عنوان مثال، مطالعه نتایج میرشکاری و همکاران (Mirshekari et al., 2007) نشان داد که در گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) اعمال نیتروژن در دو مرحله کاشت و ساقه روی میزان کارایی مصرف نیتروژن را تنها حدود سه درصد نسبت به مصرف کل کود در مرحله کاشت بهبود بخشید و از طرف دیگر، تقسیط سه مرحله‌ای نیتروژن منجر به کاهش حدود 19 درصدی کارایی مصرف نیتروژن نسبت به شرایط عدم تقسیط شد (جدول3).

محلول‌پاشی نیتروژن به‌عنوان یکی دیگر از روش‌های مؤثر افزایش کارایی این عنصر گزارش شده است (Asadi et al., 2011; Salahi-Farahi & Faraji, 2010; Tusi et al., 2012; Musazade & Baradaran, 2011). در روش محلول‌پاشی، برگ‌هامهم‌ترین اندام جذب کننده نیتروژن محسوب شده و مزیتی که

محلول‌پاشی نیتروژن می‌تواند به‌عنوان تکمیل‌کننده کود مصرف شده در خاک داشته باشد، جذب و انتقال سریع و کارآمد نیتروژن به وسیله گیاه با بیش از80 درصد بازیافت از نیتروژن مصرف شده می‌باشد (Musazade & Baradaran, 2011). مطالعات مختلفی در ایران نقش محلول‌پاشی کود نیتروژن را بر بهبود عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن گیاهان بررسی کرده‌اند. به‌عنوان مثال، طوسی و همکاران (Tusi et al., 2012) تأثیر محلول‌پاشی کود نیتروژن را در زمان‌های مختلف بر کارایی مصرف نیتروژن مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که محلول‌پاشی نیتروژن منجر به افزایش کارایی مصرف آن نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی آن شد. موسی زاده و برادران (Musazade & Baradaran, 2011) نیز تأثیر محلول‌پاشی کود اوره را در زمان‌های مختلف بر عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مورد بررسی قرار داده و تأیید نمودند که محلول‌پاشی در دوره گلدهی این گیاه منجر به بهبود عملکرد و در نتیجه کارایی مصرف نیتروژن این گیاه نسبت به عدم محلول‌پاشی شد. همچنین نتایج مشابه برای گیاه کلزا توسط صلاحی فراهی و فرجی (Salahi-Farahi & Faraji, 2010) گزارش شده است. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2011) نیز افزایش عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن برنج را در شرایط محلول‌پاشی نیتروژن گزارش نمودند.

کارایی مصرف آب

روند تغییرات کارایی مصرف آب نشان داد که بر اساس گزارش نویسندگان افزایش مقدار مصرف آب اضافی در تمام محصولات مورد مطالعه تأثیر منفی بر کارایی مصرف آن داشت، به‌طوری‌که افزایش مصرف آب باعث کاهش کارایی مصرف آب در تمام محصولات شده است. شیب کاهش کارایی مصرف آب با میزان آب مصرفی در محصولات مختلف متفاوت بود که بیشترین کاهش مربوط به گیاه سیب‌زمینی با شیب 10/6- و کمترین کاهش در گیاه چغندرقند با شیب 0/27- بود، به‌عبارت دیگر در گیاه سیب‌زمینی با مصرف هر سانتی‌متر آب در هکتار، کارایی مصرف آب در این گیاه به میزان 10/6 واحد کاهش یافت، در صورتی که در گیاه چغندرقند با مصرف هر سانتی‌متر آب، کارایی مصرف آن به میزان 0/27 واحد کاهش یافت (شکل 2). دامنه کارایی مصرف آب گزارش شده برای سیب-زمینی و چغندرقند به ترتیب برابر با 767 –101 و 77 –30 کیلوگرم به ازای مصرف هر سانتی‌متر آب آبیاری می‌باشد. شیب کاهش کارایی مصرف آب به ازای یک سانتی‌متر آب اضافی مصرفی در هکتار برای غلات دانه ریزی چون گندم و جو تقریبا برابر با 4/43- به‌دست آمد، در صورتی‌که این شیب کاهش برای غلات دانه درشت (ذرت و سورگوم) در حدود 1/33- بود (شکل 2). به‌عبارتی مصرف هر واحد آب در غلات دانه درشت، کاهش کمتری در کارایی مصرف آب را در مقایسه با غلات دانه ریز به‌همراه داشت. کارایی مصرف آب محاسبه شده در منابع مختلف برای غلات دانه ریز بین 199–19 کیلوگرم به ازای مصرف هر سانتی‌متر آب آبیاری و برای غلات دانه درشت بین 199–30 گزارش شده است. رگرسیون خطی به‌دست آمده بین میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب در گیاهان روغنی مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که شیب این خط برابر با 0/69- بود که این موضوع بیانگر کاهش 0/69 واحدی کارایی مصرف آب به‌ازای یک واحد آب اضافی مصرفی در گیاهان روغنی می‌باشد (شکل 2)، هم-چنین کارایی مصرف آب برای گیاهان روغنی در منابع مختلف بین 111–15 کیلوگرم به‌ازای مصرف هر سانتی‌متر آب آبیاری گزارش شده است. شیب محاسبه شده از رگرسیون بین میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب در حبوبات و پنبه نیز به‌ترتیب برابر با 0/73- و 0/54- بود (شکل 2). دامنه کارایی گزارش شده برای حبوبات و پنبه نیز به‌ترتیب بین 82–17 و 87–27 کیلوگرم به‌ازای مصرف هر سانتی‌متر آب آبیاری بود. بنابراین، ترتیب کاهش کارایی مصرف آب به‌ازای آب مصرفی در گیاهان مختلف به صورت زیر می‌باشد:

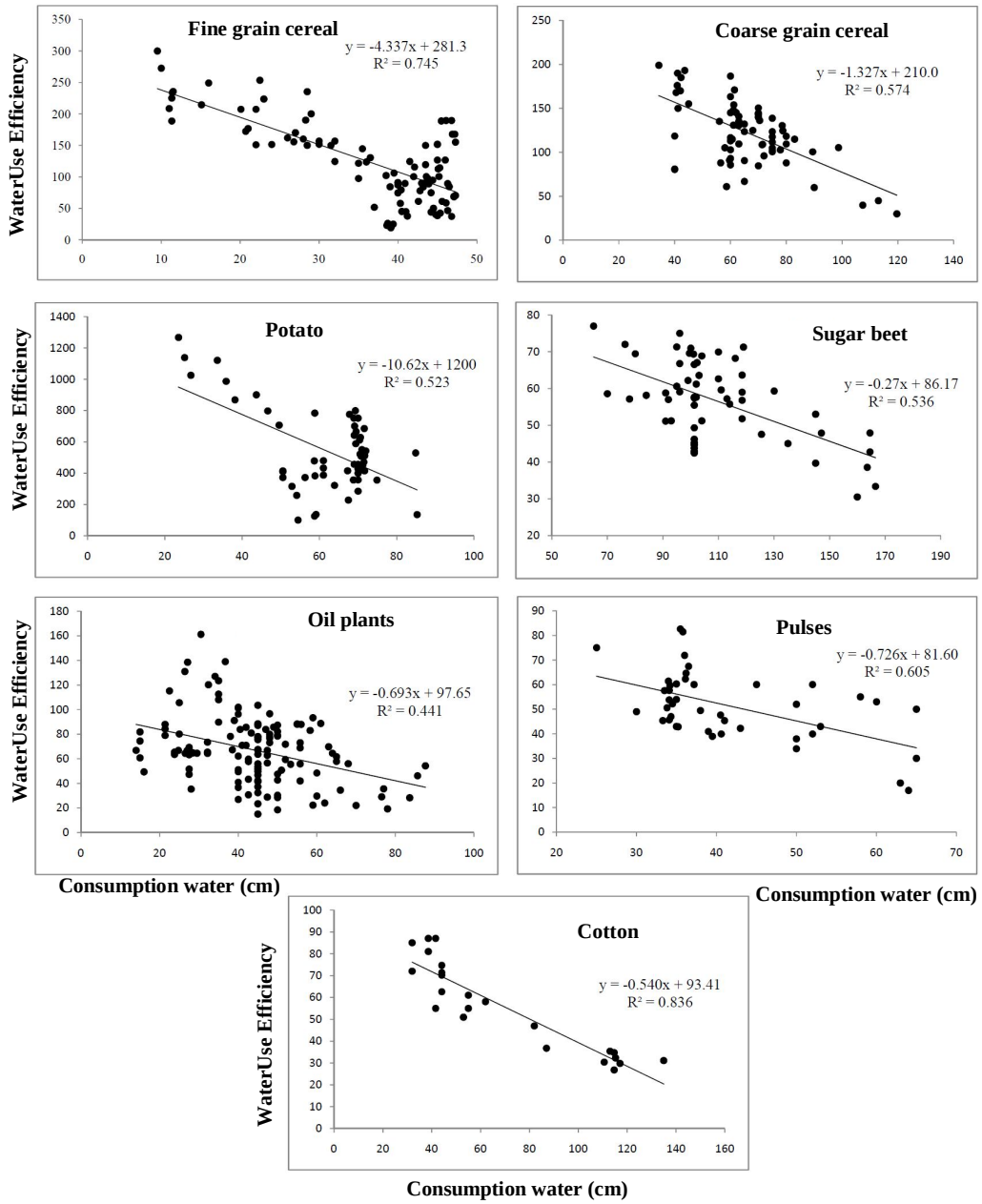
سیب‌زمینی> غلات دانه ریز > غلات دانه درشت > حبوبات > گیاهان روغنی > پنبه > چغندرقند

بیشترین میانگین کارایی مصرف آب در بین گیاهان مورد مطالعه مربوط به گیاه سیب‌زمینی با میانگین 546 کیلوگرم غده به‌ازای هر سانتی‌متر آب و کمترین کارایی مربوط به حبوبات با میانگین 51 کیلوگرم دانه به‌ازای هر سانتی‌متر آب مصرفی می‌باشد (شکل 3). کارایی مصرف آب برای غلات (124 کیلوگرم دانه به ازای هر سانتی-متر آب) بیشتر از گیاهان روغنی (67 کیلوگرم دانه به‌ازای هر سانتی-متر آب)، چغندرقند (57 کیلوگرم قند به ازای هر سانتی‌متر آب) و پنبه (55 کیلوگرم وش به ازای هر سانتی‌متر آب) بود (شکل 3). مهم‌ترین دلیل در بالا بودن کارایی مصرف آب سیب‌زمینی، عملکرد بالای غده این گیاه بود.

بهبود کارایی مصرف آب

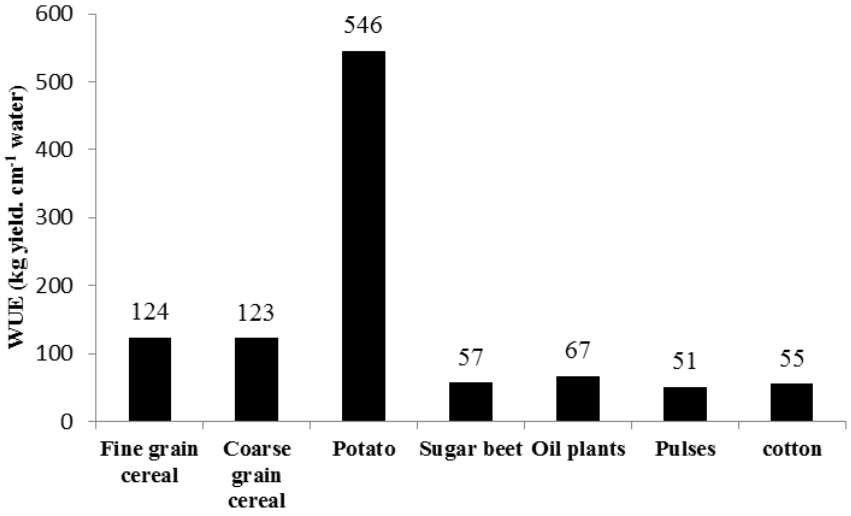
با توجه به نتایج فوق می‌توان بیان کرد که با وجود اینکه افزایش

مصرف آب در گیاهان مختلف باعث افزایش عملکرد اقتصادی این گیاهان می‌شود ولی باید توجه داشت که این افزایش عملکرد با کاهش کارایی مصرف آب همراه است. به‌عبارت دیگر، در سطوح بالای مصرف آب، برای تولید یک واحد عملکرد اقتصادی از گیاهان، میزان آب بیشتری باید مصرف شود. از طرف دیگر، با توجه به اینکه کشور ایران دارای اقلیم گرم و خشک بوده و در اکثر مناطق با محدودیت آب مواجه است، بنابراین اهمیت این موضوع بیشتر نمود پیدا می‌کند و معمولاً آب در چنین مناطقی مهمترین عامل تولید می‌باشد و مدیریت آب و افزایش کارایی آن مهم‌ترین و اساسی‌ترین گام در راستای نیل به سمت سطوح بالای پایداری در کشاورزی می‌باشد.



شکل 2- رابطه کارایی مصرف آب (نسبت عملکرد اقتصادی بر آب مصرفی) با میزان آب مصرفی در گیاهان مختلف

Fig. 2- Relation of WUE (economical yield to used water ratio) and amount of water usage in various crops



شکل 3- میزان کارایی مصرف آب (کیلوگرم محصول بر سانتی‌متر آب مصرفی) در برخی گیاهان
Fig. 3- WUE (kg yield. cm^{-1} water) in various crops

همان‌طورکه در قبل نیز اشاره شد، افزایش کارایی منابع اولین مرحله برای گذار از کشاورزی رایج به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد ولی متأسفانه تحقیقات اندکی در زمینه افزایش کارایی مصرف آب به‌عنوان یکی از منابع مهم و اساسی کشاورزی در ایران صورت گرفته و اکثر مطالعات انجام شده در راستای افزایش عملکرد گیاهان بدون توجه به افزایش کارایی مصرف آب بوده است. تغییر روش آبیاری یکی از بهترین راهکارهای موجود برای افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان می‌باشد که از بین روش‌های مختلف آبیاری، آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان می‌باشد که البته باید انرژی مصرفی آن که رابطه معکوسی با پایداری دارد مدنظر قرار گیرد.

جدول 4- تأثیر روش‌های آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) در گیاهان مختلف
Table 4- Effect of irrigation methods on WUE (kg. m^{-3}) in various crops

گیاه Plant	روش آبیاری Irrigation method			منبع Ref.
	قطره‌ای زیر سطحی Subsurface drip	قطره‌ای drip	شیاری Row	
سیب‌زمینی (غده) Potato (Tuber)	3.84	1.37	1.36	نجفی (Najafi, 2006)
گوجه‌فرنگی (میوه) Tomato (Fruit)	13.15	10.7	6.51	نجفی (Najafi, 2006)
بادمجان (میوه) Eggplant (Fruit)	11.64	8.38	5.38	نجفی (Najafi, 2006)
پنبه (وش) Cotton (Fiber)	-	52.0	0.34	افشار و مهرآبادی (Afshar & Mehrabadi, 2008)
ذرت (دانه) Maize (Grain)	-	1.23	0.6	افضلی گروه و همکاران (Afzali Gorouh et al., 2012)

نجفی (Najafi, 2006) در مقایسه کارایی مصرف آب گیاهان سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) تحت تأثیر آبیاری شیاری و قطره‌ای گزارش کرد که استفاده از آبیاری قطره‌ای در هر سه گیاه مورد مطالعه کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به آبیاری شیاری حاصل شد، به‌طوری‌که آبیاری قطره‌ای در

گیاهان سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و بادمجان به ترتیب باعث افـزایش 182، 102 و 116 درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه بـا آبیـاری شیاری شد (جدول 4). همچنین نامبردگان گزارش کـرد کـه کـارایی مصرف آب در آبیاری قطره‌ای در عمـق 15 سـانتی‌متـری خـاک در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی و همچنین آبیاری قطره‌ای در عمق 30 سانتی‌متری بیشتر بود (Najafi, 2006). بنابراین، در بهبود کارایی مصرف آب باید عمق آبیاری قطره‌ای را نیز به عنوان یک مؤلفه مؤثر مدنظر قـرار داد. لـم و تـروئین (Lamm & Trooien, 2003) بیـان داشتند که با مدیریت صحیح آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، نیاز آبیاری ذرت تا 25 درصد کاهش و درنتیجه کارایی مصرف آب افزایش یافت. صـادقی پـور و فرامـرزی (Sadeghipur & Faramarzi, 2008) در بررسی تأثیر روش‌های آبیاری بر میزان کارایی مصـرف آب در گیـاه لوبیا بیان کردند که با مدیریت مناسب و انتخاب روش آبیاری مناسب می‌توان کارایی مصرف آب را نسبت به روش معمول آبیاری افـزایش داد، به‌طوری‌که آبیاری یک در میان تناوبی جوی‌ها و یـک در میـان ثابت جوی‌ها بـه ترتیـب باعـث افـزایش 24/4 و 22/7 درصـدی در کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری معمول در گیاه لوبیا شد. افشار و مهرآبادی (Afshar & Mehrabadi, 2008) در مقایسـه دو روش آبیاری شیاری و قطره‌ای در گیاه پنبه گزارش کردنـد کـه اسـتفاده از آبیاری قطره‌ای باعث افزایش معنـی‌داری در کـارایی مصـرف آب در مقایسه با آبیاری شیاری شد، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در آبیاری شیاری برابر با 0/34 کیلوگرم بر مترمکعب و در آبیاری قطره‌ای برابر 0/52 کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به آبیاری شیاری افـزایش 53 درصدی در کارایی مصرف آب را در گیاه پنبه شامل شد (جـدول 4). افضلی و همکـاران (Afzali et al., 2012) نیـز بهبـود کـارایی مصرف آب در تولید گیاه ذرت را تحت تأثیر شیوه آبیاری بیان نموده و گزارش کردند که آبیاری قطره‌ای باعث افزایش 105 درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری شیاری می شود (جدول 4).

از طرف دیگر بهینه‌سازی و افزایش کارایی مصرف منابع آبـی در صورتی مطلوب خواهد بود که در افزایش کـارایی مصـرف آب، گیـاه زراعی به عنوان مسیر اصلی خـروج آب از خـاک باشـد، بـه عبـارتی مدیریت بر کاهش تبخیر و افزایش جریان آب از طریق تعرق متمرکز شود، بنابراین عملیات زراعی که در جهت اصلاح این نوع حرکت آب صورت گیرد از جملـه اجـزای مهـم افـزایش کـارایی مصـرف آب در اکوسیسـتم‌هـای زراعـی مـی‌باشـد (Gliessman & Rosemeyer, 2010). چنان‌چه سایر عوامل تولید محدودکننـده نباشـند، مقـدار آب مورد نیاز برای تولید یک واحد ماده خشک از یک محصول زراعی یـا واریته‌ای از آن یا به‌عبارتی کارایی مصرف آب آن در یک اقلیم معین تقریباً ثابت است، این امر نشان می‌دهد که توجه به کنترل تبخیـر از سطح خاک بازده بیشتری خواهد داشت (Nassiri Mahallati et al., 2007). از مهم‌ترین راهکارها بـرای افـزایش کـارایی مصـرف آب از طریق کاهش تبخیر می‌توان استفاده از خاکپوش‌ها، بقایای گیـاهی و همچنین شخم کاهش یافته را بیان کـرد کـه متأسـفانه مطالعـات و کارهای تحقیقاتی اندکی در این زمینه صورت گرفته اسـت. نورجـو و همکاران (Noorju et al., 2010) در بررسی تأثیر خاکپوش بر کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی بیان نمودند که استفاده از خـاکپوش افزایش 74 درصدی در کارایی مصرف آب را در مقایسه با شرایط عدم استفاده از خاکپوش به همراه داشت، که دلیل این امر را کاهش تبخیر از سطح خاک و کاهش مصرف آب بیان کردند و استفاده از خاکپوش را به عنوان یک راهکـار اساسـی در اسـتفاده بهینـه از منـابع آبـی و افزایش کارایی مصرف آب عنوان کردند. افزایش کارایی مصـرف آب به میزان 30 درصد با استفاده از خاکپوش در مقایسه با تیمـار شـاهد توسط جلینی (Jolaini, 2011) نیز گزارش شده است. در مطالعـه‌ای دیگر استفاده از مالچ پلاستیکی سفید و سیاه به ترتیب باعـث بهبـود 34 و 25 درصدی در کارایی مصرف آب در تولید گیاه پنبه نسبت به شـاهد شـد (Afshar et al., 2013). بهبـود کـارایی مصـرف آب در صورت استفاده از شخم حداقل در کشت ذرت در مقایسه با شخم رایج و بـدون شـخم توسـط افضـلی و همکـاران (Afzali et al., 2012) گزارش شده است که بـه ترتیـب باعـث افـزایش 10 و 46 درصـدی کارایی شده است.

بهبود کارایی مصرف نور

نور خورشید نخستین منبع انرژی در اکوسیستم‌ها می‌باشد. نور از طریق فرآیند فتوسنتز توسط گیاه گرفته شده و انرژی آن به صـورت ماده خشک در گیاهان ذخیره می‌شود. میانگین کارایی مصرف نور در برخی محصولات زراعی در شکل4 نشان داده شده است که بیشترین آن در بین گیاهان مورد مطالعه، مربوط به گیاه ذرت با میانگین 2/6 گرم بر مگاژول و کمترین کارایی مربوط به گیاه کنجـد بـا میـانگین 0/96 گرم بر مگاژول بود. بعد از گیـاه ذرت، گیـاه کلـزا از میـانگین کارایی مصرف نور بالاتری نسبت بـه سـایر گیاهـان مـورد بررسـی

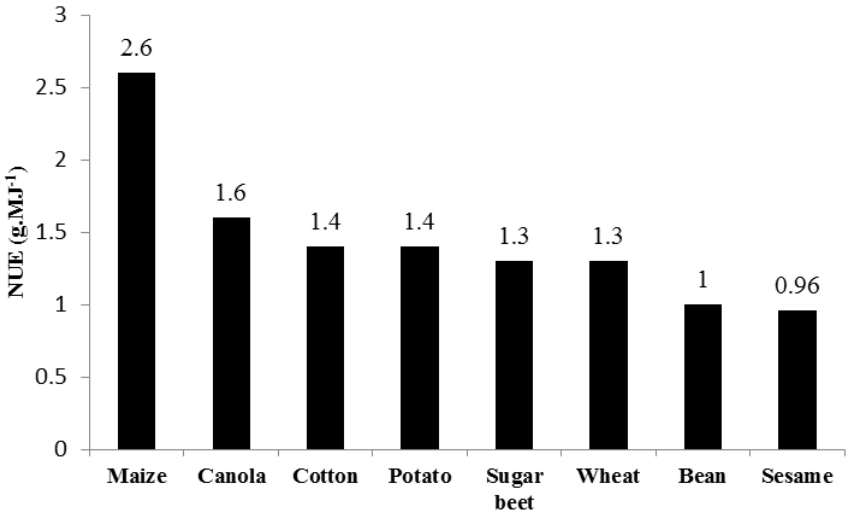
برخوردار بود که دارای کارایی معادل 1/6 گرم بر مگاژول بود (شکل 4). اختلاف چندانی بین کارایی مصرف نور گیاهان پنبه، سیب‌زمینی، چغندرقند و گندم وجود نداشت و گیاه لوبیا نیز دارای کارایی مصرف نوری برابر 1 گرم بر مگاژول بود که بعد از کنجد، کمترین کارایی مصرف نور را داشت (شکل 4).

به نظر می‌رسد افزایش کارایی مصرف نور در گیاهان در کشورما که در یک اقلیم گرم و خشک قرار دارد به اندازه افزایش کارایی مصرف آب و نیتروژن اهمیت نداشته باشد، زیرا به طور کلی، در مناطق گرم و خشک نور عامل محدود کننده تولید نیست و در این مناطق عامل مهم برای تولید محصولات معمولا قابلیت دسترسی به آب است و نه نور. بنابراین، نور عمدتاً در مناطق مرطوب یک عامل محدود کننده محسوب می‌شود و در این مناطق مدیریت برای افزایش و کسب حداکثر بهره‌وری از نور عامل مهمی می‌باشد و در مناطق خشک که نور عامل محدود کننده نیست، مدیریت در جهت استقرار سیستمی است که بتواند نور زیادی را جذب کند. بر همین اساس نیز، معمولا بیشتر تحقیقات انجام گرفته در زمینه افزایش کارایی مصرف نور در گیاهان، تغییر در تراکم و آرایش کاشت به منظور دریافت حداکثر تشعشات بوده است. اطلسی و همکاران (Atlasi et al., 2006) به منظور افزایش کارایی مصرف نور در گیاه کلزا، کاهش فاصله ردیف‌های کشت را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که کاهش فاصله ردیف کاشت از 50 سانتی‌متر به 30 سانتی‌متر باعث افزایش 30 درصدی و کاهش فاصله ردیف کاشت به 15 سانتی‌متر باعث افزایش 40/8 درصدی کارایی مصرف نور در مقایسه با ردیف کاشت 50 سانتی‌متری شد. افزایش تراکم چغندرقند از 60 هزار بوته در هکتار به 100 هزار بوته در هکتار باعث افزایش کارایی مصرف نور از 1/36 گرم بر مگاژول به 1/62 گرم بر مگاژول شد که بهبود 19 درصدی کارایی مصرف نور را در گیاه چغندر باعث گردید (Sadeghzade et al., 2009). نکته قابل توجه در مدیریت تراکم در راستای بهبود کارایی مصرف نور آن است که افزایش تراکم نباید باعث ایجاد رقابت درون گونه‌ای شدید شود و در نهایت منجر به کاهش کارایی گردد. در بررسی اثر تراکم بر بهبود کارایی مصرف نور در گیاه کلزا گزارش شده است که افزایش تراکم از 60 بوته در متر مربع (کارایی مصرف نور برابر 1/85 گرم بر مگاژول) تا 80 بوته در متر مربع (کارایی مصرف نور برابر 2/02 گرم بر مگاژول) باعث بهبود و افزایش کارایی مصرف نور شد. در صورتی که بالا بردن تراکم تا 100 بوته در مترمربع (کارایی مصرف نور برابر 1/63 گرم بر مگاژول) نه تنها باعث افزایش کارایی نور نشده بلکه باعث کاهش کارایی نیز شده است و بیان کردند که در تراکم 100 بوته در مترمربع رقابت بین گیاهان مجاور مانع از آرایش مناسب برگ‌ها در جامعه گیاهی و جذب مؤثر نور شده و در نتیجه کارایی مصرف نور کاهش یافته است (Atlasi et al., 2006). همان‌طورکه اشاره شد، آرایش کاشت نیز می‌تواند در بهبود کارایی مصرف نور به عنوان یک عامل مهم باعث آرایش مناسب برگ‌ها، توزیع بهتر جریان تشعشع در طول کانوپی و در نتیجه جذب مؤثر نور گردد، به‌طوری‌که بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2002) در بررسی تأثیر آرایش کاشت بر جذب و راندمان مصرف نور در کانوپی ذرت به این نتیجه رسیدند که آرایش کاشت مربع نسبت به دو آرایش کاشت لوزی و مستطیل از کارایی مصرف نور بالاتری برخوردار بود. که این سه روش به‌ترتیب دارای کارایی معادل 3/16، 3/1 و 2/9 گرم بر مگاژول بودند.

یکی دیگر از عواملی که تأثیر زیادی بر کارایی مصرف نور دارد، میزان نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. گزارش شده است که با افزایش غلظت نیتروژن در گیاه به دلیل افزایش میزان فتوسنتز، کارایی مصرف نور در گیاه افزایش می‌یابد (Muurinen & Peltonen-Sainio, 2006). اکمل و جانسون (Akmal & Janssens, 2004) با بررسی سطوح مختلف نیتروژن بر روی نوعی علف چمنی لولیوم (*Lolium multiflorum* L.) گزارش کردند که افزایش نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف نور می‌شود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013a) کارایی مصرف نور در سطوح مختلف نیتروژن را در دو گیاه ذرت و پنبه مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که افزایش میزان مصرف نیتروژن در هر دو گیاه باعث افزایش کارایی مصرف نور می‌گردد، به‌طوری‌که مصرف نیتروژن به مقدار 150 کیلوگرم در هکتار باعث بهبود کارایی مصرف نور به میزان 58 درصد در گیاه ذرت و 69 درصد در گیاه پنبه نسبت به شرایط عدم مصرف نیتروژن شد.

بهبود کارایی علف کش‌ها

علی‌رغم اینکه اصولا در کشاورزی پایدار بنا نیست از سموم شیمیایی استفاده گردد، ولی چون در گام نخست ورود به کشاورزی پایدار کارایی استفاده از منابع مورد استفاده مطرح است، عملاً بالا بردن کارایی سموم می‌تواند توجیه‌پذیر باشد.



شکل 4- میزان کارایی مصرف نور در برخی گیاهان زراعی
Fig. 4- Radiation use efficiency for various crops

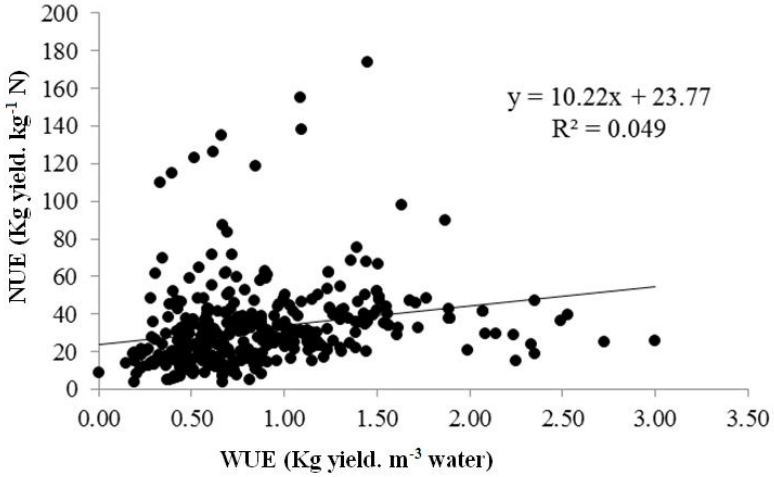
علف‌کش‌ها بیشترین آفت‌کش‌های به کار برده شده در کشاورزی می‌باشند که شامل انواع بسیار متفاوتی از مواد شیمیایی هستند که عملکرد گیاه زراعی را به وسیله کاهش تراکم علف‌های هرز بهبود می‌بخشند. علف‌کش‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های شیمیایی آلوده‌کننده محیط می‌باشند و افزایش بهره‌وری و کارایی آن‌ها در سیستم‌های کشاورزی به عنوان اولین سطح گذار به کشاورزی پایدار امری ضروری می‌باشد (Gliessman & Rosemeyer, 2010). از جمله راهکارهای افزایش مصرف علف‌کش‌ها در سیستم‌های کشاورزی می‌توان به استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته (سمپاش‌های الکترواستاتیک و سمپاش‌های هوشمند)، زمان‌بندی مصرف علف‌کش، تقسیط مصرف و همچنین استفاده از افزودنی‌ها همچون مویان‌ها و روغن‌ها در ترکیب علف‌کش‌ها اشاره کرد (Krogh et al., 2003). متأسفانه در کشورمان مطالعاتی در زمینه استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در راستای کاهش مصرف و افزایش کارایی علف‌کش‌ها صورت نگرفته و بیشتر تحقیقات بر سایر روش‌های بهبود کارایی علف‌کش‌ها متمرکز شده است. در این میان، مواد افزودنی از مهم‌ترین عوامل کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها و افزایش کارایی آن‌ها می‌باشند. مواد افزودنی خواه از طریق افزایش فعالیت علف‌کش‌ها یا از طریق مرتفع کردن تأثیر شرایط نامناسب کاربرد آن‌ها سبب کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها می‌شوند (Penner, 2000). از طرفی، مواد افزودنی دارای سمیت بسیار پایین بوده و در اغلب موارد از مواد تجدیدشونده استخراج می‌شوند (Brausch & Smith, 2007)، بنابراین، جایگزینی مقداری از علف‌کش با این گونه مواد از نظر اکولوژیکی امری بسیار پسندیده است. راشد محصل و همکاران (Rashed Mohassel et al., 2012) برای افزایش کارایی علف‌کش شوالیه در کنترل یولاف وحشی (Avena fatua L.) گزارش کرد که استفاده از مویان فریگیت با غلظت 0/1 درصد حجمی باعث افزایش 36 درصدی کارایی علف‌کش شوالیه در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی گردید. استفاده از مویان سیتوگیت با غلظت 0/2 درصد حجمی و همچنین روغن کرچک با غلظت 0/2 درصد حجمی در ترکیب با علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل باعث افزایش کارایی این علف‌کش به ترتیب به میزان 68 درصد و 36 درصد در کنترل علف‌هرز علف - قناری (*Phalaris canariensis* L.) در مقایسه با کاربرد خالص این علف‌کش شد (Kargar et al., 2009).

زمان مصرف به موقع علف‌کش نیز از دیگر راهکارهای مؤثر در افزایش کارایی مصرف علف‌کش می‌باشد که در این زمینه نیز مطالعات جسته گریخته‌ای در کشور صورت گرفته‌است. باغستانی و همکاران (Baghestani et al., 2012) کاربرد علف‌کش سولفوسولفورن در مرحله دو و چهار برگی را به‌عنوان راهکاری برای افزایش کارایی این علف‌کش در کنترل گونه‌های مختلف علف‌هرز جو

وحشی (*Hordeum murinum* L.) در مقایسه با زمان مصرف در مرحله 6، 8 و 10 برگی بیان کردند. منصوریان و همکاران (Mansourian et al., 2008) نیز مصرف علف‌کش متری بوزین به صورت پس‌رویشی را باعث افزایش کارایی این علف‌کش در کنترل علف‌های هرز مزرعه گندم در مقایسه با مصرف پیش‌رویشی این علف‌کش گزارش نمودند. بهترین زمان مصرف علف‌کش شوالیه و ایلوکسان+گرانستار در کنترل علف‌های هرز گندم در مرحله سه‌برگی گندم گزارش شد که نسبت به زمان مصرف در مرحله پنجه‌زنی، ساقه رفتن و ظهور سنبله باعث افزایش کارایی این علف‌کش‌ها به ترتیب به میزان 67، 70 و 86 درصد گردید (Ebrahim Pour et al., 2011).

رابطه بین انواع کارایی مصرف منابع

با توجه به نتایج به‌دست آمده برای بهبود کارایی‌ها می‌توان در نهایت به وجود و یا عدم وجود ارتباط بین کارایی‌ها پرداخت و اینکه آیا ارتباطی بین کارایی مصرف منابع وجود دارد یا نه و در صورت وجود رابطه بین این کارایی‌ها می‌توان با مدیریت در راستای بهبود یک کارایی، کارایی منبع و نهاده دیگر را نیز بهبود بخشید، همچنین میزان رابطه بین کارایی‌ها محاسبه شده و میزان کمی بهبود کارایی یک منبع به ازای افزایش یک واحد در کارایی منبع دیگر قابل برآورد خواهد بود. در این تحقیق رابطه‌ای بین کارایی جذب نور با سایر منابع تولید مشاهده نشد. با توجه به شکل 5 رابطه ضعیفی نیز بین کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد، به‌طوری‌که ضریب تبیین برابر 0/05 بود. به‌عبارتی دیگر، بهبود کارایی مصرف آب لزوماً باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن نمی‌شود، هر چند رابطه مثبت ضعیفی بین این دو نوع کارایی وجود دارد و شیب آن 10/22 بود. این موضوع بدین مفهوم است که افزایش یک واحد کارایی مصرف آب باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن به میزان 10/22 می‌شود، اما همان‌طور که گفته شد، رابطه قوی بین این کارایی‌ها وجود ندارد.



شکل 5- رابطه بین کارایی مصرف آب و نیتروژن در گیاهان مختلف
Fig. 5- Relation of WUE and NUE in various crops

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج بررسی‌های صورت گرفته در زمینه وضعیت کارایی نهاده‌های مختلف کشاورزی در ایران مشاهده می‌شود که در کلیه گیاهان مورد مطالعه، با افزایش مصرف نهاده‌ها میزان کارایی مصرف هر نهاده کاهش نشان داد، که شیب این کاهش برای محصولات مختلف متفاوت بود. بررسی‌ها نشان داد که در کشور مطالعات مختلفی در جهت بهبود کارایی مصرف نهاده‌های مختلف، خصوصاً آب و نیتروژن انجام گرفته است. استفاده از کود اوره نسبت به سولفات و نیترات آمونیوم از کارایی بالاتری برخوردار است و از طرفی کاربرد کودهای کندرها باعث افزایش بیشتر کارایی استفاده از این نهاده نسبت به فرم رایج اوره می‌شود. همچنین، از آن‌جایی‌که کود نیتروژن دارای حلالیت بسیار بالایی می‌باشد، هنگامی کود

نیتروژن تقسیط شده و در زمان‌های مختلف رشد گیاه به خاک افزوده می‌شود، از کارایی بیشتری نسبت به استفاده کل کود در زمان کاشت برخوردار بود. علاوه براین، در مطالعات مختلف محلول‌پاشی کود نیتروژن به‌عنوان دیگر راهکار مؤثر در بهبود کارایی استفاده از نیتروژن گزارش شده است. برای افزایش کارایی مصرف آب نیز راهکارهای مختلفی از قبیل آبیاری تحت فشار، استفاده از خاکپوش برای کاهش تبخیر و هدر رفت آب و همچنین انواع شخم‌های کاهش یافته در آزمایشات مختلف بیان شده است. آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهبردهای افزایش کارایی مصرف آب در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری شناخته شده است. استفاده از خاکپوش نیز به‌دلیل هدایت مسیر خروج آب از طریق گیاه (تعرق) به‌جای تبخیر از سطح خاک باعث بهبود کارایی مصرف آب در بوم‌نظام‌های مختلف کشاورزی می‌شود. راهکارهای ارائه شده برای افزایش کارایی استفاده از نور شامل تغییر الگوی کاشت و همچنین افزایش تراکم گیاهی به‌منظور دریافت تشعشع بیشتر توسط کانوپی می‌باشد. به‌طور کلی، با افزایش کارایی منابع و نهاده‌ها می‌توان از هدر رفت آن‌ها جلوگیری نمود و با افزایش عملکرد و به‌تبع آن مقدار کلی تولید از این منابع به‌صورت بهینه‌ای استفاده کرد و در عمل راه را برای گام دوم و سوم ورود به کشاورزی پایدار هموار نمود.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل پژوهه شماره 1/20739 مورخه 1390/12/2معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است. از مساعدت‌های معاونت پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه فرودسی مشهد در اجرای این طرح سپاسگزاریم.

منابع

Afshar, H., and Mehrabadi H. 2008. Investigation on yield and yield components of cotton in drip and furrow irrigation methods. Seed and Plant Improvement Journal 23: 557-570. (In Persian with English Summary)

Afshar, H., Sadrghaen, S.H., and Mehrabadi, H.R. 2013. Evaluation of application of plastic mulch on water used and seed cotton yield. Journal of Water and Soil 26: 1421-1427. (In Persian with English Summary)

Afzali Gorouh, H., Asoodar, M.A., and Khodarahmpoor, Z. 2012. Effect of irrigation method and tillage level on water use Efficiency and Corn Grain Yield *(Zea mays* L.*)* in Kerman. Journal of Science of Water and Soil 22: 47-58. (In Persian with English Summary)

Akmal, M., and Janssens, M.J.J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. Field Crops Research 88: 143-155.

Aliabasi, H.R., and Esfahani, M. 2007. Effect of level and splitting of nitrogen fertilizer on rate and length of rice seed filling. Science Journal of Agriculture 30: 25-28. (In Persian with English Summary)

Aliabasi, H.R., Kavusi, M., Esfahani, M., and Rabiei, B. 2009. Effect of level and splitting of nitrogen fertilizer on NUE of rice (Khazar cultivar). Iranian Journal of Crop Science 40: 1-11. (In Persian with English Summary)

Anagholi, A., Kashiri, M., Zeinali, E., and Ezat-Ahmadi, M. 2006. Influence of the amount and time of nitrogen application on yield and yield components in wheat (cv. Zagroos) under rainfed condition. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 13: 7-14. (In Persian with English Summary)

Asadi, S., Zavareh, M., Shokri Vahed, H., and Shahin Rokhsar, P. 2011. Effect of supplement foliar application of nitrogen and potassium on yield, grain quality and nitrogen utilization efficiency of hybrid rice c.v. Bahar-1. Electronic Journal of Crop Production 4: 175-190. (In Persian with English Summary)

Atlasi, V., Mamghani, R., Meskarbashi, M., and Nabipur, M. 2006. Effect of planting design on radiation use efficiency and dry mater cumulation in canopy of three cultivar of spring canola. Journal of Science Agriculture 152: 129-139. (In Persian with English Summary)

Baghestani, M.A., Zand, E., Lotfifar, A., Atri, A., and Mottaghi, S. 2012. Response of different varieties of wild barley to time and dose of herpicide application. Journal of Plant Protection 26: 243-251. (In Persian with English Summary)

Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2005. Effects of rate and time of nitrogen fertilizer on yield, yield component, and dry matter remobilization efficiency in two winter wheat cultivars. Journal of Agricultural Science

36: 1263-1271. (In Persian with English Summary)

Bahrani, M.J., and Seyyedi, A. 2005. Effect of plant density and fertilizer application method on grain yield and components yield of maize. Journal of Science of Agriculture and Natural Resources 12: 128-135. (In Persian with English Summary)

Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Seed and Plant Improvement Journal 18(4) :417-431. (In Persian with English Summary)

Brausch, J.M., and Smith, P.N. 2007. Toxicity of three polyethoxylated tallowamine surfactant formulations to laboratory and field collected fairy shrimp (*Thamnocephalus platyurus*). Archives of Environmental Contamination and Toxicology 52: 17-221.

Dadnia, M.R., and Khodabande, N. 1998. Maximizing of crop yield with the best revenue of using nitrogen fertilizer and inoculation of seed with bacteria in sustainable agricultural systems in soynean (*Glycine max* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 2: 33-41. (In Persian with English Summary)

Ebrahim Pour, F., Mousavi, S.H., Moshattati, A., and Mousavian, S.N. 2011. Effects of application time of Chevalier herbicide and mixture of Illoxan with Granstar on wheat and weed in Ahwaz. Electronic Journal of Crop Production 4: 31-41. (In Persian with English Summary)

FAO. 2009. Agriculture production; http,//faostat.fao.org/faostat. (Visited 16 May 2013)

Gliessman, S.R., and Rosemeyer, M. 2010. The Conversion to Sustainable Agriculture. Principle, Processes and Practice. CRC Press. Taylor and Francis.

Jami Moeini, M., Modarres Sanavy, A.M., Keshavarz, P., Sorooshzadeh, A., and Ganjeali, A. 2009. Influence of nitrogen rate and split application method on tuber yield and some quantitative characteristics of different potato cultivars. Journal of Horticultural Science 23: 46-56. (In Persian with English Summary)

Jolaini, M. 2011. Investigation the effect of different water and plastic mulch levels on yield and water use efficiency of tomato in surface and subsurface drip irrigation method. Journal of Water and Soil 25: 1025- 1033. (In Persian with English Summary)

Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A.M. 2008. Principle of Sustainable Agriculture. Jihad Daneshgahi of Mashhad press, Mashhad, Iran. (In Persian)

Kargar, M., Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A., and Izadi, E. 2009. Optimazing the performance of clodinafop-propargil by sitogate surfactant and castor oil on control little seed canary grass. 4thConference of Iranian Weed Science p.826-829. (In Persian with English Summary)

Kashfi, S.M.H., Majnoun Hosseini, N., and Zeinali Khaneghah, H. 2011. Effect of plant density and starter nitrogen fertilizer on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Kourosh) at Karaj conditions. Iranian Journal of Pulses Research 1: 11-20. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A. 1998. Sustainable agriculture, knowledge or method? Agricultural Economic and Development 20: 53-72. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2013a. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crops Research In Press. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansoori, H. 2013b. Strategies of transition to sustainable agriculture in Iran II- Inputs replacement and designing agroecosystem. Agroecology Journal. In Press. (In Persian with English Summary)

Krogh, K.A., Halling-Sorensen, B., Mogensen, B.B., and Vejrup, K.V. 2003. Environmental properties and effects of nonionic surfactant adjuvants in pesticides: A review. Chemosphere 50: 871-901.

Lamm, F.R., and Trooien, T.P. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production. A review of 10 years of research in Kansas. Irrigation Science 22: 195-200.

Malakuti, M.J., Baba-Akbari, M., and Nezami, S. 2009. Effect of different resources of fertilizer on yield, nitrogen use and recovery efficiency of wheat. Journal of Science of Water and Soil 49: 129-139. (In Persian with English Summary)

Mansourian, S., Alizadeh, H., and Zand, E. 2008. Effect of dose and application time of Metribuzin on grain yield of different wheat varieties. Journal of Weed Science 4: 65-74. (In Persian with English Summary)

Mirlohi, A.F., Haj-Abbasi, M.A., Razavi, J., and Ghanaati, A. 2001. Assessing response of different cultivar of maize to

conventional and no-tillage in Esfahan. Journal of Science of Water and Soil 5: 117-125. (In Persian with English Summary)

Mirlohi, A.F., Mohammadi, R., Razavi, S.J., Majidi, M.M., and Nourbakhsh, F. 2009. Effect of organic fertilizers and split application of nitrogen on yield and yield components of rice. Journal of Plant Production 16: 29-43. (In Persian with English Summary)

Mirshekari, B., Darbandi, S., and Ejlali, L. 2007. Effect of irrigation intervals, nitrogen rate and nitrogen splitting on essence of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 9 (2):142-156. (In Persian with English Summary)

Mobasser, H.R., Bahadori, M., and Eftekhari, A. 2007. Effects of planting date, nitrogen aplitting and rhizobium bacteria on yield and yield component of soybean in Neka. Iranian Journal of Agricultural Science 4: 243-255. (In Persian with English Summary)

Musazade, M., and Baradaran, R. 2011. Study of effect of density and time of folair application of nitrogen on oil and essence yield of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 9: 422-427. (In Persian with English Summary)

Mustafavi-rad, M., Mahmoodi, V.R., and Tahmasbi, Z. 2007. The effect of nitrogen fertilizer form on dry matter remobilization, yield and some of agronomic traits of three wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 13: 1-8. (In Persian with English Summary)

Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. Field Crops Research 96: 363-373.

Najafi, P. 2006. Effect of using sub-surface drip irrigation to increasing WUE in irrigation of some crops. Pajouhesh and Sazandegi 73: 156-162. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani, P., and Beheshti, A.R. 2007. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran 459 p. (In Persian)

Noorju, A., Hanare, M., and Hatami, S. 2010. Effect of black poly ethylene cover and planting design on yield and WUE of tomato. Iranian Journal of Irrigation and Draining 2: 242-250. (In Persian with English Summary)

Nurgholi-Pur, F., Bagheri, Y., and Elahi, M.L. 2008. Effect of different resources of N fertilizer on yield and quality of wheat. Journal of Research in Agricultural Science 4: 120-129. (In Persian with English Summary)

Penner, D. 2000. Activator adjuvants. Weed Technology 14: 785-791.

Rashed Mohassel, M.H., Aliverdi, A., and Rahimi, S. 2011. Optimizing dosage of sethoxydim and fenoxaprop- p-ethyl with adjuvants to control wild oat. Industrial Crops and Products 34(3): 1583-1587.

Sadeghipur, A., and Faramarzi, A. 2008. Effect of alternative irrigation on seed yield and water use efficiency of bean cultivars. Journal of Modern Science of Agriculture 10: 73-74. (In Persian with English Summary)

Sadeghzade, S., Taleghani, D., Kashani, A., Siadat, S., and Noormohamadi, G. 2009. Effect of sowing date, planting density and cultivar on solar radiation interception indices in sugar beet I. Radiation interception and extinction coefficient. Sugerbeet Journal 25: 53-69. (In Persian with English Summary)

Salahi-Farahi, M., and Faraji, A. 2010. Effect of foliar application nitrogen and different irrigation levels on yield of canola (Option 500 cultivar) in Golestan. Journal of Soil Research 134: 124-127. (In Persian with English Summary)

Soleimani, R. 2008. Effect of rate and time of nitrogen application on grain yield and its components in spring safflower (*Carthamus tinctorious* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 10(1): 47-59. (In Persian with English Summary)

Taherkhani, M., Golchin, A., and Noormohammadi, G. 2005. The effects of different rates of sulfur coated urea and other nitrogen fertilizer sources on seed yield and quality of winter rapeseed. Journal of Agricultural Science 5: 179-191. (In Persian with English Summary)

Tusi, P., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2012. Effect of level and time of folair application of N on seed yield and NUE of canola as secondary planting. Iranian Journal of Crop Science 42: 387-396. (In Persian with English Summary)

Ziaeian, A.H., and Keshavarz, P. 2010. Increasing of NUE in potato by slow losses N fertilizers. Journal of Soil Researches 24: 107-115. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 3, Fall 2017, p. 618-637

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 3، پاییز 1396، ص. 637-618

Strategies of Transition to Sustainable Agriculture in Iran
I- Improving Resources Use Efficiency

A. Koocheki[1*], M. Nassiri Mahallati[1], R. Moradi[2] and H. Mansoori[3]
Submitted: 19-10-2013
Accepted: 12-12-2014

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansoori, H. 2017. Strategies of transition to sustainable agriculture in Iran. I- Improving resources use efficiency. Journal of Agroecology 9(3): 678-637.

Introduction

Fast switch to sustainable agriculture patterns is not impossible for many farmers. However to achieve perfect sustainable in agro-ecosystems which are friendly with environment, changing conventional to sustainable agriculture should be carried slowly. For this purpose, three effective steps were mentioned: first level is increasing of inputs efficiency such as fertilizer and chemical pesticides which used in conventional agriculture now. Second level is related to changing inputs by friendly environmental inputs as alternative inputs and the final level is redesigning of the agro-ecosystems that its function is based on series of ecological process. On the other hand, achieving sustainable agriculture requires higher efficiency of inputs and many process should be replaced by friendly environmental inputs with chemical inputs and new system is designed based on ecological principles. The objective of this study was to offer approaches for improving inputs use efficiency as first step to transition from conventional to sustainable agriculture.

Material and Methods

In order to evaluate the transition status from conventional to sustainable agriculture in agro-ecosystems of Iran, scientific resource and researches that was performed about increasing of inputs efficiency as first step to transition from conventional to sustainable agriculture was studied. For this purpose, 177 studies that had been performed about using different inputs and its efficiency in various crops were assessed. Applied inputs included water, nitrogen and herbicides and studied plants included cereals (wheat, barley, rice, maize and sorghum), beans (bean, pea and lentil), oil crops (canola, sunflower, safflower and sesame), medicinal plants, potato, sugar beet and cotton. In this study, average and range of inputs use efficiency in different crops and also the relationship between increasing of inputs application with their use efficiency was assessed. In the next part of the study, the potential of increasing resource use efficiency without increase in inputs was evaluated. Management approaches was considered as main factor to increase in resource use efficiency without increasing of inputs.

Results and Discussion

Many studies have shown that the range of resource use efficiency for various crops is different in Iran. Nitrogen use efficiency for fine-grain cereals ranged from 4.76 to 83 and for coarse-grain cereals was 3.6-94 by 37 and 44 as average, respectively. The higher mean resource use efficiency in coarse-grain cereal in comparison to fine-grain cereal was due to higher yield of coarse-grain cereal. On the other hand, a coarse-grain cereal use lower nitrogen to produce one kilogram grain than fine-grain cereal. Potato has the highest nitrogen use efficiency by 190 as average and 22-510 as its ranging among other crops. Medicinal plants had the lowest mean of nitrogen use efficiency. The results of the investigations illustrated that there was a negative relation between increasing of nitrogen amount and its use efficiency in fine-grain cereal by 0.65 as determination coefficient. The

1, 2 and 3- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Former PhD student of Crop Ecology (Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman) and Former PhD student of Crop Ecology (Assistance Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan), Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v9i3.27137

trend of water use efficiency showed that increasing of extra water had adverse effect on its use efficiency in all crops. Reduction slope of water use efficiency by applied water amount in various crops was different and the highest decreasing was for potato as -10.6 and the lowest decreasing was -0.27 for sugar beet. Water use efficiency for oil crops was reported from 15-111 kg per cm water. Some solutions was reported to improve nitrogen use efficiency such as type of fertilizer source, split of nitrogen application and foliar application, also changing common irrigation to pressurized irrigation methods, applying mulches and reduced tillage to also improve of water use efficiency. To improve other inputs use efficiency especially herbicides, using advanced technologies, splitting application time and mixed them with additives such as adjuvant and oils was suggested. According to the findings of this study, the positive relation was observed between water and nitrogen use efficiency with 0.049 determination coefficient, whereas it was not observed the clear correlation between other inputs.

Conclusion

In general, it is necessary to adopt transferring these findings and solutions to farmers in Iran.

Keywords: Adjuvant, Ecological, Mulch, Planting Pattern, Productivity, Split