

تأثیر بازدارنده نترات سازی ۳ و ۴ دی متیل پیرازول فسفات بر دینامیک نیتروژن-۱۵ و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن-۱۳ متفاوت

میر احمد موسوی شلمانی^۱، امیر لکزیان^{۱*}، رضا خراسانی^۱، کاظم خاوازی^۲

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

به منظور افزایش محصول و کارایی مصرف کود نیتروژنی در مصرف پائیزی کود در گندم دیم از طریق بازدارنده نترات سازی DMPP، آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور رقم (پنج رقم گندم دیم با Δ متفاوت) و فاکتور دوم نیتروژن در سه سطح (صفر و ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت کودهای سولفات آمونیم و سولفات آمونیم حاوی DMPP) در سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که استفاده از DMPP باعث می‌شود تا تبدیل آمونیم به نترات ۴۲ روز به تأخیر بیفتد. همچنین بازدارنده DMPP بیشترین تأثیر را بر منبع نیتروژنی کود نشان‌دار داشته و تأثیر آن بر منبع نیتروژنی خاک ناچیز بوده است. به نظر می‌رسد، اثرات متقابل کلوئیدهای خاک با یون‌های آمونیم تثبیت شده بر روی مکان‌های تبدالی به گونه‌ای بوده که اثربخشی بازدارنده نترات سازی در خصوص یون‌های مشتق شده از منبع خاک کاهش یابد. کاربرد DMPP باعث می‌گردد تا تولید محصول کل به میزان ۱۵۱۶ کیلوگرم در هکتار و کارایی مصرف کود نیتروژنی نیز به میزان ۱۲/۲ درصد افزایش یابد. نکته قابل توجه در این راستا جذب کامل یون‌های آمونیم در ژنوتیپ G5 (زرگان ۶) در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بود. به نظر می‌رسد جذب ترجیحی و بالای یون آمونیم توسط ژنوتیپ G5 (با کمترین میزان Δ) باعث گردیده تا حدودی اثرات سمیت یون آمونیم ظاهر شود و بدین ترتیب از کارایی مصرف کود نیتروژنی به میزان ۶/۵ درصد کاسته شود. لذا کاربرد DMPP در ژنوتیپ‌هایی با توانایی جذب ترجیحی آمونیم باید با احتیاط صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: بازدارنده نترات سازی، کارایی مصرف کود، DMPP، ^{13}C ، ^{15}N

مقدمه

در بین عناصر غذایی، نیتروژن (N) جزء کلیدی تمامی سامانه‌های مزرعه‌ای در تولید محصول بشمار می‌آید. این عنصر در مقادیر زیاد برای سنتز پروتئین و تقریباً در تمام جنبه‌های رشد گیاه مورد نیاز می‌باشد. بنابراین، نیتروژن نقش مهمی در بهره‌وری و سودآوری محصول در مزرعه و همچنین کنترل عملکرد و دینامیک عناصر غذایی در اکوسیستم‌های مختلف ایفا می‌کند. با این حال، نیتروژن معدنی به صورت یون نترات در خاک بسیار متحرک بوده و مدیریت و استفاده کارآمد از آن چالش برانگیز است. ورودی نیتروژن در مزارع عمدتاً از طریق کودهای شیمیایی است. مصرف سالانه نیتروژن ۱۴۷ میلیون تن در سراسر جهان در سال ۲۰۱۴ بوده است. با این حال، کمتر از ۴۰ درصد از کود نیتروژنی توسط گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و باقی آن به صورت‌های مختلف اتلاف می‌گردد (FAO, 2015). هدر رفت کودهای نیتروژنی مخاطرات زیست‌محیطی بسیاری را به همراه داشته که از آن جمله می‌توان به تصاعد گاز اکسید نیتروژن (N_2O) و آمونیاک (NH_3) به اتمسفر، آسیب گسترده به اکوسیستم‌های مختلف و مخاطرات بهداشتی برای انسانی (سرطان، اختلال در رشد و توسعه، هیپوکسی و مسمومیت نترات) اشاره نمود. کلیه موارد فوق به موازات پیامدهای اقتصادی قضیه، از جمله آسیب‌های اتلاف منابع کودهای نیتروژنی به شمار می‌آیند (FAO, 2015).

پس از کاربرد کودهای شیمیایی آمونیمی، فرایند نترات‌سازی توسط باکتری‌های اتوتروف طی ۱ تا ۲ هفته رخ می‌دهد. این امر باعث می‌شود تا غلظت بالای نترات در اطراف گرانول کود تولید

شود (Zaman, et al, 2009). نترات به دلیل بار منفی، از جایگاه‌های تبادل‌ی خاک دفع می‌گردد و بدین ترتیب در معرض آشوبی و انتشار به جو به صورت N_2O قرار می‌گیرد. به منظور افزایش بهره‌وری استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنی، تلاش‌های مختلف در خصوص پوشش‌دار کردن آن و یا کاربرد توأم آن با بازدارنده‌های مختلف (نظیر اوره‌آز و نترات‌سازی) صورت گرفته است. بازدارنده‌های نترات‌سازی ترکیباتی هستند که اکسایش زیستی آمونیم به نیتريت را بدون تأثیر بر اکسایش نیتريت به نترات به تأخیر می‌اندازند (Li et al, 2008). این امر به واسطه جلوگیری و یا دخالت در سوخت‌وساز باکتری‌های مؤثر در نیتريت‌سازی (نظیر باکتری‌های نیتروزوموناس^۱) صورت می‌گیرد. در شرایط اقلیمی و خاکی با پتانسیل زیاد آشوبی نیتروژن، کاربرد بازدارنده‌های نترات‌سازی اثرات معناداری بر کاهش تصاعد گازهایی از قبیل N_2O و CH_4 از خاک به اتمسفر داشته است (Chen et al, 2010, 2005, Malla et al). علاوه بر این، افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی و عملکرد محصولات زراعی و باغی از جمله کاربردهای مهم بازدارنده‌ها محسوب می‌گردد (Li J. et al, 2003, RocoBlu, 2006).

تاکنون انواع متعددی از بازدارنده‌های نترات‌سازی به بازار عرضه شده است. بازدارنده‌هایی مانند دی‌سیان‌دی‌آمید (DCD)، ۲ کلرو ۶ تری کلرو متیل پیریدین (Nitrapyrin) و ۳ و ۴ دی‌متیل پیرازول فسفات (DMPP) با کم کردن فعالیت باکتری‌های نیتروزوموناس، تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش

1- Nitrosomonas

(al, 2001) و از نظر آزمون‌های سمیت‌شناسی (فرایندهای کنترل کیفیت) هیچ‌گونه اثرات سمیتی از آن گزارش نشده است (Zerulla et al, 2001).

با توجه به اینکه بازدارنده نترات‌سازی DMPP در سال‌های اخیر وارد بازار ایران شده است، لذا کاربرد آن به‌عنوان مصرف داخلی چندان گسترده نبوده و متعاقباً فعالیت‌های تحقیقاتی در این زمینه نیز بسیار ناچیز گزارش شده است. احسان‌پور و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر بازدارنده نترات‌سازی DMPP را تحت سطوح مختلف کود نیتروژنی و فسفر در گندم بهاره (رقم پیشتاز) در اقلیم شهرکرد مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی افزایش معنادار فسفر قابل‌استفاده و آمونیم در خاک و کاهش معنادار نترات در خاک در طول آزمایش در مقایسه با تیمارهای بدون بازدارنده گزارش شده است. نامبردگان تغییر موضعی در خصوصیات شیمیایی خاک به‌واسطه حضور یون آمونیوم و ترشح پروتون از ریشه گیاه گندم و در نهایت اسیدی شدن ریزوسفر را دلیل اصلی افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی دانسته و بر این اساس کاربرد DMPP به همراه کود سولفات نترات آمونیم برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف فسفر در گندم توصیه شده است.

در سطح جهانی در ۲۵ سال گذشته تحقیقات گسترده در خصوص کاربرد طیف وسیعی از بازدارنده‌های نترات‌سازی صورت گرفته است. از جمله فعالیت‌های تحقیقاتی که در رابطه با آن، مورد خاصی گزارش نشده است می‌توان به تأثیر بازدارنده نترات‌سازی DMPP در افزایش میزان تولید محصول در ارقام مختلف گندم اشاره نمود. در این راستا مهم‌ترین شاخص، گزینش ژنوتیپ‌های

داده و سبب افزایش در بهره‌وری محصول می‌شوند. این ترکیبات عموماً توانایی بازدارندگی فعالیت باکتری‌های نیتروزوموناس را داشته‌اند که نتیجه نهایی فرآیند، تعویق اکسایش بیولوژیکی آمونیم خواهد بود (Zerulla et al, 2001). البته باید توجه نمود که گروه باکتری‌های نیتروزوکوکوس، نیتروسیپرا، نیتروزولوبوس و نیتروزو-ویریو نیز در این امر مؤثر شناخته شده‌اند. بدین ترتیب کاهش معنادار در تشکیل یون نترات در خاک به‌واسطه کاربرد بازدارنده‌ها گزارش شده (Islam et al, DiCameron, 2005, 2007) که این امر همراه با کاهش N_2O در اتمسفر بوده است (MagalhaesChalk, Di, et al, 2007, 1987, Merino et al, 2005). در این راستا، DMPP به‌عنوان یک بازدارنده نسبتاً جدید توسط شرکت BASF آلمان تولید شده و مزایای متعددی نسبت به DCD و نیتراپیرین دارد. این ماده به همراه کودهای معدنی (نیتراتی و آمونیمی) در مقادیر کمتر از یک‌دهم DCD مورد مصرف (بر اساس توصیه شرکت سازنده ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند فرایند نترات‌سازی را به مدت چند هفته به تأخیر اندازد. البته میزان تأخیر، بسته به شرایط آب و هوایی و خصوصیات محل‌های مورد مطالعه متغیر خواهد بود (Chen et al, Barth et al, 2001, 2010, Zerulla et al, 2001). به‌عنوان مثال در اقلیم‌های گرم و درجات دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، DMPP طی مدت‌زمان یک هفته بی‌تأثیر می‌شود (Irigoyen et al, 2003). این ترکیب در رابطه با بازدارندگی فرایند نترات‌سازی در خاک‌های مرتعی بسیار سودمند گزارش شده (Zerulla et al, Yu et al, 2008, RocoBlu, 2006)

Nachit and Elouafi, 2004، Nachit, 1991 Wahbi and Shaaban, Sayre *et al*, 2001 (1997). با این حال، در برخی از مناطق نیز همبستگی منفی بین $\Delta^{13}C$ برگ و عملکرد دانه گزارش شده است (IAEA, 2012). در خصوص کارایی مصرف آب هر دو همبستگی منفی و مثبت بین این شاخص و تبعیض ایزوتوپی کربن ($\Delta^{13}C$) در برگ و دانه گزارش شده است که بسته به شرایط آب و هوایی متفاوت بوده است (IAEA, 2012). در بررسی حاضر با توجه به آزمون صورت گرفته در ۱۵۰ ژنوتیپ از خزانه بذور گندم دیم (موسسه تحقیقات دیم کشور)، همبستگی منفی ($r=-0.534$) بین تولید دانه و ارزش دلتا کربن ۱۳ بدست آمده که با توجه به سطوح معنادار ضریب همبستگی (آزمون دوطرفه)، در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بوده است. این بدان معنی است که گیاهان مورد پژوهش با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ پایین، از خصوصیات فیزیولوژیکی متناظر با تحمل به شرایط تنش (نظیر سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌تر، جهت بهینه نمودن کارایی مصرف آب) برخوردار می‌باشند که به نوبه خود در جذب یون‌های آمونیوم و نترات (در مقاطع مختلف زمانی) و همچنین در فرایند جذب ترجیحی یون آمونیم مؤثر خواهد بود.

تأخیر در فرآیند تبدیل آمونیم به نترات (به واسطه کاربرد بازدارنده نترات‌ساز DMPP) ممکن است دو رویکرد به همراه داشته باشد. در رویکرد اول ممکن است منجر به جذب بیشتر آمونیم توسط گیاه شود. در این راستا ژنوتیپ‌های با جذب ترجیحی آمونیوم ممکن است از لحاظ عملکرد رویکرد توسعه یافته‌تری داشته باشند. این امر می‌تواند

گندم با پتانسیل متفاوت در پاسخ به بازدارنده نترات‌سازی خواهد بود. به نظر می‌رسد کارایی مصرف آب از جمله تاثیرگذارترین شاخص‌ها در تفکیک گونه‌ها به شمار رود. با توجه به مشکلات اندازه‌گیری کارایی مصرف آب در گستره وسیع خزانه بذور گندم دیم، از شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن به عنوان جایگزین در گزینش سطوح مختلف ژنوتیپ‌ها با توانایی متفاوت در تولید محصول و کارایی مصرف آب استفاده گردید. لذا بنیان فرضیه پژوهش، بر همبستگی بالای شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن (Δ) و صفت فوق استوار بوده است. بر اساس تئوری، نسبت ایزوتوپی $^{13}C/^{12}C$ در بافت‌های گیاهی، کمتر از CO_2 اتمسفر می‌باشد. این امر مؤید این مطلب است که گیاهان در طی فرآیند فتوسنتز، نسبت به جذب CO_2 (از منبع ^{12}C و ^{13}C) تبعیض قائل می‌شوند و این امر می‌تواند به عنوان یک شاخص در مطالعات فیزیولوژیکی ارقام مختلف گندم مورد استفاده قرار گیرد (Tokatlidis *et al*, 2004، Iqbal *et al*, 2005، Monneveux *et al*, 2005 و Cregg and Zhang, 2002). در این راستا ارتباط مؤلفه‌های تأثیرگذار در عبور توده‌ای ایزوتوپ‌های مختلف از روزنه‌های گیاهی جهت رخداد فتوسنتزی و همبستگی معنادار فرایند فوق با کارایی مصرف آب (و متعاقباً تولید محصول) از جمله موضوعات قابل توجه در شناسایی فیزیولوژی مقابله با شرایط تنش در دهه‌های اخیر به شمار می‌رود. تحقیقات متعدد مؤید همبستگی مثبت بین $\Delta^{13}C$ و تولید عملکرد در اقلیم مدیترانه‌ای بوده است (Condon and Hall, 1997، Acevedo, 1991، Morgan *et al*, 1993، Marah *et al*, 2001

قابل ملاحظه خواهد داشت. لذا در این بررسی سعی بر این است تا (با نظر به هر دو رویکرد) تأثیر بازدارنده نیترات سازی DMPP در کارایی مصرف کود و تولید محصول در ژنوتیپ‌های مختلف گندم با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران (مزرعه زعفرانیه کرج) انجام شد. طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی (CRD) به صورت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول در ۵ سطح شامل ارقام مختلف گندم با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن متفاوت (بالا (G1))، تا حدی بالا (G2))، متوسط (G3))، تا حدی کم (G4)) و پایین (G5)) و فاکتور دوم تیمارهای کودی شامل کنترل (بدون کود نیتروژنی (N))، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت کود سولفات آمونیم (F)، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت کود سولفات آمونیم همراه با بازدارنده نیترات سازی DMPP (D) بود. منبع تقسیم‌بندی پنج سطح تبعیض ایزوتوپی، سطوح بیشینه و کمینه Δ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. خاک از رده Typic Calcixerepts و بافت آن لوم شنی رسی تعیین گردید. پاره‌ای از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ قید گردیده است. چهل و پنج کرت مزرعه‌ای به ابعاد ۳/۶ متر مربع در ۳ تکرار با فواصل خطوط کاشت ۰/۶ متر و حاشیه یک متر آماده شد (IAEA, 2001). بذور در مهرماه ۱۳۹۳ با تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع به صورت خطی کشت شد.

به دلیل ایجاد توازن بار الکتریکی به واسطه آزادسازی پروتون باشد. نتیجه امر باعث می‌شود تا محیط ریزوسفر اسیدی‌تر شده و فراهمی عناصر غذایی کم مصرف (نظیر آهن، مس، منگنز و روی) افزایش یابد که پیامد مستقیم این امر، رشد بیشتر گیاه خواهد بود (کسرای، ۱۳۶۵). در رویکرد دوم مدت زمان بازدارندگی تبدیل آمونیم به نیترات مدنظر خواهد بود. در دیم‌زارهای مناطق سرد و نیمه سرد شمال غرب ایران، کاشت گندم در مهرماه صورت می‌گیرد. به دلیل کاهش عملیات خاک‌ورزی و متعاقباً کاهش هزینه‌های کارگری، مصرف کودهای نیتروژنی نیز همزمان با کاشت بذور انجام می‌شود (فیضی اصل و همکاران، ۱۳۹۳). در صورتی که بتوان با استفاده از بازدارنده نیترات سازی DMPP تبدیل آمونیم به نیترات را ۴۵ روز به تأخیر انداخت، به دلیل دمای پائین هوا (کمتر از ۶ درجه سانتی‌گراد) در اوایل آذرماه، آمونیم جذب رس و کلوئیدهای خاک شده و در لایه‌های سطحی خاک باقی می‌ماند و بدین ترتیب از امکان تبدیل آن به شکل نیترات در شرایط مختلف جوی جلوگیری خواهد شد. در چنین شرایطی با مصرف سرک کودهای نیتروژنی، بیش از ۷۵ درصد از نیتروژن مصرفی در ۱۰ سانتی‌متر اولیه خاک تجمع می‌یابد (Olson and Swallow 1984, Wang and Below 1992). بدین ترتیب به دلیل عدم نیاز گندم به منابع کودی در زمستان، کلیه یون‌های آمونیم تا پایان یخبندان زمستانی در خاک باقی‌مانده و با شروع فصل گرما در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. لذا به نظر می‌رسد با ممانعت آبشویی زمستانی نیترات، کارایی مصرف کود افزایش

جدول ۱- خصوصیت خاک مورد مطالعه

CCE	OC	TDS	EC**	pH*	SP	PWP	FC	بافت خاک (%)			عمق خاک cm
								Clay	Silt	Sand	
۱۶/۰	۰/۴۲	۳۷۵	۰/۶	۷/۸	۲۶/۸	۹/۵	۱۶/۸	۲۱/۲	۲۰/۱	۵۸/۷	۰-۲۰
۱۶/۶	۰/۲۵	۴۱۷	۰/۷	۷/۷	۲۶/۰	۹/۲	۱۶/۵	۱۸/۸	۲۰/۰	۶۱/۲	۲۰-۴۰

* گل اشباع ** عصاره گل اشباع

ادامه جدول ۱

Zn	Cu	Mn	K	P	Cl	Mg	Ca	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	نیترژن کل %	عمق خاک cm
mg/kg					meq/L							
۰/۸	۰/۴	۲/۸	۱۲۵	۷/۸	۱/۵	۴/۴	۵/۵	۲/۹	۱/۳	۰/۲	۰/۰۴	۰-۲۰
۰/۹	۰/۴	۳/۱	۱۰۰	۵/۹	۱/۷	۵/۰	۶/۱	۳/۳	۱/۶	۰/۲	۰/۰۳	۲۰-۴۰

سولفات آهن)، Mn (از منبع سولفات منگنز)، Zn (از منبع سولفات روی)، Cu (از منبع سولفات مس) و B (از منبع اسید بوریک) به میزان به ترتیب ۳۰، ۳۵۰، ۲۰، ۲۴، ۸، ۸ و ۶ کیلوگرم (عنصر خالص) در هکتار در تمامی کرت‌ها اعمال شد. بازدارنده نترات‌سازی با نام تجاری *نوتک سولوب*^۱ ۲۱-۲۴ به صورت پوشش داده شده با سولفات آمونیم از شرکت بازرگان کالا (نماینده شرکت Compo آلمان) خریداری شد. شایان ذکر است که این شرکت فقط سولفات آمونیم همراه با DMPP را در ایران عرضه می‌نماید. جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گندم، ۱۵۰ رقم گندم دیم از بانک ژن موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه) به آزمایشگاه طیف‌سنجی جرمی دانشگاه آدلاید (استرالیا) ارسال گردید و نسبت ایزوتوپی ^{۱۳}C/^{۱۲}C مورد آنالیز قرار گرفت. در نهایت پنج رقم گندم با دامنه متغیر از شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ (Δ) انتخاب شد. پاره‌ای از

جهت ردیابی کود نیتروژنی در وسط کرت اصلی، کرتچه ایزوتوپی به مساحت ۰/۶ مترمربع (ابعاد ۰/۶×۱ متر) ایجاد شد و کود سولفات آمونیم نشان‌دار با غنی‌سازی ^{۱۵}N/۶۳۷ اتم درصد اضافه اعمال گردید. برای اطمینان از کاربرد یکنواخت کود نشان‌دار، مواد مورد نظر در حجم کوچک آب حل شد و به صورت یکنواخت در کرتچه ایزوتوپی توزیع گردید. نیاز نیتروژنی گندم ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در نظر گرفته شد (فیضی اصل و همکاران، ۱۳۹۳) که همزمان با کاشت و به صورت جایگذاری در کرت‌های اصلی و ایزوتوپی اعمال شد (IAEA, 2001). به منظور مطابقت شرایط کنونی آزمایش با شرایط دیم، فقط یک آبیاری به میزان ۴۰ میلی‌متر پس از کاشت بذور صورت گرفت. پلان سایر عناصر کودی بر اساس نتایج آزمون خاک محاسبه شد (فیضی اصل و همکاران ۱۳۸۳ و فیضی اصل و همکاران، ۱۳۸۵). به این منظور P (از منبع اسید ارتو فسفریک)، K (از منبع سولفات پتاسیم)، Fe (از منبع

خصوصیات کلیدی شیمیایی و ویژگی‌های ایزوتوپی ژنوتیپ‌های برگزیده شده در جدول ۲ قید شده است.

جدول ۲- خصوصیت ایزوتوپی در دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

ژنوتیپ	$\mu\text{gN/g}$	$\mu\text{g}^{15}\text{N/g}^*$	ارزش دلتا ($\delta^{15}\text{N}$)	$\mu\text{gC/g}$	$\mu\text{g}^{13}\text{C/g}^*$	ارزش دلتا ($\delta^{13}\text{C}$)	Δ^{***}
G1 هما	۱۹/۴۴	۰/۰۷	-۱/۷۴	۵۴۸/۸۶	۶/۰۳	-۱۱/۳۹	۳/۴۳
G2 اوحدی	۲۵/۷۶	۰/۰۹	-۱/۰۸	۵۹۸/۰۰	۶/۵۸	-۹/۸۹	۱/۹۱
G3 سبلان	۲۲/۱۱	۰/۰۸	-۱/۵۶	۵۰۹/۸۷	۵/۶۱	-۹/۲۹	۱/۳۰
G4 **PYN	۲۰/۳۱	۰/۰۷	-۲/۳۱	۵۹۵/۴۶	۶/۵۷	-۴/۶۲	-۰/۵۵
G5 زرگان ۶	۲۵/۴۳	۰/۰۹	-۰/۸۷	۶۲۹/۸۳	۶/۹۷	-۷/۴۶	-۳/۴۰

* میکرو گرم N^{15} و C^{13} در هر گرم نمونه بذر در مقایسه با نمونه استاندارد هوا و فسیل (Pee Dee Belemnite (PDB

** شماره وارسته یا لاین: PYN /BAU//F474S10.1/3/ADMIS

*** تبعیض ایزوتوپی کربن $13:1 = 1000 [(R_{\text{sample}}/R_{\text{VSMOW}}) - 1]$ و $\Delta = (\delta^{13}\text{C air} - \delta^{13}\text{C plant}) / (1 + \delta^{13}\text{C})$

(plant)

اثرات اصلی و متقابل فاکتورها نیز توسط مدل چند متغیره GGE Biplot آنالیز شد (Choukan, 2011).

نتایج و بحث

الف- تأثیر بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در تولید محصول و کارایی مصرف کود

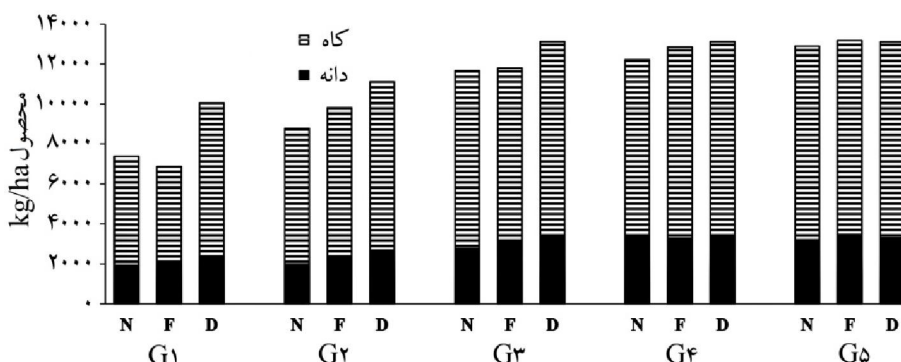
نتایج عملکرد دانه و کاه گندم در ژنوتیپ‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن ($P \leq 0.01$) مؤید این مطلب بود که ارقام گندم با شاخص Δ پایین (G3، G4 و G5) با تولید معادل ۳۲۶۴ کیلوگرم در هکتار دانه و ۹۳۹۴ کیلوگرم در هکتار کاه و کلش به طور مشترک در کلاس اول آماری قرار گرفته و ارقام با شاخص Δ بالا (G1 و G2) با تولید متوسط ۲۲۰۵ کیلوگرم در هکتار دانه و ۶۷۹۵ کیلوگرم در هکتار کاه و کلش در گروه دوم آماری قرار گرفته‌اند (جدول ۲ و شکل ۱).

اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف (G1 تا G5) و تیمار کودی (N، F و D) نشان داد که کاربرد

نمونه‌های خاک طی چهار مرحله (هفته دوم، هفته چهارم، هفته ششم و نمونه نهایی پس از برداشت محصول) برداشته شد و غلظت آمونیم و نیترات به روش طیف‌سنجی نوری و در طول موج‌های به ترتیب ۶۵۵ و ۲۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (IAEA, 2001). نسبت ایزوتوپی $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ در آمونیم و نیترات نشان‌دار شده به روش ریز انتشار^۱ و با دستگاه طیف‌سنج گسیلی NOI7 اندازه‌گیری شد (موسوی شلمانی، ۱۳۸۷). پس از برداشت محصول، نمونه‌های گیاهی به اندام‌های مختلف (دانه و کاه) تفکیک شدند. ردیابی ^{15}N در نمونه‌های گیاهی با روش ریتنبرگ^۲ و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج گسیلی NOI7 انجام شد (موسوی شلمانی، ۱۳۸۷). کلیه نتایج آماری بر اساس میانگین سه تکرار بیان شده است. تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار GenStat-14 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.01$) انجام شد.

1- Micro diffusion method
2- Rittenberg method

کود N) شده است (کاهش از ۳۳۶۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار N به ۳۲۸۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار F). باین حال با اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیم، تولید دانه ۳/۸٪ افزایش یافت (افزایش از ۳۲۸۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار N به ۳۴۱۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار D).



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف کودی در تولید محصول دانه و کاه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم (N: بدون

کود نیتروژنی، F: کود سولفات آمونیم و D: کود سولفات آمونیم همراه با بازدارنده نترات‌سازی DMPP).

(شکل ۲ الف). در واقع، تیمارهای G4 و G5 بیشترین همبستگی را با کود سولفات آمونیم و تیمارهای G1 و G2 نیز نسبت به مدل‌های مختلف کوددهی تفاوت معناداری نداشتند. در خصوص تولید کاه، استفاده از سولفات آمونیم در تیمار G5 تأثیر معنادار نسبت به تیمار شاهد (بدون کود N) نداشت. این در حالی است که با اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیم، تولید دانه ۱/۰٪ افزایش یافت (افزایش از ۹۶۹۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار F به ۹۷۸۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار D).

تفسیر وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای پلات نشان داد که کاربرد کود نیتروژنی (چه به صورت سولفات آمونیم و یا پوشش داده شده با بازدارنده نترات‌سازی DMPP) بیشترین همبستگی را با ژنوتیپ‌های G3 و

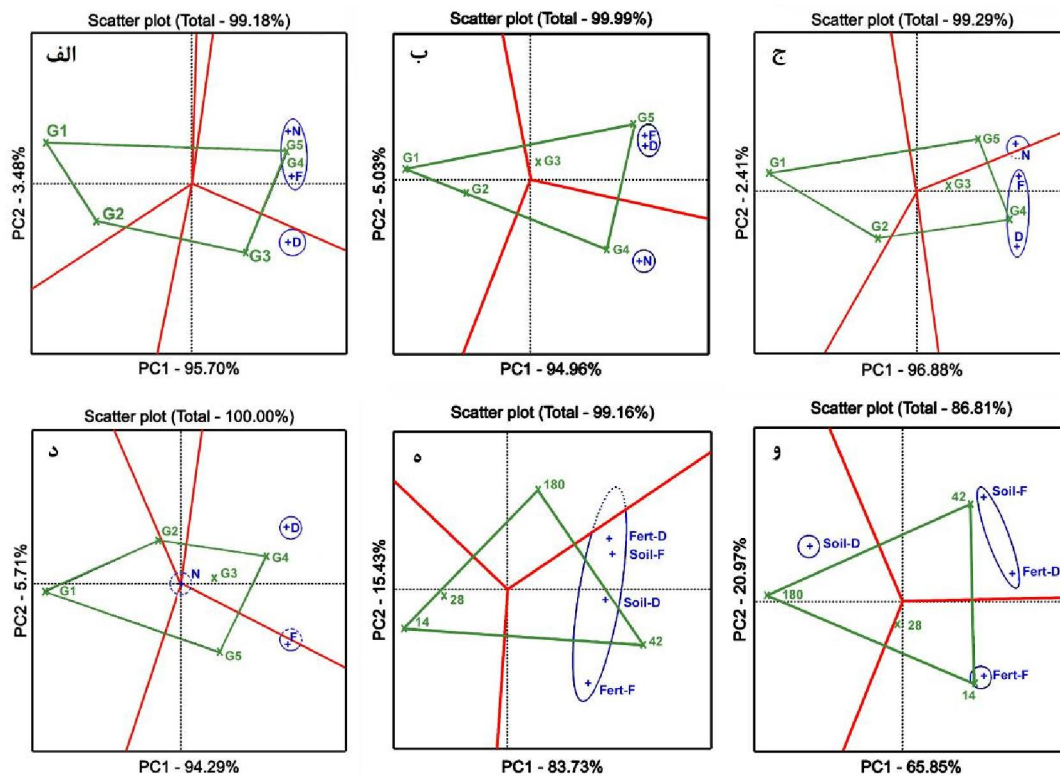
بازدارنده نترات‌سازی DMPP به همراه کود سولفات آمونیم اثر معنادار بر عملکرد گندم، میزان پروتئین و کارایی مصرف کود نیتروژنی در مقایسه با سولفات آمونیم بدون بازدارنده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (با شاخص Δ مختلف) داشت. در تیمار G4، استفاده از سولفات آمونیم (F) منجر به کاهش تولید دانه به میزان ۲/۵٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون

در تیمار G5، استفاده از سولفات آمونیم (F) منجر به افزایش تولید دانه به میزان ۸/۸٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون کود N) شد (افزایش از ۳۱۹۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار N به ۳۴۷۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار F). این در حالی است که با اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیم، تولید دانه ۴/۸٪ کاهش یافت (کاهش از ۳۴۷۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار F به ۳۳۱۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار D).

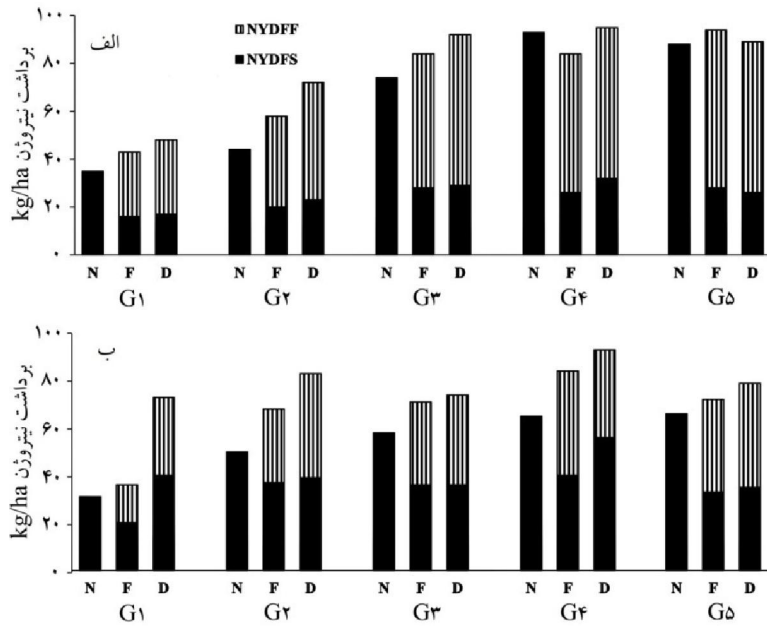
اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف گندم و تیمار کودی با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای پلات در شکل ۲ نشان داده شده است. تفسیر چند متغیره ژنوتیپ‌ها با استفاده از این مدل آماری نشان داد که کاربرد DMPP بیشترین همبستگی را با ژنوتیپ G3 در تولید عملکرد دانه داشت

و یا پوشش داده شده با بازدارنده نیترات سازی (DMPP) تأثیر معنادار در رابطه با برداشت نیتروژن کل در این تیمار نداشت. لذا به نظر می‌رسد که این تیمار دارای بالاترین همبستگی با تیمار شاهد (N) باشد (شکل ۲-ج و شکل ۳). در رابطه با ژنوتیپ G۳، استفاده از سولفات آمونیم (F) منجر به افزایش برداشت نیتروژن کل به میزان ۲۳٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون کود N) شد. پس از اضافه کردن DMPP (به کود سولفات آمونیم)، برداشت نیتروژن کل ۱۱٪ افزایش یافت. لذا به نظر می‌رسد که این تیمار دارای بالاترین همبستگی با کاربرد کود سولفات آمونیم (F) باشد (شکل ۲-ج و شکل ۳).

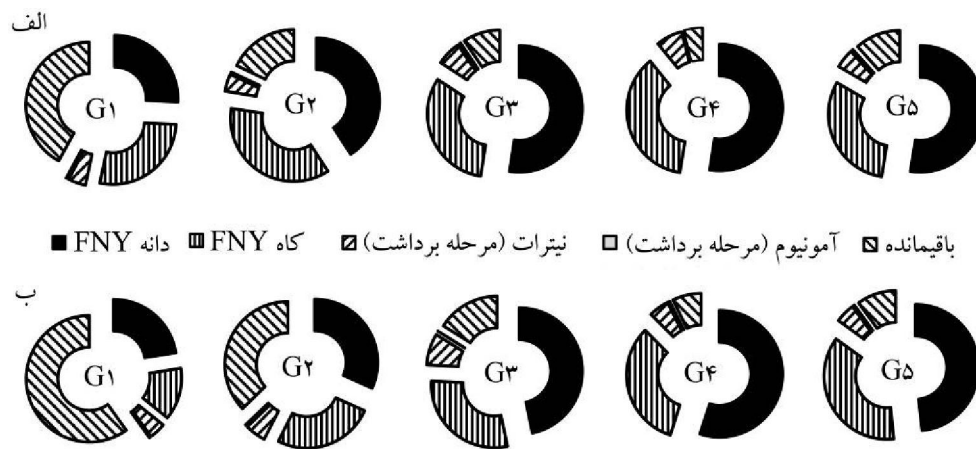
G۵ داشت. این در حالی است که تیمار G۴ بیشترین همبستگی را با شاهد (N) و تیمارهای G۱ و G۲ نیز نسبت به مدل‌های مختلف کوددهی تفاوت معنادار نداشتند (شکل ۲-ب). نتایج برداشت نیتروژن از منابع کود و خاک در ژنوتیپ‌های مختلف در شکل ۳ ارائه شده است. استفاده از سولفات آمونیم ساده در تیمار G۵ موجب شد تا برداشت نیتروژن ۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد. پس از اضافه کردن DMPP، برداشت نیتروژن ۲٪ نیز افزایش یافت. تفسیر ژنوتیپ G۵ با استفاده از GGE بای پلات نشان می‌دهد که کاربرد کود نیتروژنی (چه به صورت سولفات آمونیم



شکل ۲- اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف گندم (G۱ تا G۵)، تیمار کودی (N، F و D) و دوره زمانی نمونه برداری از خاک (۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۱۸۰ روز بعد از کاشت) با استفاده از GGE بای پلات، الف: محصول دانه، ب: وزن هزار دانه، ج: برداشت نیتروژن کل، د: کارایی مصرف کود نیتروژنی کل، ه: نیتروژن نیتراتی خاک، و: نیتروژن آمونیمی خاک (از منابع خاک و کود در تیمارهای بازدارنده D و بدون بازدارنده F)



شکل ۳- برداشت نیتروژن از منبع کود (NYDFF) و خاک (NYDFS) در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم الف: دانه، ب: کلش، تحت تیمار مختلف کودی (N: بدون کود نیتروژنی، F: کود سولفات آمونیم و D: کود سولفات آمونیم همراه با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP)



شکل ۴- کاربرد ایزوتوپ ¹⁵N در بررسی سرنوشت کود نیتروژنی، توزیع در گیاه (دانه و کاه)، توزیع در خاک به صورت یون‌های نیترات و آمونیم و باقی‌مانده در خاک (الف: کود سولفات آمونیم همراه با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP، ب: کود سولفات آمونیم)

می‌رسد که این تیمار دارای بالاترین همبستگی با تیمار D (سولفات آمونیم پوشش داده‌شده با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP) باشد (شکل ۲-ج و شکل ۳). سرنوشت کود نیتروژنی مشتمل بر توزیع آن در گیاه و خاک (به‌صورت یون‌های نیترات و

در رابطه با ژنوتیپ G4، استفاده از سولفات آمونیم (F) منجر به افزایش برداشت نیتروژن کل به میزان ۱۰٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون کود N) شد. پس از اضافه کردن DMPP (به کود سولفات آمونیم)، برداشت نیتروژن کل ۲۰٪ افزایش یافت، لذا به نظر

ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می شود، تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی قابل دسترس در خاک به تفکیک منابع مختلف خاک و کود تا روز ۲۸ام کاربرد DMPP باعث شد تا غلظت نیترات در حد کمینه قرار گیرد. یافته فوق در تطابق با گزارش های (Yu *et al.*, 2007) در ارزیابی تأثیر DMPP در آبشویی نیتروژن بوده است. ایشان به این نتیجه دست یافتند که در صورت استعمال DMPP تا ۴۰ روز تراوش نیترات در حد کمینه قرار گرفته و پس از آن به تدریج سیر صعودی پیدا نموده و در نهایت به ۴ میلی گرم در لیتر خواهد رسید. در این راستا (Chen, *et al.*, 2010) در مقایسه بازدارندگی N-serve و DMPP گزارش نمودند که N-serve فرایند نیترات سازی را ۴۲ روز به تأخیر می اندازد اما در مقایسه، میزان اثر بازدارندگی DMPP طولانی تر بوده و منحنی آن نیز یک مقدار در سطوح پایین تر قرار می گیرد. Li و همکاران (۲۰۰۸) نیز در آزمایش مزرعه ای به این نتیجه دست یافتند که میزان نیترات آبشویی شده در تیمار DMPP از روز دهم حدود ۲ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم کمتر از تیمار اوره بود. این کاهش تا روز ۸۰ام ادامه داشت اما به تدریج از میزان تفاوت کاسته شد و از روز ۱۰۰ام تقریباً تفاوت معنادار بین تیمار DMPP و اوره ملاحظه نشد. همان طوری که ملاحظه می شود طول دوره بازدارندگی نیترات سازی بسته به شرایط آب و هوایی و خصوصیات مناطق مورد مطالعه متغیر است. در مجموع به طور خلاصه و بر طبق یافته های (Barth, Zerulla *et al.*, 2010, *et al.*, 2001) کاربرد DMPP به همراه کودهای معدنی (نیتراتی و آمونیمی) می تواند فرایند نیترات سازی را به

آمونیم) در شکل ۴ ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می شود کاربرد کود سولفات آمونیم همراه با بازدارنده نیترات سازی DMPP در ژنوتیپ های G۳ و G۴ باعث افزایش کارایی مصرف کود به ترتیب به میزان ۷/۴٪ و ۸/۱٪ شد. اما این امر در ژنوتیپ G۵ باعث کاهش ۵/۹٪ کارایی مصرف کود گردید. در این راستا، مدل GGE بای پلات همبستگی منفی بین DMPP و کارایی کل کود نیتروژن را در ژنوتیپ G۵ تأیید نمود (شکل ۲-ج). به نظر می رسد، تیمار G۵ دارای بالاترین همبستگی با کود سولفات آمونیم (F) و تیمارهای G۳ و G۴ نیز بالاترین پاسخ را به بازدارنده نیترات سازی (D) داشته باشند. عدم همبستگی تیمارهای G۱ و G۲ به کارایی مصرف کود نیز مجدداً مورد تأیید قرار گرفته است.

ب- تأثیر بازدارنده نیترات سازی DMPP در غلظت نیتروژن نیتراتی خاک

تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی قابل دسترس خاک، مشتق شده از منابع خاک و کود در طول دوره رشد در ژنوتیپ های مختلف گندم دیم در جدول ۳ ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می شود غلظت نیترات در هفته ششم با میانگین ۱۶/۷ kgN/ha در گروه اول آماری قرار گرفته، پس از آن غلظت نیترات در هنگام برداشت محصول با میانگین ۱۰/۳ kgN/ha در گروه دوم و در نهایت غلظت نیترات در هفته چهارم با میانگین ۶/۷ kgN/ha در سومین کلاس آماری قرار گرفته است.

تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی در خاک (مشتق شده از منابع کود و خاک) در تیمارهای سولفات آمونیم و سولفات آمونیم همراه با DMPP در طول دوره رشد ژنوتیپ های مختلف گندم در شکل ۵

مدت ۱۰ هفته به تأخیر اندازد. در بررسی حاضر (نیترژن نیتراتی مشتق شده از منابع کود نشان‌دار و خاک) نتایج مؤید این مطلب بود که DMPP بیشترین تأثیر را بر روی منبع نیترژنی کود نشان‌دار داشت و تأثیر آن روی منبع نیترژنی خاک ناچیز بود (شکل ۵-ب). به نظر می‌رسد، اثرات متقابل کلوئیدهای خاک با یون‌های آمونیوم تثبیت‌شده بر روی مکان‌های تبدلی به‌گونه‌ای بوده که اثربخشی بازدارنده نیترات‌سازی در خصوص یون‌های مشتق شده از منبع خاک کاهش یابد. در ادامه روند بازدارندگی و در هفته ششم، کاهش غلظت نیترات مشتق شده از منبع کود ادامه داشت و به غلظت نیترات مشتق شده از خاک افزوده شد. در انتهای فصل رشد نیز حالت ثابت بین تیمار کودی و بازدارنده مشاهده شد.

ج- تأثیر بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در غلظت نیترژن آمونیمی خاک

تغییرات غلظت آمونیم قابل‌دسترس خاک، مشتق شده از منابع خاک و کود در طول دوره رشد در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم در جدول ۳ ارائه شده است. غلظت نیترات در هفته ششم با میانگین $10/6 \text{ kgN/ha}$ در اولین کلاس آماری قرار گرفت. پس از آن غلظت نیترات در هفته چهارم با میانگین $10/6 \text{ kgN/ha}$ در کلاس دوم و در نهایت غلظت نیترات در هنگام برداشت محصول با میانگین $7/4 \text{ kgN/ha}$ با سومین گروه آماری منطبق گردید. تغییرات غلظت نیترژن آمونیمی در خاک (مشتق شده از منابع کود و خاک) در تیمارهای سولفات آمونیم و سولفات آمونیم همراه با DMPP در طول دوره رشد ژنوتیپ‌های مختلف گندم، در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود

غلظت نیترژن آمونیمی در تیمار کودی پایین بوده و جزء نیترژن آمونیمی مشتق شده از کود در دو هفته اول، سریعاً به نیترات تبدیل شده و لذا چیزی از این منبع در گراف ملاحظه نمی‌شود. (شکل ۶-الف). به نظر می‌رسد یون‌های آمونیم تثبیت‌شده بر روی مکان‌های تبدلی، کمتر تحت تأثیر فرایند نیترات‌سازی قرار گرفته و لذا در خاک باقی‌مانده است. با افزایش DMPP و متوقف شدن فرایند نیترات‌سازی تا روز ۴۲ حجم عمده‌ای از آمونیم در خاک حضور داشت. نکته قابل‌توجه جذب یون‌های آمونیم توسط ژنوتیپ‌های ۳ و ۴ بود. این تمایل باعث گردید تا ژنوتیپ ۴ جدا از مصرف یون‌های آمونیم حاصل از منبع کود، کلیه یون‌های آمونیم حاصل از منبع خاک را نیز تخلیه نماید (شکل ۶-ب). یافته فوق در تطابق با گزارش‌های (Chen et al, 2010) است. نامبرندگان اشاره نمودند که پس از گذشت ۲۸ روز کلیه یون‌های آمونیم از بین رفته و این بدین معنی است که نیترات‌سازی در طی ۴ هفته به انتهای فرایند خود رسیده است. در تجزیه و تحلیل فرایندهای فوق می‌توان به این نکته اشاره نمود که در دیمزارهای مناطق سرد و نیمه سرد شمال غرب ایران، کاشت گندم در اوایل مهر صورت می‌گیرد. به دلیل کاهش عملیات خاک‌ورزی و متعاقباً کاهش هزینه‌های کارگری، مصرف کودهای نیترژنی نیز همزمان با کاشت بذور انجام می‌شود (فیضی اصل و همکاران، ۱۳۹۳). در صورتی که بتوان با استفاده از بازدارنده نیترات‌سازی DMPP تبدیل آمونیم به نیترات را ۴۵ روز به تأخیر انداخت، به دلیل دمای پائین (کمتر از ۶ درجه سانتی‌گراد) در اواخر آبان ماه، آمونیم جذب رس و کلوئیدهای خاک شده و در لایه‌های سطحی

سانتی متر اولیه خاک تجمع پیدا می کند (Olson and De ،Wang and Below, 1992, Swallow, 1984 Campo et al, 1998).

خاک باقی می ماند و بدین ترتیب امکان تبدیل آن به شکل نیتروژن نیتراتی نخواهد بود. در چنین شرایطی اگر کود نیتروژنی به صورت تقسیطی (سرک) مصرف شود، بیش از ۷۵ درصد نیتروژن آن در ۱۰

جدول ۳- تغییرات غلظت نترات و آمونیم قابل دسترس خاک، مشتق شده از منابع خاک و کود در طول دوره رشد در

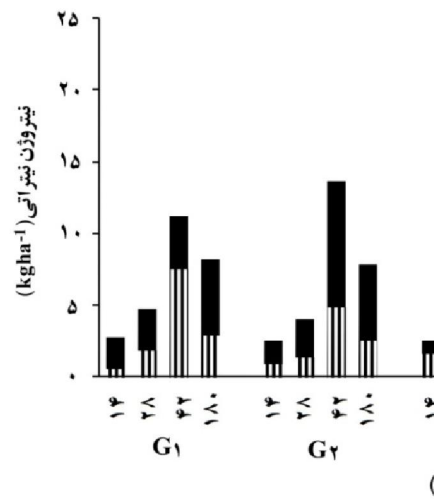
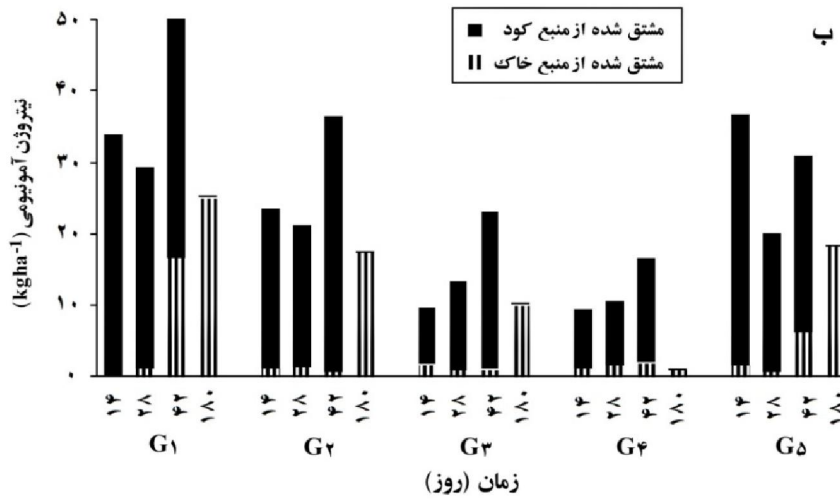
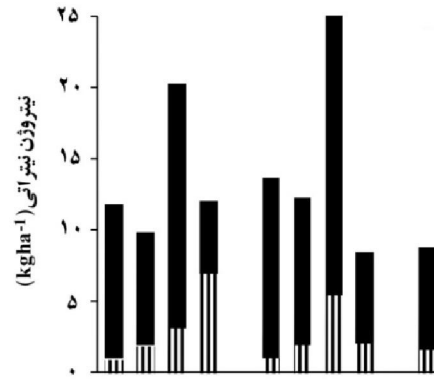
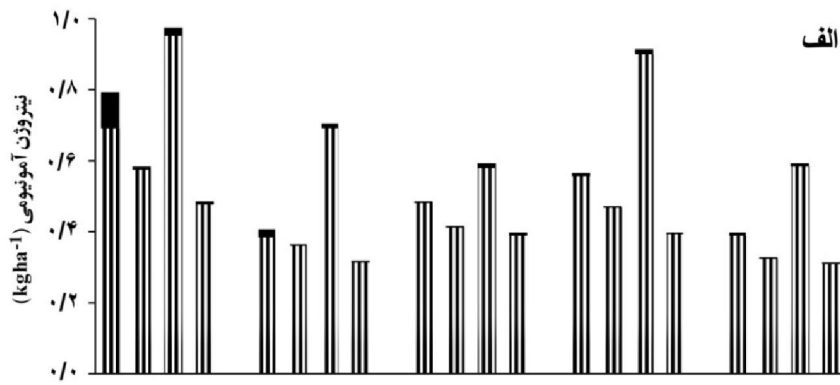
ژنوتیپ های مختلف گندم دیم

N-NH ₄ (کیلوگرم در هکتار)		N-NO ₃ (کیلوگرم در هکتار)		زمان	ژنوتیپ
ANSDFS**	ANSDF*	ANSDFS**	ANSDF*	نمونه برداری	
۰/۳۷۵ ^b ± ۰/۰۵	۱۷/۰۰۷ ^a ± ۲/۴۲	۰/۷۲۰ ^f ± ۰/۰۳	۶/۵۲۶ ^{bcd} ± ۰/۶۱	هفته دوم	G1
۰/۸۶۱ ^b ± ۰/۰۴	۱۴/۰۶۷ ^a ± ۲/۰۱	۱/۸۳۳ ^{def} ± ۰/۰۱	۵/۴۳۸ ^{bcd} ± ۰/۳۵	هفته چهارم	
۸/۸۲۶ ^{ab} ± ۱/۱۲	۱۶/۸۶۸ ^a ± ۲/۴۱	۵/۲۸۹ ^{ab} ± ۰/۳۱	۱۱/۲۵۵ ^{abc} ± ۱/۰۸	هفته ششم	
۱۲/۷۸۴ ^a ± ۱/۷۶	۰/۱۰۲ ^a ± ۰/۰۱	۴/۸۷۳ ^{abc} ± ۰/۲۹	۵/۲۱۴ ^{bcd} ± ۰/۰۲	برداشت محصول	
۰/۷۲۲ ^b ± ۰/۰۵	۱۱/۲۰۷ ^a ± ۱/۶۰	۰/۹۴۲ ^{ef} ± ۰/۰۱	۷/۱۵۱ ^{abcd} ± ۰/۷۸	هفته دوم	G2
۰/۸۰۲ ^b ± ۰/۰۶	۹/۹۸۲ ^a ± ۱/۴۳	۱/۶۵۱ ^{def} ± ۰/۰۳	۶/۴۶۳ ^{bcd} ± ۰/۵۶	هفته چهارم	
۰/۷۰۲ ^b ± ۰/۰۱	۱۷/۸۵۳ ^a ± ۲/۵۵	۵/۱۵۷ ^{abc} ± ۰/۰۴	۱۴/۲۱۹ ^a ± ۰/۷۸	هفته ششم	
۸/۸۱۸ ^{ab} ± ۱/۲۲	۰/۰۷۰ ^a ± ۰/۰۱	۲/۳۱۵ ^{cdef} ± ۰/۰۴	۵/۸۴۲ ^{bcd} ± ۰/۰۷	برداشت محصول	
۱/۰۸۱ ^b ± ۰/۰۹	۴/۰۴۱ ^a ± ۰/۵۸	۱/۵۶۴ ^{def} ± ۰/۰۱	۴/۰۶۶ ^{cd} ± ۰/۴۴	هفته دوم	G3
۰/۶۷۸ ^b ± ۰/۰۴	۶/۲۵۱ ^a ± ۰/۸۹	۲/۲۴۴ ^{cdef} ± ۰/۰۱	۲/۷۹۵ ^d ± ۰/۱۵	هفته چهارم	
۰/۷۷۸ ^b ± ۰/۰۳	۱۱/۱۰۳ ^a ± ۱/۵۸	۴/۸۱۹ ^{abc} ± ۰/۲۲	۱۱/۸۹۷ ^{ab} ± ۰/۳۷	هفته ششم	
۵/۲۰۷ ^{ab} ± ۰/۶۹	۰/۰۴۴ ^a ± ۰/۰۱	۳/۳۳۴ ^{abcdef} ± ۰/۰۸	۸/۶۲۳ ^{abcd} ± ۰/۱۵	برداشت محصول	
۰/۸۰۳ ^b ± ۰/۰۴	۴/۱۹۷ ^a ± ۰/۶۰	۲/۲۰۵ ^{cdef} ± ۰/۰۱	۲/۶۹۷ ^d ± ۰/۲۲	هفته دوم	G4
۱/۰۰۳ ^b ± ۰/۰۸	۴/۴۷۲ ^a ± ۰/۶۴	۲/۹۳۹ ^{abcdef} ± ۰/۰۳	۵/۴۵۱ ^{bcd} ± ۰/۵۸	هفته چهارم	
۱/۴۰۰ ^b ± ۰/۰۷	۷/۳۵۸ ^a ± ۱/۰۵	۵/۳۴۲ ^{ab} ± ۰/۱۳	۱۰/۱۵۱ ^{abcd} ± ۰/۶۲	هفته ششم	
۰/۶۳۲ ^b ± ۰/۰۳	۰/۰۰۶ ^a ± ۰/۰۱	۳/۷۸۸ ^{abcde} ± ۰/۰۲	۷/۱۱۷ ^{abcd} ± ۰/۱۳	برداشت محصول	
۰/۹۳۲ ^b ± ۰/۰۸	۱۷/۶۳۰ ^a ± ۲/۵۲	۰/۹۳۰ ^{ef} ± ۰/۰۶	۴/۲۵۵ ^{cd} ± ۰/۳۰	هفته دوم	G5
۰/۵۱۱ ^b ± ۰/۰۳	۹/۶۷۰ ^a ± ۱/۳۸	۲/۳۸۰ ^{bcdef} ± ۰/۱۴	۵/۲۲۴ ^{bcd} ± ۰/۴۱	هفته چهارم	
۳/۳۹۵ ^{ab} ± ۰/۴۰	۱۲/۳۸۸ ^a ± ۱/۷۷	۵/۵۷۹ ^a ± ۰/۱۱	۹/۸۱۶ ^{abcd} ± ۰/۵۷	هفته ششم	
۹/۲۳۰ ^{ab} ± ۱/۲۷	۰/۰۷۳ ^a ± ۰/۰۱	۴/۲۸۳ ^{abcd} ± ۰/۰۱	۵/۹۵۱ ^{bcd} ± ۰/۰۱	برداشت محصول	

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد (آزمون دانکن)

* ANSDF: نیتروژن قابل دسترس در خاک، مشتق شده از کود

* ANSDS: نیتروژن قابل دسترس در خاک، مشتق شده از خاک



شکل ۶- تغییرات غلظت نیتروژن آمونیمی در خاک (مشتق شده از منابع کود و خاک)، در طول دوره رشد ژنوتیپ‌های مختلف گندم، الف: سولفات آمونیم ب: سولفات آمونیم همراه با DMPP

(مشتق شده از منابع کود و خاک)، در طول دوره نیم ب: سولفات آمونیم همراه با DMPP

در خصوص لاین زرگان ۶ (G5)، این ژنوتیپ در قالب آزمایش‌های بین‌المللی گندم‌های زمستانه و بینابین از طریق مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت (CYMMYT) و مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق دیم (ICARDA) به موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور وارد شد. این ژنوتیپ در ارزیابی‌های اولیه دارای برخی برتری‌های نسبی به شاهد‌های متداول در مناطق سرد و معتدل بود. این لاین مقاوم به ورس بوده و وزن هزار دانه آن نسبت به لاین‌های شاهد کمتر، ولی در برخی مناطق و سال‌ها دارای عملکرد دانه بیشتری بوده است. این لاین جزو لاین‌های سریع‌الرشد می‌باشد که به صورت مطلوب می‌تواند از کود و آب استفاده کرده و عملکرد مناسبی را تولید نماید. از مشخصات عمومی لاین‌های سریع‌الرشد، تمایل به جذب بیشتر آمونیم در مقایسه با نیترات است. شاخص مقاومت به ورس گویای این مطلب است که برای افزایش عملکرد این ژنوتیپ می‌توان بدون ایجاد ورس در گیاه از کودهای نیتروژنی استفاده کرد. در نتیجه، مقادیر بیشتری از نیتروژن برای دستیابی به عملکرد مطلوب در آنها مورد نیاز می‌باشد و نیتروژن را بیشتر از ژنوتیپ‌های ۱ و ۲ مصرف می‌کنند. اما تمایل به جذب بیشتر آمونیم می‌تواند منجر به بروز اثرات سمیت این یون در گیاه شود که کاهش عملکرد یکی از آنهاست. نتایج طرح حاضر نشان می‌دهد که اثرات سمیت آمونیم در حدی نبوده است که موجب مرگ گیاه شود بلکه به نظر می‌رسد با جذب ترجیحی آمونیم، غلظت سایر کاتیون‌ها مانند پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کاتیون‌های کم‌مصرف در گیاه تحت تأثیر آمونیم جذب شده قرار گرفته و کاهش یافته است. از جمله دیگر عواملی

بدین ترتیب، به دلیل عدم نیاز گندم به منابع کودی در زمستان، کلیه یون‌های آمونیم تا پایان یخبندان زمستانی در خاک باقی‌مانده و با شروع فصل گرما در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. لذا با ممانعت از امکان آبسویی زمستانی نیترات، کارایی مصرف کود افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

در خصوص پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف گندم (با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ متفاوت) به بازدارنده نیترات‌سازی DMPP به نظر می‌رسد، پاسخ آنها به نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیمی به شرایط کشت و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. اگرچه گندم به طور عموم جذب نیترات را بر آمونیم ترجیح می‌دهد (Roosta and Schjoerring, 2007) اما هنگامی که شرایط محیطی برای افزایش شدت فتوسنتز و به دنبال آن افزایش سرعت رشد مساعد باشد (به عنوان مثال مرحله ساقه دهی) گندم جذب آمونیم را ترجیح می‌دهد و بدین ترتیب ارتباط آن با نیتروژن نیتراتی خاک کاهش می‌یابد (Baligar, et al, 1993). همچنین در مناطقی مشابه با دیمزارهای غرب و شمال غرب ایران که تنش سرما از عوامل محدودکننده جذب و رشد گندم می‌باشد، این گیاه جذب آمونیم را به نیترات ترجیح می‌دهد، زیرا در دمای پایین‌تر، ریشه گندم و جو آمونیم را بهتر از نیترات جذب می‌نماید (Breteler and Smit, 1974). لذا به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی با Δ پایین به دلیل سرزندگی و توان بالا در ابتدای دوره رشد از جذب ترجیحی آمونیم برخوردار بوده و همین امر باعث گردیده تا با کاربرد DMPP به تولید محصول و کارایی مصرف کود نیتروژنی افزوده شود.

که باعث می‌شود تا میزان تولید محصول در تیمار G5 در نتیجه کاربرد DMPP کاهش یابد می‌توان به اسیدی شدن ریزوسفر در پاسخ به آمونیوم اشاره نمود. این امر یکی از مهم‌ترین دلایل سمیت آمونیوم هم در شرایط مزرعه‌ای و هم در شرایط آزمایشگاهی (Britto and Kronzucker, 2002) گزارش شده است. تغذیه با آمونیوم میزان تنفس ریشه را در گیاهان افزایش می‌دهد. ترشح فعال برخی مواد از ریشه (مانند اسید مالیک) منجر به کاهش اسیدهای دی کربوکسیلیک غیر آمینه در گیاه می‌شود. مقدار قند و نشاسته گیاهان به‌طور معمول در تیمار با آمونیوم کاهش می‌یابد. همچنین در نتیجه افزایش غلظت آمونیوم کاهش شدید در تعداد ریشه‌های درشت گیاه رخ می‌دهد (که می‌تواند با افزایش ریشه‌های جانبی همراه باشد). لذا کاربرد DMPP در ژنوتیپ‌های سریع‌الرشد با توانایی جذب ترجیحی آمونیوم باید با احتیاط صورت گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

در بررسی حاضر کاربرد بازدارنده نترات‌سازی DMPP منجر شد تا فرایند تبدیل آمونیوم به نترات ۴۲ روز با تأخیر مواجه شود. ارقام گندم با شاخص Δ پایین‌تر (کارایی مصرف آب بالاتر) در مرحله دانه‌بندی، آمونیوم باقی‌مانده در خاک را جذب نموده و این امر باعث شده تا عملکرد محصول و کارایی مصرف کود نیتروژنی در این تیمار افزایش یابد. این

امر به دلیل توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و گسترده‌تر بیشتر محدوده جذب آب در این تیمارها بوده است. نتایج همچنین مؤید این مطلب بود که کاربرد DMPP در برخی از ژنوتیپ‌های سریع‌الرشد گندم (نظیر زرگان ۶) ممکن است مؤثر واقع نگردد. در این گونه ارقام تمایل بیشتر نسبت به جذب آمونیوم می‌تواند به بروز اثرات سمیت در گیاه منجر شود. بدین ترتیب که طی جذب ترجیحی آمونیوم، تمامی یون‌های آمونیوم از خاک تخلیه شده و به واسطه اثرات سمیت یونی عملکرد گندم به میزان اندکی کاهش می‌یابد. شایان‌ذکر است که بررسی حاضر به‌عنوان اولین مطالعه میدانی در بررسی اثرات استفاده از کودهای نیتروژنی در اختلاط با بازدارنده نترات‌سازی (DMPP) در ژنوتیپ‌های مختلف گندم با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ در کشور می‌باشد. لذا در مطالعات آینده طیف وسیعی از آزمایش‌های با محوریت الف) مقایسه ارقام گندم بهاره و پاییزه در اثربخشی بازدارنده نترات‌سازی DMPP ب) استفاده از طیف وسیع‌تر از ژنوتیپ‌های گندم با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن ۱۳ (Δ) مختلف در شرایط واقعی دیمزارهای شمال غرب کشور و ج) پاسخ DMPP به ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت شرایط تنش خشکی و یا شوری توصیه می‌شود.

منابع

احسان‌پور فریبا، کیانی شهرام، حسین‌پور علیرضا. ۱۳۹۱. تأثیر بازدارنده نترات‌سازی ۳ و ۴ دی متیل پیرازول فسفات و فسفر بر عملکرد و کارایی مصرف فسفر در گندم، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶(۶): ۱۴۸۲-۱۴۷۳.

فیضی اصل ولی، فتوت امیر، آستارایی علیرضا، لکزیان امیر، موسوی سید بهمن. ۱۳۹۳. اثر مصرف بهینه نیتروژن در کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه برخی ژنوتیپ‌های گندم نان دیم. مجله به‌زراعی نهال و بذر. جلد ۲ (۳۰)، شماره ۲. ص ۱۹۸-۱۶۹.

فیضی اصل ولی، کسرای رحیم، مقدم محمد، ولیزاده غلامرضا. ۱۳۸۳. بررسی تشخیص کمبود و محدودیت‌های جذب عناصر غذایی با استفاده از روش‌های مختلف با مصرف کودهای فسفر و روی برای گندم دیم رقم سرداری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۱، شماره ۳. ص ۳۳-۲۳.

فیضی اصل ولی. ۱۳۸۵. تعیین حد بحرانی و طبقه‌بندی مقادیر آهن، منگنز، روی و مس برای گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) در شمال غرب ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۱-۳۷. شماره ۲. ص ۴۰۱-۳۸۹.

کسرای رحیم. ۱۳۶۵. چکیده‌ای درباره علم تغذیه گیاهی، ترجمه، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۲۸۰.
موسوی شلمانی میر احمد. ۱۳۸۷. کاربرد ایزوتوپ نیتروژن - ۱۵ در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه. انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (سازمان انرژی اتمی ایران). ص ۳۹۴.

- Acevedo E. 1991. Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments: use of yield, morphological, and physiological traits. *Breeding for drought resistance in wheat*: 188.
- Baligar V, Schaffert R, Dos Santos H, Pitta G, Bahia Filho DC. 1993. Growth and nutrient uptake parameters in sorghum as influenced by aluminum. *Agronomy Journal*, 85(5): 1068-1074.
- Barth G, Von Tucher S, Schmidhalter U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3, 4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2): 98-102.
- Breteler H, Smit A. 1974. Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nit rate in wheat. *Netherlands journal of agricultural science*.
- Britto DT, Kronzucker HJ 2002. NH 4+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6): 567-584.
- Chen D, Suter HC, Islam A, Edis R. 2010. Influence of nitrification inhibitors on nitrification and nitrous oxide (N₂O) emission from a clay loam soil fertilized with urea. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(4): 660-664.
- Choukan R. 2011. Genotype, environment and genotype× environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Crop Breeding Journal*, 1(2): 97-103.
- Condon A, Hall A. 1997. Adaptation to diverse environments: variation in water-use efficiency within crop species. *Ecology in agriculture*: 79-116.
- Cregg B, Zhang J. 2002. Carbon isotope discrimination as a tool to screen for improved drought tolerance. In 'Proceedings of the eleventh conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance'. (Gresham, OR, USA) Available at: <http://www.ces.ncsu.edu/fletcher/programs/nursery/metria/metria11/cregg/index.html> [Verified May 2011].
- Di H, Cameron K. 2005. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. *Soil Research*, 42(8): 927-932.
- Di H, Cameron K, Sherlock R. 2007. Comparison of the effectiveness of a nitrification inhibitor, dicyandiamide, in reducing nitrous oxide emissions in four different soils under different climatic and management conditions. *Soil Use and Management*, 23(1): 1-9.
- FAO. 2015. World fertilizer trends and outlook to 2018, FAO Annual Report: 14.
- IAEA. 2001. Greater Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition, Training Course Series 14: 1-134.
- IAEA. 2012. Greater Agronomic Water Use Efficiency in Wheat and Rice Using Carbon Isotope Discrimination. 280.
- Iqbal MM, Akhter J, Mohammed W, Shah SM, Nawaz H, Mahmood K. 2005. Effect of tillage and fertilizer levels on wheat yield, nitrogen uptake and their correlation with carbon isotope discrimination under rain fed conditions in north-west Pakistan. *Soil and Tillage Research* 80: 47-57.

- Irigoyen I, Muro J, Azpilikueta M, Aparicio-Tejo P, Lamsfus C. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. *Soil Research*. 41(6): 1177-1183
- Islam A, Chen D, White RE. 2007. Heterotrophic and autotrophic nitrification in two acid pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(4): 972-975.
- Li J, Zhang J, Ren L. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrigation Science*, 22(1): 19-30.
- Li H, Liang X, Chen Y, Lian Y, Tian G, Ni W. 2008. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system. *Journal of Environmental Sciences*, 20(2): 149-155.
- Magalhaes A, Chalk P. 1987. Nitrogen transformations during hydrolysis and nitrification of urea. *Fertilizer research*, 11(2): 173-184.
- Malla G, Bhatia A, Pathak H, Prasad S, Jain N, Singh J. 2005. Mitigating nitrous oxide and methane emissions from soil in rice-wheat system of the Indo-Gangetic plain with nitrification and urease inhibitors. *Chemosphere*, 58(2): 141-147.
- Merah O, Deléens E, Souyris I, Nachit M, Monneveux P. 2001. Stability of carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat. *Crop Science*, 41(3): 677-681.
- Merino P, Menéndez S, Pinto M, González-Murua C, Estavillo J. 2005. 3, 4-Dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grassland after slurry application. *Soil Use and Management*, 21(1): 53-57.
- Monneveux P, Reynolds M, Trethowan R, Gonzalez Santoyo H, Pena R, Zapata F. 2005. Relationship between grain yield and carbon isotope discrimination in bread wheat under four water regimes, *European Journal of Agronomy* 22: 231-242.
- Morgan JA, LeCain DR, McCaig TN, Quick JS. 1993. Gas exchange, carbon isotope discrimination, and productivity in winter wheat. *Crop Science*, 33(1): 178-186.
- Nachit M. 1998. Association of grain yield in dryland and carbon isotope discrimination with molecular markers in durum (*Triticum turgidum* L. var. durum). Paper presented at the Proc. 9th Int. Wheat Genetics Symp., Saskatoon, Canada: 218-223.
- Nachit MM, Elouafi I. 2004. Durum wheat adaptation in the Mediterranean dryland: Breeding, stress physiology, and molecular markers. *Challenges and Strategies of Dryland Agriculture(challengesandst):* 203-218.
- Olson R, Swallow CW. 1984. Fate of labeled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Science Society of America Journal*, 48(3): 583-586.
- Roco MM, Blu R.O. 2006. Evaluation of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. *Journal of Plant Nutrition*, 29(3): 521-534.
- Roosta HR, Schjoerring JK. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30(11): 1933-1951.
- Sayre K, Acevedo E, Austin R. 1995. Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crops Research*, 41(1): 45-54.
- Tokatlidis IS, Tsialtas JT, Xynias IN, Tamoutsidis E, Irakli M. 2004. Variation within a bread wheat cultivar for grain yield, protein content, carbon isotope discrimination and ash content. *Field Crop Research* 86: 33-42.
- Wahbi A, Shaaban A. 2012. Relationship between Carbon Isotope Discrimination ($\Delta^{13}C$) and Water Use Efficiency of Durum Wheat in the Syrian Arab Republic. 1. Field Evaluation.
- Wang X, Below FE. 1992. Root growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed-nitrogen source. *Crop Science*, 32(4): 997-1002.
- Yu Q, Chen Y, Ye X, Zhang Q, Zhang Z, Tian P. 2007. Evaluation of nitrification inhibitor 3,4-dimethyl pyrazole phosphate on nitrogen leaching in undisturbed soil columns. *Chemosphere*, 67(5): 872-878.
- Zaman M, Saggat S, Blennerhassett J, Singh J. 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6): 1270-1280
- Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, Horchler von Locquenghien K, Pasda G, Rädle M, Wissemeier A. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2): 79-84

Effect of nitrification inhibitor 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate on Yield and ¹⁵N Dynamics of Different Rainfed Wheat Genotypes with different Carbon 13 Isotope Discrimination Index

M.H Mousavi Shalmani¹, A. Lakzian^{*1}, R. Khorasani¹, K. Khavazi²

1-Department of Soil Science, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

2- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Abstract

In order to increase yield and nitrogen fertilizer use efficiency in autumn application of fertilizer for rainfed wheat through nitrification inhibitor DMPP, a field experiment was conducted in RCB design in 2014-2015. The treatments were five bread wheat genotypes (with different Δ value) and nitrogen (control no N, 60 kgN/ha 15N ammonium sulphate and 15N ammonium sulphate with DMPP). The results showed that use of DMPA could delay conversion of ammonium to nitrate for 42 days. DMPP had greatest impact on nitrogen derived from fertilizer and had little effect on nitrogen derived from soil. It seems ammonium ions fixed by exchangeable sites of soil reduce effectiveness of DMPP in the soil. Application of DMPP could increase yield and nitrogen fertilizer use efficiency by 1516 kg/ha and 12.2%, respectively. The interesting point in this regard was complete absorption of ammonium ions in the genotype G5 (Zergan 6) compared with other genotypes. It seems that preferential absorption of ammonium by genotype G5 (with lower Δ index) caused toxicity effects. Thus, a small reduction of nitrogen fertilizer use efficiency (6.5%) appeared. Therefore use of DMPP in fast growing genotypes with ammonium preferential absorption ability (like G5) should be performed with caution.

Keywords: Nitrification inhibitor, Fertilizer use efficiency, DMPP, ¹³C, ¹⁵N

* Corresponding author: lakzian@ferdowsi.um.ac.ir Received: 2015/07/18 Accepted: 2016/02/03
2016/02/03