Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of nitrification inhibitor DMPP and fertilizer nitrogen rate on agronomic characteristics in wheat

Marzieh Sadat Hosseini[1], Ebrahim Zeinali[2], Arezoo Abidi[3*]

[1] M.Sc Graduate Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: hosseini.marzie@gmail.com

[2] Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: zeinalistudents@gmail.com

[3] M.Sc Graduate Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: arezooabidi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2019/03/06
Revised: 2023/01/26
Accepted: 2023/02/25

Keywords:
3, 4-Dimethyl pyrazole phosphate
Morvarid cultivar
Nitrogen fertilizer
Yield components

ABSTRACT

Background and objectives: Nitrogen (N) more than other mineral essential nutrients is required for plant growth and its shortage limits the growth and yield of crops. Nitrogen losses in different ways, reducing soil fertility, as well as increasing the yield potential of new cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) has increased the need for N fertilizer application. Today, using fertilizers containing nitrification inhibitors has been considered as one of the ways to reduce N losses and to optimize N nutrition of crops. However, no study has been carried out in this context under field conditions in Iran.

Materials and Methods: In this study, the effects of different sources of N including a) ammonium sulfate, b) ammonium sulfate containing nitrification inhibitor DMPP, c) urea, and d) ammonium sulfate containing DMPP plus urea at 50:50, and different rates of fertilizer N including 0 (control), 50, 125 and 200 kg N ha^{-1} on yield and yield components of wheat were evaluated. The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with four replications in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Results: The results indicated a linear and significant increase in yield components, and grain and biological yield and a decrease in the harvest index with an increase in the amount of nitrogen fertilizer rate. The average grain yield and biological yield in the control (no fertilizer use) were 3882.2 and 8016.2 kg ha^{-1}, respectively. Based on these results, a kilogram increase in nitrogen fertilizer resulted in 13.5 and 30.55 kg increase in grain and biological yield, respectively. Grain and biological yield were 6477 and 13964 kg ha^{-1}, respectively, in the treatment of the application of 200 kg N ha^{-1}. According to the results of this experiment, grain yield changes were mainly due to the variation in the number of spikes per square meter and partly due to changes in the number of grains per spike, and grain size fluctuations had no considerable effect on grain yield. Grain yield in the treatment of ammonium sulfate containing DMPP was 2.8% and 4.2% higher than urea and ammonium sulfate, respectively. But, the difference

between N fertilizer sources was not statistically significant. In terms of grain yield components, biological yield and harvest index, there was no difference between nitrogen fertilizers containing DMPP and conventional fertilizers.

Conclusion: In the environmental conditions of this experiment, a significant linear increase was observed in grain yield, yield components, and biological yield of wheat in response to increasing fertilizer nitrogen rate up to 200 kg N ha^{-1}. Also, results showed that the use of nitrogen fertilizer containing nitrification inhibitor did not result in a significant improvement in grain yield probably due to soil characteristics (in particular, the low amount of sand and the large amount of silt and clay of soil, as well as the deep cultural soil layer), low number of irrigation (only two time), irrigation time (late in the growing season of wheat), as well as the splitting and application of fertilizer in three stages. Therefore, due to the high cost of these fertilizers, their use is not recommended, economically.

Cite this article: Hosseini, M.S., Zeinali, E., Abidi, A. 2022. The effect of nitrification inhibitor DMPP and fertilizer nitrogen rate on agronomic characteristics in wheat. *Crop Production Journal*, 15 (4), 19-38.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.16388.2220
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون دی ام پی پی و مقدار نیتروژن کودی بر صفات زراعی گندم

مرضیه سادات حسینی[۱]، ابراهیم زینلی[۲]، آرزو عبیدی[۳]*

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: hosseini.marzie@gmail.com
[۲] دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: zeinalistudents@gmail.com
[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: arezooabidi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

واژه‌های کلیدی:
اجزای عملکرد
گندم مروارید
نوع کود نیتروژن‌دار
۳، ٤- دی متیل پیرازول فسفات

چکیده

سابقه و هدف: نیتروژن بیش از سایر عناصر معدنی برای رشد گیاهان مورد نیاز است و کمبود آن رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌کند. عوامل مختلفی از جمله تلفات نیتروژن به شکل‌های مختلف، کاهش حاصل‌خیزی خاک‌ها و نیز افزایش پتانسیل عملکرد ارقام جدید گیاهان زراعی نیاز به مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار را تشدید کرده است. امروزه، استفاده از کودهای نیتروژن‌دار حاوی بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش تلفات نیتروژن و بهینه‌سازی تغذیه نیتروژنی گیاهان زراعی مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، در ایران تاکنون در این زمینه مطالعه‌ای در شرایط مزرعه انجام نشده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تأثیر منابع مختلف نیتروژن شامل کودهای شیمیایی حاوی و فاقد بازدارنده نیتریفیکاسیون: الف) سولفات آمونیوم، ب)سولفات آمونیوم حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP، ج) اوره و د) سولفات آمونیوم حاویDMPP به‌علاوه اوره به نسبت ۵۰:۵۰ و مقادیر مختلف کودها شامل صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۲۵ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم نان بررسی شد. آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

یافته‌ها: نتایج حاکی از افزایش خطی و معنی‌دار اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک و کاهش شاخص برداشت با افزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی بود. میانگین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب ۳۸۸۲/۲ و ۸۰۱٦/۲ کیلوگرم در هکتار بود. هر کیلوگرم افزایش در نیتروژن کودی عملکرد دانه را ۱۳/۵ کیلوگرم و عملکرد بیولوژیک را ۳۰/۷۵ کیلوگرم افزایش داد به‌طوری که در تیمار مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه به ٦٤٧٧ و عملکرد بیولوژیک به ۱۳۹٦٤ کیلوگرم در هکتار رسید. بر اساس یافته‌های این آزمایش، تغییرات عملکرد دانه به‌طور عمده ناشی از تغییرات تعداد سنبله در مترمربع و تا حدی نیز ناشی از تغییرات تعداد دانه در سنبله بوده و تغییرات اندازهٔ دانه نقش قابل توجهی در تغییرات عملکرد دانه نداشت. عملکرد دانه در تیمار سولفات آمونیوم حاوی

DMPP نسبت به اوره ۲/۸ درصد و نسبت به سولفات آمونیوم ٤/۲ درصد بیش‌تر بود اما این افزایش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. از نظر اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز تفاوتی بین کودهای نیتروژن‌دار حاوی بازدارنده و کودهای معمولی وجود نداشت.

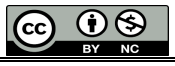
نتیجه‌گیری کلی: در شرایط محیطی این آزمایش، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم با افزایش مقدار نیتروژن کودی تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌طور خطی و معنی‌دار افزایش یافت. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP همراه با کودهای نیتروژن احتمالا به دلیل ویژگی‌های خاک (به‌ویژه کم بودن مقدار شن و زیادی مقدار سیلت و رس خاک، و همچنین عمق زیاد لایه خاک زراعی) و تعداد کم دفعات آبیاری (فقط دو نوبت)، زمان آبیاری (در اواخر فصل رشد گندم) و همچنین تقسیط و مصرف کود در سه مرحله، موجب بهبود معنی‌دار عملکرد دانه نشده و استفاده از آن‌ها به‌لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

استناد: سادات حسینی، م.، زینلی، ا.، عبیدی، آ. (۱٤۰۱). تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون دی ام پی پی و مقدار نیتروژن کودی بر صفات زراعی گندم. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (٤)، ۳۸-۱۹.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.16388.2220

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.



.

مقدمه

گیاهان برای رشد و نمو بیش از هر عنصر معدنی دیگر به نیتروژن نیاز دارند. کاهش حاصل‌خیزی خاک‌ها همراه با افزایش پتانسیل عملکرد ارقام جدید موجب کاهش سهم خاک‌ها در تأمین نیازهای نیتروژنی گیاهان زراعی شده و مصرف مقادیر قابل توجهی از کودهای نیتروژن برای دست‌یابی به عملکردهای زیاد این ارقام را اجتناب ناپذیر ساخته است (۱ و ۲). در مقیاس جهانی، کارآیی بازیافت نیتروژن بین ۳۰ تا ۵۰ درصد برای سه گیاه اصلی برنج، گندم و ذرت برآورد شده است (۳). این مسأله، نیاز به کودهای نیتروژن‌دار را به‌طور چشمگیر تشدید نموده است. از سوی دیگر، نیتروژن آمونیومی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی یا معدنی شدن مواد آلی در زمانی کوتاه طی فرآیند اکسیداسیون آنزیمی (نیتریفیکاسیون) به نیترات تبدیل می‌شود که حلالیت بسیار زیادی در آب دارد. در نتیجه، بخش قابل توجهی از آن به‌ویژه در مناطق پرباران، زراعت‌های آبی و خاک‌های سبک از طریق آبشویی تلف می‌شود (٤، ٥). از این‌رو، استفاده از کودهای شیمیایی حاوی مواد بازدارنده نیتروفیکاسیون و اوره‌آز به‌عنوان یکی از راهکارهای بهبود کارایی بازیافت و استفاده از نیتروژن از طریق متناسب ساختن سرعت نیتریفیکاسیون با نیاز گیاه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (٦، ٧، ٨،٩). این بازدارنده‌ها، اکسیداسیون باکتریایی آمونیوم یا هیدرولیز اوره را به تأخیر انداخته و از تجمع نیترات در خاک جلوگیری می‌کنند و موجب می‌شوند که نیتروژن کود به مدت بیش‌تری به شکل NH_4^+ حفظ شود و از آبشویی مصون بماند (۱۰). شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهند این مواد تلفات نیتروژن از طریق آبشویی NO_3^- در شرایط هوازی و انتشار N_2O در شرایط غیر هوازی را کاهش می‌دهند (۹). با این حال، در زمینه اثربخشی افزودن این مواد به کودهای شیمیایی گزارش‌های متناقضی وجود دارد که این تناقضات را می‌توان به عوامل متعدد مؤثر بر آبشویی و تصعید نیتروژن نسبت داد. فراتحلیل آبالوس و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون و اوره‌آز از جمله بازدارنده نیتریفیکاسیون ۳، ٤- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) را می‌توان به‌منظور بهبود کارایی استفاده از نیتروژن و عملکرد توصیه کرد. با این حال، آن‌ها اظهار داشتند که اثربخشی این بازدارنده‌ها به عوامل محیطی و مدیریتی بستگی داشته و در موقعیت‌هایی که پتانسیل تلفات نیتروژن بیش‌تر باشد، اثربخشی این بازدارنده‌ها هم بیشتر خواهد بود (۱). برای مثال، تأثیر بازدارنده‌ها بر عملکرد در خاک‌های ریزبافت کم‌تر از خاک‌های با بافت متوسط تا درشت، در خاک‌های اسیدی بیش‌تر از خاک‌های خنثی یا قلیایی، در نظام کشت آبی بیش‌تر از دیم، در گیاهان علوفه ای یا چراگاه‌ها بیش‌تر غلات و در شرایط مصرف زیاد نیتروژن کودی بیش‌تر است. استفاده از بازدارنده‌ها ممکن است به افزایش تصعید NH_3 در شرایط مزرعه یا آزمایشگاه منتهی شود (۱۲). در فراتحلیل انجام شده توسط لیندکوئیست و همکاران (۲۰۱۳) اثر ۱۷ بازدارنده نیتریفیکاسیون و اوره‌آز و کود کندرَها بر عملکرد و جذب نیتروژن توسط برنج بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از این ترکیبات به‌طور متوسط عملکرد برنج را ۵/۷ درصد و جذب نیتروژن را ۸ درصد افزایش داد. آن‌ها امکان دست‌یابی به نتایج مشابه در سایر نظام‌های کشت را مشخص نکردند. با این حال، نتایج برخی مطالعات نیز حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار استفاده از این بازدارنده‌ها بر کارایی نیتروژن و عملکرد محصول بوده است. در مطالعه دیگر اثر بازدارنده DMPP بر عملکرد ذرت گزارش شد که در یک مقدار ثابت نیتروژن، بین تیمارهای

دارای DMPP و بدون DMPP از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۱۳).

در میان بازدارنده‌های تجاری نیتریفیکاسیون، DMPP و دی‌سیان‌دی‌آمید (DCD) پرمصرف‌ترین‌ها به‌شمار می‌روند (١٤). در بعضی از کشورها مصرف دی‌سی‌دی به دلیل قیمت کم‌تر، تصعید کم‌تر و حلالیت نسبی در آب بیش‌تر است (۱۵). از طرف دیگر، مقدار مصرف DMPP ده برابر کم‌تر از DCD بوده و بر اساس نتایج مطالعات مزرعه‌ای تصعید NH_3 و آب‌شویی NO_3 و انتشار N_2O را به‌طور مؤثرتری کاهش می‌دهد (١٦، ١٧). همچنین، اثر بازدارندهٔ DMPP بر نیتریفیکاسیون بعد از بارندگی‌های سنگین به مدت بیش‌تری حفظ می‌شود و به نظر می‌رسد که سازگاری گیاه با آن بیش‌تر از DCD باشد که متحرک‌تر است (۵). در حالی که نتایج فراتحلیل‌های متعدد حاکی از آن است که استفاده از کودهای حاوی بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون و اوره‌آز انتشار N_2O را کاهش می‌دهد (٦، ١٨، ١٩ و ٢٠)، اثر این بازدارنده‌ها بر صفات زراعی (مانند عملکرد و اجزای عملکرد دانه) به‌وضوح روشن نیست (۲۱). آبالوس و همکاران (٢٠١٤) با استفاده از داده‌های ۲۷ مطالعه افزایش عملکردی معادل ۷/۵ درصد را در نتیجه استفاده از کودهای حاوی بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون و اوره‌آز در مقایسه با کودهای معمولی را گزارش کردند (۱۱). در یک فراتحلیل جدیدتر میزان افزایش عمکرد ناشی از به‌کارگیری DCD و DMPP به‌ترتیب ٦/٥ و ١/٢ درصد بود (۲۲). میزان افزایش عملکرد در هنگام استفاده از این بازدارنده‌ها توسط تاپا وهمکاران (٢٠١٦) ۷ درصد، درصد، کیائو و همکاران، ۲۰۱۵) ۹ درصد و فنج و همکاران (٢٠١٦) ٤/٤ درصد گزارش شده‌است که به لحاظ آماری بیش‌تر این افزایش‌ها معنی‌دار نبوده است (۲۳، ٢٤ و ٢٥).

با توجه به آنچه گفته شد مطالعه حاضر با هدف مقایسه کودهای حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP با کودهای متداول از نظر صفات مهم زراعی گندم و بررسی تأثیر مقدار نیتروژن کودی از منابع مختلف بر این صفات در شرایط محیطی گرگان به‌عنوان یکی از مناطق اصلی تولید گندم در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در غرب گرگان با عرض جغرافیایی ٣٦ درجه و ٤٩ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، قبل از مصرف کود پایه از عمق ۳۰-۰، ٦٠-٣٠ و ٩٠-٦٠ سانتی‌متری نمونه برداری شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج تجزیه خاک، بافت لایه بالایی خاک مزرعه لوم سیلتی رسی می‌باشد که بافت خاک غالب منطقه گرگان به‌شمار می‌رود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار با دو عامل نوع کود در چهار سطح (سولفات آمونیوم، سولفات آمونیوم حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP (۳، ٤- دی متیل پیرازول فسفات) با نام تجاری Entec، اوره، اوره + سولفات آمونیوم حاوی DMPP به نسبت ٥٠:٥٠) و مقدار نیتروژن کودی در ٤ سطح (۰، ۵۰، ۱۲۵ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) انجام شد. با توجه به متفاوت بودن درصد نیتروژن خالص در انواع کودهای مورد آزمایش، در هر یک از سطوح مقدار نیتروژن (۵۰، ۱۲۵ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، کود مورد نظر به مقدار لازم برای رسیدن به مقدار نیتروژن

خالص مورد نظر مصرف شد. مقادیر مختلف نیتروژن کودی به سه قسمت مساوی تقسیم و در سه مرحله پیش از کاشت، پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن مصرف شدند. طول کرت‌های آزمایشی ٦ متر و عرض آن‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ۱۰ خط گندم رقم مروارید با فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر کشت گردید. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک ۱ متر در نظر گرفته شد. گیاه زراعی قبلی در زمین مورد استفاده برای آزمایش گندم بود که به منظور یکنواخت‌تر شدن زمین از نظر عناصر غذایی و ارزیابی بهتر واکنش گیاه به تیمارهای کودی، از مصرف کود نیتروژن در آن اجتناب شد ضمن این‌که در فاصله برداشت گندم در اواخر خرداد تا زمان آزمایش، زمین به‌صورت آیش گذاشته شد.

جدول ۱- مشخصات لایه‌های خاک ۳۰-۰، ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ **سانتی‌متری محل اجرای آزمایش.**

Table 1- Characteristics of 0-30, 30-60 and 60-90 soil layers of experimental field.

مشخصه	0-30	30-60	60-90
درصد اشباع Saturation (%)	55.3	46.6	57.5
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	0.7	0.7	0.7
pH اسیدیته گل اشباع	8	7.9	7.9
نیتروژن کل (درصد) N (%) Total	0.1	0.1	0.05
Available فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) P (ppm)	6.6	4	1
پتاسیم قابل جذب (قسمت درمیلیون) Available K (ppm)	200	140	180
OC (%) کربن آلی (درصد)	1	1	0.5
Clay (%) رس (درصد)	36	46	54
Silt (%) سیلت (درصد)	58	48	40
Sand (%) شن (درصد)	6	6	6
Texture بافت	لوم رسی سیلتی Silty clay loam	رس سیلتی Silty clay	رس Clay

پس از آماده‌سازی زمین، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم به خاک اضافه شد. بذر رقم مروارید در تاریخ ۲۹ آذر از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان تهیه و به صورت مسطح و دستی با تراکم ۳۰۰ بذر در مترمربع کاشته شد. آبیاری تکمیلی در ۲ نوبت (۹ و ۲٤ اردیبهشت) به روش مرسوم منطقه (مسطح) انجام شد. با توجه به ماهیت آزمایش، آبیاری کرت‌ها به‌طور جداگانه و به شکلی انجام شد که احتمال انتقال آب از یک کرت به کرت‌های دیگر به حداقل برسد. برای مبارزه با علف‌های‌هرز در مرحله پنجه‌زنی از علف‌کش‌های گرانستار و تاپیک به میزان توصیه‌شده استفاده‌شد و در ادامه فصل رشد در صورت لزوم عملیات وجین دستی انجام شد. به منظور مبارزه با آفات کرم مفتولی و سوسک لما به ترتیب از سم سوین (۱/۵ کیلوگرم در هکتار)، کونفیدور (۰/۵ لیتر در هکتار) و لاروین (۱ لیتر در هکتار) و به منظور مبارزه با بیماری‌های زنگ زرد و سپتوریوز از قارچ‌کش تیلت در دونوبت استفاده شد. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تعداد ۱۵ بوته از هر کرت نمونه‌گیری و پس از انتقال به آزمایشگاه تعداد سنبله در بوته، تعداد

دانـه در سـنبله، وزن دانـه، عملکـرد دانـه و عملکـرد بیولوژیک در بوته تعیین شد. شاخص برداشت نیز بـا استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه ۱: $HI = (GY / BY) \times 100$

که در آن HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانـه در بوته و BY عملکرد بیولوژیک در بوته می‌باشد.

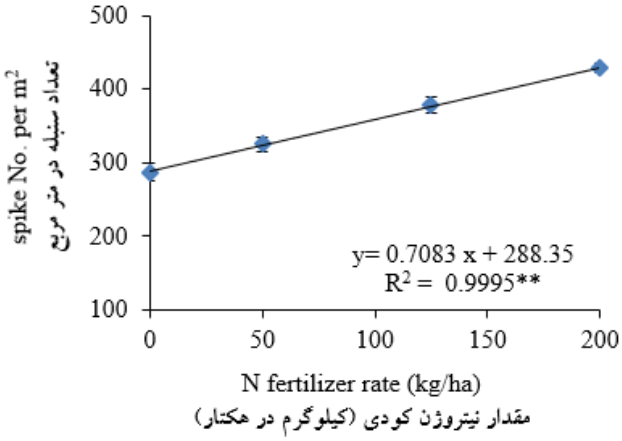
برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی برداشت بوته‌های ۵ خط غیرحاشیه‌ای به طول ۲ متـر (۱/۵ متر مربع) برداشت شد. عملکرد دانـه در واحـد سطح پس از هوا خشک کردن دانه‌ها در آون، براساس رطوبت ١٤ درصد محاسبه گردیـد. تجزیـه و تحلیـل آماری داده‌هـا بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار SAS (٢٦) و مقایسه میانگین تیمارها بـا آزمـون LSD انجـام شـد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد سـنبله در مترمربـع: بـر اسـاس نتـایج تجزیـه واریانس، تأثیر مقدار مصرف نیتروژن کودی بر تعـداد سنبله در مترمربع در سطح یک درصد معنـی‌دار بـود، اما تأثیر نوع کود نیتروژن و اثر متقابل بین نوع کـود و مقدار کود بر تعداد سنبله در مترمربـع معنـی‌دار نبـود (جدول ۲). با افزایش مقـدار نیتـروژن کـودی تعـداد سنبله در مترمربع به‌صورت خطی با شیب ۰/۷ سـنبله به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن کـودی مصـرفی افـزایش یافت (شکل ۱) به‌طوری که از ۲۸۷ سنبله در مترمربع در شاهد به ٤۲۹ عدد در تیمار۲۰۰ کیلوگرم نیتـروژن در هکتار رسید. نتایج مقایسـه میـانگین‌هـا حـاکی از وجـود اختلـاف معنـی‌داری بـین تیمارهـای شـاهد و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با تیمارهـای مصـرف۵۰ و ۱۲۵ کیلـوگرم نیتـروژن در هکتـار بـود (جدول ۳). افزایش تعداد سـنبله در واحـد سـطح بـا افزایش مقدار نیتروژن کودی به دلیـل افـزایش تعـداد پنجـه بـارور و بقـای پنجـه‌هـای تشـکیل شـده بـود. همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۷۲**) تعداد سـنبله در مترمربع با تعداد سنبله در بوته این مطلب را تأییـد می‌کند (جدول٤). محققان دیگر نیز گزارش کردند که با افزایش مصرف نیتروژن تعداد سـنبله در متـر مربـع افزایش پیدا کـرد، ایشـان نیـز دلیـل ایـن افـزایش را افزایش تعداد پنجه بـارور اعلـام کردنـد (۲۷). عـزت احمدی و همکـاران (۱۹۹۸) در بررسـی اثـر مقـادیر مختلف نیتروژن کودی در شرایط محیطی تبریـز، اثـر معنی‌دار مقـدار نیتـروژن کـودی بـر تعـداد سـنبله در مترمربع در سطح احتمال ۱ درصد را گزارش کـرده و اظهار داشتند که افزایش تعداد سنبله در مترمربع ناشی از افزایش تولید، باروری و بقای پنجه‌هـا بـوده اسـت (۲۸). آناقلی (۲۰۰۰) نیز گزارش کرد که بـا افـزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی، تعداد سنبله در مترمربع افزایش یافـت و دلیـل ایـن افـزایش را تولیـد تعـداد بیش‌تر پنجه بارور در بوته اعلام کرد (۲۹).

تعداد سنبله در مترمربع در تیمار اسـتفاده از کـود اوره ۳۷۳، کود سولفات آمونیوم حـاوی DMPP ۳٦۸، سـولفات آمونیـوم حـاوی DMPP + اوره ۳٥٦ و سولفات آمونیـوم ۳٤٤ عـدد بـود کـه از نظـر آمـاری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مطالعه دیگر (۳۰) نیز طریق و خان (۲۰۰) با بررسی زمان، مقدار و منبع نیتروژن کودی در گندم گزارش کردنـد کـه نـوع کود نیتروژن (سـولفات آمونیـوم و نیتـرات آمونیـوم) تأثیری بر تعداد سـنبله در متـر مربـع نداشـت امـا بـا افزایش مقدار کود، تعداد سنبله در مترمربـع بـه طـور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که از ۲۸۱ سـنبله در شاهد عدم مصرف کود به ۳٦٤ سـنبله در مقـدار ۱٥۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافت. به‌طور کلی، نیتروژن از طریق تحریک رشد رویشی در دوره قبل از ساقه رفتن، پنجه زنی را تحریک و تعداد پنجـه هـای بارور در بوته و واحد سطح را افـزایش داده و از ایـن

طریق موجب افزایش عملکرد می شود. ضمن این‌که از طریق افزایش شاخص سطح برگ و همچنین دوام سطح برگ تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد. یافته‌های تیکسریا و همکاران (۲۰۱۱) نیز حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین انواع نیتروژن کودی (سولفات آمونیوم حاوی DMPP (Entec)، اوره و سولفات آمونیوم معمولی) از نظر تعداد سنبله در مترمربع بود (۳۱).



شکل ۱- **رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و تعداد سنبله در مترمربع در گندم رقم مروارید در شرایط گرگان.**

Figure 1- Relationship between fertilizer nitrogen rate and spike number per square meter in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

جدول ۲- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم رقم مروارید تحت تأثیر نوع و مقدار کود نیتروژن.

Table 2- The values of freedom degrees and significance probability levels of the grain yield and yield components as affected by fertilizer nitrogen type and rate in wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در سنبله Grain No. per spike	تعداد سنبله Spike No. per m^2
بلوک block	3	0.0145*	0.5358^{ns}	0.3491^{ns}	0.2823^{ns}	0.3085^{ns}	0.0847^{ns}
نوع کود Fertilizer type	3	0.555^{ns}	0.6958^{ns}	0.5604^{ns}	0.9860^{ns}	0.1797^{ns}	0.5016^{ns}
مقدار کود Fertilizer rate	3	0.0077**	0.0001**	0.0001**	0.0507^{ns}	0.0001**	0.0001**
نوع × مقدار Fertilizer type×rate	9	0.2404^{ns}	0.9740^{ns}	0.9187^{ns}	1.000^{ns}	0.8976^{ns}	0.3893^{ns}
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		12.36	15.08	8.11	19.86	7.17	11.65

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر.

** and *: significant effect at $p \leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively, ns: not- significant at $p \leq 5\%$, C.V.: coefficient variation.

جدول ۳- **مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت در مقادیر مختلف مصرف نیتروژن کودی.**

Table 3- Means comparison of grain yield and yield components and harvest index in different amounts of fertilizer nitrogen rates.

مقدار نیتروژن کودی(کیلوگرم در هکتار) Fertilizer N rate (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در سنبله Grain No. per spike	تعداد سنبله در مترمربع spike No per m^2
0	48.50 a	3882.2 c	8016.2 c	41.42 b	36 c	287.13 c
50	48.16 a	4425.7 c	9199.2 c	41.82 ab	39 b	348.02 b
125	47.95 a	5755.0 b	12051.1 b	41.86 ab	41 a	378.04 b
200	46.48 b	6476.7 a	13963.7 a	42.33 a	42 a	428.99 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

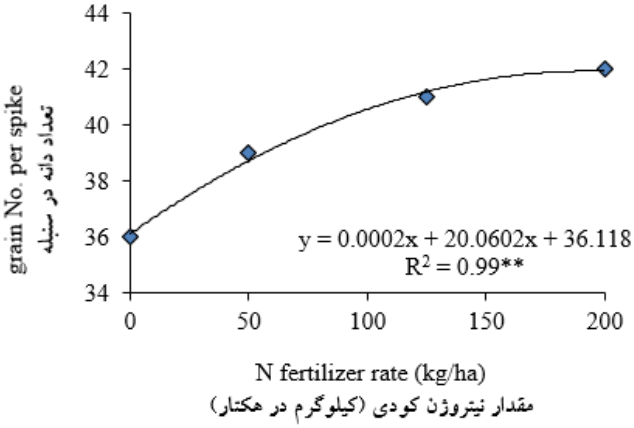
In each column, the averages with common letters have no significant difference at 5% level based on the LSD test.

ضرایب همبستگی بین تعداد سنبله در مترمربع با سایر صفات نشان‌دهندهٔ همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌دار بین این صفت با عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و سایر صفات به‌استثنای اندازهٔ دانه و شاخص برداشت بود.

تعداد دانه در سنبله: اثر مقدار نیتروژن کودی بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی نوع کود و اثر متقابل نوع کود با مقدار نیتروژن کودی تغییر معنی‌داری را در این صفت ایجاد نکرد (جدول ۲). با افزایش مقدار نیتروژن کودی تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در سنبله افزایش یافت؛ با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در سنبله از ۳٦ دانه به ۳۹ دانه افزایش یافت و با افزایش مصرف نیتروژن به ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در سنبله به ٤۱ دانه رسید که این افزایش‌ها به‌لحاظ آماری معنی‌دار بود، اما افزایش مقدار نیتروژن کودی از ۱۲۵ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله منتهی نشد (جدول۳). افزایش غیر خطی تعداد دانه در سنبله در مقابل مقدار نیتروژن کودی توسط یک معادلهٔ درجه دو با ضریب تبیین بالا (۰/۹۹) به‌خوبی توصیف شد (شکل ۲). تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری با ماده خشک در گرده‌افشانی (r=۰/۸۳**)، عملکرد بیولوژیک (r=۰/٤۹**) و عملکرد دانه (r=۰/۵۰**) و سایر صفات به استثنای اندازهٔ دانه و شاخص برداشت داشت (جدول٤). در مجموع همبستگی این صفت با سایر صفات و همین‌طور تغییرپذیری آن در واکنش به فاکتورهای آزمایشی، حتی مقدار کود، کم‌تر از تعداد سنبله در متر مربع بود. میانگین تعداد دانه در سنبله در تیمار مصرف کود سولفات آمونیوم ٤۰/۳۷ دانه، کود سولفات آمونیوم با DMPP + اوره ۳۸، کود سولفات آمونیوم با DMPP ٤۰/۳ و کود اوره ٤۰ دانه در سنبله بود.

سوقی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود بر روی دو لاین امید بخش گندم در گرگان گزارش کردند که بین مقادیر مختلف مصرف نیتروژن کودی از نظر تعداد دانه در سنبله تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالی که عزت احمدی و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که اثر مقادیر مختلف نیتروژن کودی بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و کم‌ترین تعداد دانه در سنبله (۲٤ عدد) از تیمار شاهد و بیش‌ترین تعداد (عدد ۳۵) از تیمار ۱٦۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (۲۷، ۲۸). طریق جان و خان (۲۰۰۰) نیز گزارش کردند که تعداد دانه در سنبله از ۳۸ دانه در شاهد، در مقدار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ۵۱

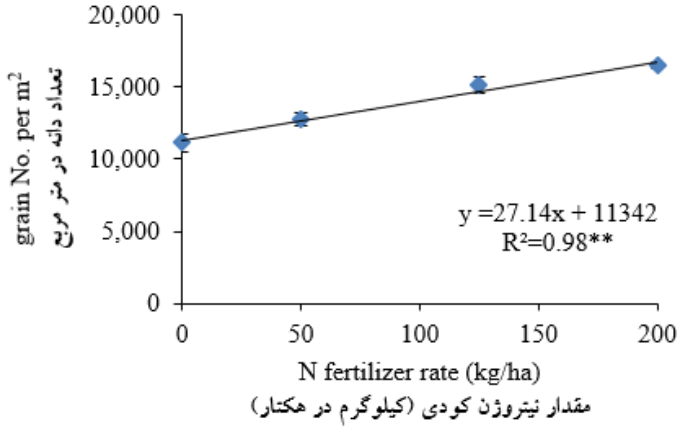
دانه در سنبله افزایش یافت (۳۰). آناقلی (۲۰۰۰) در بررسی اثر مقدار (۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و زمان مصرف بر گندم رقم قدس در شرایط دیم گزارش کرد که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در سنبله افزایش یافت و با مصرف بیش‌تر کود، تغییر قابل توجهی مشاهده نشد (۲۹). تیکسریا و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند که بین انواع مختلف نیتروژن کودی (سولفات آمونیوم با DMPP، اوره و سولفات آمونیوم) تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه در سنبله وجود نداشت، اما ارکولی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که اوره با ۲۲/۸ دانه در سنبله در مقایسه با کود سولفات آمونیوم حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون Entec26 با ۲۱/۲ و سولفات آمونیوم با ۲۰/٦ دانه در سنبله تعداد دانه بیش‌تری در سنبله تولید کرد (۳۱، ۳۲).



شکل ۲- رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و تعداد دانه در سنبله در گندم رقم مروارید در شرایط محیطی گرگان.

Figure 2- Relationship between fertilizer nitrogen rate and grain number per spike in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

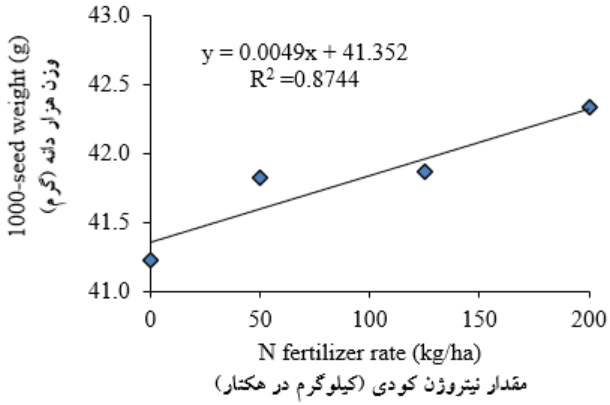
تعداد دانه در مترمربع: تعداد دانه در مترمربع حاصل ضرب سه جزء تعداد تعداد بوته در مترمربع در تعداد سنبله در بوته در تعداد دانه در سنبله است. این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقدار نیتروژن قرار گرفت اما همانند اجزای تعیین کننده‌اش تحت تأثیر نوع کود و اثر متقابل مقدار و نوع کود نیتروژن قرار نگرفت. در بیش‌تر موارد تغییرات عملکرد به‌طور عمده ناشی از تغییرات این صفت است چون وزن دانه از ثبات زیادی برخوردار بوده و در برابر بیش‌تر عوامل محیطی تغییراتی جزئی را نشان می‌دهد و در شرایط عادی در تغییر عملکرد نقش زیادی ندارد. روند تغییرات تعداد دانه در متر مربع در برابر مقدار نیتروژن کودی از یک رابطه خطی (Y=11342+27.14X) با ضریب تبیین بالا (۰/۹۸) پیروی نمود (شکل ۳) که حاکی از رابطهٔ بسیار قوی بین مقدار نیتروژن کودی و این صفت مهم می‌باشد. بر اساس رابطهٔ خطی به‌دست آمده به ازای هر کیلوگرم نیتروژن کودی، ۲۷/۱٤ دانه بر تعداد دانه در مترمربع افزوده شد.



شکل ۳- رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و تعداد دانه در مترمربع در گندم رقم مروارید در شرایط محیطی گرگان.

Figure 3- Relationship between fertilizer nitrogen rate and grain number per square meter in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار مقدار نیتروژن کودی بر وزن دانه در سطح ۵ درصد بود در حالی که اثر نوع کود و همچنین اثر متقابل بین مقدار و نوع کود در این سطح احتمال بر وزن دانه معنی‌داری نبود (جدول ۲). میانگین وزن هزار دانه در مقادیر مختلف نیتروژن کودی از ٤۱/٤۲ گرم در شاهد تا ٤۲/۳۳ گرم در مقدار نیتروژن کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۳). این نتایج نشان‌دهندهٔ واکنش بسیار کم (۰/۰۰۵ گرم به ازای هر کیلوگرم نیتروژن کودی) وزن هزار دانه به مقدار نیتروژن کودی و ثبات بسیار زیاد این جزء عملکرد است (شکل ٤). در مطالعه دیگر بیان شد که وزن دانه جزئی از عملکرد است که حداقل پاسخ را به نیتروژن کودی دارد (۳۳). محققان دیگر بیان کردند که با توجه به شرایط محیطی ممکن است با افزایش مصرف کود نیتروژن، وزن هزاردانه افزایش یا کاهش یابد و یا این‌که بدون تغییر باقی بماند (۲۸). طریق جان و خان (۲۰۰۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که نوع نیتروژن کودی و سطوح متفاوت آن تأثیری بر وزن دانه ندارد (۳۰). آناقلی (۲۰۰۰) گزارش کرد که با افزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی، وزن هزار دانه به‌طورجزئی کاهش پیدا کرد (۲۹). تیکسریا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که سولفات آمونیوم حاوی DMPP نسبت به اوره و سولفات آمونیوم دانه‌های کوچک‌تری تولید کرد (۳۱). با این حال، ارکولی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بین منابع کودی (سولفات آمونیوم، اوره و Entec26) از نظر وزن دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۳۲). محققان دیگر نیز در تحقیقات خود به عدم تأثیر معنی‌دار مقادیر نیتروژن بر وزن هزار دانه اشاره کردند (۲۷، ۳٤).



شکل ٤ – **رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و وزن هزار دانه در گندم رقم مروارید در شرایط محیطی گرگان.**

Figure 4- Relationship between fertilizer nitrogen rate and 1000-seed weight in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

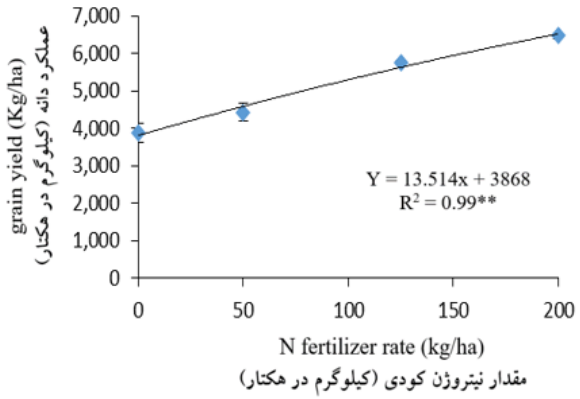
عملکرد دانه: مقدار نیتروژن کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه تأثیر گذاشت (جدول ۲). با افزایش مقدار کود از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه از ۳۸۸۲/۲ کیلوگرم در هکتار به ٦٤٧٦/٧ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. رگرسیون ساده خطی (Y = ۳۸٦۸ + ۱۳/٥ X) روند تغییرات عملکرد دانه در برابر افزایش مقدار نیتروژن کودی را به‌خوبی (R^2= ۰/۹۸) توصیف نمود (شکل ٥). بر اساس این رابطه، در شرایط این آزمایش و در دامنهٔ مقادیر نیتروژن کودی مورد استفاده به ازای هر کیلوگرم نیتروژن کودی مصرفی ۱۳/٥ کیلوگرم بر عملکرد دانه افزوده شد. خطی بودن رابطه برازش داده شده به داده‌های عملکرد در برابر مقدار نیتروژن کودی نشان می‌دهد که احتمال افزایش بیش‌تر عملکرد دانه با مصرف نیتروژن کودی بیش‌تر وجود داشته است. با این حال، دستیابی به عملکردهای بیش‌تر از حداکثر عملکرد دانه بدست آمده در این مطالعه با مصرف مقدار نیتروژن کودی بیش‌تر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به دلیل نزدیکی حداکثر عملکرد به‌دست آمده با عملکرد قابل حصول برآورد شده برای این منطقه محل تردید است. با توجه به میزان تغییرات اجزای عملکرد دانه، افزایش تعداد سنبله در واحد سطح در نتیجهٔ افزایش تعداد پنجه بارور در بوته دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف نیتروژن کودی بوده است. افزایش تعداد دانه در سنبله بخش کوچکی از افزایش عملکرد دانه را توجیه نموده و افزایش وزن دانه سهم قابل توجهی در افزایش عملکرد نداشته است (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده با مصرف نیتروژن کودی به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد سنبله در متر مربع ٤۹/٤ درصد، تعداد دانه در سنبله ۱٦/۷ درصد و وزن دانه فقط ۲/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. این اعداد سهم هر یک از اجزای عملکرد در افزایش عملکرد دانه را به‌وضوح نشان می‌دهد. روابط رگرسیونی بین هر یک از اجزای یاد شده به علاوه تعداد دانه در واحد سطح با عملکرد دانه (شکل ۷) و همچنین ضریب همبستگی بسیار قوی (۰/۸٤) تعداد سنبله در واحد سطح، ضریب همبستگی متوسط(۰/٥۰) تعداد دانه در سنبله و ضریب همبستگی بسیار ضعیف و غیرمعنی‌دار (۰/۱۷) اندازهٔ دانه با عملکرد دانه مؤید مطالب یاد شده است.

عابدی و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر زمان و مقدار نیتروژن کودی بر عملکرد دانه گندم را در شیراز بررسی کرده و نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار کود تا ۲٤۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه گندم افزایش یافت (۳٥). به طور مشابه، محققان دیگر در

چین مشاهده کردند که عملکرد گندم با افزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی تا ۱٦۹ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (۲). آناقلی (۲۰۰۰) بیان داشت که مصرف نیتروژن کودی تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه گردید ولی مصرف بیشتر آن تأثیری بر عملکرد دانه نداشته و حتی تا حدودی آن را کاهش داد. ایشان اظهار داشتند که کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود نیتروژن عمدتاً از طریق کاهش تعداد سنبله در واحد سطح و بهدنبال آن از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن دانهها رخ میدهد (۲۹). نتایج مطالعه شهبازی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که در رقم برنج پابلند هاشمی، عملکرد دانه با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به حداکثر رسیده و سپس با افزایش بیشتر نیتروژن کاهش مییابد در حالی که در رقم پرمحصول سپیدرود بین مقدار نیتروژن کودی و عملکرد دانه تا ۱٦۰ کیلوگرم در هکتار رابطه خطی وجود داشت. مطابق نتایج این مطالعه، آنها نیز با توجه به خطی بودن رابطه عملکرد دانه و مقدار نیتروژن مصرفی نتیجه گرفتند که احتمال افزایش بیشتر عملکرد دانه با افزایش بیشتر مصرف نیتروژن کودی وجود داشته است (۳٦).

در رابطه با استفاده از کودهای حاوی بازدارندههای نیتریفیکاسیون DMPP، با اینکه عملکرد دانه در هنگام استفاده از کود انتک (سولفات آمونیوم حاوی DMPP) عملکرد دانه نسبت به کود اوره ۲/۸ درصد و نسبت به کود سولفات آمونیوم ٤/۲ درصد بیشتر بود اما بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر نوع کود و اثر متقابل مقدار با نوع کود نیتروژندار معنیدار نبود. در رابطه با استفاده از کودهای حاوی بازدارندههای نیتریفیکاسیون و اوره‌آز، رز و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند با این‌که نتایج فراتحلیلهای متعدد حاکی از کاهش انتشار N_2O در صورت استفاده از کودهای حاوی میباشد، اثر این بازدارندهها بر صفات زراعی (مانند عملکرد و اجزای عملکرد دانه) بهوضوح روشن نیست و به عوامل متعددی بستگی دارد (٦، ۱۸، ۱۹، ۲۰). در مطالعات متعدد با بررسی نتایج صدها طرح تحقیقاتی میزان افزایش عمکرد ناشی از بهکارگیری کودهای حاوی بازدارندههای نیتریفیکاسیون و اوره‌آز را بین ۱/۲ و ۹ درصد نشان داد که بیش‌تر این افزایش‌ها بهلحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (۱۱، ۲۲، ۲۳، ۲٤ و ۲۵). همچنین، مطابق با یافته‌های این مطالعه گزارش شد که بین منابع مختلف نیتروژن کودی از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت به‌طوری که مصرف کود اوره، سولفات آمونیوم و سولفات آمونیوم حاوی DMPP (Entec) هیچ اختلافی را در عملکرد دانه ارقام به‌وجود نیاورد (۳۱). یافته‌های دیئزلوپز و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که بین کودهای حاوی بازدارنده DMPP و بدون بازدارنده از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۱۳). ارکولی و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه گندم دوروم در ایتالیا گزارش کردند که منابع مختلف نیتروژن کودی (کود اوره، سولفات آمونیوم و سولفات آمونیوم حاوی DMPP (Entec) علیرغم متفاوت بودن قیمت، از نظر عملکرد دانه هیچ مزیتی نسبت به یکدیگر نداشتند (۳۲). تمام این محققین بر این نکته تأکید دارند که اثربخشی بازدارندهها به‌شدت به شرایط محیطی به‌ویژه ویژگی‌های خاک و رژیم رطوبتی از جمله تعداد دفعات آبیاری بستگی دارد. عدم تأثیر معنی‌دار بهکارگیری کودهای حاوی بازدارنده بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک در این آزمایش را می‌توان تا حد زیادی به بافت خاک (لوم رسی سیلتی در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، رسی سیلتی در لایه ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر و رسی در لایه ٦۰ تا ۹۰ سانتی‌متری) و همچنین کم بودن تعداد دفعات آبیاری (دو نوبت در دوره رشد دانه) نسبت داد. همچنین،

لازم است اضافه شود که به‌طور کلی، در شرایط عادی و عدم وجود محدودیت خاصی که تحت تأثیر نوع کود قرار می‌گیرد (مانند اسیدی یا قلیایی بودن خاک) نوع کود تأثیری بر رشد و عملکرد ندارد. برای مثال، مصرف کودهای اسیدزا (مانند اوره و سایر کودهای آمونیومی) در خاک‌های قلیایی ممکن است از طریق کاهش اسیدیته خاک رشد و عملکرد را تا حدی بهبود بخشد. با این حال، با توجه به مقدار کم کودهای شیمیایی نسبت به حجم خاک این اثر معمولا ناچیز بوده و پایدار نیست. از این‌رو، عدم تأثیر نوع کود بر صفات مورد بررسی را می‌توان به شرایط خاک محل آزمایش (جدول ۱) نسبت داد.

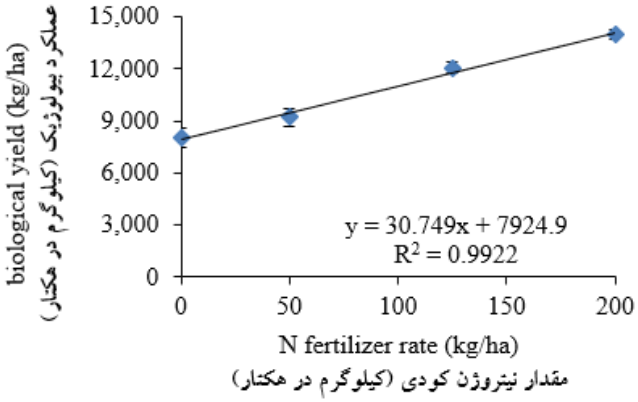


شکل ۵- **رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و عملکرد دانه گندم رقم مروارید در شرایط محیطی گرگان.**

Figure 5- Relationship between fertilizer nitrogen grain yield in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

عملکرد بیولوژیک: همانند صفات قبلی، نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهندهٔ اثر معنی‌دار مقدار نیتروژن کودی بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد بود، ولی اثر نوع نیتروژن کودی و اثر متقابل مقدار و نوع نیتروژن کودی بر صفت فوق معنی‌دار نبود (جدول ۲). میانگین عملکرد بیولوژیک در مقادیر مختلف نیتروژن کودی از ۸۰۱٦ کیلوگرم در هکتار در شاهد (عدم مصرف کود نیتروژن) تا ۱۳۹٦٤ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن کودی در هکتار متغیر بود. از میان معادلات مختلف برازش داده شده به داده‌های عملکرد بیولوژیک در مقابل مقدار نیتروژن کودی، رابطهٔ رگرسیون خطی ساده X ۳۰/۷۵+ ۷۹۲٤/۹ =Y (در این رابطه Y و X به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و مقدار نیتروژن کودی بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد) با ضریب تبیین ۰/۹۹ بهترین برازش را دارا بود (شکل ٦). این رابطه نشان می‌دهد که در شرایط این آزمایش به‌ازای هر کیلوگرم افزایش در مقدار نیتروژن کودی، عملکرد بیولوژیک ۳۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است. عزت احمدی و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که در مطالعهٔ آن‌ها اثر سطوح نیتروژن کودی بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و افزایش عملکرد بیولوژیک ناشی از تأثیر مثبت نیتروژن بر رشد گیاه، افزایش تعداد پنجه و بقای آن‌ها، افزایش ارتفاع گیاه، افزایش قطر ساقه و نیز عملکرد دانه بود (۲۸). همچنین، حسینی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن در ارقام قدیم و جدید گندم مشاهده کردند که با افزایش مقدار نیتروژن کودی عملکرد بیولوژیک افزایش یافت به طوری که از ۱۰۱٦۳/۲۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۲۳۵۲/۹۲ کیلوگرم در هکتار در مقدار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافت (۳٤).

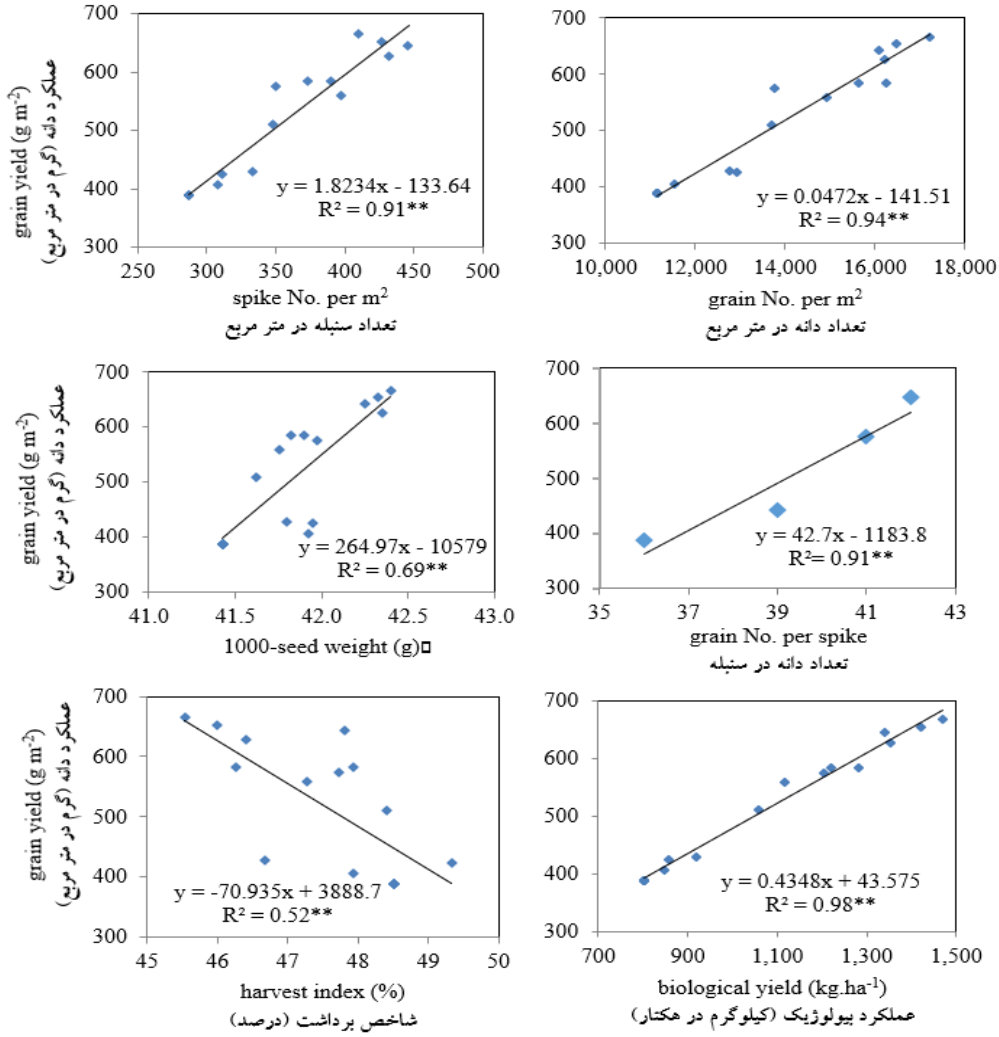
در مطالعه شهبازی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بین مقدار مصرف نیتروژن کودی و عملکرد بیولوژیک رابطه خطی وجود داشت (۳٦).



شکل ٦- **رابطه بین مقدار نیتروژن کودی و عملکرد بیولوژیک گندم رقم مروارید در شرایط محیطی گرگان.**

Figure 5- Relationship between fertilizer nitrogen biological yield in wheat cultivar Morvarid under Gorgan environmental conditions.

شاخص برداشت: در این مطالعه، شاخص برداشت به طور معنی‌داری تحت تأثیر مقدار نیتروژن کودی قرار گرفت اما تأثیر نوع کود نیتروژن‌دار و اثر متقابل دو عامل نوع و مقدار نیتروژن کودی معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسهٔ میانگین‌های شاخص برداشت در مقادیر مختلف نیتروژن کودی (جدول ۳) نشان می‌دهد که تا مقدار مصرف ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تغییری در شاخص برداشت اتفاق نیفتاده است اما با افزایش مقدار مصرف نیتروژن به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، میانگین شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری نسبت به مقادیر کم‌تر نیتروژن کاهش یافته است (جدول ۳). داده‌های عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نشان می‌دهند که کاهش شاخص برداشت در اثر افزایش مصرف نیتروژن کودی ناشی از تأثیر بیش‌تر نیتروژن کودی بر رشد رویشی در مقایسه با عملکرد دانه (زینلی، ۲۰۰۹) بوده است (۳۷). به همین دلیل هم، بین شاخص برداشت و عملکرد دانه رابطه خطی منفی معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۷). در بررسی گندم بهاره در تبریز نیز با افزایش مقدار نیتروژن شاخص برداشت به طور غیر معنی‌داری کاهش یافت (۲۸). لوپزبلیدو و همکاران (۲۰۰٦) مشاهده کردند که مقدار زیاد نیتروژن کودی به ویژه زمانی که نیتروژن در زمان کوتاهی پس از کاشت مصرف شد، کاهش معنی‌داری را در شاخص برداشت ایجاد نمود. یافته‌های ایشان نشان داد که اگر نیتروژن دیر مصرف شود ممکن است شاخص برداشت افزایش یابد (۳۸). در مطالعات دیگر با افزایش مقدار نیتروژن کودی شاخص برداشت به طور جزیی کاهش پیدا کرد که می تواند به دلیل تأثیر بیش‌تر نیتروژن کودی بر رشد رویشی و عملکرد بیولوژیک در مقایسه با عملکرد دانه باشد (۲۹، ۳۹). با این حال، در بررسی اثر منابع مختلف نیتروژن کودی بر گندم دوروم در ایتالیا بین منابع کودی (اوره، سولفات آمونیوم و Entec26) از نظر شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (۳۲).



شکل ۷. رابطه عملکرد دانه با تعداد دانه در مترمربع، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گندم رقم مروارید.

Figure 7- Relationship between grain yield and grain and spike number per square meter, grain number per spike, 1000-seed weight, biological yield and harvest index in wheat cultivar Morvarid.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه حاکی از افزایش خطی معنی‌دار (p=۰/۰۱) عملکرد دانه با افزایش مصرف نیتروژن کودی تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. دلیل اصلی این افزایش عملکرد افزایش تعداد سنبله در واحد سطح (با ٤٩/٤ درصد افزایش نسبت به شاهد) در نتیجهٔ افزایش تعداد پنجه بارور در بوته بوده است. افزایش تعداد دانه در سنبله (با ١٦/٧ درصد افزایش نسبت به شاهد) بخش کم‌تری از افزایش عملکرد دانه را توجیه نموده و افزایش وزن دانه (با ۲/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) سهم قابل توجهی در افزایش عملکرد نداشته است. همچنین، اگرچه رابطه خطی بین مقدار نیتروژن کودی و عملکرد دانه حاکی از آن است که حداکثر عملکرد دانه با مصرف نیتروژن کودی بیش‌تر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست می‌آید ولی به دلیل نزدیکی حداکثر عملکرد دانه به دست آمده در این مطالعه به عملکرد قابل حصول برآورد شده برای گندم در این منطقه (حدود ٦٥٠٠ کیلوگرم در هکتار) دستیابی به عملکردهای بیش‌تر با مصرف بیش‌تر نیتروژن کودی، محل تردید است. همچنین، نتایج این مطالعه آشکار ساخت که در شرایط محیطی این مطالعه استفاده از کودهای شیمیایی حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP موجب افزایش قابل توجه و معنی‌دار عملکرد نمی‌شود. این نتیجه را

می‌توان تا حد زیادی به بافت خاک (لوم رسی سیلتی در لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، رسی سیلتی در لایه ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر و رسی در لایه ٦۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) و همچنین کم بودن تعداد دفعات آبیاری (دو نوبت در دوره رشد دانه) نسبت داد. از این‌رو، با توجه به نتایج به‌دست آمده و همچنین عدم تولید این بازدارنده‌ها در داخل کشور و قیمت بسیار زیاد کودهای حاوی بازدارنده نیتریفیکاسیون در مقایسه با کودهای معمولی، استفاده از آن‌ها به لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نبوده و قابل توصیه نمی‌باشد.

سپاسگزاری

مطالعه حاضر با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. از این‌رو، نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه ابراز می نمایند.

References

1. Guardra, G., Padovan, S. and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. Eur. J. Agron. 21: 181-192.
2. Zhang, J.H., Liu, J.L., Zhang, J.B., Zhao, F.T., Zheng, Y.N. and Wang, W.P. 2010. Effect of nitrogen application rates on translocation of dry matter and nitrogen utilization in rice and wheat. Acta Agron. Sin. 36: 10. 1736-1742.
3. Herrera, J.M., Rubio, G., Häner, L.L., Delgado, J.A., Lucho-Constantino, C.A., IslasValdez, S. and Pellet, D. 2016. Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. Agron. J. 6: 2. 25. http://dx.doi.org/10.3390/ agronomy6020025.
4. Linquist B.A., Lijun, L., van Kessel,C. and van Groenigen, K.J. 2013. Enhanced efficiency nitrogen fertilizer for rice systems: Meta-analysis of yiel and nitrogen uptake. Field Crops Res. 154: 246-254.
5. Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. and Movahedi Naeeni, S.A. 2009. Estimates on nitrate leaching from wheat fields in Gorgan, northeast of Iran. Res. J. Environ. Sci. 3: 6. 645-655.
6. Akiyama, H., Yan, X. and Yagi, K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N2O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. Glob. Change Biol. 16: 1837-1846.
7. Chalk, P.M., Craswell, E.T., Polidoro, J.C. and Chen, C. 2015. Fate and efficiency of 15Nlabelled slow- and controlled release fertilizers. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 102: 167-178.
8. Edmeeads, D. 2004. Nitrification and urease inhibitors. Environ. Waikato. Tech rep. 22: 1-16.
9. Singh, S.N. 2007. The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils. Environ. Pract. 9: 266-279.
10. Fageria, N.K. and Baligar, V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv. Agron. J. 88: 97-185.
11. Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G. and Vallejo, A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. Agric. Ecosyst. Environ. 189: 136-144.
12. Kim, D.G., Saggar, S. and Roudier, P. 2012. The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 93: 51-64.
13. Diez-Lopez, J.A., Hernaiz-Algaria, P., Arauzo-Sanchez, M. and Carrasco-Martin, I. 2008. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. Span. J. Agric. Res. 6: 2. 294-303.
14. Liu, C., Yao, Z., Wang, K. and Zheng, X. 2014. Three-yearmeasurements of nitrous oxide emissions from cotton and wheat-maize rotational cropping systems. Atmos. Environ. 96: 201-208.
15. Giltrap, D.L., Singh, J., Saggar, S. and Zaman, M. 2010. A preliminary study to model the effects of a nitrification inhibitor on nitrous oxide emissions from urineamended pasture. Agric. Ecosyst. Environ. 136: 310-317.

16. Benckiser, G., Christ, E., Herbert, T., Weiske, A., Blome, J. and Hardt, M. 2013. The nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole-phosphat (DMPP) quantification and effects on soil metabolism. Plant Soil. 371: 257-266.
17. Mahmood, T., Ali, R., Latif, Z. and Ishaque, W. 2011. Dicyandiamide increases the fertilizer N loss from an alkaline calcareous soil treated with 15 N-labelled urea under warm climate and under different crops. Biol. Fertil. Soils. 47: 619-631.
18. Gilsanz, C., Bàez, D., Misselbrook, T.H., Dhanoa, M.S. and Càrdenas, L.M. 2016. Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. Agric. Ecosyst. Environ. 216: 1-8.
19. Halvorson, A.D., Snyder, C.S., Blaylock, A.D. and Del Grosso, S.J. 2014. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: potential role in nitrous oxide emission mitigation. Agron. J. 106: 715-722.
20. Ruser, R. and Schulz, R. 2015.The effect of nitrification inhibitors on the nitrousoxide (N2O) release from agricultural soils. J. Soil Sci. Plant Nutr. 178: 171-188.
21. Rose, T., Wood, R.H., Rose, M.T. and Zwieten, L.V. 2018. A re-evaluation of the agronomic effectiveness of the nitrification inhibitors DCD and DMPP and the urease inhibitor NBPT. Agric. Ecosyst. Environ. 252: 69-73.
22. Yang, M., Fang, Y., Sun, D. and Shi, Y. 2016. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3, 4-dimethypyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. Sci. Rep. 6: 22075.
23. Feng, J., Li, F., Deng, A., Feng, X., Fang, F. and Zhang, W. 2016. Integrated assessment of the impact of enhanced- efficiency nitrogen fertilizer on N2O emission and crop yield. Agric. Ecosyst. Environ. 231: 218-228.
24. Qiao, C., Liu, L., Hu, S., Compton, J.E., Greaver, T.L. and Li, Q. 2015. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. Glob. Change Biol. 21: 1249-1257.
25. Thapa, R., Chatterjee, A., Awale, R., McGranahan, D.A. and Daigh, A. 2016. Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: a meta-analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 80: 1121-1134.
26. Soltani, A. 2007. Application of SAS Software in Statistical Analysis. Mashhad University Jihad. 182 pages. (In Persian)
27. Soghi, H.A., Kazemi, M., K.halate Arabi, M., Sheikh, F., Abroudi, S.A.M. and Asgar, M. 2009. Effect of foliar n and soil application of different rates of nitrogen fertilizer on yield and yield components of two promising wheat lines in Gorgan. Electron. J. Crop Prod. 2: 4. 167-176. (In Persian)
28. Ezzat Ahmadi, M., Kazemi, H.A., Shakiba, M.R. and Valizadeh, M. 1998. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and its usage time on yield and yield components of spring wheat in Tabriz environmental conditions. Ir J Agric Sci. 29: 4. 787-800. (In Persian)
29. Annagholi, A. 2000. Investigating the effect of the rate and time of application of nitrogen fertilizer on morphological characteristics, growth, yield and yield components of Zagros wheat in rainfed condition, MSc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 88 p. (In Persian)
30. Tariq Jan, M. and Khan, S. 2000. Response of wheat yield components to type of N-fertilizer, their levels and application time. Pak. J. Biol. Sci. 3: 8. 1227-1230.
31. Teixeira Filho, M.C.M., Buzetti, S., Andreotti, M., Arf, O. and Sa, M.E.De. 2011. Application times, soures and doses of nitrogen on wheat cultivars under no till in the Cerrado region. Cienc. Rural. Santa Maria, 41: 8. 1375-1382.
32. Ercoli, L., Masoni, A., Pampana, S., Mariotti, M. and Arduini, I. 2013. As durum wheat productivity is affected by nitrogen fertilisation management in Central Italy. Eur. J. Agron. 44: 38-45.
33. Walter, E.B., Christians, C.B. and L.amothe. A.G. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield and yield components of malting barley. Field Crops Res. 43: 87-99.

34. Hosseini, R.S., Galeshi, S., Soltani A. and Kalateh, M. 2011. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of old and new wheat cultivars. Electron. J. Crop Prod. 4: 1. 187-199. (In Persian)
35. Abedi, T., Alemzadeh, A. and Kazemyani, S.A. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. Aust. J. Crop Sci. 5: 3. 327-333.
36. Shahbazi, M., Zeinali, E., Galeshi, S., Ehshamami, M.R. and Dorosti, H. 2017. Response of grain yield and other agronomic characteristics of two indigenous and high yield rice cultivars to nitrogen fertilizer rate in Rasht. J. Soil Manag Sustain Prod. 7: 1. 38-21. (In Persian)
37. Zeinali, A. 2009. Nitrogenous nutrition of wheat in Gorgan; Agronomic, physiological and ecological aspects. PhD Thesis in Agronomy. Faculty of Crop Sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 201 p. (In Persian)
38. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J. and Lopez-Bellido. F.J. 2006. Fertilizer nitrogen efficiency in durum wheat under rainfed mediterranean conditions: effect of split application. Agron. J. 98: 55-62.
39. Shahsavari, N. and Safari, M. 2005. Effect of nitrogen rate on yield and yield components of three wheat cultivars in Kerman. J. Res Develop. 66: 82-87. (In Persian)