



اثر مصرف زئولیت بر عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک گندم (رقم بک کراس روشن) در شرایط تنش کم آبی

محمد میرزاخانی^{۱*}

۱. گروه کشاورزی، واحد فراهان، دانشگاه آزاد اسلامی، فراهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۰

چکیده

جهت بررسی اثر تنش کم آبی و مصرف مقادیر مختلف زئولیت بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم رقم بک کراس روشن، آزمایشی در مزرعه آموزشی دانشگاه پیام نور اراک سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش کم آبی به عنوان عامل اصلی در چهار سطح (آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه، آبیاری به میزان ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت های اصلی و مصرف مقادیر مختلف زئولیت به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (عدم مصرف زئولیت، مصرف زئولیت به مقدار سه، شش و نه تن در هکتار) در کرت های فرعی قرار داده شدند. نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیکی گیاه، سطح ویژه برگ پرچم، تراکم سنبله، میزان کلروفیل b، هدایت الکتریکی تیمار متانول و هدایت الکتریکی تیمار استون معنی دار شد. همچنین اثر سطوح مختلف مصرف زئولیت نیز بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیکی گیاه، سطح ویژه برگ پرچم و هدایت الکتریکی تیمار متانول معنی دار بود. در بین سطوح مختلف تنش کم آبی، بیشترین و کمترین هدایت الکتریکی تیمار متانول با میانگین ۳۳۰۶ و ۲۸۳۵ میکروزیمنس بر سانتی متر به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار شاهد (آبیاری معمول) بود. همچنین بیشترین میزان کلروفیل b با میانگین ۰/۵۹۸ میلی گرم در گرم بافت تازه گیاه مربوط به تیمار آبیاری شاهد و کمترین مقدار آن با میانگین ۰/۵۱۷ میلی گرم در گرم بافت تازه گیاه مربوط به تیمار تنش کم شدید آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانها میانگین ۵۱۹۳ و ۳۳۳۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری شاهد و تیمار آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه بود. همچنین کاهش عملکرد دانه ناشی از تیمار عدم مصرف زئولیت، معادل ۱۶/۷۹ درصد نسبت به تیمار مصرف نه تن در هکتار زئولیت بود. به طوری که مصرف نه تن در هکتار زئولیت با ۴۹۰۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را تولید نمود. با بررسی نتایج مشخص شد که افزایش شدت تنش کم آبی، باعث کاهش در اکثر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم گردید و مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت باعث جبران صدمات ناشی از تنش کم آبی در گندم در شرایط محل اجرای آزمایش شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، کلروفیل، کم آبیاری، عملکرد بیولوژیکی، هدایت الکتریکی.

مقدمه

۲۴۰ میلی متر در سال بر طبق تعریف آمبرژه جزء مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می آید (Kardavani, 1999). خشکی مهمترین تنش کم محیطی است که تولید گیاهان زراعی را شدیداً کاهش می دهد. با توجه به کاهش بارندگی سالیانه و افزایش خشکی و دمای هوا استفاده از گونه های گیاهی مناسب و ارقام اصلاح شده ای که دارای عملکرد مطلوب و همچنین متحمل به شرایط تنش کم آبی

به طور کلی بیش از سه چهارم انرژی و نیمی از پروتئین مورد نیاز بشر از غلات تأمین می شود (Emam, 2005). در غلات حساس ترین مرحله به تنش کم خشکی حداثه سنبله رفتن تا گلدهی است و ارقامیکه قبل از گلدهی بتوانند ماده خشک بالایی تولید کرده و مواد پرورده در ساقه را افزایش دهند، جزء ارقام متحمل به خشکی محسوب می شوند (Niknam, 2005). ایران با میانگین نزولات آسمانی

خسارت غشاء سلولی با میانگین ۲۵/۳ (درصد) توسط ژنوتیپ شماره ۱۳ در تیمار تنش کم آبی و کمترین آن نیز با میانگین ۴/۳ (درصد) توسط ژنوتیپ شماره ۹ در تیمار تنش کم آبی بدست آمد (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2008).

از جمله راهکارهای جدیدی که برای افزایش تأثیرگذاری و جلوگیری از هدرروی رطوبت و کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است، بکارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی‌های ژئولیت در مزارع کشاورزی می‌باشد (Polat et al., 2004). ژئولیت‌ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال‌های باز در شبکه خود، اجازه عبور بعضی از یون‌ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون‌های دیگر را مسدود می‌کنند (Mumpton, 1999). جذب انتخابی و آزاد سازی کنترل شده‌ی عناصر غذایی توسط ژئولیت باعث می‌شود در صورت انتخاب صحیح نوع ژئولیت مصرفی هنگامی که به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت رطوبت و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کند (Polat et al., 2004). مصرف ۹ تن ژئولیت در هکتار، توانست شاخص برداشت دانه گلرنگ را معادل ۵/۰۷ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف ژئولیت افزایش دهد و نقش مثبت آن در کاهش صدمات ناشی از تنش کمبود آب به اثبات رسید (Mirzakhani and Sibi, 2010). سایر محققان گزارش نمودند که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و مصرف سوپرجاذب‌ها بر پایداری غشاء سلولی در سطح آماری یک درصد معنی دار بودند. به طوری که بیشترین و کمترین ناپایداری غشاء سلولی با میانگین ۸۲/۰۹ و ۸۰/۶۳ درصد به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ و ۷۰ میلی متر تبخیر از تشتک کلاس a بود (Khadem et al., 2010). مصرف ژئولیت از طریق فراهم نمودن مقادیر بیشتری از آب آبیاری برای ریشه‌ها، باعث ایجاد شرایط رشد و نمو بهتری برای گیاهان شده و خراب غشاء سلولها را کاهش میدهد (Mirzakhani and Sibi, 2010).

با توجه به اهمیت موضوع تنش کمبود آب و تأثیرات مثبتی که مصرف ژئولیت می‌تواند بر کاهش صدمات ناشی از تنش کم آبی داشته باشد و لزوم بررسی نحوه واکنش صفات زراعی و فیزیولوژیکی گندم به چنین شرایطی این تحقیق در شرایط آب و هوایی شهرستان اراک اجرا گردید.

باشند، امکان استفاده بهتر از منابع آب موجود را میسر نموده و موجب توسعه سطح زیر کشت این گیاهان و افزایش بازده تولید می‌گردد (Richard and Bergman, 1997). فرآیند تنظیم اسمزی به عنوان یک صفت برای تحمل به تنش خشکی شناخته می‌شود (Richard, 2004). بنابراین تنظیم اسمزی در برگ پرچم و دانه گرده می‌تواند به عنوان یک شاخص در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای افزایش تحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Delpere et al., 2003; Maghsoudi Moud and Yamagishi, 2005). تنش کم‌آبی تأثیر قابل توجهی بر صفات مرتبط با مرحله رشد زایشی گیاه از جمله عملکرد دانه، اجزای عملکرد، شاخص برداشت، روز تارسیدگی فیزیولوژیک و محتوای نسبی آب برگ (RWC) دارد (Gol-Abadi and Zamani, 2008). تنش کم‌آبی در مرحله سنبله دهی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش سنبله‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله موجب کاهش محصول می‌گردد (Emam, 2005). همچنین تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی دانه، به ویژه اگر با دمای زیاد همراه باشد، پیری را تسریع و دوره پر شدن دانه را کاهش داده و بنابراین وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد (Royo et al., 2000).

در بررسی تغییرات میزان کلروفیل b ارقام گندم تحت شرایط تنش کم، مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b با میانگین ۰/۶۵۵ و ۰/۳۴۵ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی به ترتیب مربوط به تیمار عدم تنش کم و تنش کم شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار در لیتر نمک طعام) متعلق به لاین S-24 بود (Mohsina et al., 2008). در اثر تنش کم‌آبی، تراوایی غشای سلول افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون از سلول نشت کنند (Blum and Ebercom, 1980).

یکی از راهکارهای مهم در اصلاح و افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان این است که غشای سلول پس از مواجه شدن با تنش کمبود آب، انسجام خود را حفظ نماید و واپاشیده نشود. آزمایش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری پایداری غشاء سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرند و تا حدودی تحمل به خشکی را در گیاهان مشخص می‌نمایند (Bandurska, 2000; Venkateswarlu and Ramesh, 1993). در بررسی ۲۰ ژنوتیپ گندم در شرایط آبیاری معمول و تنش کم آبی گزارش شد که بیشترین مقدار

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی-تحقیقاتی دانشگاه پیام نور استان مرکزی واقع در شهرستان اراک با خاک شنی لومی اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی به تنش کم آبی در چهار سطح I_0 = آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I_1 = آبیاری به میزان ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، I_2 = آبیاری به میزان ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه، I_3 = آبیاری به میزان ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه اختصاص یافت. نحوه اعمال تنش (حجم آب مصرفی بر حسب متر مکعب) با استفاده از فرمول ۱ محاسبه گردید:

$$\text{حجم آب مصرفی (متر مکعب)} = 60 \times \{ \text{دبی آب ورودی} \} \times (\text{ارتفاع تبخیر از تشتک} \times \text{حجم تشتک تبخیر} \times \text{راندمان آبیاری} \times \text{مساحت کرت} \times \text{ضریب گیاهی}) \times 1000 \quad [1]$$

در این فرمول راندمان آبیاری ۶۰ درصد در نظر گرفته شد و برای جایگذاری اعداد تشتک تبخیر که از نوع کلاس A بود از آمارهای روزانه‌ی ایستگاه هواشناسی اراک استفاده گردید. دبی آب ورودی سیفون‌ها محاسبه شد و ضریب گیاهی از نیاز آبی گیاهان در ایران (Alizadeh and Kamali, 2007) به دست آمد. سپس با توجه به اعداد بدست آمده از معادله فوق، اقدام به آبیاری ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاهان گردید. کرت‌های فرعی نیز به مصرف مقادیر مختلف زئولیت (از نوع کلینوپتیلولیت^۱) بر پایه پتاسیک و از معادن استان سمنان تهیه شد) در چهار سطح Z_0 = عدم مصرف زئولیت (شاهد)، Z_1 = مصرف زئولیت به مقدار سه تن در هکتار، Z_2 = مصرف زئولیت به مقدار شش تن در هکتار، Z_3 = مصرف زئولیت به مقدار نه تن در هکتار اختصاص یافت. هر کرت آزمایشی شامل چهار جوی و پشته به فاصله ۵۰ سانتی متر از یکدیگر و روی هر پشته سه خط کاشت (هر کرت آزمایشی مجموعاً شامل ۱۲ خط کاشت گندم بود)، به طول ۵ متر و مقدار بذر کاشته شده معادل ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و رقم مورد استفاده بک کراس روشن بود. براساس نتایج آزمایش خاک (جدول ۱) به ترتیب مقدار ۱۱۵ و ۶۹ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و فسفر خالص از منابع کود اوره و سوپر فسفات تریپل در اختیار گیاهان قرار گرفت. کود اوره در سه نوبت، یک سوم آن در موقع کاشت و

دوسوم به صورت سرک در مراحل پنجه زنی و ساقه دهی به گیاهان مزرعه داده شد. مبارزه با علف‌های هرز به موقع و به روش دستی انجام شد. در زمان برداشت تعداد ۲۰ بوته از هر کرت آزمایشی با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای به طور کاملاً تصادفی انتخاب شدند و صفات شاخص برداشت گیاه (از تقسیم وزن دانه‌های سنبله بر وزن خشک گیاه به دست آمد)، عملکرد بیولوژیکی گیاه (وزن کل ماده خشک بوته‌های گندم با استفاده از ترازوی دقیق)، سطح ویژه برگ پرچم (تقسیم سطح برگ پرچم به وزن خشک برگ پرچم)، میزان کلروفیل a و b، هدایت الکتریکی تیمار حلال‌های آلی متانول و استون خالص، اندازه‌گیری شدند. تراکم سنبله با استفاده از فرمول حاصل ضرب تعداد سنبله در عدد ۱۰ تقسیم بر طول سنبله محاسبه شد (Behnia, 1997):

$$D = (N \times 10) / L \quad [2]$$

برای تعیین محتوای کلرفیل a و b، از بوته‌های هر کرت آزمایشی تعداد ۱۰ برگ پرچم جدا شد و از روش آرنون (Arnon, 1949; Ashraf et al., 1994) استفاده گردید. بدین صورت که از استون ۸۰ درصد برای استخراج کلروفیل استفاده شد و میزان جذب نور توسط عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Varian 300 Scan, USA) با طول موجهای ۶۶۳ و ۶۴۵ اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری صفت هدایت الکتریکی تیمار متانول و استون، ابتدا به تعداد دو برابر کرت‌های آزمایشی لوله آزمایش تهیه شد و داخل هر لوله آزمایش ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های متانول و استون ریخته شد. سپس ده دیسک به قطر یک سانتی‌متر از پهنک برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته هر کرت تهیه و به مدت ۱۲ و ۳ ساعت در داخل لوله‌های آزمایش قرار داده شدند. پس از گذشت مدت زمان لازم، مقدار هدایت الکتریکی محلول هر لوله آزمایش به‌طور جداگانه با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری و ثبت شد. محلول هر لوله آزمایشی که هدایت الکتریکی بیشتری را نشان داد، بیانگر تخریب بیشتر غشای سلولی بافت گیاهان موجود در آن بود (Blum and Ebercom, 1980). همچنین برای تعیین عملکرد دانه، در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از دو خط میانی مساحت ۴ مترمربع برداشت و پس از کوبیدن و توزین و با در نظر گرفتن رطوبت حدود ۱۴ درصد عملکرد دانه هر کرت برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه و ثبت شد. پس از تجزیه واریانس داده‌ها، میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در

¹ Clinoptilolite

مقدار هدررفت آب را کاهش داده و شرایط کم آبی را برای مدت زمان بیشتری تحمل نماید.

در بررسی تغییرات میزان کلروفیل a ارقام گندم تحت شرایط تنش مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a با میانگین ۰/۸۸۹ و ۰/۵۴۹ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه گیاهی به ترتیب مربوط به تیمار عدم تنش و تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار در لیتر نمک طعام) متعلق به رقم Inqlab بود (Mohsen-nia et al., 2008). نتایج تحقیقی نشان داد که غلظت کلروفیل a در گندم تحت تأثیر تنش شوری و مصرف سالیسیلیک اسید در سطح آماری یک درصد معنی دار شد. به طوری که میانگین میزان کلروفیل a در شرایط تنش (۷/۷۵ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی) نسبت به شرایط عدم تنش (۱۰/۷۸ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی) کاهش یافت. ولی با افزایش مصرف سالیسیلیک اسید، میزان آن افزایش نشان داد. در بین سطوح مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a با میانگین ۸/۸۸ و ۷/۱۰ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی مربوط به تیمار مصرف ۱۰^{-۲} مول بر لیتر و تیمار عدم مصرف آن بود (Kaydan et al., 2007).

سطح آماری پنج درصد به‌وسیله نرم‌افزار MSTAT-C مقایسه شدند.

نتایج و بحث

میزان کلروفیل a اثر تنش آبی و مصرف سطوح مختلف زئولیت بر صفت میزان کلروفیل a غیر معنی‌دار ولی اثر متقابل تنش آبی و مصرف زئولیت بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در جدول مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل، بیشترین مقدار میزان کلروفیل a با میانگین ۱/۴۷ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی مربوط به تیمار آبیاری شاهد و مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت و کمترین مقدار آن با میانگین ۱/۰۸ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی مربوط به تنش کمبود آبی متوسط و مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت بود (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی از آبیاری نرمال تا تنش شدید کمبود آب کاهش ۸/۶۴ درصدی در مقدار کلروفیل a مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد گیاه برای کاهش میزان جذب تشعشع خورشید و در نتیجه کاهش میزان تعرق خود، میزان کلروفیل را در بافت‌های سبز خود کاهش داده است تا از این طریق با کاهش درجه حرارت خود بتواند

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Results of soil Analysis.

| عمق خاک | اسیدیته اشباع | نیتروژن کل (درصد) | فسفر قابل جذب (ppm) | پتاسیم قابل جذب (ppm) | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | بافت |
|------------|---------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-----------|---------|
| Soil depth | pH | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | Sand (%) | Silte (%) | Clay (%) | Texture |
| 0-30 | 8.7 | 0.05 | 9 | 220 | 38 | 37 | 25 | Loam |

بافت تازه گیاه مربوط به تیمار تنش شدید کم آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود (جدول ۳). با افزایش تنش کمبود آب، معمولاً گیاه به منظور کاهش شدت جذب نور خورشید و جلوگیری از افزایش دمای خود و ممانعت از هدر رفتن آب، میزان کلروفیل اندام‌های سبز خود را کاهش می‌دهد؛ بنابراین با این کار می‌تواند شرایط کمبود آب را برای مدت زمان طولانی‌تری تحمل نماید و از خسارت ناشی از آن بکاهد.

میزان کلروفیل b اثر تنش کمبود آب و اثر متقابل تیمار تنش کمبود آب و مصرف زئولیت، بر صفت میزان کلروفیل b به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد و اثر ساده مصرف زئولیت نیز بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). در جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان کلروفیل b با میانگین ۰/۵۹۸ میلی گرم در گرم بافت تازه گیاه مربوط به تیمار آبیاری شاهد و کمترین مقدار آن با میانگین ۰/۵۱۷ میلی گرم در گرم

جدول ۲. خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه گندم تحت تأثیر تنش کم آبی و مصرف زئولیت

Table 2. Results of variance analysis of wheat traits under water deficit stress and zeolite application .

| S.O.V | منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---------------------|------------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| | | | میزان کلروفیل | | هدایت الکتریکی | |
| | | | کلروفیل b | کلروفیل a | متانول (۱۲ ساعت) | استون (۳ ساعت) |
| df | chl. a | chl. b | Methanol (12 h) | aseton (3 h) | | |
| تکرار | Replication | 2 | 0.001 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 191530.5 ^{ns} | 129202.08 ^{ns} |
| تنش کم آبی | Water stress (W) | 3 | 0.026 ^{ns} | 0.014 ^{**} | 537750.7 ^{**} | 1607344.4 [*] |
| خطای (الف) | Error (Ea) | 6 | 0.008 | 0.002 | 41079.03 | 307846.5 |
| زئولیت | Zeolite (Z) | 3 | 0.004 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 819017.8 [*] | 91238.8 ^{ns} |
| تنش کم آبی × زئولیت | W × Z | 9 | 0.043 [*] | 0.041 ^{**} | 722593.1 ^{**} | 259131.4 ^{ns} |
| خطای (ب) | Error (Eb) | 24 | 0.016 | 0.003 | 194055.1 | 150260.4 |
| ضریب تغییرات (درصد) | Cv (%) | | 10.14 | 9.12 | 14.04 | 14.64 |

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

| S.O.V | منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | |
|---------------------|------------------|------------|---------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|
| | | | سطح ویژه برگ | تراکم سنبله | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیکی گیاه | شاخص برداشت گیاه |
| | | | Leaf special area | Spike density | Grain Yield | Biological yield of plant | Harvest index |
| df | | | | | | | |
| تکرار | Replication | 2 | 0.067 ^{ns} | 7.48 ^{ns} | 255780.6 ^{ns} | 10516953.8 ^{ns} | 202.47 [*] |
| تنش کم آبی | Water stress (W) | 3 | 2.83 ^{**} | 40.00 ^{**} | 8350811.9 ^{**} | 101279183.02 ^{**} | 180.22 ^{**} |
| خطای (الف) | Error (Ea) | 6 | 0.12 | 2.619 | 100533.9 | 900038.09 | 12.141 |
| زئولیت | Zeolite (Z) | 3 | 1.58 ^{**} | 4.453 ^{ns} | 1424599.8 ^{**} | 15458780.13 ^{**} | 16.86 ^{ns} |
| تنش کم آبی × زئولیت | W × Z | 9 | 0.353 ^{**} | 31.007 ^{**} | 1149573.7 ^{**} | 13550400.41 ^{**} | 81.41 [*] |
| خطای (ب) | Error (Eb) | 24 | 0.079 | 2.482 | 121114.7 | 2890653.66 | 30.724 |
| ضریب تغییرات (درصد) | Cv (%) | | 11.10 | 10.56 | 7.74 | 13.79 | 13.21 |

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

Ns, * and **: Non significant, and significant at the 5% and 1% probability levels respectively.

زئولیت بر این صفت در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). معمولاً با افزایش شدت تنش کمبود آب، میزان تخریب و ناپایداری غشای سلولی نیز افزایش می‌یابد. در جدول مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی ناشی از تخریب غشای سلولی با میانگین ۳۳۰۶ میکروزیمنس بر سانتی متر مربوط به تیمار تنش کمبود آبی شدید (تیمار آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) و کمترین مقدار آن با میانگین ۲۸۳۵ میکروزیمنس بر سانتی متر مربوط به آبیاری شاهد بود. همچنین در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، عدم مصرف زئولیت با میانگین ۳۳۶۸ میکروزیمنس بر سانتی متر و تیمار مصرف نه تن زئولیت در هکتار با میانگین ۲۸۲۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی سلول را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

اثر سطوح مختلف تنش کم‌آبی و مصرف سوپرجاذب بر پایداری غشای سلولی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بودند. در مرحله گل‌دهی، بیشترین و کمترین ناپایداری غشای سلولی با میانگین ۸۵/۸۹ و ۷۹/۴۹ درصد به ترتیب متعلق به تیمار (آبیاری معمول + عدم استفاده از پلیمر جاذب الرطوبت و کود دامی) و تیمار (آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس a + عدم استفاده از پلیمر جاذب الرطوبت و کود دامی) بود (Khadem et al., 2010). در بررسی ۲۰ ژنوتیپ گندم در شرایط آبیاری معمول و تنش کم‌آبی گزارش شد که بیشترین مقدار خسارت غشای سلولی با میانگین ۲۵/۳ توسط ژنوتیپ شماره ۱۳ در تیمار تنش کم‌آبی و کمترین آن نیز با میانگین ۴/۳ توسط ژنوتیپ شماره ۹ در تیمار تنش کم‌آبی بدست آمد (Aghaee-sarbarzeh et al., 2008). سایر محققان بیان داشتند که با کاهش مقدار آب آبیاری، تنش کم‌آبی وارده به گیاه افزایش می‌یابد و سلول‌ها به شدت آسیب خواهند دید و باعث کاهش توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشای سلولی خواهد شد. در چنین گیاهانی به دلیل آسیب-دیدگی غشای سلول‌ها و خروج الکترولیت‌های سلول، باعث افزایش هدایت الکتریکی محلول حاوی بافت گیاهی خواهد شد (Mirzakhani and Sibi, 2010). گندم‌هایی که در معرض تنش خشکی (عدم آبیاری) قرار داشتند، دارای دیواره‌های سلولی مقاوم‌تری بودند (Saneoka et al., 2004). در آزمایش مشابهی در گل‌رنگ بهاره مشخص گردید

در بررسی تغییرات میزان کلروفیل b ارقام گندم تحت شرایط تنش کم‌آبی، مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b با میانگین ۰/۶۵۵ و ۰/۳۴۵ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه گیاهی به ترتیب مربوط به تیمار عدم تنش و تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار در لیتر نمک طعام) متعلق به رقم S-24 بود (Mohsina et al., 2008). در بررسی ۲۰ ژنوتیپ گندم در شرایط آبیاری معمول و تنش کم‌آبی گزارش شد که بیشترین مقدار کلروفیل b با میانگین ۶/۲۹ میلی گرم در گرم بافت گیاهی توسط ژنوتیپ شماره ۱۷ در تیمار آبیاری معمول و کمترین آن با میانگین ۲/۵ میلی‌گرم در گرم بافت گیاهی توسط ژنوتیپ شماره ۱۰ در تیمار تنش کم‌آبی بدست آمد (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2008). سایر محققان اظهار داشتند که غلظت کلروفیل b در گندم تحت تأثیر تنش کم شوری و مصرف اسید سالیسیلیک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد، به طوری که میانگین میزان کلروفیل b در شرایط تنش کم (۴/۱۰ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی) نسبت به شرایط عدم تنش کم (۴/۶۷ میلی گرم بر گرم بافت تازه گیاهی) کاهش یافت ولی با افزایش مصرف اسید سالیسیلیک، میزان آن افزایش نشان داد (Kaydan et al., 2007). بیشترین شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه SPAD با میانگین ۲۱/۵۸ و کمترین مقدار کلروفیل با میانگین ۱۵/۶۸ به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری شاهد و آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. بیشترین مقدار کلروفیل در بین سطوح مختلف مواد جاذب رطوبت مربوط به تیمار مصرف (۱۵ تن کود دامی + ۴ تن زئولیت در هکتار) با میانگین ۲۰/۱۶ و کمترین مقدار کلروفیل مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۱۷/۲۹ بود (Farmahini al., 2011).

هدایت الکتریکی تیمار متانول (۱۲ ساعت) متانول یکی از حلال‌های آلی است که می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی و تخریب غشای سلول‌های گیاهی شود. معمولاً سلول‌های گیاهی در برابر انواع حلال‌های آلی، دما، سرما و pH محیط آسیب‌پذیر هستند. در این آزمایش مقدار تخریب غشای سلول‌ها تحت تیمار متانول به مراتب بیشتر از میزان تخریب ناشی از تیمار استون بود. اثر تنش کمبود آب و مصرف زئولیت بر صفت هدایت الکتریکی ناشی از تخریب غشای سلولی تحت تیمار متانول به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد و همچنین اثر متقابل تنش کم‌آبی و مصرف

مربوط به تیمار آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار آبیاری شاهد بود. بیشترین نشت یونی سلول در بین سطوح مختلف مواد جاذب رطوبت مربوط به تیمار عدم مصرف مواد جاذب رطوبت با میانگین ۷۲۳۳ و کمترین نشت یونی سلول مربوط به تیمار کود دامی با میانگین ۵۷۵۹ بود (Farmahani et al., 2011). سطوح مختلف مصرف ژئولیت بر صفت محتوای آب اولیه، آب نهایی برگ و ناپایداری غشاء سلولی در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (Mirzakhani and Sibi, 2011).

سطح ویژه برگ پرچم نتایج نشان داد که اثر تیمار تنش کمبود آب، سطوح مختلف مصرف ژئولیت و اثر متقابل تنش کم آبی و مصرف ژئولیت بر صفت سطح ویژه برگ پرچم در سطح آماری یک درصد معنی دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی نشان داد که بیشترین مقدار سطح ویژه برگ پرچم با میانگین ۳/۰۹ سانتی‌متر مربع برگ گرم مربوط به تیمار آبیاری شاهد و کمترین مقدار آن با میانگین ۲/۰۵ سانتی‌متر مربع برگ گرم مربوط به تیمار تنش کم آبی شدید (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود.

مصرف ژئولیت باعث افزایش سطح تولید، افزایش راندمان مصرف آب، افزایش سطح برگ و تأخیر صدمات ناشی از بروز تنش کم آبی شد (Akbari, 2008). در شرایط تنش کم آبی به دلیل کاهش سطح برگ پرچم، تجمع کلروفیل افزایش می‌یابد، اما به علت تعرق بالا، گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای نسبی آب و به دنبال آن فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد. با کاهش فتوسنتز و کلروفیل و محدود شدن اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی، وزن آن‌ها کاهش یافته که این امر منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Shamsi-Pour et al., 2010).

از آنجا که برگ پرچم در گندم جزء آخرین اندام‌هایی از گیاه است که تشکیل می‌شود و تا آخر عمر گیاه سبز بوده و قادر به انجام فتوسنتز است، بنابراین سطح ویژه برگ پرچم در افزایش توان فتوسنتزی گیاه و پر نمودن دانه‌ها در سنبله نقش موثری دارد. با توجه به اینکه بیشتر بودن سطح ویژه برگ به کمتر بودن ضخامت برگ و کمتر بودن سطح ویژه برگ به معنای ضخیم‌تر بودن برگ است. بنابراین وسعت بیشتر سطح برگ گندم در تیمار آبیاری شاهد باعث افزایش سطح فتوسنتز کننده برگ‌های گیاه شده است، که

که در بین سطوح مختلف تنش کم آبی، بیشترین و کمترین هدایت الکتریکی سلول با میانگین ۳۲۷۹ و ۲۷۶۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ترتیب مربوط به تیمار تنش شدید کم آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) و آبیاری معمول (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و در بین سطوح مختلف مصرف ژئولیت، بیشترین و کمترین هدایت الکتریکی سلول با میانگین ۳۲۳۹ و ۲۹۱۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ترتیب مربوط به تیمار عدم مصرف و مصرف ۹ تن ژئولیت در هکتار بود (Mirzakhani and Sibi, 2010).

هدایت الکتریکی تیمار استون (۳ ساعت) اثر تنش کمبود آب بر صفت هدایت الکتریکی ناشی از تخریب غشای سلولی توسط تیمار استون در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). از آن جایی که بخش اعظمی از غشاء سلول‌های گیاهی را پروتئین‌ها و لیپیدها تشکیل داده‌اند، متانول به عنوان یکی از حلال‌های آلی می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی و تخریب غشاء سلول‌های گیاهی شود. در جدول مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی ناشی از تخریب غشای سلولی توسط تیمار استون با میانگین ۲۸۱۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربوط به تیمار تنش کمبود آب شدید (تیمار آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) و کمترین مقدار آن با میانگین ۲۱۵۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که ژئولیت نتوانسته است تأثیر مثبت معنی‌داری در حفظ و پایداری بیشتر غشای سلول‌های گیاهی ایفا نماید. هر چند مصرف ۹ تن در هکتار ژئولیت باعث کاهش هدایت الکتریکی تیمار ناشی از استون به میزان ۵/۳۷ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف ژئولیت شد.

محققان گزارش نمودند که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و مصرف سوپرجاذب‌ها بر پایداری غشاء سلولی در سطح آماری یک درصد معنی دار بودند، به طوری که بیشترین و کمترین ناپایداری غشاء سلولی با میانگین ۸۲/۰۹ و ۸۰/۶۳ درصد به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس a بود (Khadem et al., 2010). در بین سطوح مختلف تیمار آبیاری، بیشترین نشت یونی سلول با میانگین ۶۹۶۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و کمترین نشت یونی سلول با میانگین ۶۲۰۸ به ترتیب

و کمترین مقدار آنبا میانگین ۱۲/۴۹ مربوط به تیمار تنش شدید کم‌آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود. تعداد سنبلچه در واحد طول سنبله که معادل تراکم سنبله بیان می‌شود، در واقع نشان دهنده وضعیت رشد رویشی مناسب گیاه و عدم وجود هرگونه عامل نامساعد محیطی می‌باشد. بنابراین با کاهش مقدار آب آبیاری، تعداد سنبلچه در سنبله به عنوان یکی از مهمترین اجزاء عملکرد دانه گندم تحت تأثیر قرار گرفته و باعث کاهش تراکم سنبله خواهد شد. در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، مصرف نه تن در هکتار زئولیت با میانگین ۱۵/۶۲ و تیمار عدم مصرف زئولیت با میانگین ۱۴/۱۶ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار تراکم سنبله را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

در نتیجه موفق‌تر از برگ‌هایی که دارای سطح ویژه برگ پرچم پایین‌تری بوده‌اند، عمل نموده‌اند. در مقایسه میانگین اثرات متقابل، تیمار (آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبیاری گیاه + مصرف شش تن زئولیت در هکتار) با میانگین ۳/۴۵۳ سانتی متر مربع برگرم و تیمار (آبیاری معمول + مصرف سه زئولیت در هکتار) با میانگین ۱/۴۱۳ سانتی متر مربع برگرم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار سطح ویژه برگ پرچم را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

تراکم سنبله تراکم سنبله تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کمبود آب و اثر متقابل تنش کم‌آبی و سطوح مصرف زئولیت قرار گرفت و در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تراکم سنبله با میانگین ۱۶/۹۲ مربوط به تیمار آبیاری شاهد

جدول ۳. میانگین و مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه گندم تحت تأثیر تنش کم‌آبی و مصرف زئولیت

Table 3. Mean comparison of wheat traits under water stress and zeolite application.

| شاخص برداشت (درصد) | عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | تراکم سنبله | سطح ویژه برگ (سانتیمترمربع بر گرم) | هدایت الکتریکی استون (۳ ساعت) (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | هدایت الکتریکی متانول (۱۲ ساعت) (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | میزان کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم بافت گیاهی) | شاخص برداشت (درصد) |
|-----------------------------|--|------------------------------------|---------------|--|--|--|---|--------------------|
| Harvest index (%) | Biological yield of plant (kg ha ⁻¹) | Grain Yield (kg ha ⁻¹) | Spike density | Leaf special area (cm ² g ⁻¹) | Electrical conductivity of aseton (μs cm ⁻¹) | Electrical conductivity of methanol (μs cm ⁻¹) | Chlorophyll b concentration (mg g ⁻¹) | Harvest index (%) |
| تنش کم‌آبی | | | | | | | | |
| Water stress | | | | | | | | |
| I ₀ [†] | 13870 a | 5193 a | 16.92 a | 3.094 a | 2154 b | 2835 b | 0.598 a | 38.56 b |
| I ₁ | 13140 a | 4989 a | 15.19 b | 2.758 a | 2169 b | 3150 a | 0.546 b | 38.68 b |
| I ₂ | 9941 b | 4467 b | 15.05 b | 2.197 b | 2778 a | 3257 a | 0.537 b | 45.79 a |
| I ₃ | 7616 c | 3330 c | 12.49 c | 2.052 b | 2813 a | 3306 a | 0.517 b | 44.80 a |
| سطوح مصرف زئولیت | | | | | | | | |
| Zeolite levels | | | | | | | | |
| Z ₀ | 9597 b | 4078 c | 14.16 b | 2.137 b | 2398 a | 3368 a | 0.538 a | 43.73 a |
| Z ₁ | 11390 a | 4407 b | 14.81 ab | 2.313 b | 2408 a | 3339 a | 0.551 a | 41.28 a |
| Z ₂ | 11250 a | 4593 b | 15.07 ab | 2.928 a | 2551 a | 3011 ab | 0.547 a | 41.38 a |
| Z ₃ | 12330 a | 4901a | 15.62 a | 2.723 a | 2557 a | 2829 b | 0.561 a | 41.44 a |

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using Duncan multiple test.

[†] تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: I₀ آبیاری معمول (شاهد)، I₁، I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری بر اساس ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه و Z₀، Z₁ و Z₂ به ترتیب عدم مصرف زئولیت و مصرف زئولیت به میزان ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار.

[†] I₀: control, I₁, I₂ and I₃ are irrigation based on 85, 70 and 55 percent of plant water requirement, respectively. Z₀: non-zeolite, Z₁, Z₂ and Z₃ are 3, 6 and 9 ton.ha⁻¹ zeolite application, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه گندم تحت تأثیر اثر متقابل تنش کم آبی و مصرف زئولیت.

Table 4. Means comparison of wheat traits as affected by interaction of water stress and zeolite application.

| تیمار Treatment | میزان کلروفیل | میزان کلروفیل | هدایت الکتریکی | سطح ویژه | تراکم | عملکرد | عملکرد | شاخص |
|-------------------------------|---|---|--|---|------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|
| | a (میلی گرم بر گرم بافت گیاهی) | b (میلی گرم بر گرم بافت گیاهی) | (متانول ۱۲ ساعت) (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | برگ (سانتیمتر مربع بر گرم) | سنبله | دانه (کیلوگرم در هکتار) | بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) | برداشت (درصد) |
| | Chlorophyll a concentration (mg g ⁻¹) | Chlorophyll b concentration (mg g ⁻¹) | Electrical conductivity of methanol ($\mu\text{s cm}^{-1}$) | Leaf special area (cm ² g ⁻¹) | Spike density | Grain Yield (kg ha ⁻¹) | Biological yield of plant (kg ha ⁻¹) | Harvest index (%) |
| I ₀ Z ₀ | 1.194 b-d | 0.620 a-c | 3703 a | 3.143 ab | 19.12 a | 4108 ef | 9480 d-f | 43.30 a-e |
| I ₀ Z ₁ | 1.256 a-d | 0.607 a-d | 2972 a-d | 2.890 bc | 14.89 cd | 5018 bc | 15630 ab | 33.33 e |
| I ₀ Z ₂ | 1.259 a-d | 0.550 b-e | 2213 d | 3.453 a | 15.73 b-d | 5527 ab | 13150 bc | 42.10 a-e |
| I ₀ Z ₃ | 1.478 a | 0.614 a-c | 2450 cd | 2.860 bc | 17.96 ab | 6117 a | 17240 a | 35.50 e |
| I ₁ Z ₀ | 1.231 a-d | 0.534 c-f | 2553 b-d | 1.942 ef | 16.16 a-d | 4492 c-e | 11920 cd | 39.53 c-e |
| I ₁ Z ₁ | 1.212 b-d | 0.403 g | 3553 a | 2.650 b-d | 13.54 d-f | 4572 c-e | 11570 cd | 40.17 b-e |
| I ₁ Z ₂ | 1.208 b-d | 0.623 a-c | 3133 a-c | 2.990 ab | 14.62 c-e | 5959 a | 15220 ab | 39.17 c-e |
| I ₁ Z ₃ | 1.358 ab | 0.624 a-c | 3360 ab | 3.450 a | 16.44 a-d | 4932 b-d | 13840 bc | 35.87 e |
| I ₂ Z ₀ | 1.341 a-c | 0.548 b-e | 3713 a | 1.752 f | 13.78 d-f | 4315 de | 9933 de | 43.40 a-e |
| I ₂ Z ₁ | 1.247 a-d | 0.508 d-f | 3273 a-c | 1.413 f | 18.89 a | 4937 b-d | 12080 cd | 40.97 a-e |
| I ₂ Z ₂ | 1.278 a-d | 0.437 fg | 3073 a-c | 2.893 bc | 16.47 a-d | 3630 fg | 7810 ef | 47.37 a-d |
| I ₂ Z ₃ | 1.084 d | 0.654 ab | 2967 a-d | 2.430 c-e | 11.06 f | 4987 bc | 9940 de | 51.43 a |
| I ₃ Z ₀ | 1.095 cd | 0.450 e-g | 3503 a | 1.711 f | 7.57 g | 3397 g | 7056 ef | 48.70 a-c |
| I ₃ Z ₁ | 1.302 a-d | 0.688 a | 3556 a | 2.000 ef | 11.91 ef | 3100 g | 6285 f | 50.63 ab |
| I ₃ Z ₂ | 1.249 a-d | 0.577 b-d | 3625 a | 2.343 de | 13.45 d-f | 3256 g | 8827 d-f | 36.90 de |
| I ₃ Z ₃ | 1.091 cd | 0.353 g | 2540 b-d | 2.153 d-f | 17.04 a-c | 3568 fg | 8296 ef | 42.97 a-e |

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using Duncan multiple test.

† تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: I₀ آبیاری معمول (شاهد)، I₁، I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری بر اساس ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه و Z₀، Z₁ و Z₂ و Z₃ به ترتیب عدم مصرف زئولیت و مصرف زئولیت به میزان ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار.

† I₀: control, I₁, I₂ and I₃ are irrigation based on 85, 70 and 55 percent of plant water requirement, respectively. Z₀: non-zeolite, Z₁, Z₂ and Z₃ are 3, 6 and 9 ton.ha⁻¹ zeolite application, respectively.

تعداد آن با میانگین ۱۴/۹۷ عدد به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری شاهد و آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. همچنین بیشترین تعداد سنبله در سنبله در بین تیمار-های مواد جاذب رطوبت مربوط به تیمار (مصرف ۲ تن بنتونیت + مصرف ۱۵ تن کود دامی در هکتار) با میانگین ۱۶/۱۰ عدد و کمترین تعداد آن مربوط به تیمار عدم مصرف مواد جاذب رطوبت با میانگین ۱۳/۲۴ عدد بود (Farmahini et al., 2011).

عملکرد دانه عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کم آبی، مصرف زئولیت و اثر متقابل تنش کم آبی و مصرف زئولیت قرار گرفت و در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۵۱۹۳ کیلوگرم در هکتار

در ارزیابی تنش کم خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی ارقام گندم اظهار شد که تعداد سنبله در سنبله اصلی که مبین تراکم سنبله نیز هست، در شرایط معمول و تنش کم آبی تفاوت معنی‌داری داشت. به طوری که بیشترین و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۷ و ۱۵ عدد به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری معمول و تنش کم آبی بود (Mohammadi et al., 2006). همچنین پژوهشگران دیگر در بررسی سه سطح آبیاری (شاهد، تنش کم آبی ملایم و تنش کم شدید) گزارش نمودند که رقم فونگ با میانگین ۱۹ و رقم گرین با میانگین ۱۶ عدد به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد سنبله در هر سنبله را به خود اختصاص دادند (Bakhshandeh et al., 2003). برخی از محققان نیز گزارش نمودند که در بین سطوح مختلف آبیاری، بالاترین تعداد سنبله در سنبله با میانگین ۱۵/۶۸ عدد و کمترین

آبی گیاه) بود. همچنین در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، بیشترین و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۸۷۹ و ۱۶۴۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مربوط به تیمار مصرف ۹ تن زئولیت در هکتار و عدم مصرف زئولیت بود (Mirzakhani and Sibi, 2011). در بررسی سه سطح آبیاری (شاهد، تنش کم‌آبی ملایم و تنش کم‌آبی شدید) گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۶۰۲۱ کیلوگرم در هکتار توسط رقم چمران در تیمار آبیاری نرمال و کمترین آن با میانگین ۳۱۷۸ کیلوگرم در هکتار توسط رقم فونگ در تیمار تنش کم آبی شدید بدست آمد (Bakhshandeh et al., 2011). سایر محققان بیان داشتند که هرچه تعداد سنبلچه در خوشه بیشتر باشد تعداد دانه بیشتر و در نتیجه عملکرد کل افزایش می‌یابد. پس مصرف کودهای جاذب رطوبت می‌تواند به افزایش عملکرد دانه کمک نماید. بنتونیت با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت بسترهای کاشت باعث جلوگیری از تنش رطوبتی شده و در فاصله بین دو محلول رسانی باعث ایجاد حالت بافری در بسترها شده و با کاهش اثر تنش کم رطوبتی مانع کاهش رشد گیاهان خواهد شد (Aghdak et al., 2010).

عملکرد بیولوژیکی گیاه اثر تنش کمبود آب و سطوح مختلف مصرف زئولیت بر صفت عملکرد بیولوژیکی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی، عملکرد بیولوژیکی گیاه در تیمار آبیاری شاهد نسبت به تیمار آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه، حدود ۸۲ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۳). هرگاه گیاهان در جذب آب مورد نیاز خود هیچگونه محدودیتی نداشته باشند، رشد رویشی و تولید سطح سبز خود را افزایش می‌دهند و به دنبال آن مقدار کربوهیدرات تولیدی توسط اندام‌های سبز گیاه افزایش زیادی خواهد داشت و عملکرد بیولوژیکی گیاه نیز به بالاترین مقدار خود خواهد رسید. در این آزمایش مصرف مقادیر بیشتر زئولیت توانست با توانایی که در جذب و نگهداری رطوبت مازاد در خاک را دارد، دامنه نوسانات پراپی خاک (۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از هر بار آبیاری مزرعه که شرایط غرقابی و کمبود اکسیژن در محیط ریشه گیاه حاکم است) و کم آبی (با توجه به بافت خاک، دما، نحوه کاشت و مقدار ماده آلی موجود در خاک ۶-۵ روز پس از هر آبیاری) که هر دو حالت برای رشد و نمو گیاه شرایط نامطلوبی

مربوط به تیمار آبیاری شاهد و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۳۳۳۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تنش شدید کم‌آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود. مشاهده شد که با کاهش مقدار آب آبیاری، تعداد دانه در سنبله به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه گندم تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش محسوسی داشت. بدین ترتیب با کاهش برخی از اجزای عملکرد دانه، عملکرد دانه در هکتار نیز کاهش معادل ۳۵/۸۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) را داشت. مقدار نوسانات عملکرد دانه، در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، شدید نبود. به طوری که میانگین کاهش عملکرد دانه ناشی از تیمار عدم مصرف زئولیت، معادل ۱۶/۷۹ درصد تیمار مصرف نه تن در هکتار زئولیت بود، به طوری که مصرف نه تن در هکتار زئولیت با میانگین ۴۹۰۱ و تیمار عدم مصرف زئولیت با میانگین ۴۰۷۸ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

سایر محققان گزارش نمودند که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و مصرف سوپرژاذب‌ها بر عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۲/۴۳ و ۱۱/۰۳ تن در هکتار به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۱۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک کلاس A بود. همچنین در بین سطوح مختلف مصرف پلیمر جاذب الرطوبت و کود دامی، بیشترین و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۲/۴۹ و ۱۰/۷۷ به ترتیب متعلق به تیمار (مصرف ۳۵ درصد پلیمر جاذب الرطوبت + مصرف ۶۵ درصد کود دامی) و تیمار (عدم مصرف پلیمر جاذب الرطوبت + کود دامی) بود (Khadem et al., 2010). در ارزیابی تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیکی ارقام گندم اظهار شد که عملکرد دانه تک بوته در شرایط نرمال و تنش کم آبی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و بیشترین و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۰/۱ و ۵ گرم به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری نرمال و تنش کم آبی بود. به طوری که این تفاوت ۵۰/۳۷ درصد نسبت به شاهد می‌باشد (Mohammadi et al., 2011). محققان دیگر گزارش نمودند که در بین سطوح مختلف تنش کم‌آبی، بیشترین و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۲۰۴۰ و ۱۵۶۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری نرمال (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش کم شدید آبی (آبیاری بر اساس ۵۵ درصد نیاز

درصد کود دامی) و تیمار (عدم مصرف پلیمر جاذب الرطوبت و کود دامی) بود (Khadem et al., 2010).

شاخص برداشت گیاه تیمار تنش آبی و اثر متقابل تنش آبی و مصرف زئولیت بر شاخص برداشت به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شدند (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها بیشترین شاخص برداشت با میانگین $44/80$ درصد مربوط به تیمار تنش آبی شدید (آبیاری بر اساس 55 درصد نیاز آبی گیاه) و کمترین آن با میانگین $38/56$ درصد مربوط به تیمار آبیاری بدون تنش (شاهد) بود (جدول ۳). در این آزمایش به دلیل اینکه تنش کمبود آب از ابتدای دوره رشد گیاه اعمال شد، بنابراین با افزایش شدت تنش کمبود آب، مقدار رشد رویشی و سبزینه‌ای گیاه نیز کاهش قابل توجهی یافت. در چنین مواقعی معمولاً به دلیل کاهش وزن قسمت‌های رویشی گیاه و وضعیت نسبتاً مناسب واحدهای زایشی گیاه، افزایش شاخص برداشت دانه را شاهد خواهیم بود. در بررسی اثر تنش خشکی شدید و ملایم در زئوتیپ‌های گندم گزارش نمودند که در بین سطوح مختلف تنش خشکی، تیمار شاهد و تنش شدید با میانگین $39/55$ و $34/44$ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت دانه را به خود اختصاص دادند، به طوری که کاهش شاخص برداشت دانه در تنش شدید و ملایم نسبت به تیمار شاهد $6/7$ و $12/9$ درصد بوده است (Dastfal et al., 2011). نتایج تحقیقی نشان داد که بین سطوح مختلف تیمار تنش آبی از نظر شاخص برداشت دانه اختلاف آماری معنی داری در سطح پنج درصد مشاهده شد، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار شاخص برداشت دانه با میانگین $52/48$ و $28/26$ درصد به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری پس از تخلیه 80 درصدی رطوبت از ابتدای مرحله طویل شدن ساقه‌ها تا پایان دوره رشد و تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد بود (Paknejad et al., 2008).

نتیجه‌گیری

با افزایش شدت تنش کم آبی، به دلیل محدودیت‌هایی که در جذب آب و مواد غذایی برای گیاه بوجود می‌آید، موجب کاهش رشد گیاه می‌شود. بنابراین یافتن راهکارهایی که بتوانند محدودیت ناشی از تنش آبی را کاهش دهند، بسیار مناسب خواهند بود. در این آزمایش صفات میزان کلروفیل

هستند، را کاهش دهد و با ایفای این نقش مهم، باعث فراهم شدن شرایط یکنواخت تری از نظر دسترسی گیاه به رطوبت مطلوب در خاک شود. با افزایش مصرف زئولیت از صفر به سه، شش و نه تن در هکتار به ترتیب عملکرد بیولوژیکی نیز از 9597 ، به 11390 ، 11250 و 12330 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (جدول ۳).

محققان در بررسی اثر تنش خشکی شدید و ملایم در زئوتیپ‌های گندم گزارش نمودند که در بین سطوح مختلف تنش خشکی، تیمار شاهد و تنش کم آبی شدید با میانگین 12330 و 8360 کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی گیاه را به خود اختصاص دادند. به طوری که کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه در تنش کم آبی شدید و ملایم نسبت به تیمار شاهد $16/4$ و $32/2$ درصد بوده است (Dastfal et al., 2011). بین سطوح مختلف تیمار تنش کم آبی از نظر عملکرد بیولوژیکی اختلاف آماری معنی داری در سطح یک درصد مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیکی با میانگین 13766 و 8448 کیلوگرم در هکتار به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری شاهد و آبیاری پس از تخلیه 80 درصدی رطوبت از ابتدای مرحله طویل شدن ساقه‌ها تا پایان دوره رشد بود (Paknejad et al., 2008).

سایر پژوهشگران در بررسی سه سطح آبیاری (شاهد، تنش کم آبی ملایم و تنش کم آبی شدید) گزارش نمودند که بیشترین عملکرد بیولوژیکی با میانگین 15920 کیلوگرم در هکتار توسط رقم چمران در تیمار آبیاری معمول و کمترین آن با میانگین 9097 کیلوگرم در هکتار توسط رقم استورک در تیمار تنش کم آبی شدید بدست آمد (Bakhshandeh et al., 2003). سایر محققان نیز گزارش نمودند که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و مصرف سوپر جاذب‌ها بر عملکرد بیولوژیکی گیاه ذرت در سطح آماری یک درصد معنی دار بودند. به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی گیاه با میانگین $29/40$ و $27/80$ تن در هکتار به ترتیب متعلق به تیمار آبیاری پس از 70 و 140 میلی متر تبخیر از تشتک کلاس a بود. همچنین در بین سطوح مختلف مصرف پلیمر جاذب الرطوبت و کود دامی، بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی گیاه با میانگین $29/96$ و $27/50$ تن در هکتار به ترتیب متعلق به تیمار (مصرف 35 درصد پلیمر جاذب الرطوبت + مصرف 65

ژئولیت باعث افزایش ۲۰/۱۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف ژئولیت شد. بنابراین می‌توان گفت که مصرف ژئولیت اثرات سوء تنش کم آبی را بر گیاه کاهش داده و استفاده از مواد ذخیره کننده رطوبت از قبیل ژئولیت در شرایط تنش بر افزایش تحمل گیاه به کم آبی موثر واقع خواهد شد.

b. هدایت الکتریکی تیمار متانول (۱۲ ساعت)، هدایت الکتریکی تیمار استون (۳ ساعت)، سطح ویژه برگ، تراکم سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گیاه تحت تأثیر تیمار تنش آبی قرار گرفتند. همچنین مصرف ژئولیت باعث بهبود صفات هدایت الکتریکی تیمار متانول (۱۲ ساعت)، سطح ویژه برگ، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گیاه شد. به طوری که مصرف نه تن در هکتار

منابع

- Aghaee-Sarbarzeh, M., Rajabi, R., Haghdoost, R., Mohammadi, R., 2008. Evaluation and selection of bread wheat genotypes using physiological traits and drought tolerance indices. *Journal of Seed and Plant*. 24(3), 579-601. [In Persian with English Summary].
- Aghdak, M., Zamani, A., 2010. Effect of bentonite on vegetative growth and yield of green bean. *Journal of Sciences and Technology in Greenhouse Cropping*. 1(3), 23-35. [In Persian with English Summary].
- Akbari, M., 2008. Effect of zeolite and potassium on growth, water use efficiency and yield of sugar beet. M.Sc Thesis of in Agronomy. Faculty of Agriculture & Natural Resources, Islamic Azad University Arak Branch. [In Persian with English Summary].
- Alizadeh, A. Kamali, Gh., 2007. Plants Water Requirement in Iran. Astan Ghods Razavi Publications. 227p.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R. Khan, A. H. Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologica Plantarum*. 16, 185-190.
- Bakhshandeh, A.M., Fard. S., Naderi, A., 2003. Evaluation of grain yield, components and some agronomic characteristics of spring wheat genotype in water regime in Ahvaz. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi in Agronomy and Horticultural*. 61, 57-65. [In Persian with English Summary].
- Bandurska, H., 2000. Does proline accumulated in leaves of water stressed barley plants confine cell membrane injury? I. Free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 22, 409-415.
- Behnia, M.R., 1997. Cold season cereals. Tehran University Publications. 610 pages.
- Blum, A., Ebercon, A., 1980. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sciencs*. 21, 43-47.
- Dastfal, M., Barati, V., Emam, Y., Hagigat-nia, H., Ramezan-pour, M., 2011. Evaluate of yield and component yield in wheat genotype in drought stress in Darab region. *Journal of Seed and Plant*. 27(2), 195-217. [In Persian with English Summary].
- Delperee, C., Kinter, J.M., Lutts, S., 2003. Low irradiance modifies the effect of water on survival and growth related parameter during the early development stages of buck wheat. *Physiologica Plantareum*. 119, 211-220.
- Emam, Y., 2005. Cereal Production. Shiraz University Press. 190p.
- Farmahini, M., Mirzakhani, M., Sajedi, N.A., 2011. Effect of water deficit stress and application of material humidity absorbent on physiological and agronomy traits of Alvand wheat. Thesis of M.Sc in Agronomy. Faculty of Agriculture & Natural Resources, Islamic Azad University, Arak Branch. [In Persian with English Summary].
- Gol-Abadi, M., Arzani, A., Mirmohammadi Meibodi, S.A.M., 2008. Evaluation of influence of late-season moisture stress on yield and morpho-physiological characteristics of F3 family of durum wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*.

- 6(2), 405-418. [In Persian with English Summary].
- Kaydan, D., Yagmur, M., Okut, N. 2007. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Dergisi*. 13(2), 114-119.
- Kardavani, P., 1999. Arid zone I. Climatic characteristics, causes of aridity, water problem, etc. Tehran University Press. 349p.
- Khadem, S.A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S.R., Roustaa, M.J., Rezvan-moghadam, P., 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science*. 4(8), 642-647.
- Maghsoudi Moud, A.A., Yamagishi, T., 2005. Application of projected pollen area response to drought stress to determine osmoregulation capability of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*. 4, 604-615.
- Mohsina, H., Yasin Ashraf, M., Rehman, KH., Arashad, M., 2008. Influence of salicylic acid seed priming on growth and some biological attributes in wheat grown under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 40(1), 361-367.
- Mirzakhani, M., Sibi, M., 2010. Response of safflower physiological traits to water stress and zeolite application. The Proceedings of 2nd Iranian National Congress on Agricultural and Sustainable Development. Islamic Azad University, Shiraz Branch. 1-10, [In Persian with English Summary].
- Mirzakhani, M., 2011. Effect of water stress and zeolite application on yield and components yield of winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.). The Proceedings of 1st National Congress on New Concepts in Agriculture. Islamic Azad University, Saveh Branch. [In Persian with English Summary].
- Mohammadi, A., Majidi-Haravan, A., Bihamta, M.R., Heydari-Sharifabad, H., 2006. Evaluation of drought stress on morphological- agronomy traits in wheat cultivars. *Pajooresh and Sazandegi in Agronomy and Horticultural*. 73(3), 184-192. [In Persian with English Summary].
- Mumpton, F.A., 1999. La roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. *National Academy of Sciences*. 96, 3467-3470.
- Niknam, N., 2005. Effect of water stress on grain yield and some of morphological characteristics in wheat genotypes. *Goodarz Product Company*. [In Persian].
- Paknejad, F., Jami-Alahmadi, M., Pazouki, A.R., Nasri, M., 2008. Investigation of the drought stress effects on yield and yield component in wheat cultivars. *Environment Stress in Agricultural Sciences*. 1(1), 1-15. [In Persian with English Summary].
- Polat, E.M., Karaca, Demir, H., Nacio Onus, A., 2004. Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornamental and Plant Research*. 12, 183-189.
- Richard, E., Bergman, J., 1997. Safflower seed yield and oil content as affected by water and N. fertilizer facts. *Land Resources and Environmental Sciences Dept and Eastern Agricultural Research Center, Montana State University*. Number 14.
- Richards, R.A., 2004. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water scarce environments. In *New directions for a Diverse Plant*. Proceedings of the 4th International Crop Sciences Congress. 26 Sep. to 1 Oct, 2004. Brisban, Australia.
- Royo, C., Abaza, M., Blanco, R., Garcia del Moral, L.F., 2000. Triticale grain growth and development as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Australian Journal of Plant Physiology*. 27(1), 1051-1059.
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., Fujita, K., 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*. 52(2), 131-138.
- Shamsi-pour, M., Fotovat, R., Jabari, F., 2010. Relative between of chlorophyll index and wheat grain yield under drought stress. *Journal Science of Crops Ecological*. 2(1), 15-25. [In Persian with English Summary].
- Sibi, M., Mirzakhani, M., Gomarian, M., 2011. Effect of water stress, application zeolite and salicylic acid on un-sustainability of cell membrane in spring safflower. The Proceedings of 12th Iranian Soil Sciences

- Congress.Tabriz University.1-6. [In Persian with English Summary].
- Venkateswarlu, B., Ramesh, K., 1993. Cell membrane stability and biochemical response of cultured cells of groundnut under polyethylene glycol-induced water stress. *Plant Science*. 90 (2), 179-185.
- Verslues, P.E., Bray, E.A., 2004. LWR1 and LWR2 are required for osmoregulation and osmotic adjustment in *Arabidopsis*. *American Society of Plant Physiology*. 136 (1), 2831-2842.