تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3711.1902

مقاله پژوهشی

اثر دیاتومیت بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

غلامرضا زمانی[۱،۲]، داوود قطبی‌نژاد[۳]، محمدحسن سیاری[۱،۲]، زهره نبی‌پور[۴*]

۱. دانشیار دانشگاه، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند
۳. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴. دکتری تخصصی زراعت، ایستگاه تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گناباد، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گناباد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
ارتفاع ساقه
تنش رطوبتی
سوپر جاذب
محتوی نسبی رطوبت برگ

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۱/۰۱

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۱۶۱-۱۷۲

چکیده

کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش عملکرد گیاهان زراعی است. در این راستا به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد دیاتومیت بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد نخود تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در شهر خواف انجام شد. عامل اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری شامل پنج سطح (دیم، آبیاری کامل، یک نوبت آبیاری فقط در مرحله رویشی، یک نوبت آبیاری فقط در مرحله زایشی، دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی) و عامل فرعی مقادیر دیاتومیت در سه سطح (صفر، ۳/۵ تن در هکتار و ۷ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد که تغییر رژیم آبیاری از آبیاری کامل به دیم موجب کاهش در صفات کمّی موردبررسی شد. کاربرد دیاتومیت تحت رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری تمامی صفات مورد ارزیابی و عملکرد دانه را افزایش داد. به‌طوری‌که بر اساس نتایج اثرات متقابل کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به تیمار عدم کاربرد دیاتومیت به ترتیب باعث افزایش ۲۹، ۲۹، ۷۷ و ۳۹ درصدی عملکرد دانه در رژیم‌های آبیاری شامل دیم، آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی، دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی شد و با تیمار کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت در یک گروه آماری قرار گرفت؛ بنابراین می‌توان گفت کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت مناسب‌ترین مقدار در افزایش عملکرد نخود تحت رژیم دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی است. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد دیاتومیت به مقدار ۳/۵ تن در هکتار در شرایط کمبود آب از طریق کاهش اثرات سوء ناشی از کمبود رطوبت، باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گیاه نخود شد.

مقدمه

نخود (*Cicer arientinum*)، یکی از اولین بقولات دانه‌ای است که در دنیای قدیم اهلی‌شده و در حال حاضر در ۴۸ کشور جهان با سطحی بیش از ۱۱ میلیون هکتار و تولیدی بیش از ۸ میلیون تن کشت می‌شود (Mansourifar et al., 2012). با توجه به جایگاه این محصول در سبد تغذیه خانوار و اثر آن بر اقتصاد کشاورزی، پژوهش‌های بسیاری درزمینه تأثیر انواع تنش‌های زیستی و غیر زیستی بر رشد و تولید این گیاه صورت گرفته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش، خشکی به‌تنهایی عملکرد نخود را تا ۴۵ درصد کاهش می‌دهد. کاهش میزان آب تا ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک موجب کاهش فتوسنتز در

* نگارنده پاسخگو: زهره نبی پور. پست الکترونیک: zohreh.nabipour@yahoo.com

مراحل گلدهی و پر شدن دانه در نخود می‌گردد (Goodarzvand et al., 2018).

کاهش رشد از علائم بارز گیاه در مواجه با تنش رطوبتی است؛ در شرایط تنش رطوبتی پتانسیل آب برگ و فشار تورژسانس سلولی که لازمه رشد سلول‌ها و بافت گیاه است، کاهش یافته و تنش‌های شدید خشکی باعث ممانعت از فتوسنتز، اختلال در متابولیسم، انتقال مواد و درنهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Abhari and Haresabadi, 2017). تنش رطوبتی از توسعه سلول و به دنبال آن رشد و افزایش ارتفاع گیاه و تولید شاخه‌های فرعی ممانعت می‌کند (Anwar et al., 2003). بر اساس نتایج آزمایش‌ها تنش کمبود آب، اثرات فیزیولوژیک مختلفی بر گیاه می‌گذارد که نوع و میزان خسارت به‌شدت تنش و مقاومت گیاه بستگی دارد (Khazai and kafi, 2003). عکس‌العمل گیاه در برابر تنش آبی با فعالیت متابولیکی، مورفولوژیکی، مرحله رشد و پتانسیل عملکرد گیاه در ارتباط است (Anwar et al., 2003).

یکی از راهکارهایی که در بخش کشاورزی جهت کاهش اثرات سوء تنش رطوبتی موردتوجه قرارگرفته، استفاده از سوپر جاذب‌هاست. سوپر جاذب‌ها به‌صورت ماده افزودنی به خاک به‌عنوان مخزن عناصر غذایی و جاذب آب از طریق افزایش ظرفیت نگه‌داری و جذب آب در خاک مورداستفاده قرار می‌گیرند و این خصوصیت برای مقابله با شرایط کم‌آبی و کاهش اثرات سوء تنش رطوبتی در گیاهان زراعی اهمیت بسزایی دارد (Abhari and Haresabadi, 2017). دیاتوم‌ها متنوع‌ترین گروه فیتوپلانگتون‌ها هستند که اندازه آن‌ها از چند میکرومتر تا چند میلی‌متر است و به دو ساختار تک‌سلولی یا زنجیره‌ای وجود دارد (Kooistra et al., 2007). همه دیاتوم‌ها دارای دیواره سلول‌های سیلیسی هستند که از اسید سیلیسیک پلیمریزه شده (بیوژنیک) ساخته‌شده است؛ اما در بین گونه‌های مختلف دیاتوم‌ها تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای ازنظر مقدار سیلیسیم وجود دارد (Hanan et al., 2014). دیاتومیت نوعی سنگ نرم سیلیسی است که از بقایای فسیل باقیمانده از دیاتوم‌ها تشکیل می‌شود؛ این ماده حاوی ۸۰-۹۰ درصد سیلیس (SiO_2) بسیار محلول است که به‌راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد (Abdalla, 2011). بر اساس گزارش‌ها دیاتومیت می‌تواند هدایت الکتریکی را افزایش دهد و از طریق تأثیر بر اسیدیته خاک محتوی پتاسیم و فسفر قابل‌دسترس در خاک را افزایش دهد، بنابراین به‌عنوان یک کود مناسب در تولید گیاهان زراعی نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد (Sayyari Zahan et al., 2015). همچنین اثر افزایشی کاربرد دیاتومیت بر رشد و عملکرد چندین گونه گیاهی ازجمله باقلا (Abdalla, 2011)، توت‌فرنگی (Angin et al., 2011)، گندم (Basha et al., 2013)، برنج (Sandhya et al., 2018) و گل میمونی (Badawy et al., 2015) نیز گزارش‌شده است. آنگین و همکاران (Angin et al., 2011) گزارش کردند که دیاتومیت همانند سایر سوپر جاذب‌ها باعث بهبود ساختار فیزیکی خاک‌های سنگین از طریق افزایش منافذ متوسط و کوچک، اثر مثبت بر حرکت کاپیلاری و حرکت فرعی آب و در نتیجه افزایش قدرت نگه‌داری آب می‌شود و از این طریق آبشویی و رواناب را به حداقل می‌رساند، بنابراین در این شرایط گیاه می‌تواند محدوده توسعه ریشه و به دنبال آن توانایی دستیابی گیاه به آب و مواد غذایی را افزایش دهد و از طرف دیگر به دلیل ساختار شبکه‌ای دیاتومیت اکسیژن قادر است بدون هیچ مشکلی در ناحیه ریشه گیاه نفوذ کند.

بااین‌وجود غلظت SiO_2 در دیاتومیت ممکن است یکی از عواملی باشد که در بسیاری از گونه‌های گیاهی موردمطالعه در افزایش رشد نقش داشته است (Hajirasouli, 2018). سیلیسیم حتی اگر به‌عنوان یک عنصر اساسی برای رشد گیاه ذکر نشده باشد ولی بر اساس مطالعات انجام‌شده در گونه‌های گیاهی مختلف باعث کاهش اثرات ناشی از انواع تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود (Ahmadi and Hadad, 2011). در تحقیقی به بررسی اثر دیاتومیت در شرایط تنش رطوبتی بر روی ارزن معمولی پرداخته شد. بر اساس نتایج این تحقیق در شرایط مزرعه برای حصول بیشترین عملکرد ماده خشک مصرف ۸ تن دیاتومیت در هکتار و آبیاری در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی می‌تواند مناسب باشد (Hajirasouli, 2018). نتایج مطالعه دیگری با بررسی اثرات سه رژیم آبیاری (بدون تنش، افزایش دو روز فواصل بین آبیاری، افزایش چهار روز فواصل بین آبیاری) و کاربرد دیاتومیت به مقدار ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک بر روی باقلا نشان داد کاربرد دیاتومیت در گیاهان تحت تنش رطوبتی شدید باعث بهبود پارامترهای رشد مانند طول ریشه و ساقه، قطر ساقه، وزن‌تر و خشک ساقه و تعداد غلاف در بوته شده است (Abdalla, 2011). در همین راستا در پژوهش دیگری بر گیاه نعنا مشخص شد که کاربرد دیاتومیت به میزان ۴ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک تحت شرایط آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی می‌تواند باعث

افزایش ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک برگ‌ها و عملکرد روغن فرار شود (Hanan et al., 2014). اثرات تسکین‌دهنده دیاتومیت بر گیاهان تحت تنش رطوبتی مرتبط با قرارگیری سیلیسیوم موجود در ساختار این ترکیب در آوند چوبی و دیواره سلولی برگ‌ها و درنتیجه کاهش تعرق است (Hajirasouli, 2018).

با توجه به اهمیت گیاه نخود به‌عنوان یک منبع تأمین‌کننده پروتئین و از طرف دیگر صدمات جبران‌ناپذیر تنش رطوبتی بر عملکرد، اتخاذ روش‌هایی که بتواند سبب افزایش تحمل گیاه به تنش رطوبتی شود بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر دیاتومیت بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و نیز تعیین میزان مناسب دیاتومیت جهت رشد بهینه و درنتیجه حصول حداکثر عملکرد نخود تحت شرایط تنش رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۵ کیلومتری شهر خواف با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۷۰ متر از سطح دریا انجام شد. عامل اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری (هدایت الکتریکی آب آبیاری: ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر) شامل پنج سطح (دیم، آبیاری کامل، یک نوبت آبیاری فقط در مرحله رویشی، یک نوبت آبیاری فقط در مرحله زایشی، دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی) و عامل فرعی مقادیر دیاتومیت در سه سطح (صفر، ۳/۵ تن در هکتار و ۷ تن در هکتار) بود.

عملیات آماده‌سازی زمین، شامل شخم با گاوآهن قلمی در اوایل زمستان سال قبل جهت حفظ بهتر رطوبت خاک و استفاده از دیسک در بهار (قبل از کشت) برای تسطیح و خرد شدن کلوخه‌ها بود و برای تغذیه گیاه با توجه به نتایج تجزیه خاک مزرعه (جدول ۱) به ترتیب ۴۰، ۲۵ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منابع سولفات آمونیوم، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم محاسبه شد که قبل از عملیات دیسک و به‌صورت پیش کشت مورداستفاده قرار گرفت. سپس کرت‌ها با طول ۳ متر و عرض ۲ متر و یک راهروی ۲ متری در بین تکرارها در نظر گرفته شد. فاصله بین هریک از کرت‌های فرعی آزمایش ۰/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۱ متر در نظر گرفته شد. هر کرت دارای ۶ خط کشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم و به طول ۳ متر بود. در این آزمایش دیاتومیت در کنار پشته‌ها و در عمق ۲۰ سانتی‌متری (منطقه حداکثر تراکم ریشه) زیر بذر قرار گرفت. کشت به‌صورت دستی در پانزدهم اسفندماه با تراکم ۴۵ بوته در مترمربع و با عمق ۵ سانتی‌متری انجام شد. جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی بخصوص برق‌زدگی نخود، بذور با قارچ‌کش کاربندازیم با نسبت دو در هزار، ضدعفونی شد. در این آزمایش از توده بومی نخود منطقه خواف استفاده شد. بلافاصله بعد از کشت، اولین آبیاری (۱۶ اسفندماه) در همه تیمارها انجام گرفت. در طی دوره رشد، آبیاری بر اساس تیمارهای موردنظر اعمال شد و در تیمار آبیاری کامل، به مدار رایج منطقه، آبیاری هر ۱۵ روز یک‌بار انجام شد. جهت مبارزه با علف‌های هرز مزرعه در طی فصل رشد دو بار اقدام به وجین دستی با استفاده از نیروی کارگری شد. آبیاری در مراحل رویشی و زایشی در تیمارهای مربوطه نیز به ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ فروردین و ۲۵ اردیبهشت‌ماه صورت گرفت.

در طول دوره رشد رویشی طی پنج مرحله به فواصل زمانی دو هفته یک‌بار، از هر کرت سه بوته ابتدا به‌طور تصادفی انتخاب و با پارچه روبان رنگی علامت‌گذاری شد و تا پایان دوره از همین بوته‌ها به‌طور ثابت هر پانزده روز یک‌بار اندازه‌گیری‌ها برای ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه انجام شد. همچنین برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ نمونه‌برداری در اوایل گلدهی از آخرین برگ توسعه‌یافته انجام و بلافاصله وزن‌تر نمونه‌ها با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و پس از تمیز کردن با دستمال‌کاغذی وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و این برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوی نسبی آب برگ بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$RWC= (Fw – Dw / Sw – Dw) \times 100 \qquad [1]$$

که در آن Fw: وزن‌تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Sw: وزن اشباع برگ هستند.

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها در اوایل گلدهی از آخرین برگ توسعه‌یافته تعداد پنج عدد پانچ تهیه و در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. نمونه‌ها به مدت سه ثانیه به هم زده شد و سپس EC آن با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (EC1). بعد از گذشت ۱۲ ساعت مجدداً هدایت الکتریکی

قرائت (EC2) و میزان نشت الکترولیت‌ها طبق رابطه (۲) محاسبه و گزارش گردید.

$$EL\%=(EC1/EC2)\times 100 \quad [۲]$$

به‌منظور تعیین عملکرد دانه با حذف ردیف‌های حاشیه، در هر کرت از سطح معادل پنج مترمربع در انتهای فصل رشد، بوته‌ها از سطح خاک کف‌بر شده و پس از قرارگیری در کیسه-هایی جداگانه به آزمایشگاه منتقل شد. سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. دانه‌ها از سایر قسمت‌ها جدا و با توزین دانه‌ها، عملکرد دانه محاسبه شد.

داده‌های حاصل از این آزمایش، در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ۹,۴ نرمال سنجی شد و پس از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، تجزیه واریانس توسط همین نرم‌افزار انجام شد. مقایسه میانگین توسط MSTAT-C با استفاده از آزمون LSD و در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (خواف)

Table 1. Physical and Chemical Properties Soil Test site (Khaf)

بافت خاک Soil texture	شن	سیلت	رس	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec	نیتروژن کل N	فسفر P	پتاسیم K
لومی رسی شنی	----------%----------				dS/m^{-1}	%	--------$mg.kg^{-1}$------	
Sandy clay loam	53.1	26.7	20.2	8.28	5.76	0.015	5.87	251

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم آبیاری و کاربرد دیاتومیت تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر ارتفاع ساقه داشت؛ ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در بین تیمارهای کم‌آبیاری بیشترین ارتفاع ساقه (۲۲/۶۳ سانتی‌متر) در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در تیمار دیم ۲۷ درصد افزایش داشت (جدول ۳). بررسی روند تغییرات ارتفاع تحت رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داد ارتفاع ساقه تحت تیمار آبیاری در مرحله رویشی نسبت به دیم افزایش بیشتری در مقایسه با تیمار آبیاری در مرحله زایشی نسبت به دیم داشت (۱۶ درصد در مقابل ۴ درصد) (جدول ۳). تحت تیمار آبیاری در مرحله رویشی، گیاه در مرحله زایشی با کمبود آب مواجه شد که به دلیل توقف رشد طولی در این مرحله (مرحله زایشی)، اثر ناچیزی بر ارتفاع گیاه دارد (Eivazi et al., 2012)؛ درحالی‌که تحت تیمار آبیاری در مرحله زایشی که گیاه در مرحله رویشی با کمبود آب مواجه شده بود به دلیل حساسیت بیشتر مراحل رشد گیاهچه و رشد سریع، کاهش رشد رویشی و به‌تبع کاهش ارتفاع گیاه مشاهده شد، به‌طوری‌که بعد از رفع تنش و اعمال تیمار آبیاری در مرحله زایشی گیاه نتوانست کاهش رشد ایجادشده را جبران نماید و ارتفاع گیاه چندان بهبود نیافت. ازآنجاکه در مرحله رشد زایشی بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی اختصاص می‌یابد، لذا ارتفاع در این تیمار تا پایان رشد نسبت به تیمار اعمال آبیاری در مرحله رویشی کمتر بود (Ghassemi Golezani et al., 2008). در یک تحقیق مشابه جالوتا و همکاران (Jalota et al., 2006) در گیاه نخود گزارش کردند که کاهش آب قابل‌دسترس به‌ویژه در اواخر دوره رشد رویشی و اوایل دوره گلدهی ضمن کاهش سرعت رشد رویشی و کوتاه شدن دوره رشد زایشی اثر منفی بر ارتفاع ساقه داشت. طبق نتایج پژوهش‌های پیشین ازآنجاکه در شرایط تنش رطوبتی فشار تورژسانس سلول‌های ساقه که در حال ازدیاد طول می‌باشند، کاهش می‌یابد و از طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و درنتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (Mafakheri et al., 2010).

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر دیاتومیت بر ارتفاع ساقه نشان داد با کاربرد دیاتومیت ارتفاع ساقه افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین ارتفاع ساقه (۲۵/۳۵ سانتی‌متر) با کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت و کمترین آن (۱۹/۹۰ سانتی‌متر) در شرایط عدم کاربرد دیاتومیت حاصل شد. همچنین تیمارهای کاربرد ۳/۵ و ۷ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به تیمار عدم کاربرد دیاتومیت (شاهد) به ترتیب باعث افزایش ۱۳ و ۲۷ درصدی در ارتفاع ساقه شد و در گروه آماری متفاوتی قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مشابهی توسط عبدالله (Abdalla,

2011) گزارش‌شده است. در مطالعه‌ای دیگر، عبدالله (Abdalla, 2010) بیان کرد کاربرد دیاتومیت باعث افزایش ارتفاع ساقه گیاه باقلا شده است. به نظر می‌رسد بهبود جذب آب و عناصر غذایی در طی دوره رشد و همچنین تخلیه آب در بلندمدت و مرطوب بودن نسبی خاک از دلایل افزایش ارتفاع ساقه در تیمارهای مصرف دیاتومیت است (Fadia et al., 2018).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف دیاتومیت بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد نخود
Table 2. Analysis of Variance (mean square) for the effect of irrigation regimes and different amount of diatomite on some morphology, Physiology and yield characteristics of chickpea

S.O. V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع ساقه Stem height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه فرعی اولیه N. of primary sub branch	تعداد شاخه فرعی ثانویه N. of secondary sub branch
Replication	تکرار	2	9.44 ^{ns}	0.17 $^{n.s}$	15.30 **	2.63 $^{n.s}$
Irrigation (I)	آبیاری	4	530.97 **	5.83 **	117.61 **	148.02 **
Error (a)	خطا (a)	8	3.60	0.31	2.15	2.27
Diatomite (D)	دیاتومیت	2	49.68 **	2.39 **	5.39 *	30.83 **
I × D	آبیاری×دیاتومیت	8	16.84 ^{ns}	0.7 **	7.54 **	3.40 $^{n.s}$
Total error	خطای کل	20	8.63	0.22	1.30	2.71
Cv (%)	ضریب تغییرات	-	*12.61*	*12.45*	*14.17*	*17.53*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O. V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	محتوی نسبی رطوبت برگ Relative water content	نشت نسبی الکترولیت Relative electrolyte leakage	عملکرد دانه Seed yield
Replication	تکرار	2	11.68 $^{n.s}$	104.40 *	22461.43 $^{n.s}$
Irrigation (I)	آبیاری	4	1362.9 **	600.39 **	6371047.59**
Error (a)	خطا (a)	8	9.09	24.26	23442.86
Diatomite (D)	دیاتومیت	2	237.76 **	97.12 **	302200.60**
I × D	آبیاری×دیاتومیت	8	52.93 **	12.38 $^{n.s}$	53182.66**
Total error	خطای کل	20	25.34	25.74	15513.26
Cv (%)	ضریب تغییرات	-	*8.60*	*11.61*	*11.006*

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، $^{n.s}$ غیر معنی‌دار

** significant at α=0.01 probability level, * significant at α=0.05 probability level and, ^{ns} no significant

قطر ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی رژیم آبیاری، کاربرد دیاتومیت و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر قطر ساقه داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد در شرایط عدم کاربرد دیاتومیت، تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی قطر ساقه بیشتری نسبت به سایر تیمارهای کم‌آبیاری داشت که البته با تیمار آبیاری در مرحله رویشی در گروه آماری مشترک قرار گرفت (جدول ۴). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش تورژسانس سلول و کاهش سطح تعرق کنندگی گیاه است. در این شرایط جذب مواد غذایی کند شده و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد؛ بنابراین با افزایش تنش رطوبتی و کاهش سطح اندام‌های فتوسنتز کننده به‌طور مسلم سایر اندام‌ها نظیر ساقه نیز تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (Muruiki et al., 2018). همچنین بر اساس جدول ۴ در تیمارهای دیم، آبیاری در مرحله زایشی و دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله

رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد دیاتومیت (شاهد) به ترتیب باعث افزایش ۱۷، ۲۵ و ۴۲ درصدی قطر ساقه شد که البته در هر یک از این سطوح آبیاری با تیمار کاربرد ۳/۵ تن در هکتار در گروه آماری مشترک قرار گرفت؛ همچنین تحت تیمار آبیاری در مرحله رویشی کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت باعث افزایش بیشتری در قطر ساقه نسبت به کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد دیاتومیت (شاهد) شد (۱۴ درصد در مقابل ۱۱ درصد) که البته این اختلاف هم ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). پژوهش‌های انجام‌شده توسط سایر محققان نشان داد دیاتومیت قادر به افزایش قطر ساقه در باقلا (Abdalla, 2011) و نعنا (Hanan et al., 2014) شده است. احتمالاً دیاتومیت از طریق بهبود ظرفیت نگه‌داری آب، تعادل و جذب بهتر عناصر غذایی و تقویت فتوسنتز باعث کاهش اثرات تنش رطوبتی بر قطر ساقه می‌شود (Hajirasouli, 2018). همچنین در تحقیق دیگری خلیلی محله و همکاران (Khalili Mahalleh et al., 2011) گزارش کردند که دلیل کاهش قطر گیاه در اثر تنش رطوبتی، کاهش پتانسیل اسمزی سلول و کاهش طول سلول و تقسیم سلولی در ساقه است. آن‌ها نشان دادند ترکیباتی که به‌عنوان سوپر جاذب مورداستفاده قرار می‌گیرد با قدرت بالای نگه‌داری آب، می‌تواند اثرات سوء تنش را کاهش دهد. ترکیبات سوپر جاذب باعث بازماندن روزنه‌ها به مدت طولانی و افزایش فتوسنتز می‌شود و از این طریق در بهبود خصوصیات رشدی گیاه تأثیر مثبت می‌گذارد (Keshavarz et al., 2012).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و مقادیر مختلف دیاتومیت بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد نخود

Table 3. Means comparison of Irrigation regimes and different amount of diatomite on some morphology, Physiology and yield characteristics of chickpea

تیمار Treatment	ارتفاع ساقه Height stem (cm)	تعداد شاخه فرعی ثانویه No. secondary sub branch	نشت نسبی الکترولیت Relative electrolyte leakage
رژیم آبیاری **Irrigation regime**			
دیم **Dry farming**	17.82 c	4.47 d	52.26 a
آبیاری در مرحله رویشی **Irri. at vegetative St.**	20.72 b	9.01 bc	50.24 a
آبیاری در مرحله زایشی **Irri. at reproductive St.**	18.64 c	7.57 c	44.24 b
آبیاری در مرحله رویشی و زایشی **Irri. at vegetative and reproductive St.**	22.63 b	10.47 b	39.33 b
آبیاری کامل **Full Irri.**	36.61 a	15.47 a	32.24 c
کاربرد دیاتومیت (تن در هکتار) **Consumption of diatomite (ton/ha)**			
0	19.90 c	7.74 b	46.58 a
3.5	22.61 b	10.26 a	42.49 b
7	25.35 a	10.25 a	41.92 b

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using least significant different (LSD) Test

تعداد شاخه فرعی اولیه و ثانویه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم آبیاری بر تعداد شاخه فرعی اولیه و ثانویه در سطح یک درصد، کاربرد دیاتومیت در سطح پنج درصد بر تعداد شاخه فرعی اولیه و در سطح یک درصد بر تعداد شاخه فرعی ثانویه تأثیر معنی‌دار داشت و همچنین اثر متقابل آن‌ها تنها بر تعداد شاخه فرعی اولیه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد در بین سطوح کم-آبیاری بیشترین تعداد شاخه فرعی ثانویه (۱۰/۴۷ عدد) در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و

یک نوبت در مرحله زایشی مشاهده شد که نسبت به تیمار دیم تقریباً ۱/۵ برابر شد و نیز با تیمار آبیاری در مرحله رویشی در گروه آماری مشترک قرار گرفت (جدول ۳). مطالعات قبلی روی گیاهان نشان داده که اعمال تنش رطوبتی در شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه‌ای (Amiri Dehahmadi et al., 2012) منجر به کاهش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی و در مرزه (Eskandari, 2014)، ترخون (Lotfi et al., 2014) و بادرشبو (Rahbarian and Afsharmanesh, 2012) سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و وزن‌تر ریشه شد. کاهش تعداد و طول شاخه جانبی در شرایط تنش شدید آبی را شاید بتوان به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری برای گیاه در نظر گرفت (Abhari and Haresabadi, 2017). اختلاف ارتفاع در اکثر گیاهان ناشی از خصوصیات ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است و ازآنجاکه تقسیم و رشد سلول مهم‌ترین فرایندی است که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد، افزایش اندازه سلول به تنش رطوبتی بسیار حساس است (Anwar et al., 2003). لذا، به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرارگرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی گردیده است. با افزایش تنش رطوبتی، از رشد رویشی گیاه کاسته می‌شود؛ در این صورت راهکار گیاه بر این اصل است که با حداقل رشد رویشی وارد فاز زایشی شود و دوره رشد خود را سریع به اتمام برساند؛ بنابراین تعداد شاخه جانبی روندی کاهشی دارد (Ziayi et al., 2017). نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد دیاتومیت نشان داد تیمارهای کاربرد دیاتومیت به مقدار ۳/۵ و ۷ تن در هکتار باعث افزایش ۳۲ درصدی در تعداد شاخه فرعی ثانویه نسبت به تیمار عدم کاربرد دیاتومیت شد هرچند اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مختلف کاربرد دیاتومیت مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و کاربرد دیاتومیت نشان داد تعداد شاخه فرعی اولیه در همه سطوح کم‌آبیاری شامل دیم، آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی، دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت دارای بیشترین مقدار بود اما در تیمارهای دیم، آبیاری در مرحله رویشی و آبیاری در مرحله زایشی تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار کاربرد دیاتومیت (۳/۵ و ۷ تن در هکتار) مشاهده نشد (جدول ۴). در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به تیمار کاربرد ۳/۵ تن در هکتار باعث افزایش ۳۲ درصدی در تعداد شاخه فرعی اولیه شد و در گروه آماری مشترک با تیمار آبیاری کامل بدون کاربرد دیاتومیت قرار گرفت؛ بر این اساس می‌توان گفت تحت تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت باعث جبران اثرات کمبود رطوبت بر تعداد شاخه فرعی اولیه شد و تعداد آن را افزایش داد، درحالی‌که در سایر تیمارهای آبیاری این شرایط مشاهده نشد (جدول ۴). مشابه با نتایج این تحقیق فادیا و همکاران (Fadia et al., 2018) در بررسی اثر کاربرد دیاتومیت بر خصوصیات و عملکرد گیاه گز روغنی به این نتیجه رسیدند که کاربرد ۳/۵ گرم دیاتومیت به ازای هر لیتر آب آبیاری باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی شد. بر اساس نتایج این تحقیق کاهش اثرات خشکی بر تعداد شاخه‌های جانبی احتمالاً به دلیل بهبود شرایط دانه‌بندی، ساختمان خاک و نیز کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک با کاربرد دیاتومیت است که شرایط بهتری برای رشد و نمو گیاه فراهم کرده و در حضور این ماده آب قابل‌استفاده در خاک نیز افزایش‌یافته و گیاه کمتر تحت تأثیر شرایط کم‌آبی قرار می‌گیرد (Sayyari Zahan et al., 2015).

محتوی نسبی رطوبت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم آبیاری، کاربرد دیاتومیت و نیز اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر محتوی نسبی رطوبت نخود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد در سطوح کم¬آبیاری شامل دیم، آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی و دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به عدم کاربرد آن به ترتیب باعث افزایش ۲۹، ۱۰، ۱۰ و ۱۲ درصدی در محتوی نسبی رطوبت شد، البته در همه تیمارهای کم‌آبیاری کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت در گروه آماری مشترک با کاربرد ۳/۵ تن در هکتار قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۴. اثر متقابل اثر رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف دیاتومیت بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد نخود

Table 4. Means comparison of interaction effect of Irrigation regimes and different amount of diatomite on some morphology, Physiology and yield characteristics of chickpea

رژیم آبیاری Irrigation regime	کاربرد دیاتومیت Consumption of diatomite	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه فرعی اولیه No. primary sub branch	محتوی نسبی رطوبت Relative water leakage	عملکرد دانه Seed yield
	ton/ha	mm		%	kg/ha
دیم Dry farming	0	2.43 j	3.90 h	37.88 j	363.97 g
	3.5	2.50 ij	4.71 gh	41.87 ij	373.68 g
	7	2.85 hij	6.60 defg	48.93 ghi	470.97 fg
آبیاری در مرحله رویشی Irri. at vegetative St.	0	3.50 efgh	6.36 defg	47.42 hi	394.56 g
	3.5	4 cdef	7.99 cd	51.29 gh	456.17 fg
	7	3.88 cdef	8.89 c	52.58 fgh	508.34 fg
آبیاری در مرحله زایشی Irri. at reproductive St.	0	3.06 ghij	4.74 gh	54.99 fgh	616.46 f
	3.5	3.30 fghi	5.42 fgh	56.43 efg	906.90 e
	7	3.83 defg	6 efg	60.88 def	1093.83 de
آبیاری در مرحله رویشی و زایشی Irri. at vegetative and reproductive St.	0	3.53 efgh	6.72 def	60.88 f	1256.57 d
	3.5	4.62 bcd	7.76 cde	65.23 cd	1538.96 c
	7	5.02 ab	10.28 b	68.39 bcd	1745.67 c
آبیاری کامل Full Irri.	0	4.17 cde	11.37 b	70.63 abc	2167.42 b
	3.5	4.65 bc	14.52 a	76.83 ab	2476.29 a
	7	5.46 a	16.30 a	79.2 a	2587.19 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using least significant different (LSD) Test

مقایسه تیمارهای کم‌آبیاری در جدول ۴ نشان داد که بیشترین مقدار محتوی نسبی رطوبت تحت تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی و کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت مشاهده شد که با تیمار کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. درصد رطوبت نسبی بافت‌ها از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی است که نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه است. کم بودن محتوی نسبی آب برگ در هنگام تنش شدید رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، کمبود رطوبت باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه برگ‌ها می‌شود و به دلیل کاهش دی‌اکسید کربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد (Eivazi et al., 2012). نتایج تحقیقات قاسمی گلزانی و همکاران (Ghassemi Golezani et al., 2008) بر گیاه نخود نیز نشان داد کاهش رطوبت به‌طور معنی‌داری محتوی نسبی آب برگ را کاهش داد. کاهش مقدار محتوی نسبی آب برگ در اثر کم‌آبی ازیک‌طرف به دلیل کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها و از طرف دیگر افزایش تعرق آب از طریق برگ‌ها است که درنهایت منجر به بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود (Rafiolhosseini et al., 2016). بر اساس نتایج این آزمایش در شرایط عدم کاربرد دیاتومیت انجام آبیاری تکمیلی در مرحله زایشی در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی نسبت به تیمار آبیاری در مرحله رویشی باعث افزایش ۲۸ درصدی محتوی نسبی برگ شد (جدول ۴)؛ بنابراین می‌توان گفت آبیاری تکمیلی در مراحل زایشی می‌تواند گزینه مدیریتی برای کاهش جنبه‌های منفی خشکی انتهای فصل باشد. حفظ و نگهداری آب توسط دیاتومیت به‌عنوان سوپر جاذب منجر به دسترسی بیشتر گیاه به آب‌شده، درنتیجه محتوی نسبی رطوبت افزایش می‌یابد (Basha et al., 2013). مطالعه عبدالله (Abdalla, 2010) نیز نشان داد دیاتومیت افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در محتوی نسبی رطوبت گیاه باقلا داشته است. همچنین خلیلی محله و همکاران (Khalili Mahalleh et al., 2011) در آزمایشی بر گیاه ذرت اعلام کردند که سوپر جاذب با اثر مثبت بر محتوی نسبی آب برگ باعث تولید بیشتر مواد فتوسنتزی، افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شد. محتوی نسبی آب برگ

بیشتر احتمالاً از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می‌شود که به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است (Eivazi et al., 2012). سوپر جاذب دیاتومیت با قرار دادن آب کافی در اختیار ریشه گیاه، باعث افزایش سرعت جذب آب و کارایی مصرف آب توسط گیاه می‌شود، درنتیجه کاربرد این ماده به‌عنوان سوپر جاذب باعث افزایش محتوی نسبی آب برگ در شرایط کمبود رطوبت می‌شود که با نتایج حاصل از حاجی رسولی (Hajirasouli, 2018) مبنی بر افزایش محتوی نسبی آب برگ با افزایش دیاتومیت به‌عنوان سوپر جاذب مطابقت دارد. می‌توان گفت که افزایش محتوی نسبی آب برگ احتمالاً باعث افزایش مدت‌زمان باز بودن روزنه‌ها و درنتیجه افزایش میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود (Basha et al., 2013).

نشت نسبی الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم‌های آبیاری و کاربرد دیاتومیت تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر نشت نسبی الکترولیت داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری نشان داد تیمارهای آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی و دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی نسبت به رژیم آبیاری دیم به ترتیب باعث کاهش ۴، ۱۶ و ۲۴ درصدی در نشت نسبی الکترولیت شد؛ بنابراین کمترین میزان نشت نسبی الکترولیت در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی مشاهده شد (۳۹/۳۳) و با کاهش آب در دسترس تحت تیمارهای آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی و دیم میزان نشت نسبی الکترولیت افزایش یافت (جدول ۳). منصوری فر و همکاران (Mansourifar et al., 2012) گزارش دادند تنش آبی منجر به افزایش نشت الکترولیت در گیاه نخود شده است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. بر اساس گزارش این محققان تنش آبی باعث آسیب به غشاء سیتوپلاسمی شده که محتویات سلول به بیرون ترشح می‌گردد درنتیجه میزان نشت الکترولیت افزایش می‌یابد. بررسی نتایج اثر کاربرد دیاتومیت بر نشت نسبی الکترولیت نشان داد با کاربرد مقادیر ۳/۵ و ۷ تن در هکتار دیاتومیت نشت نسبی الکترولیت به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد کاهش یافت (جدول ۳). کمترین نشت نسبی الکترولیت (۴۱/۹۲ درصد) با کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت به دست آمد که البته با تیمار کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد دیاتومیت‌ها از طریق حفظ و نگهداری آب قابل‌دسترسی برای گیاه باعث کاهش اثرات سوء تنش شده و درنتیجه پایداری غشاء سلولی افزایش می‌یابد (Basha et al., 2013). همچنین خاک دیاتومیت به دلیل اینکه دارای مقادیر قابل‌توجهی سیلیس است و این عنصر از طریق رسوب در غشاء سلولی باعث سیلیسی و سخت شدن دیواره می‌شود، می‌تواند در کاهش میزان نشت الکترولیت تأثیرگذار باشد (Ahmadi and Hadad, 2011).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی رژیم آبیاری و دیاتومیت و نیز اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه نخود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و کاربرد دیاتومیت نشان داد عملکرد دانه در همه سطوح کم‌آبیاری شامل دیم، آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی، دو نوبت آبیاری شامل آبیاری در مرحله رویشی و زایشی با کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به تیمار عدم کاربرد دیاتومیت به ترتیب باعث افزایش ۲۹، ۲۹، ۷۷ و ۳۹ درصدی شد، اما در همه سطوح آبیاری تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار کاربرد دیاتومیت (۳/۵ و ۷ تن در هکتار) مشاهده نشد (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل نشان داد عملکرد دانه در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی با کاربرد ۳/۵ تن در هکتار نسبت به عدم کاربرد دیاتومیت ۲۹ درصد افزایش داشته است، هرچند که جبران اثرات کم‌آبی به‌طور کامل صورت نگرفته است و عملکرد دانه در تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی یک نوبت در مرحله زایشی و کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت در گروه آماری مشترک با تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۷ تن در هکتار و ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت قرار نگرفت. مطابق با این نتایج در آزمایش دیگری استفاده از دیاتومیت باعث افزایش عملکرد گیاه باقلا شده است (Abdalla, 2011). به نظر می‌رسد کمبود آب در مراحل زایشی نخود با ریزش گل‌ها و غلاف‌ها سبب ممانعت از دستیابی به پتانسیل عملکرد می‌شود. استفاده از دیاتومیت به‌عنوان سوپر جاذب باعث فراهم شدن رطوبت کافی و کاهش

تنش رطوبتی ناشی از کم‌آبیاری شده که به برتری ازنظر دوره مؤثر پر شدن دانه و اجزای عملکرد یعنی تعداد غلاف و وزن دانه در مقایسه با تیمارهای بدون کاربرد دیاتومیت می‌شود (Basha et al., 2013). دوام بیشتر سطح سبز و کاهش نشت الکترولیت در شرایط آبیاری کامل توانست از طریق افزایش طول مدت فتوسنتز موجب افزایش عملکرد گردد (Mohammadi et al., 2007). همچنین کمبود رطوبت در لایه‌های سطحی خاک در تیمارهای کم‌آبیاری، ممکن است سبب شود که گیاه رطوبت موردنیاز خود را از لایه‌های عمیق‌تر خاک که عناصر غذایی ضروری در آن‌ها کم است، استخراج کند و بدین ترتیب، گیاه دچار تنش عناصر غذایی می‌شود. مجموع این عوامل، موجب کاهش اندازه‌ی گیاه و کاهش ذخایر فتوسنتزی موجود برای پر کردن غلاف‌ها می‌شود و درنهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Benjamin and Nielsen, 2006). انجام آبیاری در مرحله زایشی موجب کاهش اثرات سوء تنش شده و درنتیجه موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به دیم گردید؛ به‌عبارت‌دیگر به نظر می‌رسد عدم مواجه‌شدن دوره پر شدن غلاف‌ها با تنش رطوبتی، از طریق طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه با تأثیر بر اندازه دانه‌ها بر عملکرد دانه مؤثر است (Eivazi et al., 2012). بر اساس نتایج جدول اثرات متقابل در تیمارهای دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی؛ یک نوبت آبیاری در مرحله زایشی، یک نوبت آبیاری در مرحله رویشی و دیم، عملکرد دانه با کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت به ترتیب به میزان ۲۲، ۴۷، ۱۵ و ۲ درصد نسبت به عدم کاربرد دیاتومیت افزایش یافت (جدول ۴). نتایج اثرات متقابل نشان داد در بین تیمارهای کم‌آبی، بیشترین عملکرد دانه تحت تیمار آبیاری در مرحله رویشی و زایشی حاصل شد و در این تیمار تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح کاربرد ۳/۵ و ۷ تن در هکتار دیاتومیت وجود نداشت (جدول ۴). بررسی اعداد حاصل از جدول ۴ نشان داد کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت نسبت به عدم کاربرد دیاتومیت تحت تیمار آبیاری در مرحله رویشی و زایشی باعث افزایش ۲۸۲/۳۹ تن در هکتار در عملکرد دانه نخود شد که با توجه به قیمت روز دیاتومیت (با معادل ریالی هر تن = ۵,۵۰۰,۰۰۰ ریال) و نخود بذری (با معادل ریالی هر کیلوگرم = ۲۲۰,۰۰۰ ریال) ۶۲,۱۲۵,۸۰۰ ریال عایدی سود می‌دهد؛ از طرف دیگر هزینه لازم جهت خرید ۳/۵ تن در هکتار ۱۹,۲۵۰,۰۰۰ ریال است. لذا کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت باعث افزایش سود حاصل به مقدار ۴۲,۸۷۵,۸۰۰ ریال می‌شود و ازنظر اقتصادی نیز برای کشاورز مقرون‌به‌صرفه است.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر رژیم‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک موردمطالعه و نیز عملکرد نخود توده بومی خواف داشت، به این صورت که کاهش مقدار آب آبیاری در تیمارهای دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی، یک نوبت آبیاری در مرحله زایشی، یک نوبت آبیاری در مرحله رویشی و دیم نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب باعث کاهش ۳۷، ۶۴، ۸۱ و ۸۶ درصد در عملکرد دانه شد و این روند کاهشی در سایر صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های اولیه، تعداد شاخه‌های ثانویه و محتوی نسبی رطوبت مشاهده شد. ضمناً تحت تیمارهای کم‌آبیاری نشت نسبی الکترولیت افزایش یافت. باوجوداین تأثیرات منفی کاهش میزان آب آبیاری را می‌توان با استفاده از دیاتومیت کاهش داد. نتایج نشان داد که کاربرد ۷ تن در هکتار دیاتومیت تحت تیمار دو نوبت آبیاری شامل یک نوبت در مرحله رویشی و یک نوبت در مرحله زایشی در صفات قطر ساقه، محتوی نسبی رطوبت و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت نداشت و در گروه آماری مشترک قرار گرفت، هرچند مقدار عددی بیشتری داشت. درمجموع، بر اساس نتیجه این پژوهش کاربرد ۳/۵ تن در هکتار دیاتومیت به همراه آبیاری به‌صورت دومرحله‌ای شامل یک مرحله در دوره رویشی و یک مرحله در دوره زایشی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد به میزان ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد دیاتومیت و آبیاری در دومرحله‌ای شامل یک مرحله در دوره رویشی و یک مرحله در دوره زایشی) شود. علاوه بر این از جنبه اقتصادی با توجه به قیمت روز دیاتومیت و همچنین معادل ریالی مقدار افزایش عملکرد ناشی از صرف دیاتومیت به نظر می‌رسد نتیجه حاصل ازنظر اقتصادی نیز حائز اهمیت باشد. از طرف دیگر با به‌کارگیری دیاتومیت به‌عنوان سوپر جاذب ضمن صرفه‌جویی در هزینه تولید محصول در مناطق خشک، از طریق حفظ و ذخیره رطوبت در خاک و بهبود نفوذپذیری آب در خاک می‌توان گامی مؤثر در جهت بهره‌برداری از منابع محدود آب و افزایش عملکرد دانه در توده مذکور برداشت. همچنین مطالعات

بیشتر و استفاده از مقادیر متفاوت دیاتومیت در دامنه مشخصی از تنش رطوبتی و نیز تأثیر استفاده از آن در میزان عناصر غذایی در خاک و آب توصیه می‌شود.

منابع

Abdalla, M., 2010. Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of Vicia faba plants. Agriculture and Biology Journal of North America. 1, 1076-1089.

Abdalla, M., 2011. Beneficial of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lopinus albus* plants grown under water stress. Agriculture and Biology Journal of North America. 2, 207-220.

Abhari, A., Haresabadi, B., 2017. The effect of super absorbent on yield and yield components of chickpea under season terminal drought stress conditions. Journal of Crop Production. 10, 191-202.

Ahmadi, S., Haddad, H., 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Journal of Genetic and Plant Breeding. 47, 17-27. [In Persian with English Summary].

Amiri Dehahmadi, S.R., Rezvani moghadam, P., Ehyayi, H.R., 2012. The effect of drought stress on some morphological characteristics and yield of three medicinal plants: dill (*Anethum graveolens*), coriander (*Coriandrum sativum*) and fennel (*Foeniculum vulgare*) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(1), 116-124. [In Persian with English Summary].

Angin, I., Kose, M., Aslantas, R., 2011. Effect of diatomite on growth of strawberry. Pakistan Journal of Botany. 43, 573-577.

Anwar, M.R., Makenzie, B.A., Hill, G.D., 2003. Phenology and growth response to irrigation and sowing date of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cool temperate sub humid climate. Journal of Agricultural Science. 141, 273–284.

Badawy, E.S., Kandil, M.M., Habib, A.M., 2015. Influence of diatomite, putrescine and alpha-tocopherol on some vegetative growth and flowering of *Antirrhinum majus* L. plants. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants. 7, 7-18.

Basha, D.M., El Sayed, S.A., El Aila, H.I., 2013. Effect of nitrogen levels, diatomite and potassium silicate application on yield and chemical composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. World Applied Sciences Journal. 25, 1217-1221.

Benjamin, J.G., Nielsen, D.C., 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research. 97, 248-253.

Eivazi, A., Taghikhani, H., Shiralizadeh, Sh., Rezai, M., Mousavi, S.H., 2012. Evaluation of response of chickpea genotypes to water deficit at different growth stages by using drought tolerance indices. Iranian Journal of pluses research. 3, 81-92. [In Persian with English summary].

Eskandari, M., 2014. Changes in growth parameters and essential oil content of Satureja bachtiarica Bunge under the effects of 28-Homobrassinolid and drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic plants. 29, 176-186. [In Persian with English Summary].

Fadia, sh., Doha, Z., Yun kiam, Y., 2018. Diatomite improves productivity and quality of *Moringa oleifera* grown in greenhouse. Electronic Journal of Biology. 14, 1-6.

Ghassemi Golezani, K., Dalil, B., Muhammadi Nasab, A.D., Zehtab Salmasi, S., 2008. The response of chickpea cultivars to field water deficit. Notulae Botanicae Horti Agrobotanic. 36, 25-28.

Goodarzvand, kh., Fotovat, R., Bihamta, M.R., Omidi, H., Shahnejant boushehri, A., 2018. Evaluation of drought stress effects on morphological, physiological and agronomical characteristics of chickpea genotypes in greenhouse. Journal of Agricultural Crops Production. 19, 639-651. [In Persian with English summary].

Hajirasouli, F., 2018. Effect of different levels of moisture and diatomite on growth characteristics and yield of common millet in Birjand region. MSc dissertation, Faculty of

Agriculture, University of Birjand, Iran. [In Persian].

Hanan, M.H., Nadia, A.M., Salem, M., 2014. Physiological effects of diatomaceous earth on Mentha viridis plants grown under drought condition. Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants. 1, 105-115.

Jalota, S.K., Anil, N., Harman, W.L., 2006. Assessing the response of chickpea (*Cicer aeritinum* L.) yield to irrigation water on two soils in Punjab (India): A simulation analysis using the CROPMAN model. Agricultural Water Management. 79, 312–320.

Khalili Mahalleh, J., Heidari Sharif Abad, G., Nourmohammadi, F., Darvish, I., Majidi Haravan, E., Valizadegan, E., 2011. Effect of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on forage yield and qualitative characters in corn under deficit irrigation condition in Khoy zone (Northwest of Iran). Advanced in Environmental Biology. 5, 2579-2587.

Khazai, H.R., Kafi, M., 2003. Effect of drought stress on root growth and dry matter partitioning between roots and shoots of winter wheat. Iranian Journal of Field Crops Research. 1, 33-41. [In Persian with English Summary].

Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., Golkar, H., 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphophysiological traits of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). International Research Journal of Applied and Basic Science. 3, 148-154. [In Persian with English Summary].

Kooistra, W.H., Gersonde, R., Medlin, L.K., 2007. The Origin and Evolution of the Diatoms: Their Adaptation to a Planktonic Existence, Evolution of Primary Producers in the Sea. Elsevier Academic Press Inc., London.

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., Mirza, M., 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30, 19-29. [Persian with English summary].

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science. 4, 580-585.

Mansourifar, S., Shaban, M., Ghobadi, M., Sabaghpoor, S.H., 2012. Physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and nitrogen fertilizer as starter. Iranian Journal of Pulses Research. 3, 53-66. [In Persian with English summary].

Mohammadi, Q.H., Ghasemi Golezani, K., Javanshir, A., Moghaddam, M., 2007. The effect of water limitation on yield of three chickpea. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource. 2, 109-120. [In Persian with English Summary].

Rahbarian, P., Afsharmanesh, Gh., 2012. Effects of water deficit and manure on yield and some morphological characters of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in Jiroft area. Journal of Crop and Weed Ecophysiology. 5, 41-52. [In Persian].

Muruiki, R., Kimurto, P., Vandez, V., Gangarao, R., Silim, S., Siambi, M., 2018. Effect of drought stress on yield performance of parental chickpea genotypes in semi-arid tropics. Journal of Life Science. 12, 159-168.

Rafiolhosseini, M., Salehi, F., Mazhari, M., 2016. The effect of drought stress intensity and stage on agronomic characteristics of two common Bean Cultivars. Desert Ecosystem Engineering Journal. 5, 45-56. [In Persian with English Summary].

Sandhya, K., Prakash, N., Meunier, J., 2018. Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 18, 344-360.

Sayyari Zahan, M.H., Gholami, A., Rezaeepour, S., 2015. Diatomite and re-use coal waste as promising alternative for fertilizer to environment improvement. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. 5, 70-76.

Ziayi, A., Moghadam, M., Kashefi, B., 2017. The effect of superabsorbent polymers on morphological characteristics of rosemary plants under drought stress conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 7, 99-110. [In Persian with English Summary].