doi: 10.22124/c.2019.13715.1503

تحقیقات غلات

دوره نهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۸ (۱۴۱-۱۲۹)

اثر مصرف کود کندرها غنی‌شده با آهن بر ویژگی‌های کیفیت دانه گندم نان (*Triticum aestivum*) تحت شرایط تنش شوری

لاله رحیمی میلاشی[۱]، مجید قربانی جاوید [۲*]، ایرج اله‌دادی[۳] و علی ایزدی دربندی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد کود کندرهای غنی‌شده با آهن بر کیفیت دانه گندم نان رقم جدید نارین تحت شرایط تنش شوری و نیز ارزیابی تنوع آللی ژن‌های رمزکننده گلوتنین با وزن مولکولی بالا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل‌های مورد مطالعه، دو عامل تنش شوری (در سه سطح شامل صفر، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و کود (در پنج سطح شامل عدم مصرف کود، مصرف کود سولفات آهن معادل ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و سامانه کودی کندرهای غنی‌شده با سولفات آهن به مقدار ۵۲/۵ و ۱۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. صفات مطالعه شده نیز شامل وزن صد دانه، عملکرد دانه در بوته، درصد پروتئین دانه، محتوای آهن دانه، کربوهیدرات‌های محلول کل دانه، شاخص سختی دانه، جذب آب آرد، محتوای رطوبت دانه، حجم نان و حجم رسوب زلنی بودند. نتایج نشان داد که صفات وزن صد دانه، عملکرد دانه در بوته، محتوای آهن دانه، محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل دانه و شاخص زلنی با مصرف کود افزایش یافتند و در بیش‌تر صفات مورد مطالعه، سامانه کودی کندرها غنی‌شده با آهن، آثار مثبت بیش‌تری در مقایسه با کود سولفات آهن داشت. اعمال تنش شوری نیز سبب کاهش معنی‌دار صفات وزن صد دانه، عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل دانه شد، اما صفات محتوای آهن دانه، درصد پروتئین دانه و درصد جذب آب آرد با افزایش شدت تنش شوری، افزایش معنی‌داری نشان دادند. با بررسی الگوی الکتروفورزی زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا در رقم نارین، آلل‌های *۲، ۸+۷ و ۱۲+۲ به‌ترتیب در جایگاه‌های ژنی *Glu-A1*، *Glu-B1* و *Glu-D1* شناسایی شدند. بر اساس نتایج آزمایش حاضر، به‌نظر می‌رسد که سامانه کودی کندرها نسبت به کود سولفات آهن، کارایی بیش‌تری بر ویژگی‌های کیفی دانه و آرد گندم، به‌ویژه تحت شرایط تنش شوری، داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: حجم رسوب زلنی، درصد پروتئین، سختی دانه، گلوتنین، نارین

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران

۳- استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: mjavid@ut.ac.ir

مقدمه

توجه به بهبود کیفیت دانه گندم از جمله مسائل مهم در کنار کمیت تولید این محصول راهبردی است. از عوامل مهم اثرگذار بر کاهش ویژگی‌های کیفی دانه گندم، تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، کمبود عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف و عوامل ژنتیکی هستند. شوری خاک با بر هم زدن تعادل عناصر غذایی خاک می‌تواند اختلالات تغذیه‌ای به‌ویژه کاهش جذب عناصر ریزمغذی را در گیاهان تشدید کند و سبب افت عملکرد و کیفیت محصول شود (Munns *et al.*, 2006). افزایش درصد پروتئین دانه به‌دلیل شوری از تبعات منفی این تنش بر گندم است که با کاهش گلوتن و گلوتنین دانه همراه است (Eivazi *et al.*,2005). شوری بر ویژگی‌های کیفی گندم نیز اثر می‌گذارد و سبب افزایش شاخص سختی دانه گندم و جذب آب توسط آرد می‌شود. عنصر آهن نقش مهمی در کیفیت دانه گندم و افزایش ارزش تغذیه‌ای آن دارد (Baybordi, 2004). مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان خانواده گندم، فیتوسیدروفورها را که شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی هستند، در محلول خاک ترشح می‌کنند. فیتوسیدروفورها با یون‌های آهن سه‌ظرفیتی تشکیل کمپلکس آهن- فیتوسیدروفور (Fe-PS) می‌دهند و قابلیت دسترسی آهن را به‌صورت آهن دو ظرفیتی برای گیاه بهبود می‌بخشند (Mendoza, 1999).

کمبود آهن در غلات از مهم‌ترین مشکلات تغذیه‌ای در خاک‌های شور و آهکی است. سیلسپور (Seilsepour, 2007) حد بحرانی عنصر آهن در خاک‌های دشت ورامین را ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک عنوان کرد و اظهار داشت که در چنین خاک‌هایی جهت حصول حداکثر عملکرد گندم، مصرف کود آهن ضروری است. کوددهی آهن در شرایط خاک شور و آهکی سبب افزایش تحمل به شوری و افزایش عملکرد در گندم می‌شود (Khoshgoftar Manesh, 2008). افزایش غلظت آهن در دانه گندم و همچنین کربوهیدرات‌ها از آثار مثبت عنصر آهن ذکرشده است (Keshavarz *et al.*, 2017). همچنین افزایش پروتئین دانه و کیفیت تولید، با کاربرد کود آهن در گندم گزارش شده است (Baybordi, 2004). عیسوند و همکاران (Esavand *et al.*, 2014) اعلام کردند که کاربرد کود آهن با افزایش پارامترهای رشد طی پر شدن دانه سبب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد نهایی گندم می‌شود. کوددهی با عنصر آهن با اثر بر کلروفیل برگ سبب افزایش اجزای عملکرد و بنابراین عملکرد دانه گندم می‌شود (Keshavarz *et al.*, 2017). کاربرد کود سولفات آهن به‌عنوان منبع ارزان‌قیمت آهن در مزارع گندم به‌وفور وجود دارد، اما این منبع کودی یا حلالیت چندانی ندارد و یا به‌دلیل تولیدات نامحلول حاصل از واکنش که در خاک و در شرایط مختلف محیطی ایجاد می‌شوند، رسوب‌کرده و غیرقابل مصرف می‌شود (Khoshgoftar Manesh, 2008). به این دلیل، استفاده از کلات‌کننده‌ها به‌منظور افزایش دسترسی گیاه به آهن، جایگزین این منبع ارزان قیمت شده است، اما تولید و تهیه کلات‌ها مستلزم صرف هزینه‌های بالایی است. یکی از روش‌های جایگزین، تولید و استفاده از کودهای کندرها است. کودهای کندرها به‌عنوان حامل آب و عناصر شیمیایی، به‌دلیل توزیع آهسته و طولانی‌مدت عناصر غذایی، خطرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده مکرر کودهای شیمیایی را که به‌صورت رایج فرموله می‌شوند، کاهش می‌دهند (Bortolin *et al.*, 2012). هیدروژل‌های سوپر جاذب از جمله کودهای کندرها هستند که قابلیت غنی‌سازی با انواع عناصر غذایی را دارند و در برابر تنش‌های خشکی و شوری نیز بقاء گیاه را تضمین می‌کنند. تولید ارقام گندم متحمل به شوری یکی از راه‌کارهای بهبود کمی و کیفی تولید غلات است، زیرا ارقام متحمل به شوری، ضمن حفظ بقاء و رشد خود در این شرایط سخت، از منابع غذایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی که در افزایش کیفیت محصول نقش دارند نیز استفاده بهینه می‌کنند.

از جمله عوامل مهم تعیین‌کننده کیفیت آرد و پخت نان در ارقام تجاری گندم، پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر هستند. پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر شامل دو گروه از پروتئین‌ها به نام گلوتنین‌ها و گلیادین‌ها هستند که به‌شدت تحت تأثیر ژنتیک گیاه و عوامل محیطی قراردارند (Shain *et al.*, 2003). گلوتنین‌ها گروه ناهمگنی از پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر هستند که چندزنجیره‌ای و شامل دو گروه از زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا و زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی پایین هستند. در گندم هگزاپلوئید، گلوتنین‌های با وزن مولکولی بالا به‌وسیله ژن‌های موجود در سه مکان ژنی *Glu-A1*، *Glu-B1* و *Glu-D1* رمز می‌شوند که روی بازوی بلند کروموزوم‌های 1A، 1B و 1D قرار گرفته‌اند (Izadi Darbandi and Yazdi Samadi, 2012). وجود تنوع آللی در هر یک از این مکان‌های ژنی سبب ابداع روش نام‌گذاری برای تشخیص آلل‌های مختلف در مکان‌های ژنی مربوط به گلوتنین‌ها شده است (Payne

and Lawrence, 1983). آلل‌های هر یک از این مکان‌های ژنی دارای ارزش کیفی و امتیاز خاصی هستند، به‌گونه‌ای که تعیین امتیاز برای هر یک از آلل‌ها در مکان‌های ژنی ذکرشده سبب ایجاد روش ارزیابی کیفی ارقام مورد مطالعه شده است. امتیازدهی در این روش بر اساس اثر هر یک از آلل‌ها و یا ترکیب آللی در ارتفاع SDS به‌عنوان شاخصی مناسب در ارزیابی کیفیت و قدرت گلوتن می‌باشد که در نهایت به‌دلیل وجود اثر افزایشی آلل‌ها، مجموع امتیازات آن‌ها می‌تواند کیفیت ارقام مورد مطالعه را ارزیابی کند (Payne and Lawrence, 1983). وجود ارتباط قوی بین زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا با صفات مهم کیفیت دانه و آرد گندم، سبب اجرای تحقیقات زیادی در این مورد در ایران شده است (Najafian and Abde-Mishani, 1994; Haghparast *et al.*, 2009 ; Nikooseresht *et al.*, 2009).

علاوه بر زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا، صفات دیگری همچون درصد پروتئین دانه، سختی دانه، محتوای گلوتن، عدد زلنی و جذب آب آرد نیز از جمله شاخص‌های مرتبط با کیفیت گندم هستند که برای ارزیابی کیفیت نانوایی آرد گندم بررسی می‌شوند (Bucsella *et al.*, 2016; Izanloo *et al.*, 2016). بر اساس نتایج آزمایش‌های قبلی، درصد پروتئین دانه، درصد جذب آب آرد، شاخص سختی دانه و عدد زلنی (اندازه‌گیری با روش‌های شیمیایی) برای گندم رقم نارین در شرایط تنش شوری به‌ترتیب ۱۱/۸، ۶۳/۰۸، ۴۸ و ۳۲ ذکر شده است (Amini *et al.*, 2017) که نشان از کیفیت خوب این رقم دارد. گندم رقم نارین به‌عنوان یکی از ارقام متحمل به شوری در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ از تلاقی رقم پرمحصول پیشتاز به‌عنوان والد پدری با لاین بومی متحمل به شوری ۲۲-۶۶-۱ به‌عنوان پایه مادری به‌دست آمد که پس از طی مراحل ارزیابی دورگ و گزینش در نسل‌های بعد، در سال ۱۳۹۳ به‌عنوان رقم مقاوم به شوری و مناسب مناطق گرم و معتدل توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شد (Amini *et al.*, 2017).

با توجه به اهمیت بهبود کیفیت دانه گندم و ضرورت افزایش جذب عنصر ریزمغذی آهن تحت شرایط تنش شوری از طریق کاربرد سامانه‌های کودی جدید کندرها، این پژوهش انجام شد که هدف از آن، بررسی اثر کاربرد کود کندرهای غنی‌شده با آهن بر کیفیت دانه و آرد تولیدی گندم تحت شرایط تنش شوری و شناسایی آلل‌های رمزکننده گلوتنین‌های با وزن مولکولی بالا در رقم جدید مقاوم به شوری نارین بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سامانه کودی سوپرجاذب کندرهای غنی‌شده با آهن بر ویژگی‌های کیفی گندم و شناسایی آلل‌های رمزکننده گلوتنین با وزن مولکولی بالا در رقم جدید متحمل به شوری نارین، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل‌های مورد مطالعه شامل دو عامل تنش شوری در سه سطح (بدون تنش و تنش شوری با هدایت الکتریکی ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و کود در پنج سطح (بدون کاربرد کود، کاربرد کود شیمیایی سولفات آهن در دو مقدار ۰/۰۴ و ۰/۰۸ گرم در هر گلدان، معادل ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کاربرد سامانه کودی سوپرجاذب غنی‌شده با سولفات آهن در دو مقدار ۰/۲۱ و ۰/۴۲ گرم در هر گلدان، معادل ۵۲/۵ و ۱۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بود. سامانه کودی در آزمایشی جداگانه از طریق بارگذاری کود سولفات آهن با مولاریته مشخص در سوپر جاذب کشاورزی و انجام عملیات اصلاح سطح به‌منظور رهایش تدریجی عنصر آهن، در آزمایشگاه مرکزی پردیس ابوریحان و پژوهشگاه پلیمر تولید شد.

برای کشت از گلدان‌های پلاستیکی شماره هفت با ابعاد ۲۰×۲۱ سانتی‌متر) استفاده شد که با مقدار چهار کیلوگرم از ترکیب خاک رس، کود دامی و ماسه به نسبت ۱:۱:۲ پر شدند. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارایه شده است. در هر گلدان، تعداد ۱۱ عدد بذر در عمق ۴-۳ سانتی‌متری خاک کاشته شد که پس از سبز شدن بذرها و استقرار اولیه بوته‌ها، به تعداد نه بوته در گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در شرایط گلخانه و دمای ۲۰ درجه سلسیوس تا زمان سبز شدن بذرها نگهداری شدند و پس از آن، دمای گلخانه به ۱۵ درجه تقلیل یافت. اعمال سطوح کودی همزمان با کاشت (به‌صورت جای‌گذاری زیر بذر) صورت گرفت. پس از سبز شدن و استقرار کامل بوته‌ها، در اواسط مرحله طویل شدن ساقه (مرحله ۳-۳ زیدوکس)، تنش شوری با استفاده از نمک NaCl، به‌صورت تدریجی و همراه آبیاری تا رسیدن به سطح موردنظر شوری اعمال شد و تا پایان مرحله رسیدگی ادامه یافت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in this experiment

Soil texture	pH	Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	N (%)	K (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)
Sandy loam	7.92	1.66	0.04	286.6	13.2	3.5	2.65

پس از برداشت سنبله‌ها در مرحله رسیدگی، وزن صد دانه و عملکرد دانه در هر بوته اندازه‌گیری شد. سپس دانه‌ها با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب و ۲۰ گرم از آرد حاصل جهت بررسی صفات کیفی دانه استفاده شد. محتوای آهن دانه با استفاده از روش اسپکتروفتومتری با دستگاه جذب اتمی مدل (Perkin-Elmer, SP-AA 4000 spectrum instrument) اندازه‌گیری شد. محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل دانه نیز با روش آرنون (Irigoyen *et al.*, 1992) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل دانه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز و قرائت جذب در طول موج ۶۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفومتر مدل (UV- Vis 2100 , Unico, Dyton, NY, USA) به‌صورت میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد. صفات مرتبط با کیفیت دانه شامل درصد پروتئین دانه، شاخص سختی دانه، جذب آب آرد، درصد رطوبت دانه، حجم نان و شاخص زلنی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز (Near Infrared Spectroscopy = NIR) مدل Perten 8600 و بر اساس استانداردهای ارایه‌شده توسط انجمن بین‌المللی علوم و فناوری غلات (International Association for Cereal Science and Technology = ICC) به‌شماره ۱۵۹ برای درصد پروتئین و شماره ۱۱۶/۱ برای شاخص زلنی اندازه‌گیری شدند (ICC, 2008). لازم به ذکر است که با توجه به اینکه روش طیف‌سنجی مادون قرمز (NIR)، روشی غیرمستقیم در ارزیابی کیفیت گندم است، مقادیر عددی به‌دست آمده از این روش به‌منظور اندازه‌گیری شاخص زلنی در مقایسه با روش شیمیایی، مقادیر پایین‌تری هستند که به‌دلیل کاربرد نمونه آرد حاصل از تمام بخش‌های دانه در این روش در مقایسه با کاربرد آرد آندوسپرم دانه (که صرفاً و به‌طور مستقیم، گلوتن موجود در نمونه آرد ارزیابی می‌شود) در روش شیمیایی است.

تنوع آللی مکان‌های ژنی مورد مطالعه شامل *Glu-A1*، *Glu-B1* و *Glu-D1* با روش الکتروفورز SDS- PAGE بررسی شد. برای استخراج پروتئین‌ها در این آزمایش، از روش استخراج سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 1991) به‌همراه تغییرات اعمال‌شده توسط ایزدی و همکاران (Izadi *et al.*, 2010) استفاده و برای انجام الکتروفورز، ژل پلی‌آکریل آمید با غلظت ۱۰ درصد استفاده شد. همچنین نام‌گذاری گلوتنین‌های با وزن مولکولی بالا به روش جهانی پین و لارنس (Payne and Lawrence, 1983) انجام شد. داده‌های حاصل با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه و تحلیل شدند. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD انجام شد.

نتایج و بحث

وزن صد دانه

تجزیه واریانس صفت وزن صد دانه نشان داد که اعمال سطوح کودی و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد روی این صفت معنی‌دار بوده است، اما برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری روی این صفت فاقد اثر معنی‌دار بود. (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار وزن صد دانه از تیمارهای کود کندرها غنی‌شده با آهن حاصل شد. همچنین، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این صفت به‌ترتیب در تیمارهای بدون اعمال تنش شوری و اعمال تنش شوری به‌میزان ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که سامانه کودی ساخته‌شده در مقایسه با کود شیمیایی سولفات آهن سبب افزایش بیش‌تری در وزن صد دانه شد، اما دو سطح کود کندرها ساخته‌شده دارای اثر مشابه روی این صفت بودند. به‌عبارت دیگر، سطح پایین کود کندرها غنی‌شده با آهن توانسته است اثر مشابه با کاربرد سطح بالای این کود بر صفت وزن صد دانه داشته باشد و با کاربرد مقدار کم‌تر کود نتیجه مشابه با سطح بالاتر کود حاصل شده است. آهن به‌دلیل اثر روی فتوسنتز، سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن در واحد سطح را افزایش می‌دهد و سبب افزایش ذخیره نشاسته و قند در برگ‌ها و در نتیجه افزایش وزن دانه و نهایتاً عملکرد دانه می‌شود (Esavand *et al.*, 2014). به‌نظر می‌رسد که سامانه کودی ساخته‌شده با فراهمی مقدار بیش‌تر آب و عناصر غذایی، سبب افزایش بیش‌تر فتوسنتز گیاه و ساخت مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن دانه شده باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده گندم رقم نارین تحت تأثیر تیمارهای تنش شوری و سطوح کودی

Table 2. Analysis of variance of the measured traits in wheat cultivar Narin as affected by salt stress and fertilizer levels treatments

Source of variations	df	Means squares (MS)†									
		HGW	GYP	GFC	TSC	GPP	ZSV	BV	GM	HI	FWA
Replication	2	0.062^{ns}	0.067^{ns}	178.53^{**}	2148.52^{ns}	5.464^{**}	48.68^{**}	479.62^{ns}	0.150^{**}	6.066^{ns}	0.241^{ns}
Fertilizer (F)	4	1.318^{**}	0.434^{**}	44.02^{**}	22871.67^{**}	0.193^{ns}	7.74^{**}	470.38^{ns}	0.218^{**}	1.722^{ns}	0.683^{ns}
Salt stress (S)	2	12.220^{**}	4.219^{**}	69.03^{**}	6492.49^{**}	5.375^{**}	16.02^{**}	559.08^{ns}	0.328^{**}	6.20^{ns}	$^{**}2.694$
F × S	8	0.228^{ns}	0.093^{ns}	36.04^{**}	29928.81^{**}	0.062^{ns}	2.66^{ns}	555.33^{ns}	0.062^{**}	1.33^{ns}	0.127^{ns}
Error	28	0.273	0.070	5.99	1034.79	0.106	1.30	9418.08	0.009	1.92	0.277
CV (%)	-	15.04	14.91	9.71	5.88	3.03	5.05	3.28	1.35	3.08	1.83

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: HGW, 100 grains weight; GYP, grain yield per plant; GFC, grain Fe content; TSC, total soluble carbohydrates content; GPP, protein percentage; ZSV, zeleny sedimentation volume; BV, bread volum; GM, grain moisture; HI, hardness index; FWA, flour water absorption.

عملکرد دانه در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای کودی و شوری دارای اثر معنی‌دار بر این صفت بودند، اما برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری اثر معنی‌داری روی این صفت نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته از تیمارهای کودی غنی‌شده با آهن حاصل شدند. همچنین با افزایش سطوح شوری، عملکرد دانه در بوته به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۳). اعمال تیمارهای کودی با اثرگذاری معنی‌دار بر صفت وزن صد دانه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در بوته شد. آهن با تأثیر بر کلروفیل برگ، سبب افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه می‌شود. افزایش مقدار کلروفیل موجب افزایش مقدار فتوسنتز و در نتیجه موجب تولید ماده خشک و عملکرد بیشتری می‌شود (Keshavarz *et al.*, 2017). بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در بوته از تیمارهای سوپر جاذب غنی‌شده با آهن حاصل شد. این تیمارها به‌دلیل افزایش معنی‌دار در اجزای عملکرد از جمله وزن صد دانه، سبب افزایش معنی‌دار در مقدار عملکرد دانه شدند.

محتوای آهن دانه

شوری در گیاهان، اثر متفاوتی بر جذب عنصر آهن دارد و میزان غلظت این عنصر بر اساس میزان شوری، نوع گونه و اندام گیاهی متفاوت خواهد بود. چنانچه شوری در برنج سبب افزایش غلظت آهن و در ذرت و جو سبب کاهش غلظت آن در ساقه شد (Hu and Schmidhulter, 2005). در این تحقیق تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌دار بر مقدار آهن تجمع یافته در دانه داشتند (جدول ۲)، به‌طوری که با افزایش تنش شوری، میزان آهن دانه افزایش یافت (جدول ۳). نتیجه مشابه این تحقیق قبلاً در آزمایشی که روی گیاه آفتابگردان انجام شد، گزارش شده است، به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری، میزان غلظت آهن در اندام‌های هوایی گیاه افزایش یافت (Achakazi *et al.*, 2010). کاربرد سطوح کودی سبب افزایش غلظت آهن دانه در مقایسه با عدم کاربرد کود شد که مشابه نتایج آزمایش کشاورز و همکاران بود (Keshavarz *et al.*, 2017). بررسی برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار آهن دانه از تیمار سوپر جاذب غنی‌شده با آهن در بالاترین سطح شوری به‌دست آمد (شکل ۱).

کربوهیدرات‌های محلول کل دانه

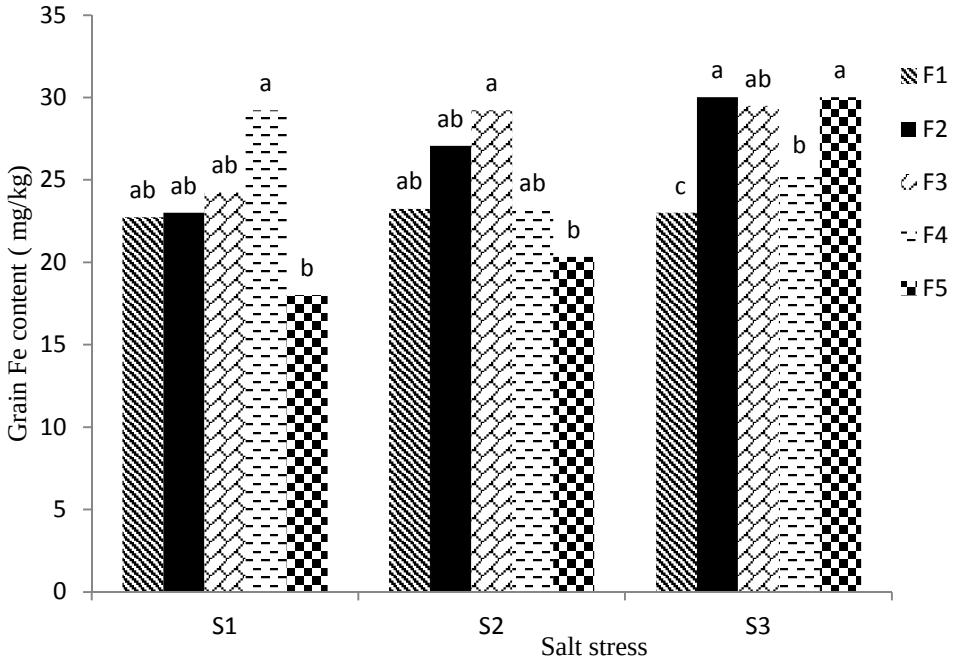
نتایج نشان داد که تیمارهای کودی و تنش شوری و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر محتوای کربوهیدرات‌های کل دانه بودند (جدول ۲). تنش شوری به‌دلیل کاهش فراوانی و فعالیت آنزیم‌های سنتزکننده نشاسته، سبب افزایش کربوهیدرات‌های محلول کل دانه می‌شود (Majoul *et al.*, 2003). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در سطوح تنش صفر و ۸ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل دانه وجود نداشت که با توجه به مقاومت رقم نارین به تنش شوری قابل توجیه است، اما در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل دانه کاهش معنی‌داری یافت که می‌تواند به‌دلیل کاهش ساخت و انتقال فراورده‌های فتوسنتزی کل در شرایط تنش شوری شدید باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین آثار اصلی تنش شوری و سطوح کودی بر صفات اندازه‌گیری شده در رقم نارین

Table 3. Mean comparison of main effects of salt stress and fertilizer levels on the studied traits in Narin cultivar

	Measured traits							
	100 grains weight (g)	Grain yield per plant (g)	Grain Fe content (mg/kg)	Total soluble carbohydrates (mg/g)	Protein (%)	Zeleny sedimentation volume (ml)	Grain moisture content (%)	Flour water absorption (%)
F1	2.93c	1.48c	22.99b	547.49bc	---	21.66b	7.21bc	---
F2	3.33bc	1.69bc	26.68a	609.03a	---	21.88b	7.12c	---
F3	3.46ab	1.74b	27.65a	571.16b	---	22.44b	6.94d	---
F4	3.71ab	1.90ab	25.96a	535.31c	---	23.66a	7.36a	---
F5	3.93a	2.06a	22.77b	472.19d	---	23.55a	7.23d	---
$LSD_{0.05}$	0.50	0.25	2.36	31.06	---	1.10	0.09	---
S1	4.45a	2.34a	23.44b	561.23a	10.07c	21.60c	7.01b	62.50b
S2	3.30b	1.69b	24.61b	556.73a	10.81b	22.66b	7.23a	62.96a
S3	2.67c	1.29c	27.60a	523.15b	11.26a	23.66a	7.29a	63.35a
$LSD_{0.05}$	0.39	0.19	1.83	24.06	0.24	0.85	0.07	0.39

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level. F1, no-fertilizer application; F2 and F3, 10 and 20 $mg.kg^{-1}$ ferrous sulfate, respectively; F4 and F5, 52.2 and 105 $mg.kg^{-1}$ synthetic fertilizer, respectively; S1, non-stress; S2 and S3, salinity stress at 8 and 12 $dS.m^{-1}$, respectively.



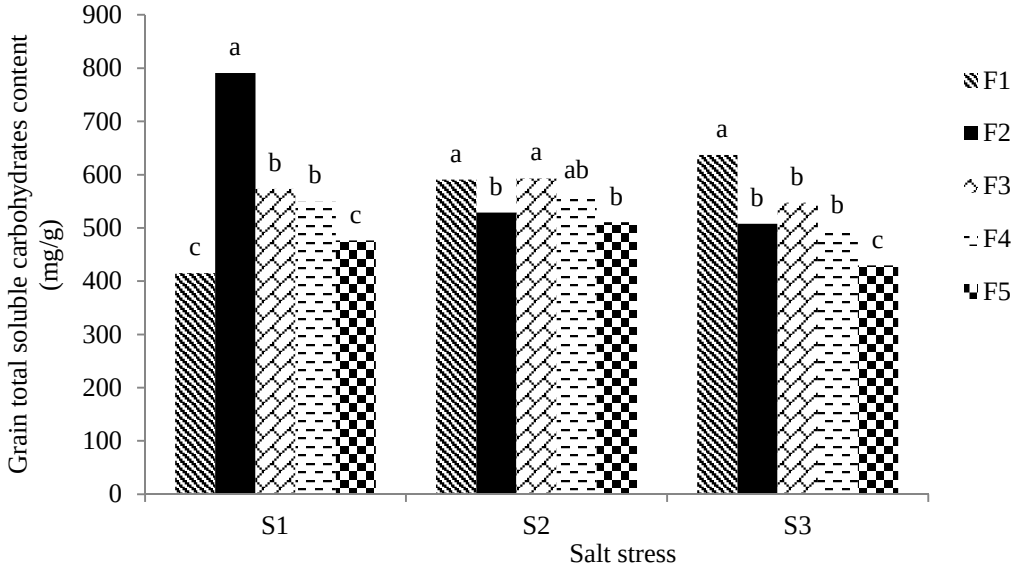
شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری بر صفت محتوای آهن دانه ($LSD_{0.05}$=8.99)

Figure 1. Mean comparison of fertilizer levels and salt stress intraction on grain total soluble carbohydrates content ($LSD_{5\%}$=53.54). F1, no-fertilizer application; F2 and F3, 10 and 20 $mg.kg^{-1}$ ferrous sulfate, respectively; F4 and F5, 52.2 and 105 $mg.kg^{-1}$ synthetic fertilizer, respectively; S1, non-stress; S2 and S3, salinity stress at 8 and 12 $dS.m^{-1}$, respectively.

بررسی مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و کود بر میزان کربوهیدرات‌های محلول کل دانه نشان داد که در تمامی سطوح تنش شوری، کم‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول دانه به تیمارهای کودی سوپر جاذب غنی‌شده با آهن اختصاص داشت (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که سامانه کودی جدید با قابلیت فراهمی مقدار بیش‌تر آب و عناصر غذایی، گیاه را در شرایط مساعدتری از نظر درک شدت تنش قرار می‌دهد و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های محلول کم‌تری در دانه تجمع می‌یابد که این امر می‌تواند شرایط را برای افزایش تولید و تجمع نشاسته در دانه گندم فراهم آورد (Poustini, 2001).

درصد پروتئین دانه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس صفات کیفی مورد بررسی (جدول ۲)، اعمال سطوح کودی و نیز برهمکنش سطوح تنش و سطوح کودی اثر معنی‌داری روی صفت درصد پروتئین دانه نداشت، اما تنش شوری اثر معنی‌داری روی این صفت در سطح احتمال یک درصد داشت، به‌گونه‌ای که با افزایش سطوح تنش، مقدار پروتئین دانه افزایش یافت و بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در بالاترین سطح تنش شوری مشاهده شد (جدول ۳). گزارش‌ها نشان می‌دهند که تنش شوری به‌دلیل اثرگذاری بر کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس، سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش انتقال و ذخیره مواد هیدروکربنی به دانه‌ها می‌شود و با کاهش ذخیره نشاسته و در نتیجه افت وزن هزار دانه، سبب افزایش درصد پروتئین در واحد حجم می‌شود (Turki *et al.*, 2012). همچنین افزایش و انباشت پروتئین‌های شوک حرارتی در دانه تحت شرایط تنش از جمله عوامل افزایش‌دهنده درصد پروتئین دانه گزارش شده است (Eivazi *et al.*, 2005).



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری بر صفت محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل دانه ($LSD_{0.05}$=53.54)

Figure 2. Mean comparison of fertilizer levels × salt stress intraction on grain total soluble carbohydrates content ($LSD_{5\%}$=53.54). F1, no-fertilizer application; F2 and F3, 10 and 20 $mg.kg^{-1}$ ferrous sulfate, respectively; F4 and F5, 52.2 and 105 $mg.kg^{-1}$ synthetic fertilizer, respectively; S1, non-stress; S2 and S3, salinity stress at 8 and 12 $dS.m^{-1}$, respectively.

حجم رسوب زلنی

عدد زلنی معیاری از کیفیت آرد تولیدی و خاصیت نانوایی است. با بررسی حجم رسوب زلنی رقم نارین به روش تخریبی و شیمیایی، این عدد ۳۲ گزارش شد (Amini *et al.*, 2017). با توجه به اینکه رقم نارین از جدیدترین ارقام مقاوم به شوری معرفی‌شده می‌باشد، از این‌رو، گزارش مستندی از تحقیقات انجام شده روی صفات کیفی این رقم از جمله شاخص زلنی به‌روش NIR در دسترس نبود، اما شاخص زلنی رقم "پیشتاز" به‌عنوان والد پدری رقم نارین در کنار ارقام بزوستایا، انیبا و تجن به‌عنوان ارقام با کیفیت خوب، به‌ترتیب ۲۳/۱، ۲۰/۸، ۲۲/۲ و ۲۵/۹ میلی‌لیتر گزارش شده است (Ghamari *et al.*, 2009).لازم به ذکر است که در روش شیمیایی اندازه‌گیری رسوب زلنی که روشی تخریبی است، میزان رسوب پروتئین گلوتن، به‌عنوان معیاری از کیفیت آرد، به‌طور مستقیم مورد ارزیابی و بررسی قرار می گیرد، اما در روش NIR (طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک) که روشی فیزیکی، غیرتخریبی و غیرمستقیم برای اندازه‌گیری رسوب زلنی است، به‌دلیل کاربرد نمونه آرد کامل دانه (که شامل تمام بخش‌های دانه است) و در نتیجه ترکیب پروتئین گلوتن با سایر ترکیبات پروتئینی، گلوتن به‌طور غیرمستقیم، ارزیابی می‌شود و عموماً مقادیر عددی حاصل از این روش پایین‌تر از مقادیر حاصل از روش شیمیایی است. نتایج این تحقیق نشان داد که سطوح کودی اثر معنی‌داری روی این صفت در سطح احتمال یک درصد

داشتند (جدول ۲). بیش‌ترین عدد زلنی از تیمارهای کودی سوپر جاذب غنی‌شده با آهن به‌دست آمد، به‌گونه‌ای که سطح پایین سوپر جاذب غنی‌شده با آهن در مقایسه با سطوح بالای کود شیمیایی سبب افزایش بیش‌تر در این صفت شد (جدول ۳). عنصر آهن نقش مهمی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌های ضروری گیاه دارد و تغذیه با کود آهن سبب بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک درگیر در سنتز پروتئین‌هایی می‌شود که در رسوب زلنی اثرگذار هستند (Marshner, 1986). در سایر تحقیقات نیز افزایش رسوب زلنی به‌دلیل کاربرد سطوح کودی گزارش شده است (Esavand *et al.*, 2014). به‌نظر می‌رسد سامانه کودی غنی‌شده با آهن با تأمین و دسترسی آهن بیش‌تر برای گیاه در مقایسه با کود شیمیایی سولفات آهن، سبب افزایش بیش‌تر این صفت شده باشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، سطوح تنش شوری نیز در سطح احتمال یک درصد دارای اثر معنی‌دار روی حجم رسوب زلنی بود، اما برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری بر این صفت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش، حجم رسوب زلنی افزایش یافت و بالاترین سطح تنش، بیش‌ترین اثر را در افزایش این صفت داشت (جدول ۳). با توجه به افزایش پروتئین دانه در سطوح تنش شوری، افزایش حجم رسوب زلنی نیز به‌عنوان صفتی با همبستگی بالا با پروتئین و معیاری مرتبط با استحکام گلوتن قابل توجیه است (Khazaei *et al.*, 2013).

حجم نان

از جمله آثار تنش شوری بر گندم نان، کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز است. فعالیت این آنزیم سبب تغییر رنگ، سختی و خاصیت ارتجاعی ضعیف بافت نان می‌شود. کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز سبب محبوس شدن گازکربنیک حاصل از فرایند تخمیر به دلیل گلوتن موجود در خمیر می‌شود. در نتیجه حجم نان افزایش می‌یابد و نان تولیدی سبک‌تر و پوک‌تر از حالت عادی می‌شود (Eivazi *et al.*, 2005). نتایج تجزیه واریانس این صفت در این آزمایش (جدول ۲) نشان داد که اعمال سطوح کودی و تنش شوری اثر معنی‌داری روی این صفت نداشتند. برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری نیز اثر معنی‌داری روی حجم نان نداشت. متقی و همکاران (Mottaghi *et al.*, 2009) نیز گزارش کردند که ژنوتیپ‌های گندم مقاوم به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری از نظر صفت حجم نان تحت دو شرایط اعمال تنش و عدم وجود تنش نداشتند. برخلاف نتیجه حاصل از این آزمایش، افزایش حجم نان تحت شرایط تنش شوری و رطوبتی در تحقیقات برخی محققین گزارش شده است که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل افزایش درصد پروتئین باشد (Gooding *et al.*, 2003; Eivazi *et al.*, 2005).

محتوای رطوبت دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که سطوح تنش شوری، سطوح کودی و نیز برهمکنش سطوح کودی و تنش روی این صفت در سطح احتمال یک درصد دارای اثر معنی‌داری بودند. بیش‌ترین محتوای رطوبت دانه از سطح پایین کود سوپر جاذب غنی‌شده با آهن (تیمار F4 معادل ۵۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) حاصل شد و همچنین محتوای رطوبت دانه در سطوح شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بالاتر از سطح بدون تنش شوری بود (جدول ۳). با توجه به اینکه رقم نارین رقمی مقاوم به شوری است، به‌نظر می‌رسد که افزایش رطوبت دانه در سطوح بالای شوری، پاسخی مناسب جهت تخفیف آثار شوری باشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری، در سطح تیمار بدون تنش شوری، بیش‌ترین محتوای رطوبت از تیمار کاربرد کود سولفات آهن به‌میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (F2) ثبت شد (شکل ۳). در سطوح بالاتر تنش شوری (۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، سطح پایین تیمار کودی سوپر جاذب غنی‌شده با آهن معادل با ۵۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (F4)، بیش‌ترین اثر را روی افزایش محتوای رطوبت دانه داشت. به‌عبارت دیگر، در هنگام وقوع تنش شوری و مواجهه گیاه با محدودیت آب، سامانه کودی سوپر جاذب به‌دلیل جذب آب و رهاسازی آهسته آن، سبب افزایش آب در دسترس گیاه و افزایش محتوای رطوبت دانه شده است.

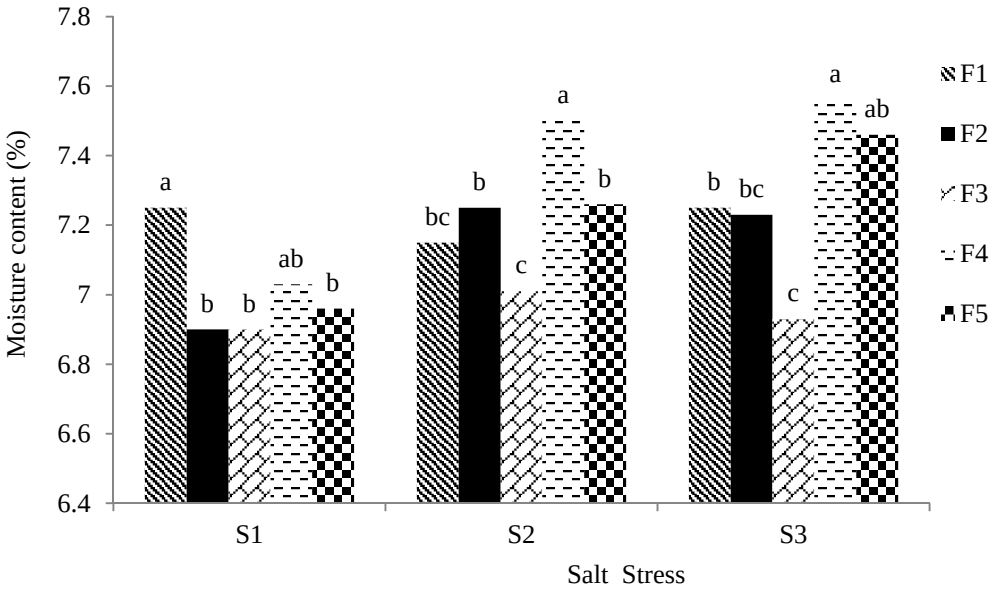
شاخص سختی دانه

این صفت در کیفیت نانوایی گندم بسیار مهم است. گندم‌هایی با بافت دانه سخت به‌دلیل بازدهی آرد بیش‌تر و درصد پروتئین بالا مناسب تبدیل به نان هستند و در هنگام آسیاب کردن، نشاسته بیش‌تری دارند و آب بیش‌تری جذب می‌کنند. تیمارهای آزمایشی در این آزمایش فاقد اثر معنی‌دار روی صفت شاخص سختی دانه بودند (جدول ۲). دنیل و تریبو (Daniel and Triboi, 2000) نیز گزارش کردند که تنش‌های شوری و خشکی کم‌ترین تأثیر را بر

صفت شاخص سختی دانه دارند و این صفت به‌شدت تحت کنترل وراثت است و کم‌تر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد. در مقابل، در برخی آزمایش‌ها نیز افزایش معنی‌دار این شاخص در اثر شوری و خشکی گزارش شده است (Eivazi *et al.*, 2005; Shahbazi *et al.*, 2014). متقی و همکاران (Mottaghi *et al.*, 2009) نیز افزایش کم و غیرمعنی‌دار شاخص سختی دانه تحت شرایط تنش را در ارقام متحمل گندم اعلام کردند.

جذب آب توسط آرد

میزان جذب آب توسط آرد، میزان آبی است که برای تهیه خمیر از آرد گندم استفاده می‌شود. جذب بیش‌تر آب توسط آرد نشان‌دهنده بازده بالاتر آرد و گلوتن قوی‌تر و خمیر بهتر است (Shahbazi *et al.*, 2014) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش شوری بر این صفت در سطح احتمال یک درصد دارای اثر معنی‌دار بود، اما سطوح کودی و نیز برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری بر این صفت اثر معنی‌داری نداشتند که با توجه به عدم تأثیرگذاری معنی‌دار سطوح کودی روی میزان پروتئین دانه در این تحقیق قابل توجیه است (جدول ۲). افزایش سطوح تنش سبب افزایش جذب آب آرد شد، اما اختلاف معنی‌داری بین دو سطح تنش ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر وجود نداشت (جدول ۳). شوری با اثر بر محتوای پروتئین دانه، سبب افزایش میزان جذب آب توسط آرد می‌شود. البته برخی گزارش‌ها حاکی از عدم تاثیرپذیری معنی‌دار این صفت در گندم تحت تاثیر تنش بوده است و عموماً به ژنتیکی بودن این صفت و تاثیر کم‌تر شرایط محیطی بر آن نسبت داده می‌شود (Mottaghi *et al.*, 2009).

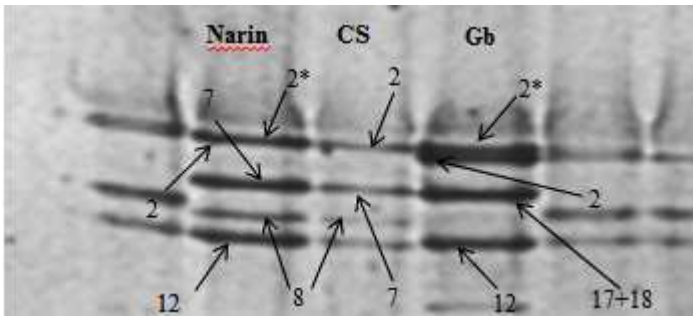


شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح کودی و تنش شوری بر صفت محتوای رطوبت دانه ($LSD_{0.05}$=0.24)

Figure 3. Mean comparison of fertilizer levels × salt stress intraction on grain moisture content ($LSD_{5\%}$=53.54). F1, no-fertilizer application; F2 and F3, 10 and 20 mg.kg^{-1} ferrous sulfate, respectively; F4 and F5, 52.2 and 105 mg.kg^{-1} synthetic fertilizer, respectively; S1, non-stress; S2 and S3, salinity stress at 8 and 12 dS.m^{-1}, respectively.

بررسی الگوی الکتروفورزی

با بررسی الگوی الکتروفورزی زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا در رقم نارین در کنار ارقام شاهد چاینیز اسپرینگ (Chinese Spring) و گابو (Gabo)، در جایگاه ژنی *Glu-A1* آلل *۲، در جایگاه ژنی *Glu-B1* آلل‌های ۷+۸ و در جایگاه ژنی *Glu-D1* آلل‌های ۲+۱۲ شناسایی شدند. امتیاز ژنومی کسب شده برای کیفیت با توجه به آلل‌های شناسایی‌شده در مجموع ۸ بود که نشان‌دهنده کیفیت خوب این رقم است (شکل ۴). تنوع آللی زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا، امتیاز آللی و امتیاز ژنومی رقم نارین به‌همراه والدین پدری (رقم پیشتاز) و مادری (لاین بومی متحمل به شوری ۲۲-۶۶-۱) این رقم (Najafian and Baghaie, 2011) و ارقام شاهد چاینیز اسپرینگ و گابو در جدول ۴ ارایه شده است.



شکل ۴- الگوی الکتروفورزی زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا روی ژل اکریلامید ۱۰ درصد در سیستم SDS- PAGE برای ارقام نارین و شاهد چاینیز اسپرینگ (CS) و گابو (Gb)

Figure 4. Electrophoretic pattern of high molecular weight glutenin subunits on 10% acrylamide gel in SDS-PAGE system for Narin cultivar and the standard cultivars Chinese Spring (CS) and Gabo (Gb)

جدول۴- زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا و امتیاز آللی رقم نارین، والد پدری (پیشتاز) و مادری (۲۲-۶۶-۱) و ارقام شاهد

Table 4. High molecular weight glutenin subunits and allelic scores of Narin, parental (Pishtaz) and maternal (1-66-22) parents and the standard cultivars Chinese Spring and Gabo

Wheat cultivar	Gene locus			Allelic score	Genomic score
	Glu-A1	*Glu-B1*	*Glu-D1*		
Narin	2 *	7+8	2+12	3+3+2	8
Pishtaz	2 *	7+8	2+12	3+3+2	8
1-66-22	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Chinese Spring	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Gabo	2 *	17+18	2+12	3+3+2	8

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار برخی از مولفه‌های مورد بررسی، به‌ویژه محتوای آهن دانه و درصد پروتئین دانه شد، اما برخی صفات دیگر از جمله سختی دانه و حجم نان تغییر چندانی در اثر اعمال سطوح کودی و تنش شوری نداشتند و به‌نظر می‌رسد که این صفات بیش‌تر تحت تأثیر ژنتیک گیاه باشند و عوامل محیطی تأثیر چندانی بر این صفات نداشته باشند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، سامانه کودی کندرها غنی شده با آهن در مقایسه با کود شیمیایی، سبب افزایش بیش‌تر صفات وزن صد دانه، عملکرد دانه در بوته، محتوای آهن دانه و حجم رسوب زلنی شد که نشان‌دهنده قابلیت و کارکرد مناسب این سامانه کودی می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر، همچنین نشان داد که رقم نارین از نظر پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر، گلوتنین‌های با وزن مولکولی بالا و ارزش دارای کیفیت خوب و مناسبی است.

References

Amini, A., Akbari Mogadam, H., Saberi, M. H., Tabatabaee, M. T., Afuni, D., Ravari, Z., Mohammadi, A., Afshari, F., Zakeri, A., Hosseini, M. A., Akbari, A. and Haji Akhondi Meibodi, H. 2017. Narin, a new irrigated bread wheat cultivar, high grain yield, adapted to temperate and warm climate zones with salinity of soil and water. **Research Achievements for Field and Horticulture Crops** 6: 135-147. (In Persian with English Abstract).

Achakazi, A. K., Kayani, S. A. and Hafin, A. 2010. Effect of salinity on uptake of micronutrients in sunflower at erly vegetative stage. **Pakistan Journal of Botany** 42 (1): 129-139.

Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. **Water and Soil Science** 17: 140-150. (In Persian with English Abstract).

Bortolin, A., Aouada, F. A., de Moura, M. R., Ribeiro, C., Mattoso, L. H. C. 2012. Application of polysaccharide hydrogels in adsorption and controlled-extended release of fertilizers processes. **Journal of Applied Polymer Science** 123: 2291-2298.

Bucsella, B., Takács, Á., Vizer, V., Schwendener, U. and Tömösközi, S. 2016. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. **Food Chemistry** 190: 990-996.

Daniel, C. and Triboi, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. **Journal of Cereal Science** 32: 45-56.

Eisavand, H., Esmaili, A. L. and Mohammadi, M. 2014. Effects of iron oxide nanoparticles on some quantity, quality and physiological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) at Khoramabad climate. **Iranian Journal of Field Crop Science** 45: 287-298. (In Persian with English Abstract).

Eivazi, A., Abdollahi, S. H., Hosseini Salekdeh, Gh., Majidi, A., Mohammadi, S. A. and Pirayeshfar, B. 2005. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. **Iranian Journal of Crop Sciences** 7 (3): 252-267. (In Persian with English Abstract).

Ghamari, M. L., Peighambardoust, S. H. and Reshmeh-Karim, K. 2009. Application of farinograph quality number (FQN) in evaluating baking quality of wheat. **Food Science and Technology** 6 (21): 23-33. (In Persian with English Abstract).

Garsia Del Moral, L. F., Boujenna, A., Yanez, J. A. and Ramos, J. M. 1995. Forage production, grain yield and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. **Agronomy Journal** 87: 902-908.

Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R. and Schofield, J. D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. **Journal of Cereal Science** 37: 295-309.

Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K. O. and Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. **Crop Science** 41: 327-335.

Haghparast, R., Rajabi, R., Najafian, G., Rashme-Karim, K. and Aghaee Sarbarzeh, M. 2009. Evaluation of indices related to grain quality in advanced bread wheat genotypes under rainfed conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 25 (1): 315-328. (In Persian with English Abstract).

ICC. 2008. International Association for Cereal Science and Technology. The ICC Standard methods. ICC Publication.

Hu, Y. and Schmidhulter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plant. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 168: 541-549.

Irigoyen, J., Emerich, J. and Sanches-Daiz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plants. **Journal of Plant Physiology** 101: 339-341.

Izadi Darbandi, A., Yazdi Samadi, B., Shanejat Boushehri, A. A. and Mohammadi, M. 2010. Allelic variations in *Glu-1* and *Glu-3* loci of historical and modern Iranian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Journal of Genetics** 89: 193-199.

Izadi Darbandi, A. and Yazdi Samadi, B. 2012. Marker-assisted selection of high molecular weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Genetics** 91 (2): 193-198.

Izanloo, A. and Norouzdokht Nokhandan, S. 2016. Allelic distribution of puroindoline genes affecting the grain hardness in some Iranian bread wheat cultivars. **Molecular Plant Breeding** 7: 3-10.

Keshavarz, P., Forouhar, M. and Dadivar, M. 2017. Application and fertilization efficiency of iron in some wheat genotypes. **Journal of Water and Soil** 31: 1423-1431. (In Persion with English Abstract).

Khazaei, M., Tadayyon, A. and Houshmand, S. 2013. Heritability and relationship among durum wheat quality traits using a recombinant inbred lines population. **Journal of Crop Production and Pricessing** 9: 123-135. (In Persian with English Abstract).

Khoshgoftar Manesh, A. 2008. Principle of plant nutrition. 1st Edition. Industrial University of Isfahan Press. 462 p.

Majoul, T., Bancel, E., Triboi, J. B., Ben Hamda, J. and Branlard, G. 2003. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain. **Proteomics** 3: 175-183.

Marshner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London.

Mendoza, A. B. 1999. Absorption and assimilation of iron in plant. Departamento De Horticultura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Translated by Roger Miller. Available at: http://home.infinet.net/teban/iron/ironw.html.

Mottaghi, M., Najafian, G. and Bihamta, M. R. 2009. Effect of terminal drought stress on grain yield and baking quality of hexaploid wheat genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 11: 290-306. (In Persian with English Abstract).

Munns, R., James, R. A. and Läuchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany** 57: 1025-1043.

Najafian, G. and Abd-Mishani, C. 1994. Relation between high molecular weight glutenin subunit and bread making quality of Iranian grown wheat cultivar. **Iranian Journal of Agricultural Science** 26: 31-40. (In Persian with English Abstract).

Najafian, G. and Baghaie, N. 2011. Genetic variation of high molecular weight glutenin subunits in parental lines and cultivars of wheat used in breeding programs of cold and temperate agro-climatic zones of Iran. **Seed and Plant Improvement Journal** 27 (1): 305-322. (In Persian with English Abstract).

Nikooseresht, R., Najafian, G., Mirfakhrai, G. H. and Dehghani, H. 2009. Evaluation of bread making quality of wheat using SDS sedimentation volume and high molecular weight glutenin subunits. **Seed and Plant Improvemen Journal** 25 (1): 373-383. (In Persian with English Abstract).

Payne, P. I. and Lawrence, G. J. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci, *GluA1*, *Glu-B1* and *Glu-D1* which code for HMW subunits of glutenin hexaploid wheat. **Cereal Research Communications** 11: 29-35.

Poustini, K. 2001. Carbohydrate partitioning responses of two wheat cultivars to salinity stress. **Iranian Journal of Agriculture Science** 32 (2): 425-432. (In Persian with English Abstract).

Seilsepour, M. 2007. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soil. **Pajouhesh and Sazandegi** 76: 123-133. (In Persian with English Abstract).

Shahbazi, H., Arzani, A. and Esmailzadeh Moghadam, M. 2014. Evaluation of grain quality in bread wheat recombinant inbred lines under drought stress conditions. **Journal of Crop Production and Processing** 4 (11): 285-294. (In Persian with English Abstract).

Shain, X., Clayshulte, S. R., Haley, S. D. and Byrne, P. F. 2003. Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. **Journal of Cereal Science** 37: 129-137.

Singh, N. K., Sheperd, K. W. and Cornish, G. B. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. **Journal of Cereal Science** 14: 203-208.

Turki, N., Harrabi, M. and Okuno, K. 2012. Effect of salinity on grain yield and quality of wheat and genetic relationships among durum and common wheat. **Journal of Arid Land Studies** 22 (1): 311-314.

doi: 10.22124/c.2019.13715.1503

University of Guilan
Faculty of
Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 9, No. 2, Summer 2019 (129-141)

The effect of application of slow-release fertilizer enriched with Fe on qualitative characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum*) under salinity stress conditions

Laleh Rahimi Milashi[1], Majid Ghorbani Javid[2*], Iraj Alahdadi[3] and Ali Izadi Darbandi[4]

Received: March 4, 2019 Accepted: July 1, 2019

Abstract

To investigate the effect of slow-release fertilizer enriched with Fe on grain quality of Narin, a new wheat cultivar, under salinity conditions and assessing the allelic diversity of high molecular weight glutenin encoding genes, a factorial experiment was conducted as randomized complete block design with three replications in research greenhouse of Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran, in 2017- 2018. The studied factors were two factors, salinity stress (at three levels including 0, 8 and 12 $dS.m^{-1}$) and fertilizer (at five levels including no-fertilizer application, ferrous sulfate at 10 and 20 $mg.kg^{-1}$ soil, super-absorbent fertilizer enriched with ferrous sulfate at 52.5 and 105 $mg.kg^{-1}$ soil). The studied traits included 100 grain weight, grain yield per plant, grain protein percentage, grain Fe content, grain total soluble carbohydrates, grain hardness index, flour water absorption, moisture content, bread volume and zeleny sedimentation volume. The results showed that 100 grains weight, grain yield per plant, grain Fe content, grain total soluble carbohydrates content and zeleny sedimentation volume increased with application of fertilizer and superabsorbent fertilizer enriched with Fe had more positive effects than ferrous sulfate in many of the studied traits. Salinity stress significantly decreased 100 grains weight, grain yield and total soluble carbohydrates content, but grain Fe content, grain protein percentage and flour water absorption significantly increased with increasing salinity stress. By studying the electrophoretic pattern of high molecular weight glutenin subunits in Narin variety, 2*, 7+8 and 2+12 alleles were identified at *Glu-A1*, *Glu- B1* and *Glu-D1* loci, respectively. Based on the results of the present study, it seems that superabsorbent fertilizer enriched with Fe has higher efficiency than ferrous sulfate fertilizer on the qualitative characteristics of wheat grain and flour, especially under salinity stress conditions.

Keywords: Glutenin, Grain hardness index, Narin, Protein percentage, Zeleny sedimentation volume

1. Ph. D. Candidate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
3. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
* Corresponding author: mjavid@ut.ac.ir