نقش آبیاری تکمیلی و کاربرد زئولیت بر رشد و عملکرد عدس (*Lens culinaris Medik*) در شرایط دیم

مهران قشقایی[۱]، محمودرضا تدین[۲*]، محمود بهادر[۳] و هدایت‌الله کریم‌زاده[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۹)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر زئولیت بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و پروتئین گیاه عدس در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی آزمایشی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (دیم، یک مرحله آبیاری تکمیلی و دو مرحله آبیاری تکمیلی) و عامل فرعی شامل کاربرد سه سطح زئولیت (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی باعث افزایش عملکرد در گیاه عدس شد. کاربرد زئولیت سبب تعدیل اثر تنش کم‌آبی شد. مطابق نتایج به‌دست آمده، زئولیت موجب بهبود عملکرد دانه شد، این بهبود هم در شرایط آبیاری تکمیلی و هم در شرایط دیم اتفاق افتاد. اما برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین آبیاری تکمیلی و زئولیت بر شاخص‌های رشد اثر معنی‌داری داشتند و سبب بهبود شاخص‌های رشد در طول فصل زراعی شدند. بیشترین عملکرد دانه در سطح دو بار آبیاری تکمیلی (۱۷۴۱/۲ کیلوگرم بر هکتار) حاصل شد. کاربرد ۲۰ تن در هکتار زئولیت باعث افزایش ۵۰ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. بنابراین بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر احتمالاً در شرایط محدودیت آبی کاربرد ۲۰ تن زئولیت در هکتار بتواند در زراعت عدس در شرایط شهرکرد مزیت نسبی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، حبوبات، شاخص‌های رشد، شرایط دیم

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد، استاد و دانشجوی سابق دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۴. پژوهشگر پسا دکترا پژوهشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

مقدمه

مشکل کم‌آبی و بروز تنش خشکی و استفاده بهینه از آب در ایران، اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا نه تنها قسمت بزرگی از کشور ایران به سبب قرار گرفتن در مناطق گرم خشک، با مشکل کم‌آبی روبرو است، بلکه با توجه به خشکسالی‌های اخیر، روز به روز بر دامنه این مشکل افزوده می‌شود. بنابراین استفاده از گیاهان متحمل به خشکی که بتوانند با حداقل آب مصرفی محصول قابل قبولی را تولید کنند، ضروری به نظر می‌رسد (۳۶).

عدس (*Lens culinaris Medik*) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان غذایی به صورت خودگشن، دیپلوئید، یکساله و با انشعابات فراوان است (۴). با توجه به اینکه عدس دارای ۲۸ درصد پروتئین گیاهی است، در ایران و بسیاری از کشورهای جهان عده زیادی از مردم به جهت تأمین پروتئین ضروری خود از آن استفاده می‌کنند. این گیاه به‌دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا نقش مؤثری در حاصلخیزی خاک دارد (۲). عدس می‌تواند در نواحی نیمه‌خشک دنیا رشد کند، اما در چنین مناطقی عملکرد آن پایین ولی کیفیت آن بالا است و به‌دلیل سازگاری به شرایط کمبود آب و تنش خشکی مناطق خشک بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین بررسی ژنوتیپ‌های جدید عدس برای توسعه ارقام متحمل با عملکرد قابل قبول در شرایط کمبود آب ضروری است (۲۳). خشکی بیش از حد در طول گل‌دهی و پرشدن غلاف، عملکرد عدس را کاهش می‌دهد. تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش طول دوره گل‌دهی، تعداد گل و عملکرد دانه در بوته می‌شود، زیرا در این زمان گیاه دارای رشد رویشی فعال است و تنش در این مرحله باعث کاهش شدید رشد و عدم جبران آن در مراحل بعد می‌شود. آبیاری تکمیلی در مرحله بحرانی نیاز گیاه (مرحله گل‌دهی) یکی از روش‌های مؤثر در جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار عدس در مناطق خشک و نیمه خشک است (۷).

در مطالعه‌ای روی گیاه عدس مرحله گلدهی حساس‌ترین مرحله فنولوژیک به تنش خشکی بوده و انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله زایشی، خصوصاً مرحله گل دهی، عملکرد را به میزان ۵۲ درصد نسبت به شرایط بدون آبیاری افزایش داد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش عملکرد دانه عدس تحت شرایط کمبود آب در نتیجه‌ی کاهش عملکرد دانه در هر بوته و تعداد غلاف در بوته است. بنابراین، بهبود سازگاری عدس نسبت به تنش خشکی، نیازمند بهبود تحمل به کمبود آب در مرحله گل‌دهی وغلاف‌دهی است (۱۸). تنش خشکی و کمبود آب بر اجزای عملکرد عدس نیز تأثیر به‌سزایی دارد، علاوه بر این، با مطالعه دو رقم عدس بیان شد که بروز تنش خشکی در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر گلدهی سبب اختلال در تشکیل و پر شدن دانه شد و بدین ترتیب عملکرد دانه را کاهش داد (۲۲). همچنین در مورد تغییرات پروتئین‌ها بر اثر تنش خشکی پژوهش‌های زیادی به عمل آمده است که این پژوهش‌ها کاهش پروتئین محلول بر اثر تنش خشکی را عمدتا به کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط کمبود آب (۳) و یا تجزیه پروتئین‌ها به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز (۳۷) نسبت می‌دهند. در مطالعه‌ای دیگر با بررسی سه رژیم آبیاری بدون تنش، تنش در زمان گلدهی و تشکیل غلاف و تنش در زمان پر شدن دانه بر لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris*)، لوبیای چشم بلبلی و نخود گزارش شد که در هر سه گونه، بیشترین کاهش عملکرد با اعمال تنش خشکی در زمان گل‌دهی و تشکیل غلاف حاصل شد و بدین ترتیب این مرحله را حساس‌ترین مرحله نسبت به تنش معرفی کردند (۳۸).

زئولیت‌ها ($(Na,K,Ca)_2$-$3Al_3(Al,Si)_2Si1_3O_{36}$•$1_2H_2O$))، آلومینوسیلیکات هیدراته با اتم های اکسیژن هستند که به شبکه سه بعدی SiO_4 و AlO_4 متصل می‌شوند. همچنین حفره‌ها و کانال‌های موجود در ساختار آلومینوسیلیکات حاوی مولکول‌های آب با کاتیون‌هایی هستند که بار منفی ناشی از جایگزینی Si^{4+} و AL^{+} را می‌پوشانند و می‌توانند با کاتیون‌های دیگر جایگزین شوند (۳۸). زئولیت‌ها از طریق توانایی جذب انتخابی و همچنین آزادسازی کنترل‌شده کاتیون‌ها، مواد مغذی موجود را افزایش داده و در نتیجه رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشند (۱۵). بر اساس گزارش‌ها، ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتر آب خاک و جذب بهتر مواد مغذی توسط زئولیت به‌دلیل آزادشدن تدریجی آمونیوم،

ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، پایداری ساختاری و تخلخل زیاد بهبود می‌یابد (۱۷). موادی مانند سوپرجاذب‌های زئولیت می‌توانند مقادیر متفاوتی آب را در خود ذخیره کنند و قابلیت نگهداری و ذخیره کردن آب را در خاک افزایش دهند. آب ذخیره شده به کمک این مواد در مواقع کم‌آبی در خاک آزاد می‌شود و ریشه‌های گیاه از آن استفاده می‌کنند (۱۴). استفاده از زئولیت سبب بهبود صفات کمی و کیفی گیاهان نخود (۲۴) و لوبیا (۴۲) شد. در آزمایشی که روی گیاه کلزا انجام شد، مشخص شد که مصرف زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار باعث افزایش تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه شد (۳۲). استفاده از زئولیت مشکلات محیط زیستی را کاهش و بهره‌وری کود را افزایش می‌دهد (۲۶) و همچنین باعث افزایش فراهمی نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم در خاک می‌شود (۱).

با توجه به تهدید روزافزون کم آبی در ایران، به‌ویژه استان چهارمحال بختیاری، و لزوم حفظ و صرفه‌جویی منابع آب در دسترس و نقش زئولیت در نگهداری رطوبت در خاک، آزمایش حاضر با هدف بررسی امکان تعدیل اثر تنش خشکی با کاربرد سطوح مختلف زئولیت و همچنین بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و اجزای آن در گیاه عدس اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد واقع در کیلومتر ۲ جاده سامان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا با میانگین دمای سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی گراد و میانگین سالانه بارندگی ۳۱۹ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی ۴۲ درصد در سال زراعی ۹۹–۱۳۹۸ اجرا شد. مشخصات خاک در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر گیاه عدس (توده محلی شهرکرد) انجام گرفت. در این پژوهش عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (شرایط دیم (بدون آبیاری)، آبیاری در مرحله گلدهی (R2 در مراحل رشد عدس) (۱۳) و آبیاری در مراحل گل‌دهی و غلاف‌دهی (R4 در مراحل رشد عدس)) و فاکتور فرعی شامل سه سطح زئولیت (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) بود (۶ و ۲۴). آبیاری بر اساس مراحل رشدی عدس (۱۳) انجام شد. زئولیت مورد استفاده از شرکت زرد بابونه شهرکرد تهیه و در هنگام آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی در اختیار تیمارهای مورد نظر قرار گرفت.

در این مطالعه جهت آماده‌سازی بستر کشت، زمین با گاوآهن برگردان‌دار شخم و کلوخه‌ها با دیسک (دو مرتبه به صورت عمود بر هم) خرد شده و سپس با استفاده از ماله اقدام به تسطیح زمین شد. بر اساس آزمایش خاک و نیاز غذایی گیاه عدس، کودهای شیمیایی مورد نیاز به خاک اضافه شد. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۳×۲ متر، فاصله بین و روی ردیف‌های کشت به‌ترتیب ۱۵ و ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر به صورت دستی در تاریخ ۲۵ اسفند ماه انجام گرفت. آبیاری در زمان گلدهی و غلاف‌دهی در تیمارهای مربوط انجام شد و شرایط دیم برای سطح شاهد درنظر گرفته شد. همچنین در طول فصل رشد، وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت.

برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)، ابتدا سطح برگ‌ها پس از جدا کردن از بوته‌ها (مرحله رشدی R3) به وسیله اسکنر و نرم‌افزار اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه زیر شاخص سطح برگ محاسبه شد که در این رابطه LAI، LA و G به‌ترتیب نشان‌دهنده شاخص سطح برگ، مساحت برگ و مساحت زمین هستند (۳۳).

$$LAI = LA / G \qquad (1)$$

همچنین جهت تعیین سرعت رشد گیاه (CGR)، بافت‌های گیاهی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و پس از خشک‌شدن، توسط ترازوی دیجیتال توزین شده و سرعت رشد گیاه از طریق مشتق‌گیری از معادله روند رشد ماده خشکی طی فصل رشد به‌دست آمد (۲۱). محاسبه درجه–روز رشد نیز با استفاده از آمارهای هواشناسی منطقه و تاریخ‌های متناظر محاسبه شد. برای محاسبه درجه روز رشد از رابطه (۲)

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
لومی	۰/۵۶	۷/۵۸	۰/۹۷	۰/۰۹۲	۱۵/۴	۳۱۷

استفاده شد که در آن T_{max} حداکثر دمای روزانه، T_{min} حداقل دمای روزانه و T_{base} دمای پایه گیاه عدس است که دمای پایه برای عدس، یک در نظر گرفته شد. دماهای بالاتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد را نیز ۳۰ درجه سانتی‌گراد منظور شد (۳۴).

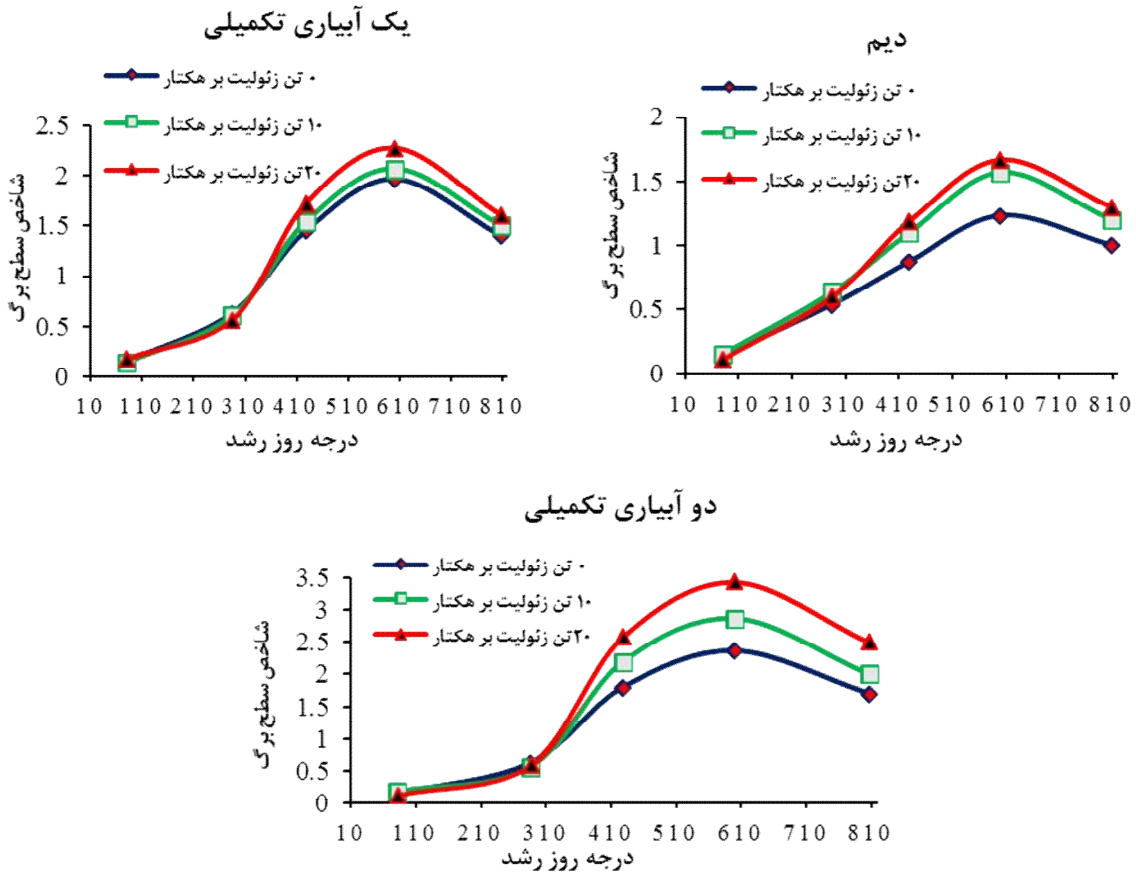
$$GDD = \sum (T_{max} + T_{min}) / 2 - T_{base} \qquad (۲)$$

جهت تعیین اجزای عملکرد دانه از کل بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد غلاف در بوته شمارش شد. پس از شمارش تعداد کل غلاف‌ها، تعداد غلاف‌های غیربارور شمارش و از تعداد کل کسر شد تا تعداد غلاف بارور به‌دست آید. برای تعیین تعداد دانه در غلاف، از هر کرت ۵۰ عدد غلاف به‌طور تصادفی از قسمت‌های بالایی، میانی و پایینی گل‌آذین انتخاب شد و پس از بوجاری و شمارش تعداد بذور موجود در آنها، تعداد دانه در غلاف مشخص شد. وزن هزار دانه نیز به روش تصادفی و بر اساس قوانین ISTA (International Seed Testing Association) تعیین شد. درصد پروتئین دانه از روش میکروکجلدال و عملکرد پروتئین دانه نیز از ضرب درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه محاسبه شد. به‌منظور تعیین میزان پروتئین دانه از دستگاه میکروکجلدال استفاده شد. به طوری که ۰/۵ گرم ماده گیاهی به‌صورت خشک، پودر و الک شده در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری میکروکجلدال خشک ریخته و مقداری کاتالیست و ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. بعد از اینکه رنگ آبی تیره پدیدار و محتوای ارلن خنک شد عمل تقطیر با دستگاه مارخام انجام شد. آب مقطر را در ارلن به جوش آورده و شیر باز نگه داشته شد. موقعی که بخار از مسیر لوله بخار عبور کرد، ۱۰ میلی‌لیتر آلیکوت پس از هضم در داخل اتاقک تقطیر به‌وسیله قیف مسدودکننده شیشه‌ای رسوب داده شد. هر مرتبه، قیف دوبار با ۱ میلی‌لیتر آب شستشو داده شد. مسدود کننده شیشه‌ای جایگزین شده و ۱۰ میلی‌لیتر سود ۴۰ درصد در قیف ریخته شد. انتهای پایینی تغلیظ کننده در ۲۰ میلی‌لیتر اسید بوریک موجود در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری قرار گرفت. موقعی که بخار از راه لوله پخش شد، شیر بسته شده و مسدود کننده شیشه‌ای را به آهستگی قرار داده و منتظر مانده تا هیدروکسید سدیم هضم شود. مسدود کننده بلافاصله جایگزین‌شده و تقطیر تا جمع‌آوری ۱۰۰ میلی‌لیتری ماده تقطیری ادامه یافت. بعد از این‌که مقدار کمی مایع تقطیر شد، از انتهای متراکم‌تر روی سطح اسید بوریک بالا آمد. وقتی‌که تقطیر کامل شد، گرم کردن متوقف و مایع در اتاقک تقطیر به‌طور خودکار به داخل لوله رابط کشیده شد. سپس دستگاه برای تقطیر بعدی آماده شده و آمونیاک جمع‌آوری شده در اسید بوریک با اسید سولفوریک ۰/۲۸ نرمال تیتر شده تا رنگ سبز ناپدید شود و محلول به رنگ صورتی درآید. سپس با کمک رابطه زیر میزان نیتروژن دانه محاسبه شد:

$$N_{content}(\%) = (T - B) \times 10 \times N(1.4 / W) \qquad (۳)$$

T= تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر اسید استاندارد)، B= تیتراسیون شاهد (میلی‌لیتر اسید استاندارد)، N= نرمالیته اسید استاندارد، W= وزن نمونه (گرم). اختلاف (T-B) به‌علّت هضم ۱۰ میلی‌لیتر باید در ۱۰ ضرب می‌شود. در مرحله بعد، درصد نیتروژن به‌دست آمده در عدد ۶/۲۵ ضرب شد و درصد پروتئین به‌دست آمد (۹).

جهت اندازه‌گیری زیست‌توده و عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌ها از سطح یک مترمربع از مرکز هر کرت برداشت شدند. سپس جهت خنثی کردن اثر رطوبت در تیمارهای مختلف، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت در آون با دمای ۷۰



شکل ۱. تغییرات روند شاخص سطح برگ در طی فصل رشد در شرایط آبیاری تکمیلی و زئولیت در گیاه عدس

درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند تا رطوبت دانه برای همه تیمارها به صورت یکسان باشد و در نهایت وزن کل زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه شاخص برداشت نیز از نسبت وزن عملکرد دانه به زیست‌توده استفاده شد.

در نهایت داده‌ها پس از اطمینان از توزیع نرمال آنها با استفاده از آزمون شاپیرو– ویلک، با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۴) آنالیز واریانس شدند (۳۵). برای مقایسه میانگین‌ها نیز آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، روند تغییرات شاخص سطح برگ در تمامی تیمارهای آبیاری و زئولیت از مدل سیگموئیدی پیروی کرد (شکل ۱). در این آزمایش شاخص سطح برگ با دریافت ۶۰۰ درجه روز رشد به حداکثر میزان خود رسید. بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۵) در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی و ۲۰ تن زئولیت در هکتار حاصل شد، از طرفی نیز کمترین شاخص سطح برگ (۱/۲) نیز در تیمار بدون مصرف زئولیت و در شرایط دیم به‌دست آمد که می‌توان گفت انجام دو بار آبیاری تکمیلی به‌همراه ۲۰ تن زئولیت در هکتار موجب افزایش شاخص سطح برگ به میزان ۲/۹۲ برابر نسبت به شرایط دیم و عدم مصرف زئولیت شد (شکل ۱). با توجه به نتایج می‌توان گفت که کاهش تعداد آبیاری باعث کاهش حداکثر میزان سطح برگ شد و با مصرف زئولیت از شدت کاهش حداکثر سطح برگ کاسته شد، به‌طوری که در شرایط دیم، یک بار آبیاری و دو بار آبیاری تکمیلی و مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار

نسبت به عدم مصرف آن به‌ترتیب موجب افـزایش ۲۹/۴، ۱۳/۰۴ و ۲۹/۴ درصدی در میزان شاخص سطح برگ شد (شـکل ۱). در بررسی‌های گذشته روی گیاه نخود شـاخص سـطح بـرگ در ۹۵ روز پس از کاشت یعنی همزمان با مرحله تشـکیل غـلاف‌هـا بـه حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن به‌دلیل پیری برگ‌ها کاهش یافت (۲۰). کمترین میزان سطح برگ نخود به‌ترتیـب مربـوط بـه اعمال تنش در مراحل پر شدن دانه، گل‌دهی و غـلاف‌دهـی بـود زیرا بخش مهمی از رشـد رویشـی در نخـود در مرحلـه زایشـی صورت می‌گیرد. وجود تنش در این مرحله سـبب کـاهش سـطح برگ و تسریع پیری در گیاه می‌شود.

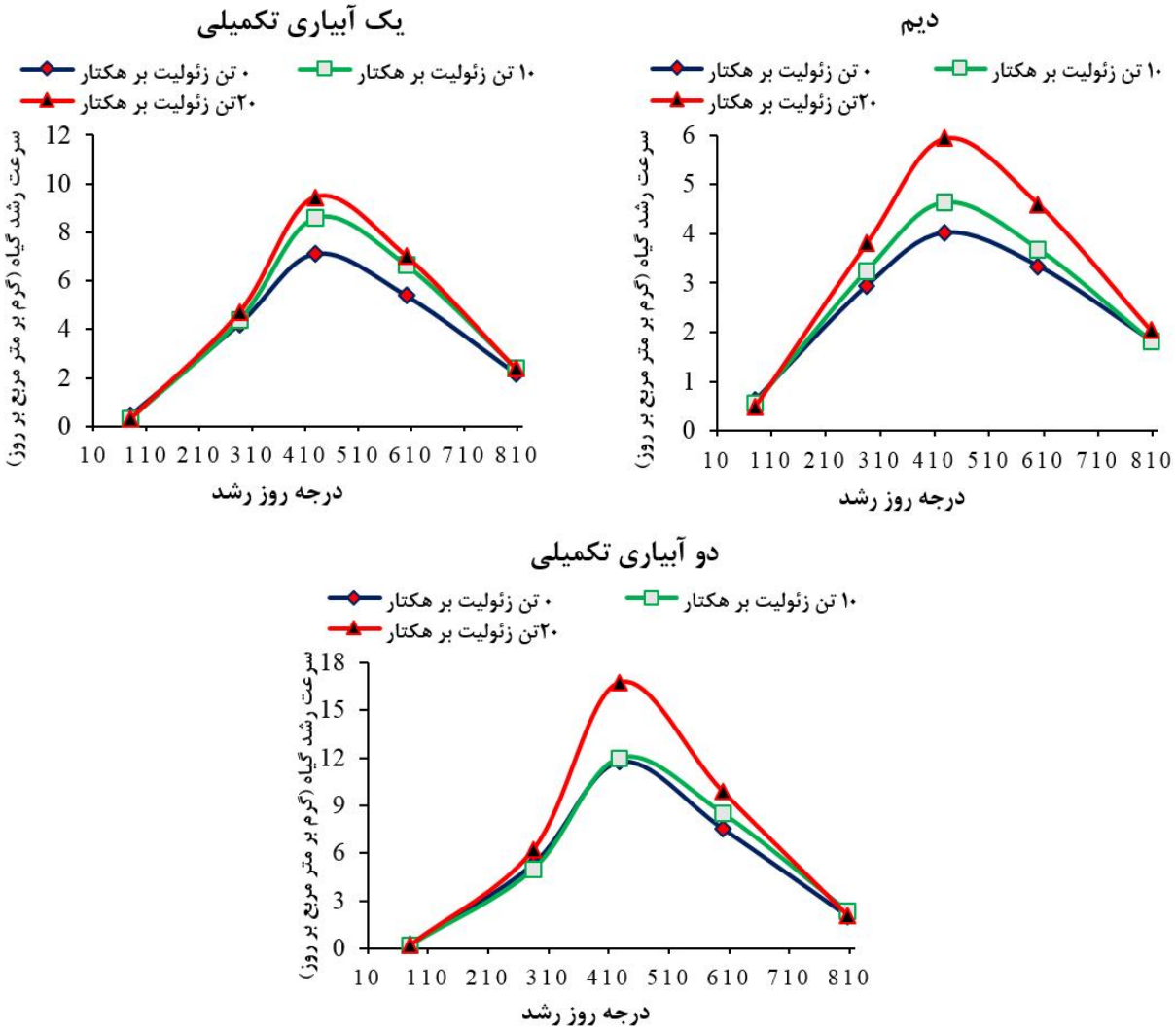
در مطالعه‌ای روی گیاه سیاه‌دانه مشاهده شد که میـزان سـطح برگ با مصرف زئولیت به‌همراه تأمین ۴۰ درصد نیاز رطـوبتی بـا عدم مصرف زئولیت و تأمین ۶۰ درصد نیاز رطوبتی یکسان بـوده که بیانگر این است که با مصرف زئولیت، امکان تولید سطح برگ بیشتر و به دنبال آن، تولید عملکرد دانه بالاتر، احتمالاً بـا مصـرف آب کمتر، وجود دارد (۸). در تحقیقی دیگر گزارش شد که وقوع کم‌آبی در کلیه مراحل رشد و نمو می‌تواند باعث کاهش شـاخص سطح برگ لوبیا شود امـا وقـوع تـنش در مرحلـه گـل‌دهـی ایـن شاخص را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۷). کمبود آب به‌واسطه تسریع پیری و ریزش برگ‌ها باعـث کـاهش سـطح بـرگ می‌شود، اما در شـرایط فراهمـی رطوبـت بـه‌دلیـل توسـعه کامـل کانوپی و دریافت بهتر نور در اثر کند شـدن فراینـد پیـری بـرگ، شاخص سطح برگ افزایش می‌یابـد، در نتیجـه اعمـال دو نوبـت آبیاری در مرحله گل‌دهی عدس و تأمین رطوبت مورد نیـاز گیـاه می‌تواند شاخص سطح برگ عدس را افزایش دهد.

سرعت رشد گیاه

سرعت رشد گیاه در تمامی تیمارهـای مـورد بررسـی تـا اواسـط دوره رشد که در ۴۲۸ درجه روز رشد حاصل شد، روند افزایشـی و از آن پس روند کاهشـی نشـان داد و در اواخـر دوره رشـد بـه سمت صفر میـل کـرد (شـکل ۲). نتـایج نشـان داد کـه بیشـترین سرعت رشد گیاه (۱۶/۷ گرم بر مترمربع در روز) در تیمار دو بـار آبیاری تکمیلی و ۲۰ تن زئولیت در هکتار حاصل شـد، از طرفـی نیز کمترین سرعت رشـد گیـاه (۴ گـرم بـر مترمربـع در روز) در تیمار بدون مصرف زئولیت و در شرایط دیـم بـه‌دسـت آمـد کـه می‌توان گفت انجام دو بار آبیاری تکمیلی به‌همراه ۲۰ تن زئولیت در هکتار موجب افزایش سرعت رشد گیاه بـه میـزان ۴/۱۹ برابـر نسبت به شرایط دیـم و عـدم مصـرف زئولیـت شـد (شـکل ۲). بررسی بیشتر نتایج نشان داد که کاهش تعداد دور آبیـاری، باعـث کاهش سرعت رشد گیاه شد و کاربرد زئولیـت از شـدت کـاهش سرعت رشد گیاه در شرایط دیم، یک بار آبیاری و دو بار آبیـاری تکمیلی کاست به‌طوری که با مصرف ۲۰ تـن زئولیـت در هکتـار نسبت به عدم مصرف آن در شرایط دیم، یک بار آبیاری و دو بـار آبیاری تکمیلی به‌ترتیب موجب افـزایش ۳۲/۲۰، ۲۴/۷۸ و ۲۹/۹۱ درصدی در میزان سرعت رشد گیاه شد (شـکل ۲). در نیمـه اول دوره رشد گیاه که در ۸۰ تا ۴۲۸ درجه روز رشد حاصل شـد، بـا تکمیل شدن پوشش گیاهی و استفاده بهینه از نور خورشید ناشـی از افزایش شاخص سطح برگ، میـزان سـرعت رشـد گیـاه رونـد افزایشی نشان داد، اما در نیمه دوم رشد گیاه کـه در ۴۲۸ تـا ۸۰۷ درجه روز رشد حاصل شد، در اثـر ثابـت شـدن میـزان شـاخص سطح برگ، افزایش رقابت درون بوته‌ای و بین بوتـه‌ای و کـاهش راندمان فتوسنتزی در برگ های مسـن، سـرعت رشـد بوتـه‌هـای عدس روند نزولی پیدا کرد (شکل ۲). در پژوهشی بیشینه سرعت رشـد محصـول در گیـاه عـدس در ۱۰۰ روز پـس از گـل‌دهـی مشاهده شد و پس از آن کاهش یافت (۲۹). سـرعت رشـد گیـاه یکـی از شـاخص‌هـایی اسـت کـه بـا عملکـرد گیاهـان زراعـی همبستگی بالایی نشان می‌دهد و افزایش ماده خشک یک جامعـه گیاهی در واحد سطح زمین و در واحد زمان بـوده و معمـولاً بـر حسب گرم بر مترمربع در روز بیان می‌شود. کـاربرد زئولیـت بـه‌دلیل بهبود جذب مواد غذایی از خاک سبب افزایش سرعت رشد محصول می‌شود.

تعداد کل غلاف در بوته

نتایج نشان داد که اثر آبیـاری تکمیلـی و زئولیـت بـر تعـداد کـل



شکل ۲. تغییرات روند سرعت رشد گیاه در طی فصل رشد در شرایط کاربرد آبیاری تکمیلی و زئولیت در گیاه عدس

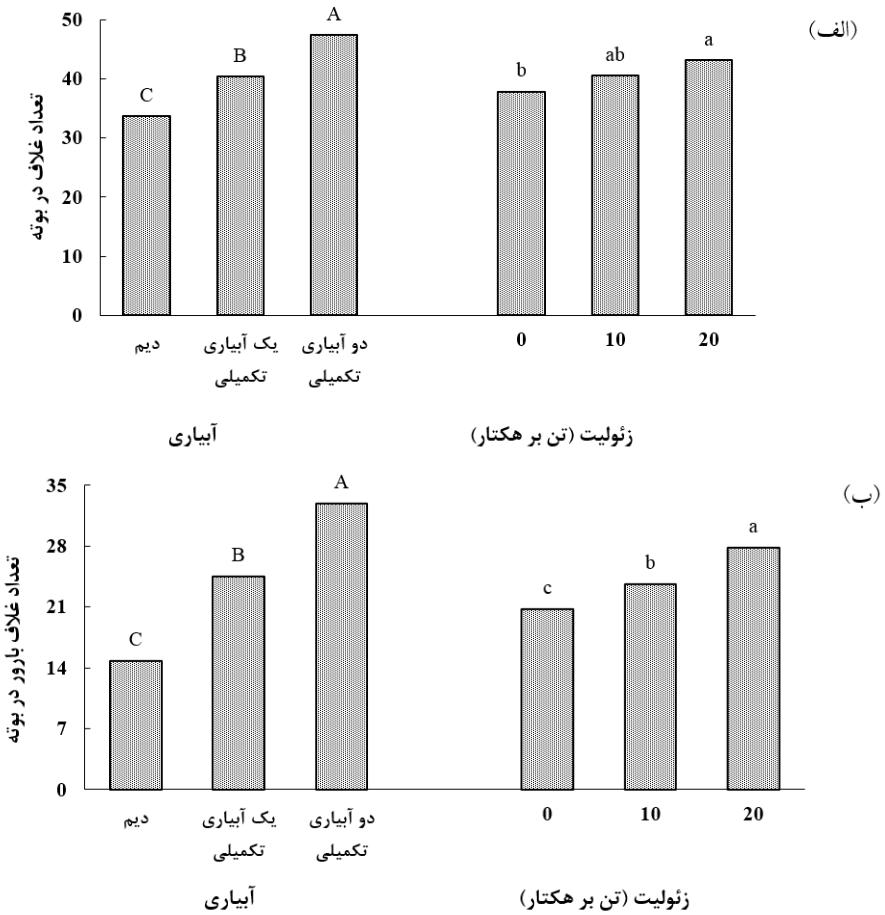
غلاف در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و زئولیت بر تعداد کل غلاف در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲). اعمال آبیاری تکمیلی سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شد، به‌طوری که تعداد غلاف در بوته در شرایط یک بار و دو بار آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم به‌ترتیب ۱۶/۶ و ۲۸/۸ درصد افزایش نشان داد و بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی به‌دست آمد. از طرفی با مقایسه عدم مصرف زئولیت نسبت به مصرف ۱۰ و ۲۰ تن زئولیت در هکتار آن، می‌توان دریافت که تعداد کل غلاف در بوته با مصرف زئولیت به‌ترتیب ۶/۴۵ و ۱۳ درصد افزایش یافت.

همچنین مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار، بیشترین تعداد غلاف در بوته را داشت که اختلاف معنی‌داری با تیمار مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار نداشت (شکل ۳- الف). با افزایش طول دوره رشد زایشی تعداد کل غلاف در عدس افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد افزایش طول دوره رشد زایشی سبب افزایش تعداد غلاف در بوته عدس شده است. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی سبب بهبود باروری و افزایش تعداد غلاف در بوته نخود شده است (۳۹). در بررسی دیگر روی نخود نیز آبیاری در مرحله گل‌دهی تعداد غلاف در بوته را به میزان ۳۴ درصد در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد (۴۰).

جدول ۲. آنالیز واریانس عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شاخص برداشت و عملکرد پروتئین عدس در تیمارهای آبیاری تکمیلی و زئولیت

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد کل غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف بارور	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	شاخص برداشت	عملکرد پروتئین
بلوک	۲	۰/۵^{ns}	۰/۱**	۹۹**	۶^{ns}	۲۰۲۹**	۲۹۲۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۹۸**
آبیاری	۲	۴۲۰**	۰/۳**	۷۳۹**	۲۹۵**	۳۱۵۴۹**	۹۵۵۴۱**	۰/۱**	۹۱۱**
خطای الف	۴	۱۵	۰/۰۰۱	۱	۷	۷۲	۱۴۶۹	۰/۰۰۲	۵
زئولیت	۲	۶۲**	۰/۰۳**	۱۱۴**	۴۸**	۴۹۵۶**	۱۳۳۴۸**	۰/۰۱**	۱۱۰**
آبیاری*زئولیت	۴	۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۳^{ns}	۳^{ns}	۳۴۴^{ns}	۱۴۷۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۸^{ns}
خطا	۱۲	۴/۵	۰/۰۰۱	۲	۲	۱۰۷	۶۳۹	۰/۰۰۰۳	۷
ضریب تغییرات		۵	۵	۷	۴	۹	۸	۵	۱۰

ns: غیر معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.



شکل ۳. اثر آبیای تکمیلی و زئولیت بر تعداد غلاف در بوته (الف) و تعداد غلاف بارور در بوته (ب) در عدس. میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تعداد غلاف بارور

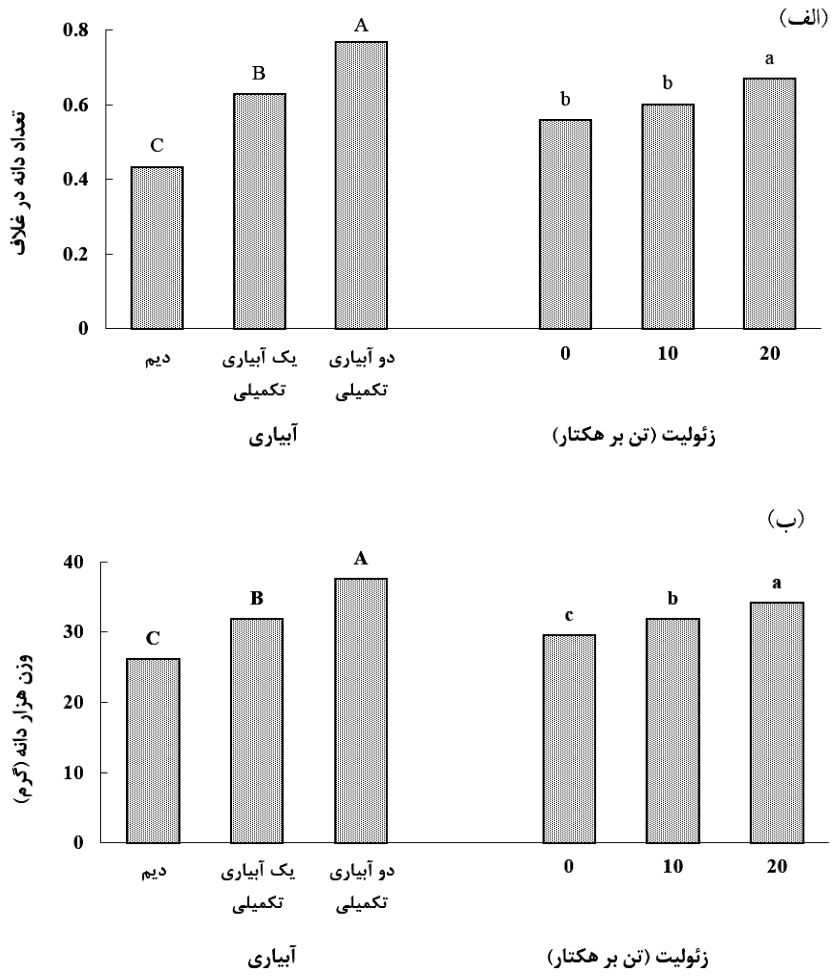
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و مصرف زئولیت در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غلاف بارور معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آبیاری در زئولیت بر تعداد غلاف بارور اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). اعمال تیمار آبیاری تکمیلی و زئولیت باعث افزایش تعداد غلاف بارور شد، به‌طوری که با انجام دو بار آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم و یک بار آبیاری تکمیلی، تعداد غلاف بارور به‌ترتیب ۵۴/۹۶ و ۲۵/۴۹ درصد افزایش یافت. همچنین مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار از آن به‌ترتیب موجب افزایش ۲۵/۳۶ و ۱۴/۴۲ درصدی در تعداد غلاف بارور در بوته شد. در شرایط آبیاری، بیشترین تعداد غلاف بارور در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی (۳۲/۹۵) و در شرایط کاربرد زئولیت در شرایط کاربرد ۲۰ تن زئولیت در هکتار (۲۷/۸۷) حاصل شد (شکل ۳– ب). به‌نظر می‌رسد این جز از اجزای عملکرد به‌طور مشهودی به نوسانات فراهمی آب واکنش نشان می‌دهد و بیشتر بودن مقدار آن می‌تواند تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد داشته باشد. از سوی دیگر بروز تنش خشکی در مراحل حساس مانند گل‌دهی و تشکیل دانه می‌تواند موجب عدم تلقیح گل‌های تشکیل‌شده و در نتیجه موجب افزایش تعداد غلاف‌های نابارور و کاهش غلاف‌های بارور شود.

تعداد دانه در غلاف

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، اثر آبیاری تکمیلی و مصرف زئولیت بر تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و زئولیت بر تعداد دانه در غلاف اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). تیمار دو بار آبیاری تکمیلی و تیمار دیم به‌ترتیب بیشترین (۰/۷۶) و کمترین (۰/۴۳) تعداد دانه در غلاف را داشتند که این اختلاف برابر با ۴۳/۴۲ درصد بود (شکل ۴– الف). همچنین مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار سبب افزایش ۱۰/۴۴ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار عدم مصرف زئولیت شد. از طرفی مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار و عدم مصرف آن اختلاف معنی‌داری را از نظر تعداد دانه در غلاف نشان ندادند (شکل ۴– الف). کاهش میزان آب مورد نیاز در هنگام رشد رویشی موجب کاهش رشد عمومی و طول دوره‌ی رشد گیاه و تشکیل تعداد کمتر دانه در غلاف شده است. کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله رویشی موجب سقط دانه در غلاف می‌شود که در نتیجه تعداد دانه در غلاف کاهش می‌یابد (۱۶). یکی از عوامل مهم در افزایش تعداد دانه در غلاف در گیاهان خانواده لگومینوز در شرایط آبیاری تکمیلی استفاده بهتر از منابع محیطی و دسترسی به آب و مواد غذایی است که روند ماده‌سازی را بهبود بخشیده و باعث افزایش تعداد بالاتری از گل‌ها و دانه‌های بوته‌ها می‌شود. فراهمی رطوبت به میزان کافی و آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی نخود در بهبود باروری غلاف‌ها و افزایش تعداد غلاف در بوته تأثیر معنی‌داری داشت (۳). گل‌دهی و غلاف‌دهی مراحل بحرانی نیاز آبی در حبوبات هستند. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که تعداد دانه در غلاف بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و عوامل محیطی نقش کمتری در بروز این صفت دارند (۲۸). با این وجود برخی از پژوهشگران معتقدند که با افزایش طول دوره زایشی، تعداد دانه در غلاف نیز افزایش می‌یابد (۴۰).

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده آبیاری تکمیلی و مصرف زئولیت اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۲). تیمار دو بار و یک بار آبیاری تکمیلی سبب افزایش ۳۰/۴۸ و ۱۵/۳۳ درصدی در وزن هزار دانه گیاه عدس نسبت به شرایط دیم شدند. همچنین مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار بیشترین (۳۴/۱۶ گرم) وزن هزار دانه را دارا بود که نسبت به مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف آن به‌ترتیب موجب افزایش ۶/۸۹ و ۱۳/۴۹ درصدی در وزن هزار دانه گیاه عدس شد (شکل ۴– ب). با افزایش طول دوره زایشی، وزن هزار دانه نیز افزایش یافت. در صورت کمبود رطوبت در دسترس در مرحله‌ی زایشی دانه‌ها

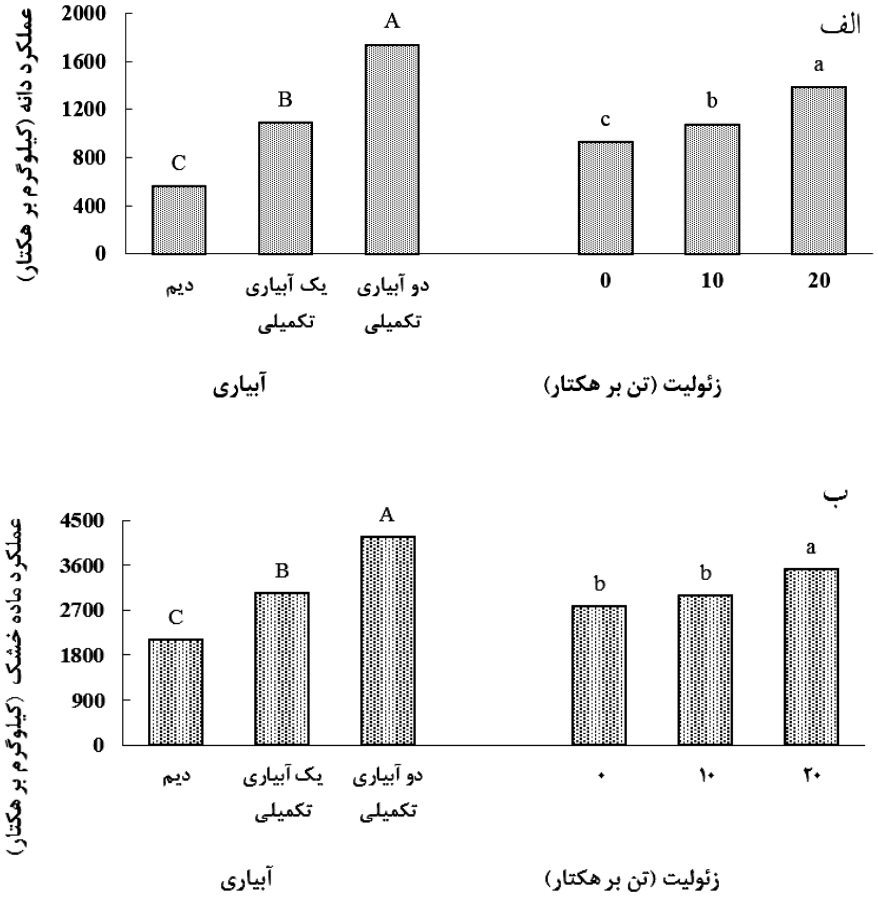


شکل ۴. اثر آبیای تکمیلی و زئولیت بر تعداد دانه در غلاف (الف) و وزن هزار دانه (ب) در عدس. میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

چروکیده و در نتیجه وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده در مورد نخود بیانگر افزایش وزن دانه در شرایط آبیاری نسبت به کشت دیم است (۴۰). کاهش تولید و انتقال مواد پرورده، افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تبادلات گازی، عامل مهمی در کاهش ظرفیت فتوسنتزی در شرایط کم آبی است. در نتیجه انتقال مواد پرورده در شرایط تنش، به‌ویژه در مرحله پرشدن دانه، دلیل کاهش وزن هزار دانه در شرایط بروز تنش بوده است (۵).

عملکرد دانه

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اعمال آبیاری تکمیلی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه داشت. همچنین اثر مصرف زئولیت نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و زئولیت بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری را نشان نداد. با مقایسه تیمارهای آبیاری می‌توان دریافت که اعمال دو بار آبیاری تکمیلی نسبت به اعمال یک بار آبیاری تکمیلی و شرایط بدون آبیاری تکمیلی (دیم) به‌ترتیب موجب افزایش ۳/۱۱ برابری و ۶۷/۸۸ درصد در عملکرد دانه عدس شد. از طرفی مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به ۱۰ تن زئولیت در هکتار و عدم مصرف آن، به‌ترتیب ۲۲/۳۷ و ۳۳/۱۸٪ عملکرد دانه را افزایش داد (شکل ۵- الف). همچنین نتایج نشان



شکل ۵. اثر آبیای تکمیلی و زئولیت بر عملکرد دانه (الف) و عملکرد ماده خشک (ب) در عدس. میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

داد که بیشترین عملکـرد دانـه در تیمـار دو بـار آبیـاری تکمیلـی (۱۷۴۱ کیلوگرم بر هکتـار) و کـاربرد ۲۰ تـن زئولیـت در هکتـار (۱۳۸۶ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد. نتایج پژوهش‌های پیشـین نشان داد که در شرایط دیم، انجام آبیاری تکمیلـی در هـر یـک از مراحل رشد گیاه، به‌ویژه مرحله گل‌دهـی، سـبب بهبـود عملکـرد عدس می‌شود. در این پژوهش نیز مشـاهده شـد کـه انجـام یـک نوبت آبیاری در مرحله گل‌دهی، در افـزایش تعـداد غـلاف‌هـای بارور و در نهایت عملکرد عدس مؤثر بوده است (۲۹). بالا بـودن عملکرد دانه در تیمار آبیاری در مرحله گـل‌دهـی و غـلاف‌دهـی همراه با مصرف زئولیت گویای نیاز رطوبتی گیاه برای دستیابی به پتانسیل تولید است (۲۷). بهادر و همکاران (۸) برتری در صـفاتی مانند سطح برگ گیاه شاهدانه را که موجب جـذب میـزان بـالاتر نور و دی اکسید کربن بوده است را از دلایـل تولیـد بـالاتر مـاده خشک و در نهایت عملکرد دانه بیشتر دانستند، به عبـارت دیگـر، زمانی که گیاه به‌واسطه مصرف زئولیـت، میـزان تـنش کمتـری را دریافت کرد، تولید دانه آن افزایش یافت. تأثیر مثبـت زئولیـت بـر حفـظ رطوبـت خـاک و نگهـداری مـواد غـذایی آن را مـی‌تـوان مهم‌تـرین عامـل تأثیرگـذار زئولیـت بـر عملکـرد دانـه دانسـت، به‌طوری که در مطالعه‌ای گزارش شد اثر زئولیت بر عملکرد دانـه ارقام ماش معنی‌دار بود و دلیل آن را قابلیت نگهـداری بیشـتر آب در خاک در تیمارهای استفاده از زئولیت دانستند (۷). در پژوهش حاضر نیز در اختیار داشتن رطوبت بیشتر، گیاه را بـه تولیـد دانـه بیشتر سوق داده است که این دسترسی از طریق آبیاری بوده است و هم‌چنین کاربرد زئولیت با حفظ بیشتر رطوبت خاک در شـرایط

محدودیت آبی، به بهبود شرایط آبی گیاه و افزایش عملکرد نسبت به شرایط عدم کاربرد زئولیت، کمک می‌کند.

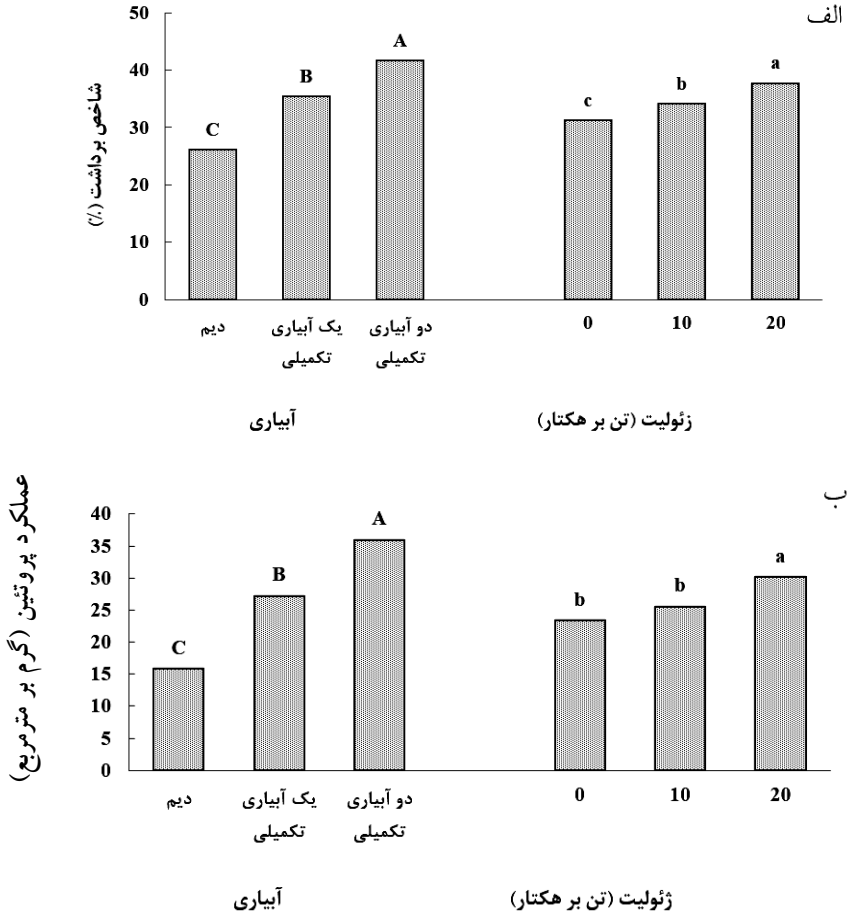
عملکرد ماده خشک

نتایج نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و زئولیت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار بود، اما اثر متقابل مصرف زئولیت و آبیاری تکمیلی اثر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که اعمال دو بار آبیاری تکمیلی باعث افزایش تقریبا دو برابری ماده خشک نسبت به تیمار عدم آبیاری شد. از طرفی ماده خشک در تیمار دو بار آبیاری نسبت به یک بار آبیاری ۲۶/۷۳ درصد بیشتر بود. مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به ۱۰ تن زئولیت در هکتار و عدم مصرف آن، به‌ترتیب ۱۴/۸۹ و ۳۱/۳۴ درصد عملکرد ماده خشک عدس را افزایش داد (شکل ۵- ب). انجام دو بار آبیاری تکمیلی (۴۱۶۳ کیلوگرم بر هکتار) و مصرف ۲۰ تن در هکتار زئولیت (۳۵۳۱ کیلوگرم بر هکتار) بیشترین عملکرد ماده خشک عدس را نشان دادند (شکل ۵- ب). عملکرد ماده خشک یکی از شاخص‌هایی است که با در نظر گرفتن آن می‌توان اثر عوامل محیطی بر عملکرد گیاهان زراعی را مورد بررسی قرار داد. کاهش میزان ماده خشک تولیدی در شرایط دیم می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ تولیدی و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است که با کاهش رشد سلول، اندازه اندام‌ها محدود می‌شود و به‌همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد به‌علاوه کم آبی، جذب مواد و عناصر غذایی را نیز کاهش داده و بنابراین توسعه برگ‌ها را محدود می‌کند (۲۵). کمترین عملکرد زیستی در شرایط کاربرد زئولیت از تیمار شاهد گزارش شد که با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت. با توجه به اینکه کاربرد زئولیت منجر به رشد رویشی بیشتر می‌شود دستیابی به ماده خشک بالاتر انتظار می‌رود (۱۹). پوراسماعیل و همکاران (۳۱) با انجام آزمایشی روی ارقام مختلف لوبیا قرمز، گزارش کردند که استفاده از زئولیت، اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیستی گذاشت و این صفت را افزایش داد.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و مصرف زئولیت بر شاخص برداشت عدس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما برهم‌کنش این دو تیمار اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت عدس ایجاد نکرد (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی (۴۱ درصد) مشاهده شد. اعمال دو بار و یک بار آبیاری تکمیلی نسبت به شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۳۴/۶۷ و ۲۲/۳ درصدی در شاخص برداشت شد (شکل ۶- الف). بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت با مصرف زئولیت از تیمارهای ۲۰ تن زئولیت در هکتار (۳۷ درصد) و تیمار شاهد (۳۱ درصد) به‌دست آمد. کاربرد ۲۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۹/۵۴ و ۱۷/۲۴ درصد در میزان شاخص برداشت نسب به مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار و تیمار شاهد شد (شکل ۶- الف).

شاخص برداشت که حاصل نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد ماده خشک است، نشان‌دهنده‌ی چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی در اندام‌های مختلف گیاه است. شاخص برداشت می‌تواند معیار گزینش مناسبی برای عملکرد بالاتر باشد و نشان‌دهنده‌ی سهمی از تولید کل گیاه است که از نظر کشاورز اقتصادی است و ممکن است یک گیاه با جثه کوچک شاخص برداشت مساوی یا بزرگتر از گیاهان بزرگتر داشته باشد (۱۰). علت افزایش شاخص برداشت در تیمار آبیاری را می‌توان به وزن هزار دانه بیشتر، تعداد دانه در غلاف بیشتر و تعداد بیشتر غلاف در بوته مرتبط دانست (۱۲). با توجه به اینکه بخش عمده وزن خشک اندام رویشی صرف تولید و توسعه اندام‌های زایشی می‌شود از این رو، کاهش فراهمی آب در دوره رویشی باعث کاهش تولید ماده خشک و متعاقبا کاهش دانه و شاخص برداشت می‌شود (۱۱).



شکل ۶. اثر آبیای تکمیلی و زئولیت بر شاخص برداشت (الف) و عملکرد پروتئین (ب) در عدس. میانگین های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

عملکرد پروتئین

مطابق با نتایج به‌دست آمده اثر آبیاری تکمیلی و زئولیت بر عملکرد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و زئولیت بر عملکرد پروتئین معنی‌دار نشد (جدول ۲). با افزایش تعداد آبیاری تکمیلی و مصرف زئولیت بر عملکرد پروتئین افزوده شد، به‌طوری که بیشترین عملکرد پروتئین در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی (۳۵/۹۴ گرم بر مترمربع) و مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار (۳۰/۱۸ گرم بر مترمربع) مشاهده شد (شکل ۶- ب). عملکرد پروتئین در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی نسبت به یک بار آبیاری تکمیلی و شرایط دیم با افزایش ۲۴/۲۳ درصد و ۲/۲۶ برابری همراه بود (شکل ۶- ب). با مقایسه عملکرد پروتئین در تیمارهای مصرف زئولیت می‌توان دریافت که مصرف ۲۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۳۴ و ۲۲/۶۷ درصد نسبت به مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار و عدم مصرف آن شد (شکل ۶- ب). البته پروتئین دانه در اثر کمبود آب افزایش یافت، اما عملکرد دانه نیز در این شرایط کاهش یافت، از دیگر سو عملکرد دانه در اثر آبیاری تکمیلی افزایش نشان داد و تغییرات عملکرد دانه نسبت به تغییرات آب شدیدتر از تغییرات پروتئین دانه بود. چون که عملکرد پروتئین حاصل‌ضرب پروتئین دانه در عملکرد دانه است در نهایت بیشترین عملکرد پروتئین در شرایط دو بار آبیاری

تکمیلی به‌دست آمد. کودهای زئولیت به‌دلیل اختلاف فشار اسمزی، خاصیت تبادل کاتیونی و ایجاد تعادل با محیط اطراف، قادرند ماده غذایی مورد استفاده گیاه را آزاد کنند. به‌همین دلیل به آنها کود هوشمند می‌گویند (۳۰). زئولیت‌ها با افزایش اثرات کودهای شیمیایی همانند یک کود کند رها شونده در خاک عمل می‌کنند که نگهداری رطوبت در خاک را بهبود داده و به‌دلیل تخلخل مناسب به تهویه خاک کمک می‌کنند (۴۱).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد آبیاری تکمیلی و زئولیت سبب بهبود سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ در گیاه عدس می‌شوند. همچنین صفات مرتبط با عملکرد نیز با کاربرد زئولیت و انجام آبیاری تکمیلی، به شکل معنی‌داری بهبود یافتند. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده، لزوم تکرار آزمایش مشابه در منطقه شهرکرد در سال‌های دیگر، تصمیم‌گیری در کاربرد نقش زئولیت در کشت دیم را (با وجود نتایج مثبت پیش از آن)، تسهیل خواهد بخشید و در صورت ثبت نتایج مثبت در آزمایش‌های آتی، می‌توان شرایط خشکی رخ داده در کل کشور به‌ویژه دیم‌زارها را با کاربرد زئولیت امیدبخش نگه داشت.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, G. H., M. Khosh Khui and S. Eshghi. 2006. Effects on natural zeolite on growth and flowering on strawberry. *International Journal of Agricultural Research* 1: 384-389.
2. Ahmadpour, R. and S. R. Hoseinzade. 2017. Evaluation of the effects of water stress and municipal waste compost fertilizer on morphophysiological indices and yield components of lentil. *Journal of Plant Environmental Physiology* 46: 42-56. (In Farsi).
3. Antolin, M. C. and M. Sanchez-Diaz. 1993. Effects of temporary droughts on photosynthesis of alfalfa plants. *Journal of Experimental Botany* 44(8): 1341-1349.
4. Bagheri, A., M. Goldani and M. Hassanzadeh. 1997. Cultivation and Breeding of Lentils. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
5. Bahador, M. and M. R. Taddoyon. 2018. Effect of deficit irrigation and zeolite levels on phenology, oil yield and water use efficiency of hemp. *Iranian Journal of Field Crop Science* 49(3): 25-38. (In Farsi).
6. Bahador, M. and M. R. Taddoyon. 2020. Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops and Products* 144: 112042.
7. Bahador, M., A. R. Abdali Mashhadi, A. Siadat, Gh. Fathi and A. Lotfi Jalal-Abadi. 2015. Effect of Zeolite and seed priming on grain nitrogen content, leaf chlorophyll and traits dependent to grain yield of Mung bean (*Vigna radiate* L.) cultivars. *Journal of Plant Process and Function* 4(11): 137-147. (In Farsi).
8. Bahador, M., M. R. Taddayon, M. Rafi Alhoseini and M. H. Salehi. 2017. Changes of canopy temperature and some physiological traits of hemp (*Cannabis sativa*) under deficit water stress and zeolite rates. *Environmental stresses in agricultural sciences* 10(2): 269-279. (In Farsi).
9. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. pp. 595-624, In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
10. Campbell, C. A., R. P. Zentner, F. Selles, V. O. Biederbeck and A. J. Leyshon. 1992. Comparative effects of grain lentil–wheat and monoculture wheat on crop production, N economy and N fertility in a Brown Chernozem. *Canadian Journal of Plant Science* 72: 1091-1107.
11. Clavel, D., N. K. Drame, H. Roy-Macauley, S. Braconnier and D. Laffray. 2005. Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four Sahelian groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 54: 219-230.
12. De Costa, W. A. and K. N. Shanmugathasan. 1999. Effects of irrigation at different growth stages and source-sink manipulations on yield and yield Components of Mung Bean ,*Vigna radiata* (L.) Wilczek, in Dry and intermediate zones of Sri Lanka. *Journal of Agronomy and Crop Science* 183(2): 111-117.
13. Erskine, W., F. J. Muehlbauer and R. W. Short. 1990. Stages of development in lentil. *Experimental Agriculture* 26: 297-302.

14. Ghazavi, R. 2015. The application effects of natural zeolite on soil runoff, soil drainage and some chemical soil properties in arid land area. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 13: 172-177.
15. Gholamhoseini, M., M. AghaAlikhani, A. Dolatabadian, A. Khodaei-Joghan and H. Zakikhani. 2012. Decreasing nitrogen leaching and increasing canola forage yield in a sandy soil by application of natural zeolite. *Agronomy Journal* 104(5): 1467-1475.
16. Habib Porkashefi, E., M. H. Gharineh, A. R. Shafeinia and M. Roozrokh. 2017. Effect of different levels of zeolite on yield of red bean (*Phasaeolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climate condition. *Crop Production Technology* 17(1): 141-151. (In Farsi).
17. He, Z. L., D. V. Calvert, A. K. Alva, Y. C. Li and D. J. Banks. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil* 247: 253-260.
18. Hosseini, F. S., A. Nezami, M. Parsa and K. Hajmohammadnia Ghalibaf. 2011. Effects of supplementary irrigation on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars in Mashhad climate. *Journal of Water and Soil* 25(3): 625-633. (In Farsi).
19. Ippolito, A. J., D. D. Tarkalson and G. A. Lehrsch. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. *Soil Science* 176(3): 136-142.
20. Karim, M. F. and Q. A. Fattah. 2007. Growth analysis of chickpea cv. Bari Chhola-6 as affected by foliar spray of growth regulators. *Bangladesh Journal of Botany* 36(2): 105-110.
21. Karimzadeh Soureshjani, H. A., M. R. Tadayon, M. Shalalvand and Y. Fardi. 2019. Evaluation of growth indices and qualitative traits of maize hybrids at different sowing dates in Varamin, Iran. *Journal of Crop Production and Processing* 8(4): 29-44. (In Farsi).
22. Kayan, N. 2008. Variation for yield components in two winter sown lentil cultivars (*Lens culinaris* Medic.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 14(5): 460-465.
23. Khan, H., A. Z. Khan, R. Khan, N. Matsue and T. Henmi. 2008. Zeolite application affects vegetative phenology of determinate and indeterminate soybean grown on allophanic soil. *International Journal of Agricultural Research* 3(2): 148-154.
24. Maleki, S., A. Nakhzari moghaddam, S. H. Sabbaghpoor, A. Noorinia and H. Sabouri. 2018. Investigation of the effect of zeolite and potassium application on some traits and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in different irrigation managements. *Iranian Journal of Pulses Research* 9(2): 114-125. (In Farsi).
25. Mandal, B. K., P. K. Ray and S. Dasgupta. 1986. Water use by wheat, chickpea and mustard grown as sole crops and intercrops. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 56: 187-193.
26. Millan, N. G., F. Agosto, M. Va'zquez, L. Botto, L. Lombardi and L. Juan. 2008. Use of clinoptilolite as a carrier for nitrogen fertilizers in soils of the Pampean regions of Argentina. *Ciencia e Investigacio'n Agraria* 35: 245-254.
27. Naseri, R., M. J. Rahimi, S. A. Siyadat and A. Mirzaei. 2015. The effects of supplementary irrigation and different plant densities on morphological traits, yield and its components and protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Sirvan region in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research* 6(1): 78-91. (In Farsi).
28. Oweis, T. and A. Hachum. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in west Asia and north Africa. *Agricultural Water Management* 80: 57-73.
29. Oweis, T., A. Hachum and M. Pala. 2005. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 68: 251-265.
30. Polat, E., M. Karaca, H. Demir and A. Naci Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornamental Plant Research* 12: 183-189.
31. Pooresmail, P., D. Habibi, A. Tavasoli, M. Mashhadi Akbari Booojar, B. Roshan and H. Rafiei. 2009. Evaluation of the effect of water superabsorbent polymer on yield improvement and yield components of different red bean cultivars under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Science* 4(3): 310-379. (In Farsi).
32. Rahimi, M. 2009. The effect of zeolite on optimal nitrogen consumption in rapeseed cultivation, MSc Thesis. Islamic Azad University. Miyaneh Branch, Iran. (In Farsi).
33. Rahimi, M. M. and Gh. Noormohammadi. 2010. Effects of sowing time and different nitrogen levels on quantitative and qualitative charecteristics of oil flax (*Linum usitatissimum* L.). *Seed and Plant Production* 25(1): 79-91.
34. Russelle, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.
35. SAS, I. 2007. SAS User's Guide in Statistics. SAS Institute. Inc., Cary.
36. Shadroo, V., A. M. Shirani Rad and M. Yoosefi. 2011. Effect of different irrigation regimes on yield and yield components of three barley cultivars in zeolite treatment. In: National Conference on New Achievements in Agriculture. Young Researchers Club of Shahr-e-Quds Branch, Iran. (In Farsi).

37. Singh, S. P. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science* 35: 118-128.
38. Tesfaye, K., S. Walker and M. Tsubo. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy* 25: 60-70.
39. Tuba Bicer, B., A. Narin Kolender and D. A. Akar. 2004. The effect of irrigation on spring-sown chickpea. *Journal of Agronomy, Asian Network for Scientific Information* 3: 154-158.
40. Ullah, A., J. Bakht, M. Shafi, W. A. Shah and Z. Islam. 2002. Effect of various irrigations level on different chickpea varieties. *Asian Journal of Plant Science* 1: 355-357.
41. Virta, R. L. 2008. Mineral resource of the month: natural and synthetic zeolites. *Geotimes* 53(6).
42. Zamani Noori, A., A. Ghashghayi and S. Hoseini Abri. 2013. Effect of zeolite on yield, yield components and bean protein. In: The first national conference on sustainable agricultural development using the agricultural model. 24 February. Hamedan, Iran. (In Farsi).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Supplementary Irrigation and Application of Zeolite on the Growth and Yield of Lentils (*Lens culinaris* Medik) under Rainfed Conditions

M. Ghashghaei[1], M.R. Tadayon[2*], M. Bahador[3] and H. Karimzadeh[4]

(Received: May 09-2021; Accepted: July 31-2021)

Abstract

In order to investigate the effect of zeolite on growth indices, yield and grain yield components and protein of lentil in dryland and supplementary irrigation conditions, a field study was conducted in Shahrekord University, Shahrekord, Iran. The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor included three levels of irrigation (rainfed, one stage of supplementary irrigation and two stages of supplementary irrigation) and the second factor included the application of three levels of zeolite (0, 10 and 20 tons ha^{-1}). The results showed that supplementary irrigation increased the grain yield. Application of zeolite moderated the effect of drought stress. Zeolite improved grain yield, this improvement occurred under both supplementary irrigation and rainfed conditions. Though, the interaction of supplementary irrigation and zeolite on yield and yield components was not statistically significant. Supplementary irrigation and zeolite had a significant effect on growth indices and improved growth indices during the growing season. The highest grain yield (1741 kg ha^{-1}) was obtained when supplementary irrigation was applied at two stages. Application of 20 tons ha^{-1} of zeolite increased grain yield by 50% compared to the control. Therefore, according to the findings of the present study, in conditions of water restriction, application of 20 tons ha^{-1} of zeolite may benefit lentil cultivation in Shahrekord, Iran.

Keywords: Drought stress, Growth indices, Pulses, Rainfed conditions

1, 2 and 3. MSc Student, Professor and Former PhD Students, Respectively, Agronomy Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. Postdoctoral Researcher, Research Center for Plant Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
*: Corresponding Author, Email: mrtadayon@yahoo.com