نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۵- شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱

اثر افزایش تنوع ژنتیکی ازطریق کشت مخلوط ارقام گندم بر کارآیی مصرف نیتروژن و بهره‌وری آب

The effect of increasing genetic diversity through the mixture of wheat cultivars on nitrogen efficiencies and water productivity

خیرالله خیرخواه[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۳]، سرور خرم دل[۴] و رامین نظریان [۵]

۱. استادیار گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بغلان- افغانستان و دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ، (نگارنده مسئول)
۳. استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵. دانشیار گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرات- افغانستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2023.361206.1632

چکیده

خیرخواه، خ.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، خرم دل، س.، نظریان، ر.، . اثر افزایش تنوع ژنتیکی ازطریق کشت مخلوط ارقام گندم برکارآیی مصرف نیتروژن و بهره‌وری آب
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵ - شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱ صفحه: ۲۷-۰۱

پژوهشی به‌منظور ارزیابی اثر افزایش تنوع ژنتیکی درکشت مخلوط ردیفی ارقام گندم بر بهبود کارایی استفاده از منابع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در دو سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص و مخلوط‌های دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه ارقام گندم حیدری، پیشگام، پیشتاز و فلات بود. نتایج نشان داد که اثر تیمار بر صفات مورد بررسی شامل بهره وری مصرف آب، مقدار نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف وکارایی جذب نیتروژن در کشت خالص و مخلوط ارقام مختلف گندم معنی دار بود ولی تفاوت معنی داری درکارایی تبدیل نیتروژن مشاهده نشد. بیشترین مقدار نیتروژن جذب‌شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن مربوط به کشت مخلوط سه‌گانه ارقام پیشتاز همراه با حیدری و فلات (به ترتیب با میانگین۱۱۱/۱۲ کیلوگرم در هکتار، ۳۶/۶۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن و ۷۸/۲۱ درصد) و بیشترین کارایی تبدیل نیتروژن متعلق به تیمار پیشگام همراه با پیشتاز و فلات (۴۷ درصد) بود. اثر تیمار بر میزان بهره وری مصرف آب نیز معنی دارشد و بیشترین بهره وری مصرف آب از کشت مخلوط پیشتاز و حیدری (بامیانگین۱/۴۱کیلوگرم بر مترمکعب آب) حاصل گردید. براساس یافته های این پژوهش می‌توان چنین اظهار داشت که افزایش تنوع ژنتیکی از طریق کشت مخلوط ارقام گندم به عنوان راهکاری اگرواکولوژیکی جهت بهبود بهره وری مصرف آب و نیتروژن، ازدیاد عملکرد و جلوگیری از آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه کودهای شیمیایی به کشاورزان قابل توصیه است.

واژه های کلیدی: آلودگی زیست محیطی، ازدیاد عملکرد، کارایی استفاده از منابع.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: (*- Corresponding author. Email: akooch@um.ac.ir)

مقدمه

بوم نظام‌های زراعی نوعی نظام‌های اکولـوژیکی بوده که کارکرد آن‌ها در جهت تولیدات کشاورزی سازمان‌دهی و تولید بر اساس مصرف نهاده‌های خارجی تعیین می گردد (Koocheki *et al.,* 2004) نتیجه ساده‌سازی و کاهش تنوع ژنتیکی، ایجاد نظام‌های دست ساز انسان از طریق مداخله وی می باشد، در صورتی که در اکوسیستم‌های طبیعی، تنظیم داخلی حاصل تنوع گیاهی موجود است (Alteri, 1999). با ساده‌سازی نظام های زراعی بر مبنای انتخاب تناوب‌های زراعی نامناسب نظام های تک کشتی، گیاهان زراعی برخوردار از ژنوتیپ‌های یکسان در مزارع و ریشه‌کنی علف‌های هرز با کاربرد علف کش های شیمیایی موجب آلودگی محیط‌زیست و ایجاد مقاومت در برخی از علف‌های هرز و آفات و هجوم خسارت زایی شده است (Mclaughlin, 1996). اطلاعات موجود در مورد اثر متقابل بین تنوع و کارکرد بـوم نظام‌های زراعی اندک است، البته توافق عمومی براین است که افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی بوم نظام‌های زراعی را افزایش می‌دهد و از این طریق، فرآیندهای آن‌ها را تقویت می کند. براین اساس، تنوع ژنتیکی گیاهان یکی از اجزاء کلیدی بوم نظام های کشاورزی می باشد (Singh, 1990) که طی میلیون‌ها سال انتخاب طبیعی و شرایط اقلیمی باعث ایجاد تنوع در منابع ژنتیکی شده است (Guerino et al., 1995). با اینکه تنوع در انتخاب ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی توسط کشاورزان موجب کاهش ریسک تولید و نوسانات سالانه عملکرد می‌شود (Shand, 1997)، شواهد موجود نشان‌دهنده فرسایش شدید ژنتیکی گونه های زراعی است که این امر از گرایش به سمت واریته های پر محصول و اصلاح‌شده ناشی می‌شود.

یکی از راهکارهای ارتقاء کیفیت و پایداری تولید گندم افزایش تنوع ژنتیکی در نظام‌های کشت بر اساس الگوهای کشت توأم ردیفی می‌باشد. باوجود نقش مؤثر سیستم‌های کشت توأم ردیفی در افزایش تنوع ژنتیکی نظام‌های زراعی، وجود این نوع الگوی کشت در نظام‌های زراعی ایران بسیار محدود است. افزایش تنوع ژنتیکی از طریق کشت مخلوط ارقام مختلف موجب می‌شود که گونه‌های مختلف با دارا بودن خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه بتوانند بهره‌برداری بهتر از محیط و منابع مانند آب، عناصر غذایی و نور به عمل‌آورند (Faiz abadi & Emamverdian, 2012). درمقایسه کشت خالص و مخلوط ارقام گندم گزارش شد که عملکرد مخلوط ارقام نسبت به خالص آن‌ها برتری داشت (Baumannet et al., 2001). همچنین در مطالعه ای روی میزان تنوع ژنتیکی مخلوط ارقام گندم، بیشترین عملکرد دانه در مخلوط دو رقم و کمترین آن در مخلوط پنج رقم مشاهده شد. بیشترین نسبت برابری زمین برای عملکرد دانه و بیولوژیک درکشت مخلوط دو رقم وکمترین آن‌ها درکشت مخلوط پنج رقم حاصل گردید. بر این اساس، این محققان چنین نتیجه گرفتند که عملکرد کشت مخلوط ارقام گندم برکشت خالص یک رقم برتری داشته ولی با توجه به افزایش رقابت درون‌گونه‌ای باید

از اختلاط بیش از دو تا سه رقم خودداری شود (Khazai et al., 2010).

در بررسی‌های انجام‌شده در مورد اثر تنوع ژنتیکی و برتری عملکرد مخلوط ارقام نسبت به رقم خالص، نتایج نشان داده اند که افـزایش عملکرد ممکن است ناشی از افزایش جذب یا تسخیر منابع، افزایش کار آیی مصرف منابع یا هر دو مورد به‌صورت تـوأم باشـد (Nasiri Mahallati et al., 2011). افـزایش کارایی مصرف عناصر غذایی ازجمله نیتروژن درکشت مخلـوط در مقایسه با تک‌کشتی ممکن است به این دلیل باشد که اگرچه دو گونه در شرایط مخلوط، درمکان و یا در زمان یکسان برای جـذب عناصر غذایی رقابت نکنند، اما ساختار ریشه و فنولوژی گونه های همراه به ایجاد حالت تکمیل‌کنندگی در تسخیر منابع منجر شده و این امر درنهایت موجب افزایش کـارایی مصـرف منابع درکشت مخلوط شده است (Koocheki et al., 2011).

برخی مطالعات نشان داده که افزایش تنوع ژنتیکی از طریق کشت مخلوط ارقام گندم منجر به افزایش کارایی مصرف آب نسبت به کشت خالص هر رقم در شرایط کمبود آب شد (Fang et al., 2014). تحقیقات نشان داده است که تنوع ژنتیکی ارقام باعث بهبود استفاده از آب می‌شود. در این رابطه، مورفولوژی متفاوت ریشه سبب حداکثر بهره‌برداری از آب در طبقات مختلف خاک می‌گردد (Kashti, 2001). همچنین در بررسی مکانیسم‌های نگهداری آب در سیستم‌های متنوع ژنتیکی گزارش شد که سیستم‌های کشت مخلوط ارقام می‌تواند به دلیل سیستم ریشه ای متفاوت سبب بهبود استفاده از آب شوند (Zank et al., 2012). در مطالعه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش شد هنگامی‌که ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش آب به‌صورت مخلوط کشت شدند، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی به‌طور معنی داری بیشتر از کشت خالص بود (Merdoraqi, 2018). نتایج برخی از مطالعات نیز نشان داده است که اثر آبیاری برجذب نیتروژن مثبت است و برعکس فراهمی نیتروژن، جذب آب را بهبود می‌بخشد و کارایی مصرف هر یک از این نهاده‌ها زمانی که هر دو فاکتور در سطح کفایت هستند، حداکثر خواهد بود (Di Paolo & Rinaldi, 2008).

در ایران علی رغم تنوع ژنتیکی بسیار خوب ارقام گندم که در بیش از نیم‌قرن اخیر اصلاح‌شده‌اند، مطالعه جامعی در مورد تأثیر کشت مخلوط ارقام این گیاه بر عملکرد و کارآیی استفاده آب و نیتروژن انجام نشده است، لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر افزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم بر عملکرد و شاخص های کارآیی استفاده از آب و جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن درکشت مخلوط ردیفی و درهم ارقام مختلف رایج در کشور می‌باشد.

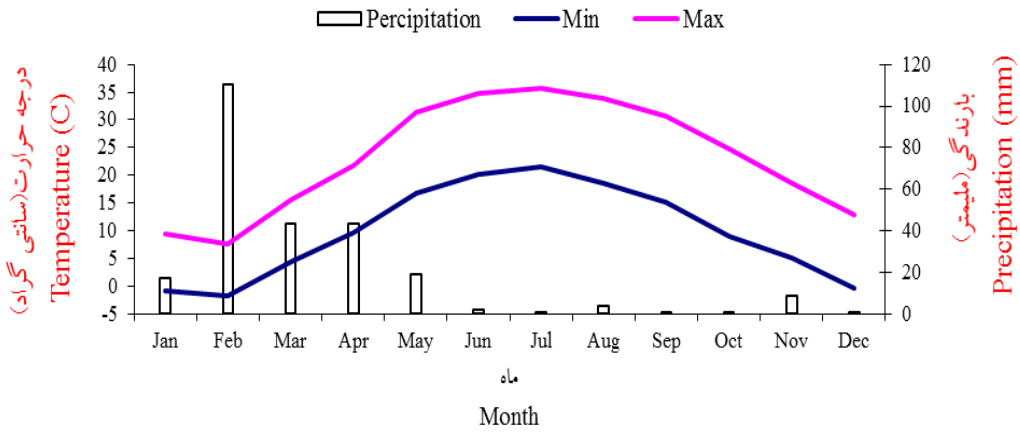
مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع درده کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) با ۱۵ تیمار و سه تکرار در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو سال زراعی

(۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) اجرا گردید. تیمارها شامل کشت خالص و مخلوط‌های دوتایی، سه تایی و چهارتایی چهار رقم گندم حیدری، پیشگام، پیشتاز و فلات بود. این ارقام از نظر تاریخ آزادسازی متفاوت بوده و به ترتیب در دهه‌های ۶۰، ۷۰،۸۰ و ۹۰ به کشاورزان معرفی‌شده و همه ارقام در گروه رسیدگی مشابه‌ی قرار دارند. دراین آزمایش، ارقام در کشت مخلوط به‌صورت جایگزینی کشت گردیدند.

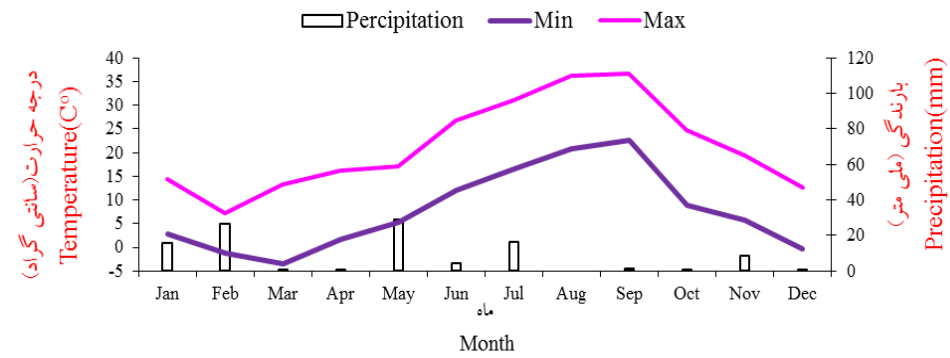
عملیات آماده سازی بستر بذر در اوایل پاییز آغاز و کاشت در نیمه اول آبان به صورت خشکه کاری انجام شد. براساس نتایج آزمایش خاک (جدول ۱)، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت با خاک مخلوط و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک‌سوم هنگام کاشت، یک‌سوم دیگر هنگام پنجه زدن و قسمت سوم هنگام سنبله رفتن) استفاده گردید.

مقدار بذر مصرفی برابر ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کشت خالص و مخلوط در نظر گرفته شد. از آنجا که آزمایش طی دو سال در دو زمین جداگانه انجام شد، در سال دوم بدلیل بالا بودن مقدار پتاسیم در خاک مقدار کود مصرفی سولفات پتاسیم به یک چهارم تقلیل یافت. ابعاد هر کرت ۴×۲ متر با هشت ردیف کاشت، فاصله بین ردیف‌های ۲۵ سانتی متر و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر منظور گردید. کرت‌های کشت خالص شامل هشت ردیف کشت از یک رقم، کشت مخلوط دوگانه (چهار ردیف رقم حیدری+ چهار ردیف رقم پیشگام)، کشت مخلوط سه‌گانه شامل (سه ردیف رقم حیدری + دو ردیف رقم پیشگام + سه ردیف رقم پیشتاز) و کرت‌های مخلوط چهارگانه (دو ردیف رقم حیدری+ دو ردیف رقم پیشگام + دو ردیف رقم پیشتاز+ دو ردیف رقم فلات) بصورت کشت مخلوط ردیفی انجام شد. بذرهای گندم بعد از ضدعفونی با قارچ کش ویتاواکس به نسبت دو در هزار بصورت دستی کشت گردید و بلافاصله نسبت به آبیاری اقدام شد. میزان آب مصرف‌شده برحسب مترمکعب با استفاده از کنتور در طی دوره رشد اندازه‌گیری گردید و مقدارآب باران از طریق مرکز هواشناسی خراسان رضوی تعیین شد. لازم به ذکر است که ۷۵ درصد بارش سالانه بعنوان بارندگی موثر در نظر گرفته شد. مقدار بارندگی درسال اول ۲۷۶۹ متر مکعب برهکتار و میزان آب مصرفی ۲۶۱۳ متر مکعب برهکتار و مجموع آب مصرفی ۵۳۸۲ مترمکعب آب و در سال دوم، مقدار بارندگی ۸۷۴ مترمکعب برهکتار و میزان آب مصرفی ۴۲۵۳ مترمکعب در هکتار و مجموع آب مصرفی ۵۱۲۶ متر مکعب آب بود. پراکندگی مقدار بارندگی و درجه حرات ماهانه در طی دوسال آزمایش در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. آب مصرفی با استفاده از کنتور ثبت گردید در طول فصل رشد شیوع بیماری و آفت خاصی در مزرعه مشاهده نشد، ولی در مرحله پنجه زنی جهت جلوگیری از خسارت علف‌های هرز بر عملکرد با آنها به صورت مکانیکی و با دست مبارزه گردید.



شکل ۱- حداقل و حداکثر دما و مقدار بارندگی ماهانه در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸.

. Minimum and maximum temperature and monthly rainfall in 2019-2020.[qq1]Fig. 1



شکل ۲- حداقل وحد اکثر دما و مقدار بارندگی ماهانه در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (منبع: سازمان هواشناسی خراسان رضوی)

. Minimum and maximum temperature and monthly rainfall in 2020-2021.[qq2]Fig. 2

جدول ۱- ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک زمین آزمایش در دو سال زراعی۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰

Table 1. Soil physical and chemical properties at the experemintal field during the two cropping seasons (2019-2020

سال زراعی Cropping season	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسید یته pH	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن کل Total N %	کربن آلی Organic carbon %	ماده آلی Organic matter %	بافت Texture
2019-2020	1.39	7.84	104.07	16.77	0.059	0.62	0.95	سیلتی لومی Silty loam
2020-2021	0.79	7.88	715.4	19.25	0.064	0.64	1.09	سیلتی لومی Silty loam

برای اندازه گیری میزان نیتروژن موجود در اندام های هوایی گیاه در انتهای دوره رشد، نمونه‌های ۱۰۰ گرمی از دانه و کاه و کلش برداشت و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه کجلدال و روش نیلسون و سامرز (Nelson & Sommers, 1973) تعیین گردید. لازم به ذکر است برای محاسبه کارایی نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. نیتروژن کل خاک (جدول ۱) تمام فرم‌های این عنصر را در بر می‌گیرد، در حالی‌که تنها در حدود سه درصد از این نیتروژن در طی فصل رشد برای گیاهان قابل جذب است. بر این اساس، نیتروژن خاک با محاسبه وزن یک هکتار خاک (حاصلضرب حجم در عمق ۳۰ سانتیمتری در وزن مخصوص ظاهری خاک) با استفاده از نیتروژن کل خاک با احتساب سه درصد نیتروژن قابل جذب برآورد شد (Cassman et al., 2002).

به منظور محاسبه کارایی جذب[۱] (NUpE)،کارایی تبدیل[۲] (NUtE) و کارایی مصرف نیتروژن[۳] (NUE) از معادلات زیراستفاده شد (Timsina et al., 2001):

رابطه (۱) $NUpE = \text{AN (kg.ha}^{-1}\text{)/TN (kg.ha}^{-1}\text{)}$

رابطه (۲) $NUtE = \text{GY (kg.ha}^{-1}\text{)/AN (kg.ha}^{-1}\text{)}$

رابطه (۳) $\text{N}UE = NUpE \times NUt\text{E}$

در این معادلات، AN نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN کل نیتروژن فراهم خاک و مصرف شده و GY عملکرد دانه است. برای محاسبه بهره وری آب (WP) از رابطه (۴) استفاده شد (Naderianfar & Dehghan, 2020):

معادله(۴)

$$WP = \frac{Y}{I}$$

که در آن Y عملکرد بر حسب (کیلوگرام درهکتار) و I عمق آبیاری (متر مکعب در هکتار) می‌باشد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، یک متر مربع (۰/۵× ۲ متر) از قسمتی که طی فصل رشد دست نخورده باقی گذاشته شده بود، با رعایت اصول حاشیه ای به صورت کف بر برداشت شد. لازم به ذکر است که نسبت ارقام کشت شده در مساحت نمونه برداری یک متر مربع برای تیمارهای کشت خالص، مخلوط دوگانه و چهارگانه برابر بود (زیرا تعداد ردیف‌های برداشت شده از هر کرت برای هر رقم باهم مساوی بودند). جهت رعایت نسبت فوق در مساحت نمونه برداری در مخلوط سه گانه از هر رقم (حیدری، پیشگام و پشتاز) دو ردیف انتخاب شد و داده‌های آن که بیانگر ۷۵٪ یک کرت نسبت به تیمارهای کشت خالص، مخلوط دوگانه و چهارگانه بود ثبت گردید. سپس جهت یکسان سازی با کرت‌های تیمارهای دیگر اعداد حاصل در ضریب مربوطه (۱/۳۳) ضرب شد. پس از خشک شدن نمونه ها در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد آون به مدت ۷۲ساعت، دانه ها از سنبله جدا گردید و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل اندازه گیری گردید.

داده‌های دو سال آزمایش به‌صورت مرکب آنالیز واریانس شدند. به این منظور، ابتدا

۱ Nitrogen Uptake Efficiency
۲ Nitrogen Utilization Efficiency
۳ Nitrogen Use Efficiency

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) کارایی مصرف، جذب و تبدیل نیتروژن درکشت خالص و مخلوط ارقام گندم طی دو سال آزمایش (۱۳۹۸- ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹).

Table 2. Combined analysis of variance (mean squares) for nitrogen uptake, nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen uptake efficiency (NUpE) and nitrogen utilization efficiency (NUtE) during the two cropping seasons (2019-2020 and 2020-2021)

Source of variation منابع تغییر	Df درجه آزادی	N- uptake جذب نیتروژن	NUpE کارایی جذب نیتروژن	NUtE کارایی تبدیل نیتروژن	NUE کارایی مصرف نیتروژن	WUE (Wp) بهره‌وری آب
سال Year	1	604.3*	0.462^{ns}	491.6^{ns}	417.5^{ns}	0.023 ^{ns}
تکرار (سال) Replication (Year)	4	77.7	0.301	231.9	211.6	0.021
تیمار Treatment:	14	1422.5*	411.3**	46.9**	101.2**	0.067*
خالص با دوگانه Pure vs double	1	119.3**	50.6**	5.1*	11.4**	0.009*
خالص با سه‌گانه Pure vs triple	1	102.2*	52.7**	6.3*	11.1**	0.007*
خالص با چهارگانه Pure vs quadruple	1	121.4**	49.6**	4.9^{ns}	10.5**	0.007*
دوگانه با سه‌گانه Double vs triple	1	111.2**	52.3**	3.8^{ns}	9.4**	0.006*
دوگانه با چهارگانه Double vs quadruple	1	91.7*	49.8**	3.5^{ns}	9.6**	0.004^{ns}
سه‌گانه با چهارگانه Triple vs quadruple	1	88.5*	46.6*	2.6^{ns}	8.4*	0.005^{ns}
باقیمانده Residual	8	788.2	109.7	20.7	40.8	0.029
سال * تیمار Year x Treatment	14	530.9^{ns}♦	121.4^{ns}	12.7^{ns}	27.1^{ns}	0.018 ^{ns}
خطا Error	56	388.9	92.7	8.3	19.5	0.029
ضریب تغییرات CV (%)		9.23	11.40	10.33	9.08	12.76

*و **به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطوحاحتمال پنج و یک درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

* and ** is a significant at 5 and level and ns is no signifcatnt different between treatments.

N: Nitrogen, NUE: Nitrogen Use Efficiency, NUpE: Nitrogen uptake efficiency, NUtE: Nitrogen utilization efficiency

♦ برای آزمون F در مقایسات بین گروهی واریانس سال در تیمار نیز مشابه واریانس تیمار تفکیک شد و هر جزء این واریانس در آزمون F بعنوان خطا در نظر گرفته شد. البته برای پرهیز از بزرگ شدن جدول این واریانس‌ها نشان داده نشده است.

♦For F-test, when comparing between the groups, the year x treatment variance was separated similar to the treatment variance and each component of this variance was considered as error in the F-test, however, to prevent the table becoming too large, these variances were not shown.

واریانس خطای آزمایش در هر سال برای هر صفت تعیین شد و پس از اجرای آزمون بارتلت و اطمینان از همگنی واریانس خطای دو سال، تجزیه مرکب اجرا گردید. برای مقایسه کشت‌های خالص با مخلوط‌های ۲ گانه، سه‌گانه و چهارگانه ارقام مقایسات بین گروهی و برای مقایسه ترکیب‌های مختلف ارقام در مخلوط‌ها مقایسات درون گروهی انجام شد. به این منظور از روش مقایسات مستقل و غیر مستقل (مقایسات متعامد) هر کدام با یک درجه آزادی استفاده شد و واریانس بین گروه‌ها و درون هر گروه‌ها با آزمون F مقایسه شدند. کلیه آنالیزهای آماری با نرم‌افزار Minitab ver. 18.0 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

۱- کارایی استفاده از نیتروژن درکشت خالص ارقام گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب

مقدار نیتروژن جذب‌شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن نشان داد که از نظر مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن بین تیمارهای مورد آزمایش اختلاف معنی داری وجود دارد ($P\leq0.01$)، اما اثرات متقابل سال و تیمارهای مورد آزمایش معنی دار نشد (جدول۲). همچنین تفاوت معنی داری در مقایسات کارایی تبدیل نیتروژن بین ارقام مختلف گندم درکشت خالص با مخلوط چهارگانه، مخلوط دوگانه با سه‌گانه و چهارگانه و مخلوط سه‌گانه با چهارگانه مشاهده نگردید. مقایسه عملکردکارایی کشت های خالص ارقام گندم نشان داد کهٔ بیشترین مقدار نیتروژن جذب‌شده، کارایی مصرف، کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن متعلق به رقم پیشتاز (به ترتیب ۸۵/۶۲ کیلوگرم در هکتار، ۲۹/۳۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن، ۶۱/۴۳ درصد و ۴۷/۷۱ کیلوگرم برکیلوگرم) و کمترین آن متعلق به رقم پیشگام (به ترتیب ۶۷/۶۱ کیلو گرم در هکتار، ۲۰/۴۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن، ۴۵/۳ درصد و ۴۴/۸۱ کیلوگرم برکیلوگرم) بود (شکل ۱).

در مطالعه‌ای تنوع ژنتیکی ارقام گندم، انتخاب ارقام کارآمد، رهیافتی مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی بیان شد و وجود تنوع ژنتیکی عامل اصلی در بیشتر بودن کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در مورد بسیاری از گونه‌های زراعی ازجمله گندم گزارش گردید (Balint *et al.,* 2001). در مطالعه‌ای سه ساله در مکزیک بر روی تنوع ژنتیکی ۱۰ رقم جدید و قدیم گندم در سطوح نیتروژن گزارش شد که بین ارقام پابلند و پاکوتاه و همچنین بین ارقام پاکوتاه ازنقطه نظر جذب نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن دانه تفاوت وجود دارد(Ortiz–Monasterio et al., 1997). در مطالعه‌ای که توسط ون سانفورد و مک کان (Van Van Sanford &Mackown,1986) درامریکا انجام شد، تفاوت معنی‌داری در کارایی مصرف نیتروژن بین ۲۵ رقم گندم مشاهده شد. دوگا و وینز (Dhugga & Waines,1989) در پژوهشی دوساله، تنوع ژنتیکی ۱۲ رقم گندم شامل ارقام جدید و قدیم را در ۳ سطح نیتروژن مورد مطالعه قرارداده و دریافتند که از نظرکارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن بین ارقام، تفاوت وجود دارد و کارایی جذب نیتروژن ۶۲ تا ۷۰ درصد در ایجاد تفاوت کارایی مصرف نیتروژن نقش داشته است.

بالا بردن تنوع گونه‌ای اگر چه مزایای بسیاری ازجمله افزایش عملکرد و کارآیی استفاده از منابع دارد ولی به دلیل روش‌های مدیریت و عملیات زراعی متفاوت گونه‌ها در عمل با مشکلاتی مواجه است، بنابراین افزایش تنوع ژنتیکی از طریق کشت مخلوط ارقام به دلیل نیازها و مدیریت مشابه آنها اخیرا مورد توجه قرار گرفته است. البته موفقیت کشت مخلوط ارقام در صورتی تضمین خواهد شد که ابتدا مشخص شود، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در بین ارقام یک گونه (در این مطالعه گندم) از نظر عملکرد و کارآیی استفاده از منابع (نیتروژن) وجود دارد. مطالعات انجام شده در کشور موید وجود چنین تنوع ژنتیکی در بین ارقام گندم است. برای مثال،

در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام مختلف گندم (پیشتاز، فلات توس، شیراز و قدس) مشخص شد که رقم پیشتاز با میانگین ۴۴۲۵ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین عملکرد درمیان همه ارقام بوده وکمترین مقدار عملکرد درتیمار رقم شیراز مشاهده گردید (Faiz Abadi & Emamverdian, 2011). همچنین در مطالعه تنوع ژنتیکی ۱۶ رقم قدیم و جدید گندم گزارش شد که عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن رقم جدید آرتا نسبت به رقم قدیمی اینیا به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (Kahrizaki et al., 2013). در بررسی تنوع ژنتیکی ۳۹ رقم مختلف گندم زمستانه ازنظر صفاتی مانند ارتفاع، توارث و سال معرفی، ملاحظه شد که دامنه وسیعی از تفاوت بین ارقام (۲۴ تا ۴۲ درصد) ازنظر کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه، با توجه به میزان کاربرد نیتروژن بین ارقام وجود داشت (Barraclough et al., 2010). محققان دیگر نیز در پژوهش‌های مختلف به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج این پژوهش نیز در راستای تحقیقات فوق بود، بطوری‌که تفاوت معنی داری بین ارقام مختلف گندم از نظر مقدار عملکرد وکارایی جذب و مصرف نیتروژن مشاهده شد. درمطالعه‌ای با ارزیابی شاخص‌های کارایی نیتروژن در فرایند تاریخی اصلاح ارقام گندم در ایران نتیجه گرفته شد که بیشترین کارایی جذب در ارقام قدیمی روشن و طبسی (به ترتیب ۸/ ۶۱ و ۶۱/۳ درصد) بوده و کمترین کارایی جذب ۴۸/۶ درصد در رقم جدید سیروان مشاهده شد (Jafari el al., 2018). در بررسی دیگری بر تنوع ژنتیکی ارقام گندم مشاهده نمودند که تفاوت ارقام زراعی از نظر کارایی جذب نیتروژن در شرایط آب و هوایی کرمانشاه معنی دار بود، بطوری‌که بیشترین کارایی جذب نیتروژن (۰/۴۷ درصد) در رقم پارسی و کمترین آن (۰/۳۹ درصد) برای رقم اروم گزارش شد. همچنین صرف نظر از میزان کاربرد کود نیتروژن در بین ارقام گندم، نیز از نظر کارایی تبدیل نیتروژن تفاوت وجود داشت، به طوری که بیشترین کارایی تبدیل (۹۴/ ۵۲کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) در رقم پیشگام و کمترین میزان برای رقم زارع (۴۳/۵۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) مشاهده شد (Mondani et al., 2019). ارقام گندم از نظر تنوع ژنتیکی دارای عملکرد و کارایی های نیتروژن متفاوتی هستند. در این پژوهش، بیشترین مقدار نیتروژن جذب‌شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن متعلق به رقم پیشتاز گزارش شد. همچنین بیشترین مقدار عملکرد دانه در بین کشت خالص ارقام نیز متعلق به رقم پیشتاز بود و دلیل این بهبود احتمالا مربوط به خصوصیات ژنتیکی برتر رقم پیشتاز می باشد (شکل۱). یافته‌های این تحقیق موید آن است که استفاده صحیح از تنوع ژنتیکی بالقوه ارقام گندم اصلاح شده در کشور از طریق ترکیب مناسب این ارقام در کشت مخلوط نقش قابل توجهی در افزایش کارآیی استفاده از نیتروژن خواهد داشت که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- کارایی استفاده از نیتروژن درکشت مخلوط دوگانه ارقام گندم

از نظر مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف، کارایی جذب وکارایی تبدیل نیتروژن

بین مخلوط های دوگانه ارقام گندم اختلاف معنی داری ($p\leq0.05$) وجود داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف، کارایی جذب وکارایی تبدیل نیتروژن متعلق به کشت مخلوط ارقام پیشتاز و حیدری (به ترتیب ۹۹/۱۲ کیلوگرم در هکتار، ۳۴/۵۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن، ۶۹/۳۳ درصد و ۴۹/۸۱ درصد) بدست آمد (شکل۲). با وجود این کشت مخلوط ارقام پیشتاز و فلات، پیشگام و فلات در مقام دوم و کشت مخلوط ارقام پیشتاز و پیشگام، پیشگام و حیدری در مقام سوم از نظر مقدار نیتروژن جذب شده قرارگرفتند. در حالی‌که تفاوت معنی داری بین مخلوط های پیشگام و پیشتاز، پیشگام و فلات، حیدری و فلات، حیدری و پیشگام از نظر کارایی مصرف نیتروژن مشاهده نشد ولی کمترین مقدار کارایی جذب راکشت مخلوط ارقام حیدری و فلات (۵۶/۸۱ درصد)، پیشتاز و پیشگام (۶۰/۳۱ درصد) به خود اختصاص دادند. بعلاوه کشت مخلوط ارقام پیشگام و پیشتاز (۴۳/۷۲ درصد) و پیشگام و فلات (۴۲/۴۱ درصد) کمترین مقدار کارایی تبدیل نیتروژن را داشتند (شکل ۲). از نظر مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف،کارایی جذب وکارایی تبدیل نیتروژن مخلوط دوگانه ارقام حیدری و پیشتاز نسبت به کشت خالص پیشتاز (به ترتیب ۱۳/۶۱، ۱۵/۰، ۱۱/۳۱ و ۴/۲۱ درصد) افزایش نشان داد. در حالی‌که این افزایش در کشت دوگانه حیدری و فلات نسبت به کشت خالص حیدری (به ترتیب ۱/۷۱، ۷/۱۲ و ۵/۵۲ درصد) و کشت خالص فلات (به ترتیب ۱۵/۲۱، ۱۳/۳۲ و ۱۵/۳۱ درصد) بود.

محققین معتقدند که بالابردن تنوع ژنتیکی (مشابه تنوع گونه ای) روش موثر و مفیدی برای مقابله با چالش‌های پیش روی کشاورزی مانند تغییرات اقلیمی و نیز کاهش مصرف از نهاده‌های شیمیایی می‌باشد. به بیان دیگر، از طریق کشت مخلوط ارقام می توان شاخص های کارایی استفاده ازمنابع را بالابرد و استفاده از نهاده‌های خارجی را کاهش داد (Newton et al., 2009). در دهه‌های اخیر کشت مخلوط ارقام غلات، بعنوان نوعی راهکار برای افزایش تنوع زیستی توجه فزاینده ای را بخود جلب کرده است (Kiær et al., 2009, 2012; Borg et al., 2018; Reiss & Drinkwater, 2018)، بویژه کشت مخلوط ارقام حساس و مقاوم گندم باعث کاهش بیماری های برگی می‌شوند (Wolfe, 1985; Finckh & Mundt, 1992; Zhu *et* al., 2000; de Vallavieille-Pope, 2004). همچنین کشت مخلوط ارقام باعث ایجاد نوعی سیستم بافری در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده و در نهایت، ثبات عملکرد را به دنبال دارد (*Østergård et al., 2005; Kaut et al., 2009; Creissen et al., 2016*). تحقیقات نشان داده است که اثر افزایش تنوع ژنتیکی ازطریق کشت مخلوط ارقام گندم بر مقدار عملکرد دانه و میزان پروتئین نیز معنی دار بود (Khairkhwah *et al.,* 2022). افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی ازجمله نیتروژن درکشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از این طریق قابل توصیف می باشد که اگرچه ممکن است دوگونه در شرایط مخلوط، درمکان و یا در زمان یکسان

برای جـذب منابع غذایی رقابت نکنند، اما ساختار ریشه و فنولوژی گونه های همراه به ایجاد حالت تکمیل‌کنندگی در تسخیر منابع منجر شده و این امر در نهایت، افزایش کـارایی مصـرف منابع درکشت مخلوط را به دنبال دارد (Koocheki *et al.,* 2011).

نتایج آزمایش در مورد ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در دو نوع کشت ارگانیک و سنتی در کانادا تایید کرد که کشت مخلوط ارقام گندم نسبت به کشت خالص آنها از مزیت بیشتری برخوردار بود. بطوری‌که مخلوط‌های گندم بهاره با کاهش کمتر یا بدون کاهش عملکرد، ثبات بیشتری را نشان داده و مخلوط دوگانه نسبت به مخلوط سه‌گانه ارقام گندم از عملکرد بیشتری برخوردار بودند (Kaut *et al.,* 2008). این ازدیاد عملکرد با پژوهش های سایر محققین که بطور متوسط افزایش عملکرد ارقام مخلوط گندم نسبت به رقم خالص را ۲ تا ۴ درصد ذکر کرده اند، مطابقت دارد (Borg *et al.,* 2018 ;Döring *et al.,* 2015; Kiaer *et al.,* 2009; Reiss & Drinkwater, 2017). بعلاوه زمانیکه ارقامی با فنولوژی‌های متفاوت به صورت مخلوط کاشته شدند ازعملکرد بیشتری برخوردار بودند (Borg *et al.,* 2018).

این پژوهش در راستای پژوهش محققان دیگر بیانگر این است که افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط ارقام گندم در افزایش جذب، کارایی جذب و مصرف نیتروژن نقش مهم و اساسی داشته است. بطوری‌که بین تیمارهای کشت خالص یک رقم و مخلوط ارقام از نظر کارایی های نیتروژن تفاوت قابل ملاحظه ای مشاهده شد و کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و حیدری نسبت به سایر مخلوط‌های دوگانه دارای بیشترین کارایی استفاده از نیتروژن بود.

۳- کارایی استفاده از نیتروژن درکشت مخلوط سه و چهارگانه ارقام گندم

در کشت مخلوط سه و چهارگانه ارقام گندم از لحاظ مقدار جذب و کارایی‌های نیتروژن تفاوت معنی داری ($P\leq0.05$) وجود داشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن به ترتیب مخلوط‌های پیشتاز همراه با حیدری و فلات (به ترتیب با میانگین۱۱۱/۱۲ کیلوگرم در هکتار، ۳۶/۶۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن و ۷۸/۲۱ درصد) و حیدری همراه با پیشگام و فلات (به ترتیب ۸۸/۷ کیلوگرم در هکتار، ۳۰/۰ درصد و ۶۶/۸ درصد) را به خود اختصاص دادند. با وجود اینکه از نظر آماری تفاوت معنی داری در کارایی تبدیل مخلوط های فوق دیده نشد ولی بیشترین مقدار کارایی تبدیل متعلق به مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام همراه با پیشتاز و فلات (۴۷/۰ درصد) و کمترین مقدار متعلق به مخلوط چهارگانه ارقام (۴۳/۲ درصد) بود (شکل ۳). مقدار نیتروژن جذب شده در کشت مخلوط سه‌گانه ارقام گندم حیدری همراه با پیشتاز و فلات نسبت به کشت خالص ارقام حیدری، پیشتاز، فلات و مخلوط حیدری و پیشتاز (به ترتیب ۹/۹۱، ۲۲/۹۲، ۳۹/۶۱ و ۸۳/ ۱۰ درصد) افزایش نشان داد. همچنین کارایی مصرف نیتروژن نیز نسبت به کشت خالص ارقام حیدری، پیشتاز و فلات و مخلوط حیدری و پیشتاز که بیشترین کارایی

مصرف نیتروژن را در بین مخلوط‌های دوگانه داشت، به ترتیب ۳۳/۶۱، ۲۰، ۳۷/۹۱، ۵/۸۲ درصد بیشتر بود. همچنان ازلحاظ کارایی جذب نیتروژن،کشت مخلوط سه‌گانه ارقام حیدری همراه با پیشتاز و فلات نسبت به کشت خالص هر یک از ارقام حیدری، پیشتاز و فلات و کشت دوگانه ارقام حیدری و پیشتاز به ترتیب ۳۱/۴۲، ۲۱/۵۱، ۳۸/۵۲، ۴۹/ ۱۱ درصد بیشتر گزارش شد.

با توجه به نتایج فوق، می‌توان چنین اظهار داشت که افزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم از طریق کشت مخلوط در بهبود مقدارجذب و کارایی جذب و مصرف نیتروژن نقش بسزایی داشت و باعث شد تا تفاوت قابل ملاحظه ای بین تیمارهای کشت مخلوط و خالص ارقام گندم ازنظرکارایی‌های فوق مشاهده شود، در نتیجه مقدار عملکرد دانه نیز در کشت مخلوط سه‌گانه ارقام نسبت به کشت خالص و سایر ترکیبات مخلوط بهبود یافت. در بررسی تاثیر تنوع ژنتیکی برخصوصیات زراعی و عملکرد پنج رقم گندم نشان داده شد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمارکشت مخلوط دو رقم پیشتاز و فلات با میانگین ۵۴۲۵ کیلوگرم در هکتار وکمترین آن مربوط به تیمار خالص رقم شیراز بامیانگین ۲۳۰۷کیلوگرم درهکتار بود. بعلاوه تمام تیمارهای کشت مخلوط ارقام گندم دارای عملکرد دانه بیشتری درمقایسه با تیمارهای رقم خالص آنها بودند (Faizabadi & Emamverdian, 2012). در مطالعه ای اثر افزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم بیان داشتند که کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه ارقام باعث افزایش مقدار عملکرد دانه و پروتئین شد (Khairkhwah *et al.,* 2022). کارایی تبدیل نیتروژن بیانگر عملکرد دانه به ازای مقدار نیتروژن جذب شده است که به کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن یا کارایی استفاده نیز موسوم می‌باشد این شاخص در واقع، توانایی گیاه در استفاده از نیتروژن موجود در اندام‌های مختلف برای تولید دانه را نشان می‌دهد (Moll *et al.,* 1982). دو عامل اساسی در افزایش کارایی استفاده از نیتروژن وجود دارد که عبارتند از: جذب نیتروژن کافی در مراحل مختلف رشد گیاه و تبدیل نیتروژن جذب شده به دانه.

یکی از مهمترین مزایای کشت مخلوط یا تنوع ژنتیکی ارقام زراعی، افزایش عملکرد در این کشت نسبت به کشت خالص هر رقم به تنهایی است (Montemuro *et al.,* 2006). محققان درگزارش بررسی تنوع ژنتیکی ارقام سویا به این نتیجه رسیدند که اختلاط ارقام رشد محدود و پاکوتاه با ارقام پابلند و رشد نامحدود، موجب افزایش عملکرد به میزان ۱۲ در صد نسبت به حداکثر عملکرد کشت خالص رقم پر محصول شد (Ofosu-budu *et al.,* 1995). مطالعه تنوع ژنتیکی ۱۶ رقم جو به مدت دوسال در کانادا بصورت کشت خالص و مخلوط سه تایی نشان داد که عملکرد کشت مخلوط ارقام نسبت به کشت خالص آنها بیشتر بود (Juskiw & Burnett, 2001). در آزمایش چهار ساله ای روی بررسی کشت مخلوط سه گانه و چهارگانه ارقام گندم بهاره در چین نتیجه گرفته شد که کشت مخلوط سه‌گانه عملکرد بیشتر و ثابت نسبت به کشت خالص ارقام داشت (Zhou

et al., 2014). درمطالعه تنوع ژنتیکی ارقام برنج (در دو حالت کنترل و عدم کنترل علف های هرز) در شرایط عدم استفاده از علف کش ها نشان داده شد که عملکرد مخلوط ارقام نسبت به آنها بیشتر بود (Tang *et al.*, 2008). در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام گندم مشخص شد که معمولا عملکرد ارقام در شرایط مخلوط گندم بیشتر از تک کشتی بود. وقتی دو رقم با مشخصات متفاوت به صورت مخلوط کشت می‌شوند، از عوامل محیطی بیشتر استفاده می کنند. بصورت کلی، کشت مخلوط ارقام به علت افزایش تنوع ژنتیکی باعث بهبودکارایی استفاده از منابع در اکوسیستم زراعی و در نهایت، افزایش عملکرد می‌شود (Mazaheri *et al.*, 2002). یک سیستم مخلوط زمانی موافق خواهد بود که نیچ هرگونه با نیچ سایر گونه ها تاحدی متفاوت باشد. در برخی از انواع کشت مخلوط هر یک از گونه ها نیچ کاملا مستقلی را اشغال می کنند، دراین حالت نیچ ها تکمیل کننده یکدیگر هستند. در اغلب موارد نیچ گونه‌های مخلوط هم پوشانی دارند ولی تداخل بین گونه ای نسبت به تداخل درون گونه‌ای شدت کمتری دارد که این امر به دلیل ایجاد شرایط مطلوب و کاهش رقابت بین گونه ای بهبود عملکرد کل را موجب می گردد. جمعیت های مخلوط از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر مهار منابع، تمایز آشیانه ها و تغییرات فیزیولوژیکی، ویژگی های ژنتیکی خاص که رقابت مستقیم را کاهش می دهند و یا باعث اجتناب ازآن می‌شوند، قادرند درکنار یکدیگر رشد کنند (Nasiri Mahallati *et al.*, 2005).

بطور کلی می‌توان چنین اظهار داشت که با وجود یکسان بودن شرایط آزمایش برای همه ارقام گندم، رقم پیشتاز نسبت به سایر ارقام مقدار نیتروژن بیشتری را جذب نموده و از لحاظ ژنتیکی کارایی جذب و مصرف نیتروژن بیشتری را به خود اختصاص داده است. این برتری با افزایش تنوع ژنتیکی و به علت قرارگرفتن با سایر ارقام در کشت مخلوط باعث بهبود در کارایی‌های نیتروژن شد. بطوری‌که کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و حیدری و کشت مخلوط سه گانه پیشتاز همراه با حیدری و فلات بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده، کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن را بخود اختصاص دادند. باید توجه داشت که افزایش تنوع ژنتیکی ارقام بصورت کشت مخلوط دوگانه و سه گانه باعث ایجاد مطلوب ترین حالت ممکن جهت حصول حداکثر کارایی‌های نیتروژن شد، زیرا در حالات فوق ارقام کشت شده بصورت مخلوط، مکمل یکدیگر بوده و افزایش تنوع ژنتیکی باعث بهبودکارایی استفاده از منابع شد و در نهایت، افزایش عملکرد می‌شود.

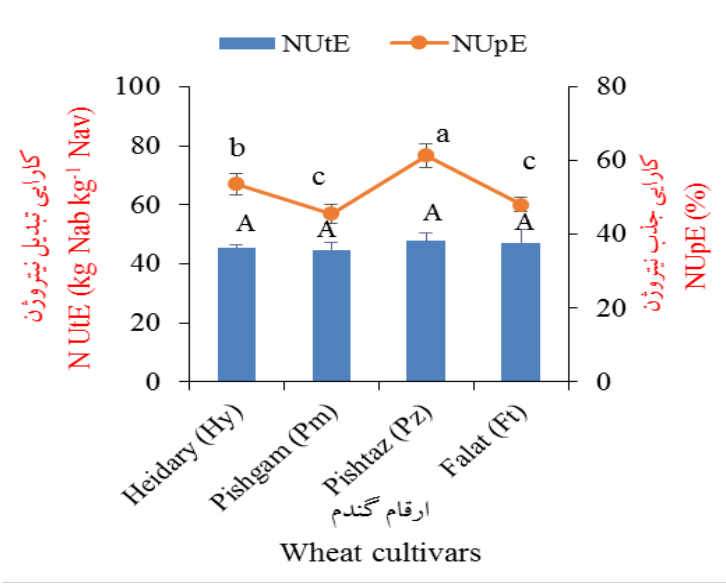
به نظر می‌رسد که افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط ارقام گندم از طریق ایجاد کانوپی موجی و بهبود فتوسنتز، افزایش کارایی استفاده از منابع غذایی، کاهش رقابت بدلیل سیستم ریشه‌ای متفاوت و سرکوب علف‌های هرز باعث افزایش عملکرد دانه گردید. این امر باعث شد تا مخلوط سه‌گانه ارقام بتواند بیشترین عملکرد دانه را تولید نماید. کشت خالص ارقام و سایر ترکیبات مخلوط نتوانستند از منابع موجود حداکثر استفاده را نمایند و در این رقابت

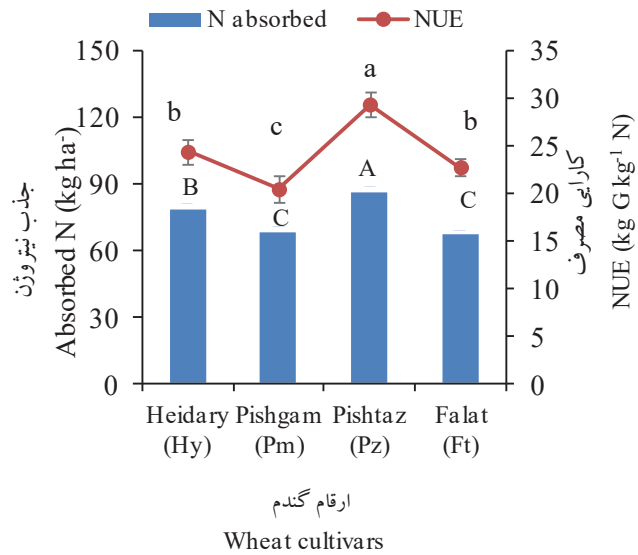
در مقام‌های بعدی قرار گرفتند. درکل، می‌توان چنین نتیجه گرفت که جذب نور بیشتر و استفاده بیشتر از منابع (آب، عناصر غذایی ودیگر عوامل محیطی) توسط گیاه باعث افزایش عملکرد درکشت مخلوط ارقام نسبت به کشت خالص ارقام شده است.

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای دستیابی به عملکرد و کیفیت مطلوب در تولید گیاهان زراعی است و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد. افزایش کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در اثر افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط ارقام را می‌توان یکی از عوامل مهم در افزایش میزان فتوسنتز، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کشت مخلوط ارقام گندم دانست. به علاوه نتایج نشان داده است که افزایش تنوع ژنتیکی ارقام در کشت مخلوط باعث افزایش رقابت درون گونه‌ای بین ارقام مختلف شد، بطوری‌که مقدار این رقابت در مخلوط چهارگانه اثرات خود را با کاهش مقدار عملکرد و اجزای عملکرد وافزایش عملکرد بیولوژیک نمایان ساخت.

٤- بهره وری آب درکشت خالص و مخلوط ارقام گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که از نظر بهره وری آب میان ارقام مختلف گندم، اختلاف معنی داری درسطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۲). بیشترین بهره وری آب در کشت خالص به ترتیب متعلق به رقم پیشتاز (۰/۹کیلوگرم برمترمکعب)، در مخلوط دوگانه پیشتاز و حیدری (۱/۴۱کیلوگرم برمترمکعب)، در مخلوط سه گانه پیشتاز همراه با پیشگام و حیدری (۱/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود، در حالی‌که کمترین مقدار بهره وری آب در کشت خالص و مخلوط ارقام حیدری (۰/۹۱ کیلوگرم برمتر مکعب)، حیدری و پیشگام (۱/۰ کیلوگرم برمتر مکعب)، حیدری همراه با پیشگام و فلات (۱/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. همچنین در کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و حیدری نسبت به کشت خالص آنها به ترتیب بهره وری آب (به ترتیب ۴۰/۲۱ و ۲۸/۴۲ درصد) افزایش داشت. در حالی‌که افزایش بهره وری آب درکشت مخلوط سه‌گانه رقم پیشتاز همراه با پیشگام و حیدری نسبت به کشت خالص هر رقم (به ترتیب ۳۶/۵۱ ، ۳۳/۲۲ و ۲۴/۰ درصد) بود (شکل ۴). نتایج فوق بیانگر این است که کشت مخلوط دو رقم پیشتاز و حیدری دارای بیشترین بهره وری آب در میان تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ارقام گندم مورد مطالعه در این پژوهش بود. با وجود این،کشت مخلوط سه‌گانه ارقام پیشتاز همراه با پیشگام و حیدری با کاهش ۵/۷ درصد نسبت به کشت مخلوط ارقام پیشتاز و حیدری در بهره وری آب در مقام دوم قرار گرفت. درکل، می‌توان چنین اظهار کرد که کشت مخلوط ارقام گندم باعث افزایش تنوع ژنتیکی شده و این عامل بهره وری آب را بالابرده است. مشابه کارایی نیتروژن، حضور رقم پیشتاز در مخلوط‌های دوگانه و سه گانه ارقام گندم، افزایش معنی داری بهره وری آب را به همراه داشته است. به نظر می رسد که افزایش بهره وری آب و کارایی نیتروژن در مخلوط ارقام گندم دارای مکانیسم های مشابه هستند.





شکل ۳- کارایی جذب و تبدیل نیتروژن (الف)، کارایی مصرف و جذب نیتروژن (ب) درکشت خالص ارقام گندم

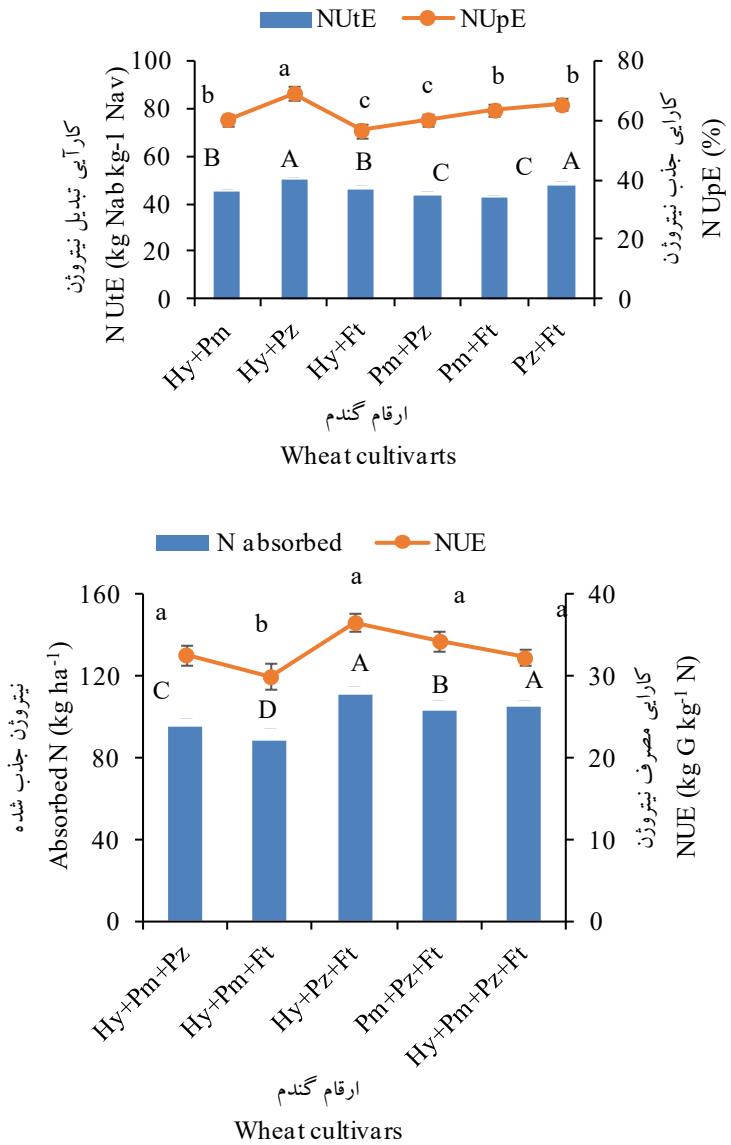
Pz: رقم پیشتاز، Pm: رقم پیشگام، Hy: رقم حیدری و Ft: رقم فلات

میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند.

Fig. 3. Nitrogen uptake efficiency (NUpE) and nitrogen utilization efficiency (NUtE) (A), nitrogen use efficiency (NUE) and absorbed nitrogen (B) in single cultivation of wheat varieties

Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat)

The means followed by the same letters show no significant differences among treatments at 0.05 level



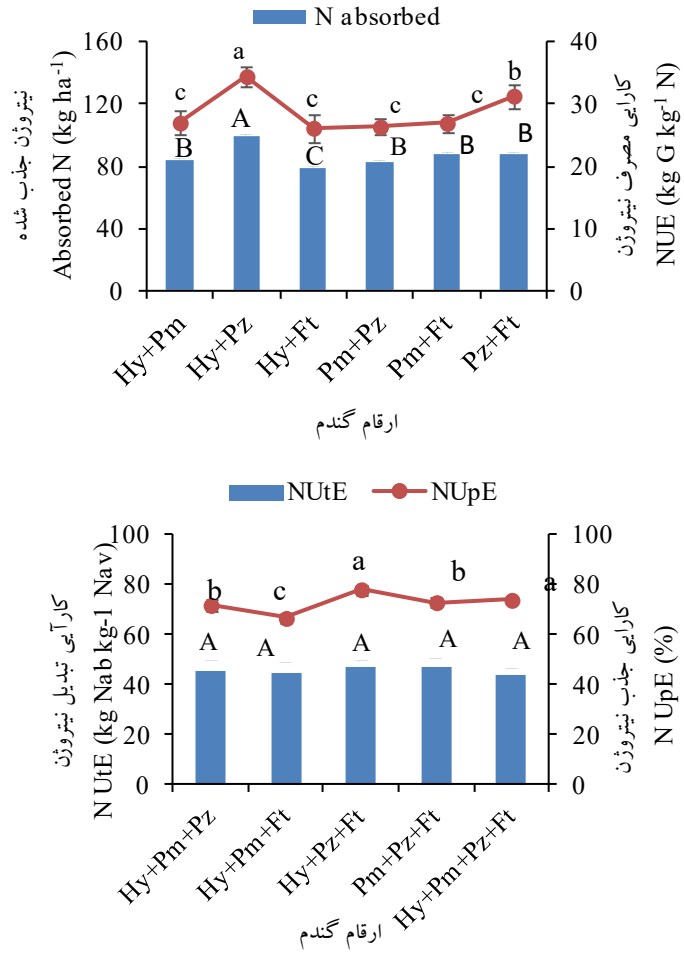
شکل ۴ - کارایی جذب و تبدیل نیتروژن (الف)، کارایی مصرف و جذب نیتروژن (ب) درکشت مخلوط دوگانه ارقام گندم

Pz: رقم پیشتاز، Pm: رقم پیشگام، Hy: رقم حیدری و Ft: رقم فلات.

میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند.

4. Nitrogen uptake efficiency (NUpE) and nitrogen utilization efficiency (NUtE) (A), nitrogen use efficiency (NUE) and absorbed nitrogen (B) in double mixed cultivation of wheat.
Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat)
he means followed by the same letters show no significant differences among treatments at 0.05 level.

یکی از شاخص‌هایی که اهمیت نهاده آب را درنظام‌های زراعی تبیین می‌کند، کارایی مصرف آب (WUE) است که بر اساس عملکرد محصول به عمق آب آبیاری یا تبخیر- تعرق گیاه ویا به صورت نسبت عملکرد (کیلوگرم) به میزان عمق آبیاری (مترمکعب) محاسبه می‌شود. مدیریت آب، خاک و گیاه به دلیل تأثیر عمیقی که بر شدت تبخیر و تعرق دارد، عامل مهمی در بهینه سازی کارایی مصرف آب است. علاوه بر مدیریت آب، مدیریت کود نیز تأثیر شایانی



شکل ۵ - کارایی جذب و تبدیل نیتروژن (الف)، کارایی مصرف و جذب نیتروژن (ب) درکشت مخلوط سه‌گانه و چهارگانه ارقام گندم

Pz: رقم پیشتاز، Pm: رقم پیشگام، Hy: رقم حیدری و Ft: رقم فلات.

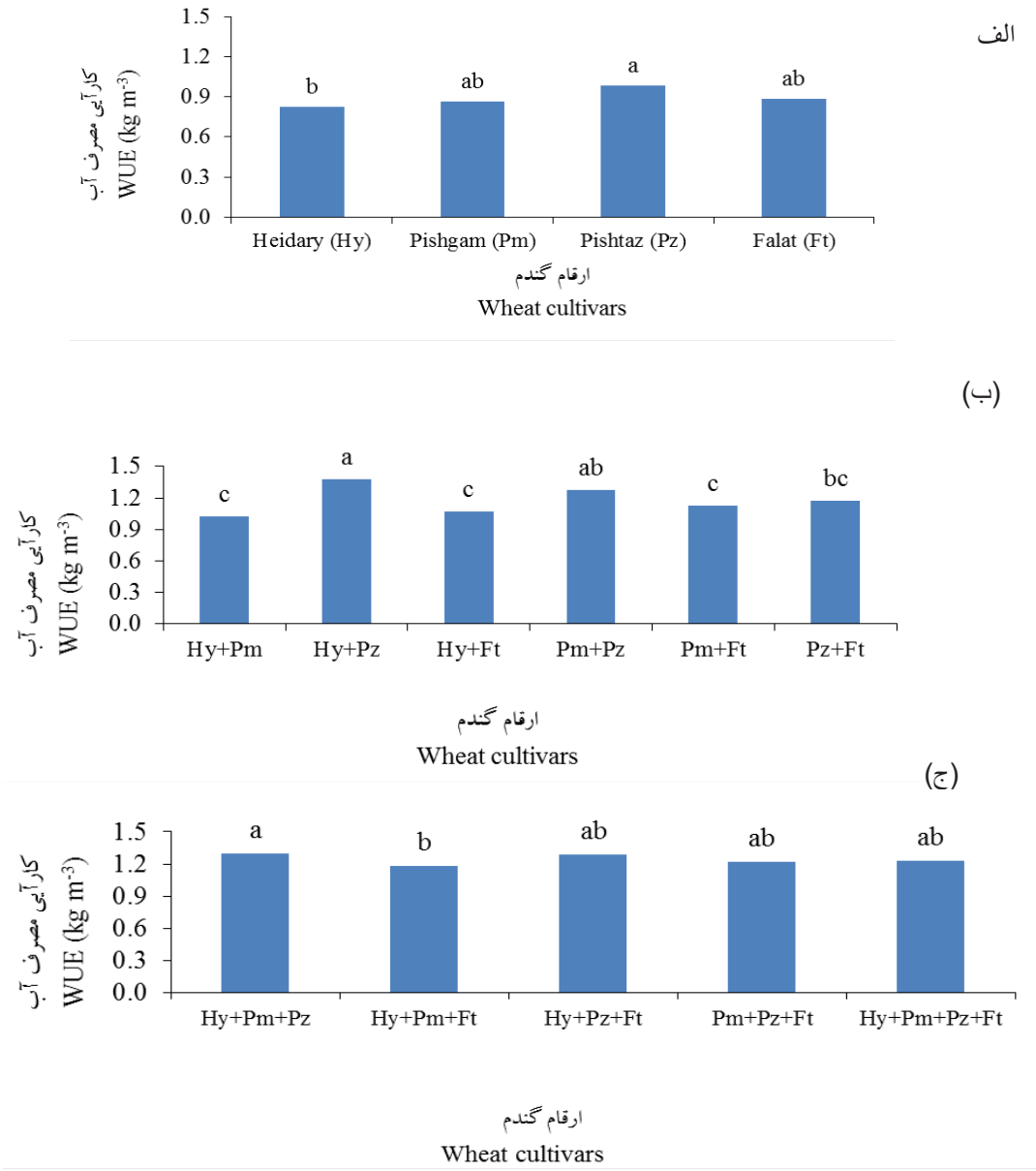
میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم دارند.

Fig. 5. Nitrogen uptake efficiency (NUpE) and nitrogen utilization efficiency (NUtE) (A) nitrogen use efficiency
(NUE) and absorbed nitrogen (B) in mixed cultivation of triple and quardruple of wheat.

Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat)

The means followed by the same letters show no significant differences among treatments at 0.05 level.

در افزایش کارایی مصرف آب دارد. در مناطق خشک و نیمه خشک، کشت مخلوط می تواند کارایی مصرف آب یا حفاظت آب در خاک را بهبود بخشد (Fortin *et al.*, 1994). تنوع ژنتیکی ارقام باعث بهبود استفاده از آب می‌شود. بعلاوه مورفولوژی متفاوت ریشه گونه‌ها سبب حد اکثر بهره برداری از آب در لایه های مختلف خاک می گردد (Kashti, 2001). در بررسی مکانیسم‌های نگهداری آب در بوم نظام های دارای تنوع بالای گیاهی و بهبود استفاده از آب گزارش شد که سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند ازطریق ریشه ها سبب بهبود استفاده از آب شوند (Zank *et al.*, 2012). درمطالعه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ های گندم دوروم ملاحظه شد



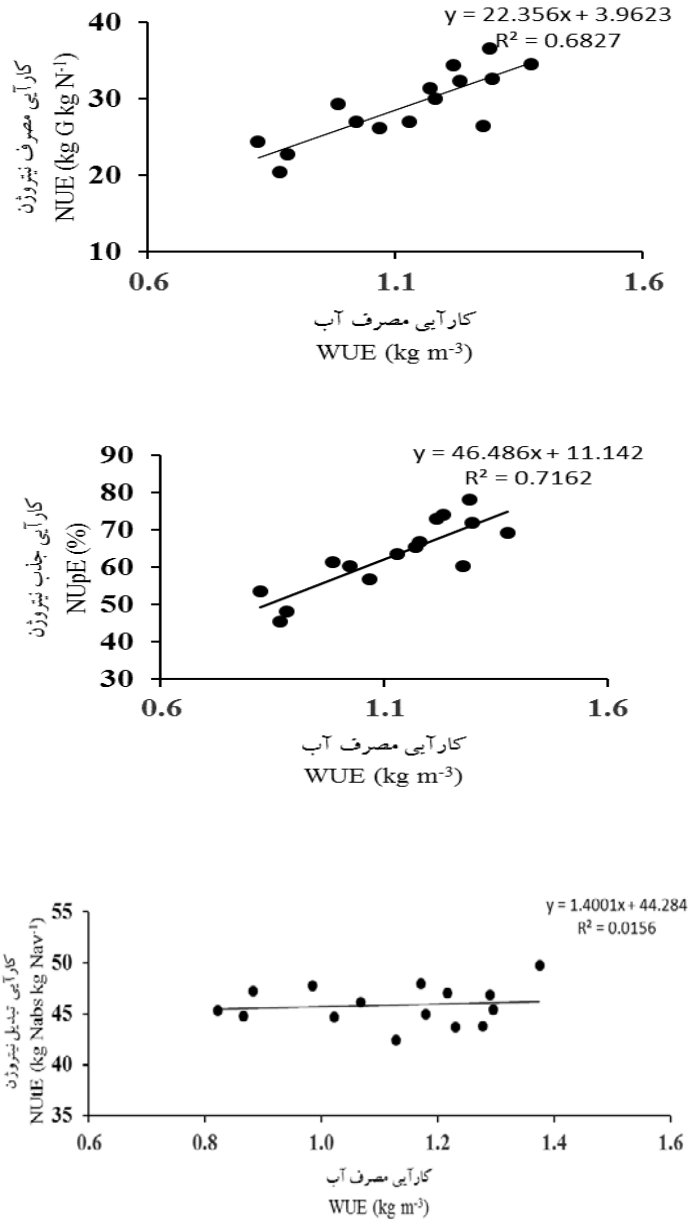
شکل ۶ – بهره وری آب درکشت خالص ارقام گندم (الف)، کشت مخلوط ۲ گانه (ب)، درکشت مخلوط ۳ و ۴ گانه ارقام گندم (ج)

Pz: رقم پیشتاز، Pm: رقم پیشگام، Hy: رقم حیدری و Ft: رقم فلات.

میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با هم ندارند.

Fig.6 . Water productivity (WP) in pure cultivation (A) single cultivation (B) double mixed cultivatio
(C) triple and quardruple mixed cultivation of wheat.
Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat)
The means followed by the same letters show no significant differences among treatments at 0.05 lev

هنگامی که این ژنوتیپ ها در شرایط تنش آب به صورت مخلوط در کنار هم رشد می کنند نسبت ریشه به اندامهای هوایی آنها به طور معنی داری بیشتر از خالص است (Merdoraqi, 2018). الگوهای جذب آب در گیاهانی که به صورت مخلوط کشت می شوند با کشت خالص متفاوت است (Mohsenabadi *et al.*, 2008). واقعیت این است که کارایی مصرف آب در کشت های مخلوط ۹۹-۱۸ درصد بیشتر از کشت خالص است، زیرا در چند کشتی، گیاهان از آب به



شکل ۷-رابطه رگرسیون بین بهره وری آب با کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن درکشت خالص و مخلوط ارقام گندم
R^2: نشان دهنده ضریب همبستگی بهره وری آب با کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن است.

Fig .7. Regression relationship between water productivity (WP) and nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE) and nitrogen use efficiency (NUE) in single, double, triple and quardruple mixed cultivation of wheat.

خوبی استفاده می کنند و کارایی مصرف آب نسبت بـه کشت خالص بالا می رود (Davis *et al.,* 1986). همچنین کارایی مصرف نیتروژن به طور مثبت و معنی دار به مصرف آب وابسته است (Ladha *et al.,* 2005; Dalal *et al.,* 2013). اثر آبیاری بر جذب نیتروژن مثبت است و برعکس فراهمی نیتروژن، جذب آب را بهبود می دهد و کارایی مصرف هر یک از این نهاده ها زمانی که هر دو نهاده در سطح بهینه هستند، حداکثر خواهد بود (Di Paolo & Rinaldi, 2008).

اختلاف توسعه ریشه‌ای در کشت ارقام گندم بصورت مخلوط را می‌توان یکی از

عوامل موثر بر افزایش کارایی مصرف آب دانست. بررسی اثرات توسعه سیستم ریشه ای در ارتباط با تحمل به خشکی در چهار رقم گندم (پیشتاز، پیشگام، مرودشت وگاسکوژن) نشان داد که بیشترین طول ریشه، گسترش ریشه، حجم و وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب مربوط به رقم پیشتاز بود. بنابراین باتوجه به نتایج فوق می‌توان به دو عامل که باعث بهبود کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف آب و مقاومت به تنش‌های خشکی شده اند، اشاره کردکه یکی کشت مخلوط ارقام گندم و دیگری خصوصیات فیزیولوژیکی ریشه می‌باشد (Moqimi Moqadam *et al.,* 2020).

نتایج این پژهش نیز در راستای مطالعات سایر محققان نشان داد که افزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم از طریق کشت مخلوط بر کارایی مصرف آب نقش مثبت و معنی داری داشت، بطوری‌که تیمارهای ارقام مخلوط گندم نسبت به تیمارهای کشت خالص از کارایی مصرف آب بیشتری برخوردار بودند (جدول۲ وشکل ۴). در این میان، حداکثر کارایی مصرف آب به ترتیب در کشت مخلوط دوگانه پیشتاز و حیدری و کشت مخلوط سه گانه پیشتاز همراه با پیشگام و حیدری حاصل شد.

۵- رابطه بهره وری آب با کارایی استفاده از نیتروژن

روابط رگرسیونی بین بهره وری آب با کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن نشان داد که بین بهره وری آب با کارایی جذب وکارایی مصرف نیتروژن رابطه مثبت و معنی داری (R^2= 0.68, R^2= 0.71) وجود داشت. بطوری‌که با افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن بهره وری آب نیز افزایش یافت، در حالی‌که بین بهره وری آب وکارایی تبدیل نیتروژن رابطه ای معنی داری مشاهده نشد (شکل ۵). با افزایش آبیاری، بهره وری آب کاهش و با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن این شاخص افزایش یافت (Rezvani Moqadam *et al.,* 2021). درگندم، با افزایش دفعات آبیاری، میزان نیتروژن در برگ و کل گیاه به طور معنی داری افزایش یافت (Taylor *et al.,* 1991). ارقام گندم متحمل به خشکی، ریشه طویل‌تر و حجم ریشه ای بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند (Tupitsyn *et al.,* 1986).

همانطور که پیشتر نیز تأکید شد، بر اساس تحقیقات فوق می‌توان افزایش کارایی مصرف آب با توجه به افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ارقام گندم را به تفاوت‌های ژنتیکی ارقام در توسعه سیستم ریشه ای این ارقام نسبت داد. بطوری‌که مشاهده شد کشت مخلوط ارقام پیشتاز و حیدری دارای بیشترین کارایی مصرف آب در مقایسه با سایر تیمارها بود. افزایش کارایی‌های فوق را می‌توان به اختلاف سیستم ریشه ای ارقام در جذب آب از اعماق مختلف خاک نسبت داد که باعث بهبود کارایی مصرف آب درکشت مخلوط ارقام فوق نسبت به سایر تیمارها شده است.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج این پژوهش و آزمایشات محققین دیگر می‌توان چنین اظهار داشت که از طریق کشت مخلوط ارقام و افزایش تنوع ژنتیکی گندم، مقدارجذب، کارایی جذب

وکارایی مصرف نتیروژن بهبود می یابد. این موضوع باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه در کشت مخلوط ارقام گندم گردید که نتایج آن در مقاله جداگانه‌ای ارائه شده است. همچنین افزایش تنوع ژنتیکی در کشت مخلوط ارقام گندم، که احتمالا اختلاف توسعه ریشه‌ای را به همراه دارد، یکی از عوامل موثر بر افزایش بهره وری آب در این سیستم کشت می باشد. افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط دو یا سه رقم نسبت به کشت خالص آن ها می‌تواند باعث ثبات عملکرد، حفاظت خاک وکاهش ریسک در زراعت شود. به طور کلی، کشت مخلوط ارقام به علت افزایش تنوع ژنتیکی باعث بهبود کارایی استفاده از منابع در بوم نظام های زراعی می‌شود.

References

Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment,*74 : 19-31.

Balint, A.F., Kovacs, G., Erdei., and Sutka, J. 2001. Comparison of the Cu, Zn, Fe and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated species. *Cereal Research Communications*, 29: 375-382.

Barraclough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M. J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat. Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*, 33: 1-11.

Baumann, D.T., Bastiaans, L., and Kropff, M.J. 2001. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late- emerging Senecio vulgaris L., with spatial reference to competition for light. *Annals of Botany*,:87 209-217.

Borg, J., Kiear, L.P., Lecarpenter, C., Gldringer, L., Gauffreteau, A., Saint-jean, S., Barrot, S., and Enjalbert. J. 2018. Unfolding the potential of wheat cultivar mixture: a meta-analysis perspective and I dentification of knowledge, gaps. *Field Crops Research*,:221 298-313.

Cassman, Kenneth G., Dobermann, Achim R., and Walters, Daniel T., "Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management" (2002). *Agronomy & Horticulture -- Faculty Publications*. 356.
http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/356

Davis, J.H.C., Woolley, J.N., and Moreno, R.A. 1986. Multiple Cropping with Legumes and Starchy Roots. MacMillan Publishing Company New York. Pp: 82-110.

Dhugga, K.S., and Waines, J.G. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science,*29 : 1232–1239.

Di Paolo, E., and Rinaldi, M. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*,105: 202–210.

Doring, T.F., Annicchiearico, P., Clake, S., Haigh, Z., Jones, H.E., Pearce,

H., Snape, J., Zhan, J., and Wolfe, M.S. 2015. Comparative analysis of Performance and Stability among composite cross population, variety mixture and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping system. *Field Crops Research,*183 : 235-245.

Faizeabadi, A., and Emamveridan, A. 2012. Evaluation of the effect of mixed cultivation of cultivars on the agronomic characteristics of wheat yield. *Journal of Agroecology,* Vol 4: 144-150 (In Persian).

Fang, Y., Xu, B.C., Liu, L., GU, Y.J., Liu, Q. Q., Turner, N.C., and Li, F.M. 2014. Does amixture of old and modern winter wheat cultivars increase yield and water use efficiency in water- limited enviroments. *Field Crops Research*, 156: 12-21.

Finckh, M.R., Gacek, E.S., Goyeau, H., Lannou,U., M, C.C., Munk, L., Nadziak, J., Newton, A.C., De Vallavielle-pope, C., and Wolfe, M.S. 2000. Cereal variety and Species mixture in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomy,* 20: 813-837.

Fortin, M.C., Culley, J., and Edwards, M.1994. Soil water, plant growth, and yield of strip-intercropped corn. *Journal of Production Agriculture*, 7: 63–69.

Guarino, L., Ramana, V., and Rao, R. 1995. Collecting Plant Genitic Diversity. John wiley and Sone, New York.

Jafari, L. 2018. Evaluation of nitrogen efficiency indicators in the historical reform process different cultivars of wheat and corn. Ph.D.Thessis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).

Juskiw, P.E., Helm, J.H., and Burnett, P.A. 2001. Three-component barley mixtures: Ratio effects in replacement series. *Canadian Journal of Plant Science*, 81(4), 651-656.

Kashti, A. 2001. Investigating the combined cultivation of cucumber, bell pepper and eggplant. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 23 (2), 53-65 (In Persian with English Summary)

Kaut, A.H.E.E., Mason, H.E., Navabi, A., O'Donovan, J.T., and Spaner, D.

2008. Performance and stability of performance of spring wheat variety mixtures in or ganic and conventional management systems in western Canada. *Journal of Agricultural Science*, 147(2), 141-143.

Khairkhwah, K., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Khorramdel, S., and Nazarian, R. 2022. The effect of increasing genetic diversity through the mixture of wheat cultivars on grain yield and protein. Under Press.

Khazaei, H., Feizabadi, A., and Emamverdian, A., 2010. Study of interspecific competition in mixed cropping of wheat cultivars. The 3rd Iranian Weed science Congress 616-619. (In Persian with English Summary)

Kiar, L.P. P., Skovgaard, L.M., and Ostard, H. 2009, yield increase in cereal vaietiy miztures: ameta-anaysis of field trial. *Field Crops Research,* 114:361-373.

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M.2004. Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Agricultural Research Center. Pajouhesh & Sazandegi 63: 70–83. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Melti, F. 2011. Evaluation of light absorption and consumption efficiency in row crop cultivation of wheat and canola. *Iranian Journal of Crop Research*, Volume 11, Number 4: 534-543. (In Persian with English Summary)

Ladha, J.K., Pathak, H., Krupnik, T.J., Six, J., and Van Kessel, C. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, 87: 85–156.

Mandani, F., Bogori Hossein Abad, A., Saidi, M., Bagheri, A., and Heydari, H. 2019. Evaluation of nitrogen absorption and consumption efficiency in wheat cultivars (Triticum.L aestivum) under the weather conditions of Kermanshah. *Agroecology,* 11(1), 87-102. (In Persian with English Summary)

Mazaheri, D., Pasari, B., and Peighambari, E. 2002. Study of growth analysis in mono culture and mixed cropping of soybean cultivars. *Pajouhesh and Sazandegi,* 54: 37-54. (In Persian with English Summary)

Mclaughlin, A., and Minrau, P. 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 55: 201-212.

Mirdoraghi, M., Taghizadeh, M.S., and Behpouri, A. 2018. Characteristics of the root system in durum wheat (Triticum durum) genotype mixtures affected by water stress. 15th Natioual. Iranian. Crop. Sci. Congress. Sep. 4-6, Karaj, Iran 451-459. (In Persian with English Summary)

Mohsenabadi, G.R., Jahansooz, M.R., Chaichi, M.R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghat, A.M., and Savaghebi, G.R. 2008. Evaluation of barley–vetch intercropp at different nitrogen rates. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 10: 23-31. (In Persian with English Summary)

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.

Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D., and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. *Field Crops Research*, 99: 114-124.

Moqimi Moqadam, S., Klaritaqi, K., and Sadrabadi, R. 2020. M.Sc. thesis of the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University- Mashhad branch 9-12. (In Persian with English Summary)

Naderianfar, M., and Dehghan, H. 2020. Investigation of water use efficiency of wheat and barley in arable lands of sistan plain. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1), 2-7. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production system of Iran. *Journal of Agroecology,* 6: 1-25. (In Persian with in English Summary).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Light interception and utilization efficiency in relay intercropping of winter wheat and corn. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 8 (6), 878-890. (In Persian with English Summary)

Newton, A.C., Bagg, G.S., and Swanston, J.S. 2009. Deployment of diversity for enhanced crop function. *Annals of Applied Biology,* 154: 309-322.

Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal,* 65**:** 109-112.

Ofosu – Budu, K.G., Noumura, K., and Fujita, K. 1995. N 2 fixation, N transfer and biomass production of soybean cv. Bragg or its supernodulating nts1007 and sorghum mixed–cropping at two rates of N fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 311-317.

Ortiz–Monasterio, J.I., Sayre, K.D., Rajaram, S., and McMahon, M. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Science,* 37: 898–904.

Østergård, H., Finckh, M.R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S.P., Kristensen, K., and Wolfe, M.S. 2009. Time for a shift in crop production: Embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 89(9),1439-1445.

Reis, E.R. 2017. Cultivar mixtures: a meta-analysis of the effect of in treaspicific diversity of crop yield. *Ecological Applications,* 28: 62-77.

Rezvani Moqadam, P., Khorramdel, S., Latifi, H., Farzaneh Belgerdi, M.R., and Davarpanah, S.J. 2021. Optimization of irrigation and nitrogen levels on yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) by using the surface-response methodology. *Iranian Journal of Field Crops Research*, Vol. 19: 185-199 (In Persian with English summary).

Shand, H. 1997. Human nature: Agriculture biodiversity and Farm-Based Food security.Ottawa, Ontario. Rural Advancement Foundation International.

Singh, B.D. 1990. Plant Breeding.Kalyari Pub. India.

Tang, J., Xie, X., Chen, J., and Yu, L. 2008. Genetic diversity reduce Echinochloa crus-galli infestation? *Weed Research*, 49: 47-54.

Taylor, A.T., Smith, C. J., and Wilson, I. B. 1991. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water

use of canola (*Brassica napus* L.). *Fertilizer Research,* 29 (3), 249-260.

Timsina, J., and Conor, D.J. 2001. Productivity and management of rice–wheat cropping systems: issues and challenges. *Field Crops Research*, V (69), 2: 93-132.

Van Sanford, D.A., and Mackown, C.T., 1986.Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 72: 158–163.

Tupitsyn, N.V., Waines, J.G., and Lyashok, A. K. 1986. Water uptake by the root system of the spring wheats Botanicheskaya 3 and Orenburgskaya 7 in relation to their drought resistance. *Plant Breeding,* 57: 799-815.

Wolfe, M. S.1985. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 23: 251-273.

Zhang, F.Y., Wu, P.T., Zhao, X.N., and Cheng, X. F. 2012. Water-saving mechanisms of intercropping system in improving cropland water use efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23 (5), 1400-1406.

Zhou, K.Q.,Wang, G.D., Li, Y.H., Liu, X.B., Herbert, S.J., and Hashemi, M. 2014. Assessing variety mixture of continuous spring wheat (*Tritium aestivum* L.) on grain yield and flour quality in Northeast China. *International Journal of Plant Production*, 8(1), 91-105.

The effect of increasing genetic diversity through the mixture of wheat cultivars on nitrogen efficiencies and water productivity

Khairkhwah, Kh[1], Koocheki, A[2*], Nassiri Mahallati[3], M., Khorramdel, S[4], Nazarian, R[5]

1. Assistant Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Baghlan University, Afghanistan and PhD student, Ferdowsi University of Mashhad
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran . (Corresponding author)
3. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
5. Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Herat University, Afghanistan

Received: January 2023 Accepted: August 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.361206.1632

Extended Abstract

Khairkhwah, Kh., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., Nazarian, R., . The effect of increasing genetic diversity through the mixture of wheat cultivars on nitrogen efficiencies and water productivity
Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 3, 2022 1-3: 01-27(in Persian)

Introduction

In agricultural ecosystems, a substantial increase in crop yields has been achieved by monoculture of one cultivar and the excessive use of chemical inputs. But the main challenge encountered by agriculture today is the environmental pollution caused by the use of chemicals and reduced yield stability. Genetic diversity in the selection of crop plant genotypes by farmers can lower production risk and, consequently, decrease fluctuations in annual yields (Altieri,1999). Increasing genetic diversity through mixed cultivation of different cultivars or species with diffrent morphological and physiological characteristics makes it possible to effectively utilize the environmental resources (Zhou *et al.,* 2014). One of the ways to improve the quality and stability of wheat production is to increase the genetic diversity in the cultivation systems based on the mixed cultivation patterns (Sarandon & Sarandon, 2016). In Iran, excessive use of nitrogen chemical fertilizers in agricultural ecosystems, especially in wheat production systems, is a problem, and it appears that increasing the efficiency use of this input is a very effective

Email address of the corresponding author: (*- Corresponding author. Email: akooch@um.ac.ir)

way to deal with this problem. The purpose of this research was to investigate the effect of increasing genetic diversity through intercropping of wheat cultivars on the efficiency of nitrogen and water use.

Materials & Methods

In order to evaluate the effect of increasing the genetic diversity of mixed cultivation of wheat cultivars on improving the efficiency of resource use such as nitrogen and water, an experiment was carried out based on a randomized completely block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad in the two cropping seasons of 2019-2020 and 2020-2021. The treatments included pure cultivation and double, triple and quadruple mixtures of four varieties of wheat, Heydari, Pishgam, Pishtaz and Falat, which were introduced in the 60s, 70s, 80s and 90s, respectively, and were in the same maturity groups. In order to calculate the amount of absorbed nitrogen, nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE), nitrogen use efficiency (NUE) and water use efficiency (WUE), the relevant equations were used. The data of the two-year test was compiled and the variance analysis was carried out using Minitab software ver. 18.0. Excel software was used to draw graphs.

Results & Discussion

The results of the experiment showed that there were significant differences in terms of WUE, N-uptake, NUE and NUpE for pure and mixed cultivation of different wheat cultivars, but no significant differences were observed for NUtE. The highest amounts of N-uptake, NUtE, and NUpE were observed for the mixed cultivation of the cultivars Pishtaz + Heydari and Pishtaz +Heydari + Falat. While the highest WUE was respectively achieved with pure and the mixed cultivars of Pishtaz, Pishtaz + Heydari, and Pishtaz+Pishgam + Heidari, water productivity showed a positive and significant correlation with NUpE and NUE. Thus, with the increase of nitrogen absorption and use efficiency, water consumption efficiency also enhanced, while no significant correlation was observed between water consumption efficiency and nitrogen ulitization efficiency.

Conclusion

The results showed that by increasing genetic diversity through double and triple mixed cultivation of wheat cultivars, NUE and WUE were improved. In terms of WUE, N-uptake, NUE and NUpE, there was a significant difference for the pure and mixed cultivations of different wheat cultivars, but no significant difference was observed for NUtE. The highest amounts of absorbed nitrogen, utilization efficiency, absorption efficiency and nitrogen conversion efficiency were recorded with the mixed cultivation of Pishtaz + Heidari cultivars, and Pishtaz + Heidari + Falat. While the mixture of Pishtaz + Heidari, and Pishtaz + Pishgam + Heidari had the highest WUE, water productivity showed a positive and significant correlation with nitrogen uptake efficiency and nitrogen use efficiency. Finally, it can be stated that by increasing the genetic diversity of wheat through mixed cultivation of Pishtaz + Heydari varieties and triple cultivation of Pishtaz + Heidari + Falat, WUE and NUE may improve, which thereby can prevent the environmental pollution due to excessive use of chemical fertilizers.

Keywords: Environmental pollution, Resource utilization efficiency and Yield increases.

References

Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment,*74 : 19 -31.

Rezvani Moqadam, P., Khorramdel, S., Latifi, H., Farzaneh Belgerdi, M.R., and Davarpanah S.J. 2021. Optimization of irrigation and nitrogen levels on yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by using the surface-response methodology. *Iranian Journal of Field Crops Research*, Vol. 19: 185-199 (In Persian with English summary).

Zhou, K.Q., Wang, G.D., Li, Y.H., Liu, X.B., Herbert, S.J., and Hashemi, M. 2014. Assessing variety mixture of continuous spring wheat (*Tritium aestivum* L.) on grain yield and flour quality in Northeast China. *International Journal of Plant Production,* 8(1), 91-105.