



Evaluation of Nitrogen Efficiency Indices in Safflower Genotypes under the Influence of Different Nitrogen Sources in Rainfed Conditions

Abas Soleymanifard¹ | Mani Mojaddam² | Shahram Lack³ | Mojtaba Alavi Fazel⁴

1. Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. E-mail: soleymani877@pnu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. E-mail: mojaddam@iauhvaz.ac.ir
3. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. E-mail: lack@iauhvaz.ac.ir
4. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. E-mail: Alavifazel@iauhvaz.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 12 September 2021

Received in revised form:

17 January 2022

Accepted: 15 December 2021

Published online:

17 December 2022

Keywords:

Azotobacter,
grain yield,
nitrogen uptake,
nitrogen use efficiency,
straw nitrogen.

ABSTRACT

Application of *Azotobacter* as a substitute or suitable companion of nitrogen chemical fertilizer with higher efficiency of inputs in safflower plant as a plant adapted to different climates is one of the sustainable agricultural strategies. Therefore, in order to study the effects of *Azotobacter chroococcum* and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, grain nitrogen and straw, nitrogen efficiency indices and grain yield of six safflower genotypes under rainfed conditions, a factorial experiment has been conducted based on a randomized complete block design with three replications in during growing season of 2015-2016 and 2016-2017 at the Agricultural Research Station Sarableh in Ilam Province. Experimental factors inoculate a combination of seed inoculation with *Azotobacter chroococcum* with urea chemical fertilizer application at four levels (non-inoculated with *Azotobacter chroococcum* and urea as control, seed inoculation with *Azotobacter chroococcum* + 50 Percent N from urea, and inoculation with *Azotobacter chroococcum* + 100% N from Urea) and six genotypes of safflower. The combined analysis of variance for two years show that the main effects of nitrogen source and genotype and also year \times nitrogen source have had significant effect on all of the measured traits and nitrogen efficiency indices. The results from comparison of means show that inoculation treatment with *Azotobacter chroococcum* + 50% nitrogen fertilizer had higher Nitrogen use efficiency than 100% nitrogen fertilizer use, with no significant difference in grain yield between the two treatments. Sina genotype with the highest grain yield and nitrogen use efficiency, compared to other genotypes, is more desirable for cultivation in rainfed conditions of the region.

Cite this article: Soleymanifard, A., Mojaddam, M., Lack, Sh., & Alavi Fazel, M. (2022). Evaluation of Nitrogen Efficiency Indices in Safflower Genotypes under the Influence of Different Nitrogen Sources in Rainfed Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1147-1160. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2021.330550.2611>





ارزیابی شاخص‌های کارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تأثیر منابع مختلف نیتروژن در شرایط دیم

عباس سلیمانی فرد^۱ | مانی مجدم^۲ | شهرام لک^۳ | مجتبی علوی فاضل^۴

۱. گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: soleymani877@pnu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: mojaddam@iauhvaz.ac.ir

۳. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: lack@iauhvaz.ac.ir

۴. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: Alavifazel@iauhvaz.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

کلیدواژه‌ها:

ازتوباکتر،

جذب نیتروژن،

عملکرد دانه،

کارایی مصرف نیتروژن،

نیتروژن کاه و کلش.

کاربرد ازتوباکتر به‌عنوان جایگزین یا همراه مناسب کود شیمیایی نیتروژن با کارایی بالاتر نهاده‌ها در گیاه گلرنگ به‌عنوان یک گیاه سازگار به اقلیم‌های گوناگون از جمله راه‌کارهای کشاورزی پایدار است. بر این اساس به‌منظور بررسی تأثیر ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن بر میزان جذب نیتروژن، نیتروژن دانه و کاه و کلش، شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد دانه شش ژنوتیپ گلرنگ تحت شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در استان ایلام اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ترکیبی از تلقیح بذر با ازتوباکتر همراه با مصرف کود شیمیایی اوره در چهار سطح (بدون مصرف هیچ منبع کودی (شاهد)، تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با ازتوباکتر + ۵۰ درصد نیتروژن از منبع اوره و ۱۰۰ درصد نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره) و شش ژنوتیپ گلرنگ بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای دو سال نشان داد که اثرات اصلی منبع کود نیتروژن و ژنوتیپ و هم‌چنین اثر برهم‌کنش سال × منبع نیتروژن بر کلیه صفات اندازه‌گیری‌شده و شاخص‌های کارایی نیتروژن معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار تلقیح با ازتوباکتر + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن کارایی مصرف نیتروژن بالاتری داشت و نیز تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه بین این دو تیمار وجود نداشت، ژنوتیپ سینا با داشتن بیش‌ترین عملکرد دانه و بالاترین کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط دیم منطقه مطلوب‌تر است.

استناد: سلیمانی فرد، ع، مجدم، م، لک، ش. و علوی فاضل، م (۱۴۰۱). ارزیابی شاخص‌های کارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تأثیر منابع

مختلف نیتروژن در شرایط دیم. به‌زراعی کشاورزی، ۲۴ (۴)، ۱۱۴۷-۱۱۶۰. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2021.330550.2611>



۱. مقدمه

گلرنگ تقریباً در ۶۰ کشور جهان کشت می‌شود و سطح زیر کشت آن در دنیا در سال ۲۰۱۸ برابر با ۱۱۶۰ هزار هکتار و تولید دانه آن ۷۱۸۱۶۱ تن در هکتار بوده است. سطح زیر کشت گلرنگ در ایران برابر با ۶۱۵۴ هکتار با متوسط عملکرد یک تن در هکتار می‌باشد (FAO, 2018). این گیاه دارای ویژگی‌های ارزشمندی از جمله سازگاری آن با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، کیفیت بالای روغن، تحمل به تنش‌های غیرزنده و با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار است (Omid *et al.*, 2012).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، کمبود مواد آلی در خاک به‌عنوان منبع طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه و وجود تنش رطوبتی، به‌عنوان مانع اصلی جذب نیتروژن، همواره مطرح بوده و بعد از تنش رطوبتی، تنش نیتروژن، مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی دیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌حساب می‌آید (Sedri *et al.*, 2017). با وجود فواید مصرف نیتروژن، استفاده نامطلوب از آن منجر به آلودگی ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. مدیریت نامناسب نیتروژن مصرف بی‌رویه، هدر روی نیتروژن از زمین‌های کشاورزی به شکل آبشویی نترات، تصعید گاز آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن را به‌همراه دارد. در حال حاضر آبشویی نترات و ورود آن به آب‌های سطحی و زیر زمینی از جمله مشکلات زیست‌محیطی کشورهای توسعه‌یافته است (Ting *et al.*, 2015). از طرفی، کاهش مصرف کود که کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست را در پی دارد، کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت. در این راستا کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاهی به‌صورت تلفیق با کودهای شیمیایی، مهم‌ترین راهبرد برای افزایش تولید در سیستم‌های کشاورزی پایدار و کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن می‌باشد. این باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند، اما تعداد و تراکم‌های آن‌ها در خاک پایین است. بنابراین تلقیح بذر با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک شود (Jnawali *et al.*, 2015). برخی معتقدند که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد، ضمن کاهش میزان مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، سبب افزایش رشد گیاهان به واسطه افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Sharifi *et al.*, 2016). Szmigiel *et al.* (2016) در یک بررسی سه ساله بر روی گندم گزارش کردند که میزان بارندگی در شرایط دیم به‌طور معنی‌داری نیتروژن دانه و زیست‌توده را تغییر می‌دهد. در آزمایش Hasanalideh & Hojati (2012)، تلقیح ذرت با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش جذب نیتروژن و در نهایت افزایش ۳۰ درصدی عملکرد ذرت شد. درک صحیح مکانیسم‌های مؤثر بر تنظیم کارایی نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تولید در واحد سطح داشته باشد. با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن، شاخص کارایی استفاده از نیتروژن کاهش می‌یابد (Naushad *et al.*, 2012). نتایج به‌دست‌آمده توسط برخی پژوهش‌گران نشان داد که کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و کودهای زیستی باعث افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش کارایی جذب آن شده است (Hamzei & Sarmadi, 2010). Song *et al.* (2021) اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم بر رشد، جذب و انتقال عنصر نیتروژن توسط گیاه ذرت را مثبت و معنی‌دار گزارش نمودند. با این حال سویه‌های ازتوباکتر به تنهایی نمی‌توانند جایگزین کامل کودهای شیمیایی نیتروژن شود (Bonilla *et al.*, 2013).

لذا با توجه به مصرف بی‌رویه کود شیمیایی نیتروژن و مشکلات ناشی از آن، هم‌چنین نظر به اهمیت گلرنگ به‌عنوان یک گیاه روغنی سازگار به شرایط دیم و نیز عدم وجود اطلاعاتی مستند و جامع در خصوص شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن به کود شیمیایی نیتروژن و ازتوباکتر در شرایط دیم بر روی گیاه گلرنگ، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن برخی از ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت شرایط دیم انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی استان ایلام اجرا شد. محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا بود. منطقه موردنظر دارای متوسط بارندگی سالیانه ۴۰۲ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق سالیانه به‌ترتیب ۴۲/۲ و ۸/۶- درجه سانتی‌گراد است. افزایش دما در اواخر فصل رشد گل‌رنگ، معمولاً با قطع بارندگی همراه است و زراعت دیم این محصول را در منطقه ایلام با تنش خشکی مواجه می‌سازد. میانگین ماهانه دما، بارندگی و رطوبت نسبی در سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ در جدول (۱) ارائه شده است. زمین مزرعه آزمایشی در سال اول قبل از زراعت گل‌رنگ، آیش بود. سال دوم آزمایش در همان زمین اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش طی دو سال آزمایش در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه خاک در هر دو سال آزمایش ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات در زمان کشت به خاک اضافه شد و نیازی به استفاده از کود شیمیایی پتاسیم نبود. هم‌چنین، کود نیتروژن از منبع اوره در هر دو سال آزمایش تأمین شد، برای اعمال سطوح ۵۰ و ۱۰۰ درصد مصرف نیتروژن، به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) در دو مرحله که یک دوم آن به‌صورت پایه در زمان کاشت و نیم دیگر به‌صورت سرک در ابتدای مرحله ساقه‌دهی به خاک افزوده شد.

جدول ۱. میانگین دما، بارندگی و رطوبت نسبی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در فصل‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۴-۹۵

ماه	سال ۱۳۹۴-۹۵			سال ۱۳۹۵-۹۶		
	بارندگی (mm)	میانگین دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	بارندگی (mm)	میانگین دما (°C)	رطوبت نسبی (%)
مهر	۰/۵	۲۴/۲	۲۹	۲/۷	۲۲/۰	۲۵
آبان	۳۱۹/۸	۱۳/۹	۶۹	۱۹/۱	۱۷/۳	۳۴
آذر	۶۷/۷	۸/۱	۶۴	۳۴/۳	۸/۱	۴۵
دی	۷۵/۹	۶/۷	۷۰	۸۷/۵	۷/۳	۶۰
بهمن	۵۶/۹	۷/۰	۶۲	۱۰۲/۳	۴/۹	۶۵
اسفند	۵۲/۰	۱۲/۰	۵۸	۷۴/۷	۱۰/۲	۵۴
فروردین	۱۳۸/۶	۱۲/۹	۶۱	۸۰/۰	۱۴/۰	۶۰
اردیبهشت	۱۸/۶	۲۰/۴	۵۱	۹/۷	۲۱/۱	۴۳
خرداد	۰	۲۵/۰	۲۸	۰	۲۶/۲	۲۲
تیر	۰	۳۱/۸	۲۰	۰	۳۱/۷	۱۷

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

سال	یافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب (mg. Kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg. Kg ⁻¹)	وزن مخصوص ظاهری (mg. Kg ⁻¹)
۱۳۹۴-۹۵	لومی رسی	۷/۳۲	۰/۴۵	۰/۱۳	۱/۴۰	۶/۲	۲۹۲	۱/۳
۱۳۹۵-۹۶	لومی رسی	۷/۳۳	۰/۴۳	۰/۱۳	۱/۳۸	۶/۲	۲۸۷	۱/۳

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام سینا (تیپ بینابین- خاردار) پدیده (تیپ پاییزه- خاردار) و لاین‌های 312-S6-697 (تیپ پاییزه- خاردار)، PI-401478 (تیپ

بینابین - خاردار)، PI-253895 (تیپ پاییزه - خاردار)، PI-306974 (تیپ پاییزه - خاردار) انتخابی از آزمایش‌های سازگاری مناطق دیم و معتدل و فاکتور ترکیبی از تلقیح بذر با ازتوباکتر همراه با مصرف کود شیمیایی اوره در چهار سطح شامل ۱- بدون مصرف هیچ منبع کودی (شاهد)، ۲- تلقیح بذر با ازتوباکتر + عدم مصرف کود شیمیایی اوره، ۳- تلقیح بذر با ازتوباکتر + ۵۰ درصد نیتروژن از منبع اوره، ۴- ۱۰۰ درصد نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره براساس توصیه آزمایش خاک را شامل می‌شد. زمین محل اجرای آزمایش در مهرماه هر دو سال آزمایش شخم عمیق زده شد و در اوایل آبان‌ماه عملیات آماده‌سازی تکمیلی زمین شامل شخم، دیسک‌زنی و کرت‌بندی انجام شد. هر کرت آزمایش شامل شش خط کاشت با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر و طول هر خط کاشت ۴ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و بین تکرارها فاصله یک متر در نظر گرفته شد. برای تلقیح بذرها میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^8 عدد باکتری زنده و فعال، با آب شکر به غلظت ۲۰ درصد مرطوب و به نسبت ۲ کیلوگرم ماده تلقیح در ۱۰۰ کیلوگرم بذر با بذرهای آغشته و استفاده شد. پس از آغشته‌کردن بذر با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵ که از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات آب و خاک ایران تهیه شد، کار چرخاندن ظرف به مدت چند دقیقه ادامه یافت تا مایه تلقیح به کمک محلول آب شکر به خوبی سطح بذر را (تلقیح به صورت بذر مال) پوشش دهد. بذر تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شدند و آماده کشت شدند. کاشت براساس پیش‌بینی هواشناسی یک روز قبل از اولین بارندگی مؤثر در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب در تاریخ‌های ۹ و ۱۵ آبان‌ماه انجام شد. در هر دو سال آزمایش هیچ گونه آبیاری انجام نشد و فقط به استفاده از نزولات آسمانی اکتفا شد.

به منظور اندازه‌گیری نیتروژن در مرحله رسیدگی دانه (R9) به صورت جداگانه دانه و کاه کلش نمونه برداری و درصد نیتروژن دانه و کاه و کلش با روش کجدال (Svecnjak & Rengel, 2006) اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن جذب شده گیاه از مجموع نیتروژن دانه (درصد نیتروژن دانه × عملکرد دانه) و نیتروژن کاه کلش (درصد نیتروژن کاه و کلش × وزن کاه و کلش) به دست آمد. برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، ذخیره نیتروژن موجود در خاک قبل از کشت گیاه زراعی نیز در نظر گرفته شد برای این منظور عمق خاک حاصلخیز برای گلرنگ ۳۰ سانتی‌متر و همچنین با توجه به درصد نیتروژن خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول ۲) مقدار نیتروژن موجود در خاک با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد، که میزان آن $50/7$ کیلوگرم در هکتار بود.

رابطه (۱) = نیتروژن اولیه خاک (Kg.ha^{-1})

$$[10000 / 10000 \text{ نیتروژن قابل دسترس خاک} \times \text{وزن مخصوص ظاهری} \times \text{عمق خاک} \times 10000]$$

از رابطه‌های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) برای محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن استفاده شد

(Parsa et al., 2009; Xie et al., 2006):

$$\text{NUpE} = [\text{AN} (\text{kg.ha}^{-1}) / \text{TN} (\text{kg.ha}^{-1})] \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{NUtE} = [\text{GY} (\text{kg.ha}^{-1}) / \text{AN} (\text{kg.ha}^{-1})] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{NUE} = \text{NUpE} \times \text{NUtE} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{رابطه (۵)} = \frac{\text{نیتروژن کل دانه}}{\text{مجموع نیتروژن کل گیاه}} \times 100 = \text{شاخص برداشت نیتروژن}$$

در روابط (۲) تا (۴)، NUpE، NUtE و NUE به ترتیب، کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن، AN: کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN: کل نیتروژن فراهم خاک و مصرف شده و GY: عملکرد دانه گلرنگ است. در زمان رسیدگی،

برداشت از ۳۱ خردادماه تا ۸ تیرماه صورت گرفت. تعیین عملکرد دانه با حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از طرفین طول کرت، از دو خط به طول چهارمتر انجام شد.

قبل از تجزیه مرکب، آزمون یکنواختی روی واریانس‌ها با روش بارتلت اجرا شد. نتایج آزمون بارتلت نشان داد که در همه موارد کای‌اسکور محاسبه شده کوچک‌تر از کای‌اسکور جدول است. بنابراین، با اطمینان از متجانس بودن واریانس‌ها، تجزیه مرکب روی داده‌ها صورت گرفت. در تجزیه مرکب، آزمون F برای معنی‌دار بودن منابع تغییر با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض ثابت بودن اثر تیمارهای آزمایشی و تصادفی بودن اثر سال صورت گرفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش در شرایط دیم نشان داد که اثر سال بر صفت نیتروژن کاه و کلش و شاخص برداشت نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). که این نتیجه بیانگر آن است که شرایط محیطی در سال‌های مختلف اثر متفاوتی روی صفت نیتروژن کاه و کلش و شاخص برداشت نیتروژن دارد. منبع نیتروژن در سطح احتمال یک درصد روی صفات نیتروژن دانه، نیتروژن کاه و کلش، جذب نیتروژن کل گیاه، کارایی تبدیل نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود. همچنین منبع نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه، شاخص برداشت نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳). عامل ژنوتیپ روی تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). که این امر بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای از لحاظ ویژگی‌های موردبررسی و امکان‌پذیری برای این ویژگی‌ها در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. اثر برهم‌کنش سال × منبع نیتروژن بر کلیه ویژگی‌های موردبررسی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بنابراین می‌توان دریافت که منبع نیتروژن برای هر سال، برای صفات نیتروژن دانه، نیتروژن کاه و کلش، میزان جذب نیتروژن کل گیاه، عملکرد دانه، شاخص برداشت نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن تغییرات ناهمگنی داشته است. اثر برهم‌کنش دوگانه منبع نیتروژن × ژنوتیپ بر صفات، نیتروژن دانه، نیتروژن کاه و کلش، میزان جذب کل نیتروژن و شاخص کارایی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳) که حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات نسبت به تیمارهای منبع نیتروژن می‌باشد. اثرات برهم‌کنش دو گانه سال × ژنوتیپ و سه‌گانه سال × منبع نیتروژن × ژنوتیپ بر هیچ‌کدام از صفات مورد مطالعه در این پژوهش معنی‌دار نبودند (جدول ۳) که بیانگر واکنش مشابه ژنوتیپ‌ها به تیمارهای منبع نیتروژن در دو سال آزمایش می‌باشد.

۳.۱. نیتروژن کاه و کلش، دانه و جذب نیتروژن گیاه

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سال × منبع نیتروژن برای صفت نیتروژن کاه و کلش، مشخص کرد که تمامی تیمارهای منبع نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش به‌طور معنی‌داری دارای درصد نیتروژن کاه و کلش بیش‌تری بودند (جدول ۴). اما میزان جذب کل نیتروژن گیاه تنها در سال اول آزمایش در تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال دوم بود و سایر تیمارها در هر دو سال از نظر میزان جذب کل نیتروژن گیاه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵) که این امر بیانگر آن است که در سال اول آزمایش به‌دلیل میزان بارندگی بیش‌تر و فراهم‌بودن رطوبت در خاک کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی

نیتروژن باعث انتقال مقدار نیتروژن بیشتری از اندام هوایی به دانه و در نهایت افزایش میزان جذب کل نیتروژن گیاه می‌شود. که این نتیجه با گزارش Abdoli (2019) که اظهار داشت، جذب نیتروژن توسط گندم پس از مرحله گل‌دهی و انتقال آن از بافت‌های رویشی به دانه بستگی زیادی به شرایط رشد دارد، مطابقت داشت. بیش‌ترین میزان صفات نیتروژن دانه، کاه و کلش و جذب کل نیتروژن گیاه، متأثر از برهم‌کنش منبع نیتروژن \times ژنوتیپ، از تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ سینا و کم‌ترین میزان آن‌ها از ژنوتیپ‌های 312-S6-692 و PI-401478 در تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمدند (جدول ۵). این موضوع بیانگر آن است که کاربرد کامل کود شیمیایی نیتروژن، با افزایش دسترسی بیش‌تر نیتروژن برای گیاه باعث جذب بیش‌تر نیتروژن خاک توسط گیاه و در نتیجه افزایش ذخیره‌سازی بیش‌تر نیتروژن در دانه و کاه و کلش گلرنگ می‌شود. Belete *et al.* (2018) نیز گزارش کردند که با کاربرد بیش‌تر نیتروژن، میزان نیتروژن دانه افزایش یافت. پس زمانی که گیاه با محدودیت جذب نیتروژن مواجه نباشد، نیتروژن زیادی جذب نموده و آن را به دانه‌ها انتقال می‌دهد (Aref *et al.*, 2014) Moslehi *et al.* (2016) نیز گزارش نمودند میزان نیتروژن کاه در تیمارهایی که در آن‌ها از کود شیمیایی نیتروژن استفاده شد بسیار بیش‌تر از سایر تیمارها بوده است، که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. تیمار تلقیح با ازتوباکتر در تمامی ژنوتیپ‌های موردبررسی باعث افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن دانه و کاه و کلش گلرنگ نسبت به تیمار شاهد در تمامی ژنوتیپ‌ها شد (جدول ۵). از جمله علت‌های برتری تیمار تلقیح‌شده با باکتری ازتوباکتر نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) می‌توان به ترشح انواع هورمون‌ها که سبب افزایش حجم ریشه و جذب نیتروژن از خاک می‌شود، تأثیر بر جذب NO_3^- با احیای این ترکیب توسط باکتری‌ها در ناحیه ریشه و همچنین از طریق تثبیت N_2 افزایش میزان نیتروژن خاک در اثر فعالیت باکتری‌ها اشاره نمود که موجب بالارفتن میزان نیتروژن در دانه گیاه شده است. Panahi *et al.* (2015) گزارش کردند که مصرف کود زیستی حاوی ازتوباکتر کروکوکوم سبب افزایش درصد نیتروژن دانه در برنج شد که با یافته‌های این آزمایش هم‌خوانی داشت. در پژوهش حاضر نیز ژنوتیپ سینا در تمامی تیمارهای منبع نیتروژن بیش‌ترین درصد نیتروژن دانه و کاه و کلش را دارا بود (جدول ۵)، امروزه توانایی ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی در جذب و مصرف عناصر غذایی توسط پژوهش‌گران بسیاری موردتوجه قرار گرفته است که تفاوت کارایی آن‌ها در استفاده از عناصر غذایی به خاطر گسترش ریشه‌ها، یا مصرف توسط گیاه و یا هر دو متأثر می‌شود که اهمیت نسبی این راهبردها بسته به نوع عنصر و نوع گونه گیاهی می‌تواند متفاوت باشد. دلیل افزایش جذب کل نیتروژن در تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و ژنوتیپ سینا در شرایط دیم بالا بودن غلظت نیتروژن و وزن ماده خشک این تیمار به علت فراهمی نیتروژن در دسترس گیاه است. با توجه به این‌که میزان جذب نیتروژن ژنوتیپ‌های گلرنگ از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن ژنوتیپ گلرنگ و ماده خشک تولیدی آن در واحد سطح به‌دست می‌آید، در نتیجه افزایش نیتروژن جذب‌شده گلرنگ در ژنوتیپ سینا و تیمار کود مصرفی نیز دور از انتظار نمی‌باشد، چرا که مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن در این آزمایش باعث افزایش درصد نیتروژن و عملکرد دانه و کاه و کلش تولیدی ژنوتیپ سینا تحت شرایط دیم در واحد سطح شده است. از طرفی دیگر افزایش میزان جذب نیتروژن کل گیاه در نتیجه اعمال تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن را می‌توان با تحریک سطح فتوسنتزکننده و رشد رویشی گلرنگ و در نتیجه جذب نیتروژن مرتبط دانست، به‌طوری که این تحریک منجر به افزایش وزن خشک و در نهایت افزایش جذب کل نیتروژن گیاه در واحد سطح می‌شود که این نتیجه با گزارش Yadavi & Yuosefpur (2015) که اظهار داشتند مصرف بالای کود شیمیایی نیتروژن، با افزایش دسترسی بیش‌تر نیتروژن برای گیاه باعث جذب بیش‌تر نیتروژن خاک توسط گیاه و در نتیجه افزایش ذخیره‌سازی بیش‌تر نیتروژن در اندام‌های هوایی آفتابگردان می‌شود، هم‌خوانی داشت.

۲.۳. عملکرد دانه

عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر سال × منبع کود نیتروژن قرار گرفت، به طوری که بیشترین عملکرد دانه معادل ۱۲۷۲ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال اول آزمایش به دست آمد که با تیمار تلفیقی از توباکتر + ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در همین سال از نظر آماری تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۴). بالابودن عملکرد دانه در اثر کاربرد این تیمارها را می توان به فراهمی و جذب بیش تر نیتروژن در شرایط دیم نسبت داد.

جدول ۳. تجزیه مرکب نیتروژن کاه و کلش، دانه، جذب نیتروژن کل گیاه و شاخص های کارایی نیتروژن

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن کاه و کلش	نیتروژن دانه	جذب نیتروژن کل گیاه	عملکرد دانه	شاخص برداشت نیتروژن	کارایی جذب نیتروژن	کارایی تبدیل نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن
سال	۱	۰/۳۲۳ *	-/۱۳ ns	۱۳۲/۲۱ ns	۵۱۹۰۰ ns	۸۰۶/۳۲ *	۰/۰۰۸ ns	۲۵۴/۳۲ ns	۹۶/۱۰ ns
سال/تکرار	۴	-/۰۴	۱/۶۵	۳۹۰/۱۸	۶۲۹۸۹۸۸	۱۰۶/۲۴	۰/۰۷۸	۱۲۷/۳۵	۱۵/۹۹
منبع نیتروژن	۳	-/۰۸۶ **	۱۰/۰۱ **	۷۳۷۸/۶۶ **	۹۰۶۹۵۰ *	۳۸۳/۴۲ *	-/۱۸۲ *	۱۱۷۴/۴۲ **	۴۷۸/۹۴ **
سال × منبع نیتروژن	۳	-/۰۱۴ **	-/۱۴ **	۱۳۳/۸۲ **	۳۵۵۴۱ *	۱۷/۵۸ *	-/۰۱۶ **	۲۱/۸۹ **	۵/۸۶ *
ژنوتیپ	۵	-/۰۹۲ **	۱/۵۷ **	۱۵۸۵/۷۵ **	۳۱۱۲۵۱ **	۲۵/۶۸ **	-/۳۶۸ **	۱۰۹/۲۱ **	۶۰/۶۱ **
سال × ژنوتیپ	۵	-/۰۰۳ ns	-/۰۱ ns	۹/۶۳ ns	۸۳۶۷ ns	۷/۵۸ ns	-/۰۰۱ ns	۱/۰۵ ns	۱/۰۸ ns
منبع نیتروژن × ژنوتیپ	۱۵	-/۰۰۷ **	-/۰۹ **	۱۱۶/۵۵ **	۱۰۶۶۱ ns	۲/۹۶ ns	-/۰۰۳ ns	۳/۳۳ *	-/۹۵ ns
سال × منبع نیتروژن × ژنوتیپ	۱۵	-/۰۰۴ ns	-/۰۲ ns	۱۱/۵۸ ns	۶۶۵۵ ns	۴/۰۹ ns	-/۰۰۱ ns	۱/۱۱ ns	۱/۴۷ ns
خطا	۹۲	-/۰۰۳	-/۰۰۶	۱۵/۲۳	۴۹۷۰	۹/۵۴	-/۰۰۲	۲/۴۳	۱/۰۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۷۳	۸/۷۱	۹/۵۰	۷/۲۹	۴/۹۷	۸/۷۵	۵/۶۴	۶/۷۵

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین های سطوح اثر متقابل سال و منبع نیتروژن بر نیتروژن کاه و کلش، دانه، جذب نیتروژن کل گیاه و شاخص های کارایی نیتروژن

تیمارها	نیتروژن کاه و کلش (%)	نیتروژن دانه (%)	جذب نیتروژن کل گیاه (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت نیتروژن (%)	کارایی جذب نیتروژن (kg.ha ⁻¹)	کارایی تبدیل نیتروژن (kg.ha ⁻¹)	کارایی مصرف نیتروژن (kg.ha ⁻¹)
Y ₁ × N ₁	۰/۲۸ h	۲/۲۴ f	۲۴/۶ e	۸۸۵ d	۸۱/۰۹ e	۰/۴۸ e	۳۶/۳۹ a	۱۷/۴۶ bc
Y ₁ × N ₂	۰/۳۱ g	۲/۶۴ d	۳۳/۲۹ d	۱۰۲۹ c	۸۲/۲۴ d	۰/۶۹ a	۳۱/۵۰ a	۲۰/۳ a
Y ₁ × N ₃	۰/۳۹ e	۳/۲۱ c	۴۹/۵۰ c	۱۲۵۹ a	۸۲/۷۸ c	۰/۶۱ bc	۲۶/۲۵ e	۱۵/۵۳ d
Y ₁ × N ₄	۰/۶۳ b	۳/۵۱ a	۶۰/۵۵ a	۱۲۷۲ a	۷۴/۳۹ a	۰/۵۴ d	۲۱/۷۱ g	۱۱/۳۶ f
Y ₂ × N ₁	۰/۳۵ f	۲/۳۷ e	۲۶/۵۹ e	۷۵۴ d	۷۶/۸۰ e	۰/۵۲ d	۳۲/۶۳ b	۱۶/۸۴ c
Y ₂ × N ₂	۰/۴۲ d	۲/۷۴ d	۳۲/۵۵ d	۹۰۷ d	۷۶/۸۶ d	۰/۶۴ ab	۲۸/۱۰ d	۱۷/۹۰ b
Y ₂ × N ₃	۰/۵۳ c	۳/۳۵ b	۴۷/۸۵ e	۱۰۸۵ bc	۷۶/۵۳ e	۰/۵۸ c	۲۳/۱۴ f	۱۳/۳۸ e
Y ₂ × N ₄	۰/۶۸ a	۳/۳۸ b	۵۳/۳۳ b	۱۱۲۰ b	۷۱/۳۸ e	۰/۴۷ e	۲۱/۳۶ g	۱۰/۰۰ g

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

Y1 و Y2 به ترتیب فصل های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵.

N0، N1، N2، N3 به ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های سطوح اثر متقابل منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر نیتروژن کاه و کلش، دانه، جذب نیتروژن کل گیاه و

کارایی تبدیل نیتروژن

تیمارها	نیتروژن کاه و کلش (%)	نیتروژن دانه (%)	جذب نیتروژن کل گیاه (Kg.ha ⁻¹)	کارایی تبدیل نیتروژن (Kg.ha ⁻¹)
N ₀ × G ₁	۰/۳۰۵ l	۲/۰۷ n	۲۱/۳ h	۳۷/۵۵ a
N ₀ × G ₂	۰/۳۱ kl	۲/۱۴ n	۲۲/۴۱ h	۳۵/۹۴ b
N ₀ × G ₃	۰/۲۵۶ m	۲/۲۲ n	۲۷/۷۷ h	۳۶/۹۱ ab
N ₀ × G ₄	۰/۳۳۳ j-l	۲/۴۱m	۲۷/۷۷ g	۳۳/۰۷ c
N ₀ × G ₅	۰/۳۴۵ i-k	۲/۴۷m	۲۸/۸۷ g	۳۲/۰۳ cd
N ₀ × G ₆	۰/۳۵۶ ij	۲/۵۲ m	۳۱/۱ g	۳۱/۵۸ d
N ₁ × G ₁	۰/۳۲۰ j-l	۲/۵۹ m	۲۸/۰۸ g	۳۱/۰۱ de
N ₁ × G ₂	۰/۳۳۱ j-l	۲/۴۷ m	۲۷/۰۸ g	۳۱/۹۳cd
N ₁ × G ₃	۰/۳۴۶ i-k	۲/۶۸ kl	۳۰/۶۳ g	۳۰/۱۳ fe
N ₁ × G ₄	۰/۳۸ hi	۲/۷۸ jk	۳۵/۴۷ f	۲۸/۹۶ fe
N ₁ × G ₅	۰/۳۹۵ gh	۲/۷۹ jk	۳۶/۵۵ f	۲۸/۷۵ gh
N ₁ × G ₆	۰/۴۳۶ f	۲/۸۲ jk	۳۹/۷۷ ef	۲۸/۰۴ g-i
N ₂ × G ₁	۰/۳۸۱ hi	۲/۹۱ h-j	۳۶/۱۸ f	۲۷/۵۴ h-j
N ₂ × G ₂	۰/۴۲۸ g	۲/۸۸ i-k	۳۹/۶۲ ef	۲۶/۹۲ ij
N ₂ × G ₃	۰/۴۱۰ f-h	۲/۰۹ f-h	۴۳/۸۵ e	۲۶/۲۵ j
N ₂ × G ₄	۰/۴۸۶ e	۳/۳۸ de	۵۲/۷۷ d	۲۳/۹۵ k
N ₂ × G ₅	۰/۵۱۸ e	۳/۶۷ bc	۵۷/۴ c	۲۲/۰۱ lm
N ₂ × G ₆	۰/۵۷ d	۳/۷۴ ab	۶۲/۲۵ b	۲۱/۴۹ m
N ₃ × G ₁	۰/۵۷۵ d	۳/۱۴ g	۴۳/۴۶ e	۲۳/۱۴ kl
N ₃ × G ₂	۰/۵۷۳ d	۳/۰۷ g-i	۴۳/۵۲ e	۲۳/۴۹ k
N ₃ × G ₃	۰/۵۷۰ d	۳/۲۷ ef	۵۱/۳۵ d	۲۳/۱۸ kl
N ₃ × G ₄	۰/۶۷۵ c	۳/۵۲ cd	۶۲/۱۹ b	۲۰/۹۸ mn
N ₃ × G ₅	۰/۷۲۵ b	۳/۷۵ ab	۶۴/۸ b	۱۹/۷۳ no
N ₃ × G ₆	۰/۸۲۳ a	۳/۹۲ a	۷۶/۲۶ a	۱۸/۶۷ o

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

N₀, N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح یا ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن.

G₁, G₂, G₃, G₄, G₅ و G₆ به ترتیب ژنوتیپ‌های 312-S6-692, PI-401478, PI-253895, PI-306974, پدیده و سینا.

تیمار تلفیقی ازتوباکتر + ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن، نیتروژن موردنیاز گیاه جهت رشد گیاه و رسیدن به عملکرد پتانسیل را تحت شرایط دیم تأمین نموده است و افزودن بیش‌تر کود شیمیایی تأثیری معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه ندارد و در شرایط دیم و موجب هدررفت کود شیمیایی نیتروژن و آلودگی محیط زیست می‌شود. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن با کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن و جذب بیش‌تر آن توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش اجزای عملکرد دانه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمار تلفیقی در شرایط دیم می‌باشد. از طرفی دیگر نتایج این مطلب را تأیید کرد که تلفیق ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن امکان‌پذیر است، چرا که ازتوباکترها آزادی هستند و با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن فعالیت آن‌ها افزایش می‌یابد.

۳.۳. شاخص برداشت نیتروژن

براساس نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سال × منبع نیتروژن (جدول ۴)، مشخص شد که تیمار تلقیح با ازتوباکتر + ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال اول بیش‌ترین و تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال دوم کم‌ترین شاخص برداشت نیتروژن را نشان دادند. با توجه به نتایج آزمایش به‌نظر می‌رسد که کاربرد ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی

نیترژن تحت شرایط دیم در هر دو سال نسبت به سایر تیمارها منجر به کاهش معنی‌دار این شاخص شده است. علت این روند را می‌توان چنین بیان داشت که با افزایش کاربرد نیترژن رشد رویشی گلرنگ افزایش یافته و با افزایش رشد رویشی، انتقال مجدد مواد از اندام رویشی به زایشی محدودتر صورت می‌گیرد. کاهش شاخص برداشت نیترژن در گندم نیز با افزایش کاربرد کود مصرفی مشاهده شد (Hosseini *et al.*, 2013). بیش‌ترین شاخص برداشت نیترژن در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی مربوط به ژنوتیپ PI-253895 بود (جدول ۶). شاخص برداشت نیترژن یک شاخص مهم در تقسیم و توزیع نیترژن بین اندام‌های مختلف در گیاهان زراعی است و نشان می‌دهد گیاه تا چه اندازه از نیترژن جذب‌شده برای تولید دانه استفاده کرده است (Fageria *et al.*, 2015). بنابراین با توجه به این مشاهدات به نظر می‌رسد که ژنوتیپ PI-253895 در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی از نیترژن جذب‌شده بیش‌تری برای تولید دانه استفاده می‌کند.

۴.۳. کارایی جذب نیترژن

مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش سال و منبع نیترژن برای پارامتر کارایی جذب نیترژن مشخص کرد که بیش‌ترین کارایی جذب نیترژن در هر دو سال آزمایش به تیمار ازتوباکتر متعلق بود (جدول ۴). دلیل این افزایش را می‌توان به تثبیت بیولوژیکی نیترژن توسط ازتوباکتر و جذب تدریجی و هم‌زمان با نیاز گلرنگ در شرایط دیم دانست. Sohrabi *et al.* (2014) نیز نقش ازتوباکتر در افزایش معنی‌دار جذب نیترژن توسط گندم را مثبت ارزیابی کردند. Elwan & Abd El-Hamed (2011) گزارش دادند که کارایی جذب نیترژن می‌تواند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع منبع تأمین‌کننده نیترژن قرار گیرد. کم‌ترین کارایی جذب نیترژن به تیمار عدم مصرف کود در سال اول و تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیترژن در سال دوم اختصاص داشت که از لحاظ آماری در کلاس مشابهی قرار گرفتند (جدول ۴). در شرایط محیطی که میزان رطوبت محدود باشد میزان بارندگی می‌تواند بر تغییرات مقدار کارایی جذب نیترژن مؤثر باشد، در این رابطه Tavakkoli kakhki *et al.* (2018) بیان داشتند در شرایط محدودیت رطوبت بیش از ۴۰ درصد کارایی جذب نیترژن متأثر از شرایط آب‌وهوایی و میزان بارندگی است، همچنین به‌نظر می‌رسد علت کارایی پایین جذب نیترژن در شرایط کاربرد کامل کود شیمیایی نیترژن تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد دانه گلرنگ تولیدی تحت تأثیر کاربرد نیترژن مصرفی می‌باشد (که به‌طور مستقیم در جذب نیترژن از خاک تأثیرگذار است). در نتیجه اگرچه با افزایش کاربرد کامل کود شیمیایی نیترژن عملکرد در شرایط دیم افزایش یافت، اما توانایی گیاه در جذب نیترژن هم‌راستا با افزایش در میزان مصرف کود نمی‌باشد، در حقیقت کاربرد کامل کود شیمیایی نیترژن تحت شرایط دیم در گلرنگ هم‌راستا با مصرف آن نیست. کاهش در میزان کارایی جذب نیترژن با افزایش کاربرد کود مصرفی نیترژن در برخی مطالعات گزارش شده است (Haile *et al.*, 2012). مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های موردبررسی گلرنگ در شرایط دیم نشان داد بیش‌ترین کارایی جذب نیترژن با میانگین ۰/۷۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم متعلق به ژنوتیپ سینا بود (جدول ۴). با توجه به این‌که ژنوتیپ سینا از درصد نیترژن و جذب کل نیترژن بیش‌تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم برخوردار است، بالا بودن کارایی جذب نیترژن در این ژنوتیپ قابل توجیه است.

۵.۳. کارایی تبدیل نیترژن

مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش منبع نیترژن × ژنوتیپ مشخص ساخت بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی تبدیل نیترژن به تیمارهای عدم مصرف کود و ژنوتیپ 312-S6-692 اختصاص داشت، کم‌ترین میزان شاخص کارایی تبدیل نیترژن به تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیترژن در ژنوتیپ سینا متعلق بود، همچنین ژنوتیپ سینا در تمامی سطوح منبع نیترژن

کم‌ترین کارایی تبدیل نیتروژن را داشت (جدول ۵). با توجه به نتایج حاصله در شرایط دیم به‌نظر می‌رسد شاخص کارایی تبدیل نیتروژن به‌طور مستقیم تابعی از عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ می‌باشد. در این آزمایش با افزایش کاربرد کود نیتروژن مقدار این شاخص کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، با افزایش مصرف نیتروژن نسبت تولید دانه به میزان محتوای نیتروژن در بافت‌های گیاهی کاهش یافت، که این کاهش را می‌توان به‌دلیل وجود رابطه غیرخطی بین افزایش مصرف نیتروژن و بهبود عملکرد دانه مرتبط دانست. Ahmadi *et al.* (2018) گزارش دادند با افزایش کاربرد نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن کاهش یافت که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. لازم به ذکر است که شاخص کارایی مصرف نیتروژن حاصل ضرب شاخص کارایی بهره‌وری نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن می‌باشد. این اجزا حالت موازنه با یکدیگر دارند. لذا افزایش در یکی از این اجزا با کاهش در جزء دیگر همراه خواهد شد (Koocheki, 2017). بنابراین در شرایط دیم آزمایش ژنوتیپ 312-S6-692 بیش‌ترین کارایی تبدیل و کم‌ترین کارایی جذب را به خود اختصاص داد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات اصلی بر نیتروژن کاه و کلش، دانه، جذب نیتروژن کل گیاه و شاخص‌های کارایی نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن (kg,kg ⁻¹)	کارایی تبدیل نیتروژن (kg,kg ⁻¹)	کارایی جذب نیتروژن (kg,kg ⁻¹)	شاخص برداشت نیتروژن (%)	عملکرد دانه (kg,kg ⁻¹)	جذب نیتروژن کل گیاه (%)	نیتروژن دانه (%)	نیتروژن کاه و کلش (%)
۱۷/۱۵ b	۳۴/۵۱ a	۰/۵۰ b	۷۶/۹۵ ab	۸۶۷ b	۲۵/۶۲ b	۲/۲۱ c	۰/۳۱ c
۱۹/۱۰ a	۲۹/۸۰ b	۰/۶۴ a	۷۹/۵۵ a	۹۶۸ b	۳۲/۹۲ b	۲/۶۹ b	۰/۳۶ c
۱۴/۴۵ c	۲۴/۶۹ c	۰/۶۰ ab	۷۹/۶۵ a	۱۱۷۲ a	۴۸/۶۷ a	۳/۲۸ a	۰/۴۶ b
۱۰/۶۸ d	۲۱/۵۵ c	۰/۵۰ b	۷۲/۸۹ b	۱۱۹۳ a	۵۶/۹۴ a	۳/۴۴ a	۰/۶۵ a
منبع نیتروژن							
عدم مصرف کود (شاهد)							
ازتوباکتر							
ازتوباکتر + ۵۰ درصد کود نیتروژن							
۱۰۰ درصد کود نیتروژن							
ژنوتیپ							
۱۳/۵۰ d	a۲۹/۸۱	۰/۴۶ e	۷۷/۵۷ ab	۹۱۴ d	۳۲/۲۷ e	۲/۶۸ d	۰/۳۹ e
۱۳/۷۸ d	c۲۹/۵۷	۰/۴۵ e	۷۶/۳۴ b	۹۳۸ d	۳۳/۱۵ e	۲/۶۴ d	۰/۴۱ d
۱۴/۷۲ c	a۲۹/۱۲	۰/۵۱ d	۷۹/۵۰ a	۱۰۱۲ c	۳۷/۰۱ d	۲/۸۲ e	۰/۳۹ e
۱۶/۲۷ b	b۲۶/۷۴	۰/۶۱ c	۷۸/۰۷ ab	۱۱۲۰ b	۴۴/۵۴ c	۳/۰۲ b	۰/۴۶ c
۱۶/۳۳ b	c۲۵/۶۳	۰/۶۴ b	۷۷/۷۵ ab	۱۱۱۳ b	۴۶/۹۱ b	۳/۱۷ a	۰/۴۹ b
۱۷/۴۹ a	c۲۴/۹۴	۰/۷۱ a	۷۷/۳۳ ab	۱۲۰۳ a	۵۲/۳۷ a	۳/۲۵ a	۰/۵۴ a

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

۳.۶. کارایی مصرف نیتروژن

بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن به تیمار تلقیح با ازتوباکتر در سال اول اختصاص داشت، و کم‌ترین آن به میزان ۱۰/۰۰ کیلوگرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال دوم به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج این بررسی در شرایط دیم حاکی از آن است که کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، در سال دوم آزمایش گیاه گلرنگ نتوانسته به تناسبی که کود نیتروژن دریافت کرده، دانه تولید کند. Shahrabi *et al.* (2016) گزارش کردند، در مناطق دیم که با کاهش میزان بارندگی‌ها در اواخر فصل رشد مواجه هستند کاربرد زیاد کود شیمیایی نیتروژن سبب کاهش محسوس کارایی مصرف نیتروژن می‌شود، به‌دلیل این‌که افزایش مصرف نیتروژن تأثیر کمی بر افزایش عملکرد دانه دارد. Liu *et al.* (2018) نیز بیان داشتند که با افزایش کاربرد کود مقدار عملکرد دانه به تبعیت از قانون بازده نزولی

افزایش کمتری داشت که این وضعیت موجب کاهش کارایی مصرف نیتروژن شد. به‌طور کلی، کارایی مصرف عناصر غذایی با رفع تدریجی نیاز گیاه کمتر می‌شود و معمولاً بالاترین کارایی مصرف کود در اولین واحدهای مصرف آن به‌دست می‌آید. بالابودن کارایی مصرف نیتروژن در تیمار تلقیح با ازتوباکتر ممکن است به توانایی ازتوباکتر در تثبیت نیتروژن و افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی توسط بوته‌های گلرنگ مربوط باشد. که در آزمایش *eyed Sharifi et al.* (2016) نیز به آن اشاره شده است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن ملکولی، با تولید هورمون‌ها و انواع مواد تحریک‌کننده رشد گیاهی شده که با افزایش تولید تارهای کشنده ریشه، حجم ریشه و جذب عناصر غذایی از خاک سبب بهبود کارایی کود می‌شوند. نتایج این بررسی هم‌چنین نشان داد که صرف‌نظر از میزان مصرف کود نیتروژن در شرایط دیم بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن با میانگین ۱۷/۴۹ به ژنوتیپ سینا متعلق بود (جدول ۴). *Ahmadi et al.* (2018) نیز اختلاف‌های ژنتیکی در کارایی مصرف نیتروژن در ارقام ذرت را گزارش نمود.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، حاکی از آن است که مصرف ازتوباکتر به‌صورت تلفیقی با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن (۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار) از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن نداشت. تیمار مصرف ازتوباکتر به‌صورت تلفیقی با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن (۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار) کارایی مصرف نیتروژن را در مقایسه با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن (۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) ۲۶ درصد بهبود داد، بدون تردید مصرف ازتوباکتر به‌صورت تلفیقی با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، ضمن افزایش کارایی مصرف، بدون افت معنی‌دار عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت شرایط دیم، مصرف کود شیمیایی نیتروژن را نیز تا نصف مقدار توصیه‌شده کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که هر زمان همراه نیمی از کود شیمیایی نیتروژن ازتوباکتر وجود داشته باشد این کود عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. این موضوع در کاهش هزینه‌ها، حفظ پایداری و سلامتی خاک کشاورزی در شرایط دیم منطقه برای کشت گلرنگ می‌تواند نقش به‌سزایی داشته باشد. هم‌چنین در این آزمایش ژنوتیپ سینا برتری خود را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن در شرایط دیم نشان داد. بنابراین مصرف تلفیقی ۵۰ درصد توصیه کود شیمیایی نیتروژن به‌همراه ازتوباکتر و استفاده از رقم سینا می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و در نهایت افزایش عملکرد دانه گلرنگ تحت شرایط دیم شود.

۵. تشکر و قدردانی

از مدیر محترم بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام جناب آقای دکتر امیر میرزایی و کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله به‌خاطر همکاری در طول انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورد استفاده

- Abdoli, M. (2019). Remobilization of photoassimilates a strategy to deal with drought stress in wheat. *Wheat Research*, 2(1), 87-104.
- Ahmadi, M., Mondani, F., Khoramivafa, M., Mohammadi, G. R., & Shirkhani, A. (2018). Evaluation of nitrogen uptake and productivity of maize cultivars under kermanshsh climate conditions. *Journal of Agroecology*, 10(1), 234-247. (In Persian).
- Arif, M., Tasneem, M., Bashir, F., Yaseen, G., & Iqbal, R. M. (2014). Effect of integrated use of organic manures and inorganic fertilizers on yield and yield components of rice. *Journal of Agricultural Research*, 52(2), 197-206.
- Belete, F., Dechassa, N., Molla, A., & Tana, T. (2018). Effect of nitrogen fertilizer rates on grain yield and nitrogen uptake and use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on the *Vertisols* of central highlands of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 7, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0231z>.
- Bonilla, R., Novo, R., Roncallo, B., Camelo, M., Criollo, P., Estrada, G. A., Garrido, M. F., López, M., Moreno-Galván, A., Obando, M., Parra, D., Rivera, L., Rojas-Tapias, D., Van Strahlen, M., & Zambrano, C. (2013). *Azotobacter* sp applied research aimed to growth promotion of crops with economics interest in Colombia. In I. E. García de Salomone, S. Vásquez, C. Penna, F. Cassán (Eds.), *Rhizosphere, Biodiversity Agriculture Sustainable* (1th ed., pp 151-172), Buenos Aires: Del Taller Internacional Sobre.
- Elwan, M. W. M., & Abd El- Hamed, K. E. (2011). Influence of nitrogen form, growing season and sulfur fertilization on yield and the content of nitrate and vitamin C of broccoli. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 181- 187.
- FAO. (2018). Food & Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistics Database. Available at: <http://faostat.fao.org>.
- Fageria, N. K., & Santos, A. B. (2018). Comparative efficiency of nitrogen sources for lowland rice production. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 49(5), 515-525.
- Haile, D., Nigussie, D., & Ayana, A. (2012). Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3), 389-409.
- Hamzei, J., & Sarmadi, H. (2010). Effect of biological and chemical fertilizers application on yield, yield components, agronomic efficiency and nitrogen uptake in corn. *Plant technology Journal*, 10(2), 52-63.
- Hasanalideh, A. H., & Hojati, M. (2012). Enhancing yield and nitrogen use efficiency of Brassica Napus L. using an integrated fertilizer management. *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 641-647.
- Hosseini, R. S., Gashi, S., Soltani, A., Calateh, M., & Zahed, M. (2013). The effect of nitrogen fertilizer on wheat nitrogen use efficiency measures. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(2), 300-306. (In Persian).
- Jnawali, A. D., Ojha, R. B., & Marahatta, S. (2015). Role of azotobacter in soil fertility and sustainability-a review. *Advances in Plant and Agriculture Research*, 2(6), 250-253.
- Koocheki, A. (2017). Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. *Journal of Agroecology*, 9(2), 360-378. doi: 10.22067/jag.v9i2.29287. (In Persian).
- Liu, W., Wang, J., Wang, C., Ma, G., Wel, Q., Lu, H., Xie, Y., & Kang, G. (2018). Root growth, water and nitrogen use efficiencies in winter wheat under different irrigation and nitrogen regimes in north china plain. *Frontiers in plant Science*, 9, 1-14.
- Moslehi, N., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., & Kheyr, N. (2016). Effect of integrated application of chemical, organic and biological fertilizers on some of the morphophysiological traits of rice (*Oryza sativa* L.) tarom hashemi cultivar. *Crop Physiology*, 8(30), 87-103. (In Persian).

- Naushad, H., Abdollahyan Noghabi, M., & Babaei, B. (2012). Effect of nitrogen and phosphorous application on the efficiency of nitrogen uptake and consumption in sugar beet. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 43(3), 529-539. (In Persian)
- Omidi, A. H., Khazaei, H., Monneveux, P., & Stoddard, F. (2012). Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal Field Crops*, 17(1), 10-15.
- Panahi, A., Aminpanah, H., & Sharifi, P. (2015). Effect of nitrogen, biofertilizer, and silicon application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *Philippine Journal Crop Science*, 40(1), 76-81.
- Parsa, S., Kafi, M., & Nassiri, M. (2009). Effects of Salinity and nitrogen levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal Field Crops Resarch*. 7(2), 347-355. (In Persian).
- Sedri, M. H., Golchin, A., Mirkhani, R., Fieziasl, V., & Sioseh-mardeh, A. (2017). Effect of nitrogen application management on nitrogen use efficiency in rainfed wheat using 15N isotope. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(1), 1-31. (In Persian).
- Seyed Sharifi, R., Abbaspour, S., & Seyed Sharifi, R. (2016). Effects of nitrogen rates and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain weight per plant, chlorophyll content and fertilizer use efficiency of triticale. *Plant Production Technology*, 8(1), 163-177. (In Persian).
- Shahrabi, S.1., Emam, Y., Ronaghi, A., & Pirasteh-Anosheh, H. (2016). Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on grain yield and nitrogen use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Sirvan) in Fars Province, Iran conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(4), 349 -363. (In Persian).
- Sohrabi, S., Fateh, E., Aynehband, A., & Rahnama, A. (2014). Assessment of nitrogen efficiency indices and variation in nutrients uptake of wheat influenced by crop residue management and different nitrogen fertilizer sources. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(3), 17-33. (In Persian).
- Song, Y., Li, Z., Liu, J., Zou, Y., Lv, C., & Chen, F. (2021). Evaluating the impacts of *Azotobacter chroococcum* inoculation on soil stability and plant property of maize Crop. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 824-831. doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00404-w>.
- Svecnjak, Z., & Rengel, Z. (2006). Nitrogen utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. *Plant and Soil*, 283, 299- 307.
- Szmigiel, A., Kołodziejczyk, M., Oleksy, A., & Kulig, B. (2016). Efficiency of nitrogen fertilization in spring wheat. *International Journal of Plant Production*, 10(4), 447-456.
- Tavakkoli kakhki, H., nassiri mahallati, M., Koochehi, A., & Beheshti, A. (2018). Evaluation of nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) eat cropping systems of Iran. *Journal Of Agroecology*, 10(3), 699-718. doi: 10.22067/jag.v10i3.54239. (In Persian).
- Ting, L. Z., Yang, J. Y., Drury, C. F., & Hoogenboom, G. (2015). Evaluation of the DSSAT_CSM simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. *Agricultural Systems*, 135, 90- 104.
- Yadavi, A., & Yuosefpur, Z. (2015). Effect of nitrogen and phosphorus Sources on soil chemical properties and elements concentration in sunflower. *Journal of Water and Soil*, 29(1), 210-224. (In Persian).