مطالعه اثر کاربرد زئولیت بر تعدیل تنش کم‌آبیاری و بهبود کارکردهای گیاه شاهدانه

محمود بهادر و محمودرضا تدین*

گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ١٣٩٤/٠٩/٠٨، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٥/٠٣/٠٥)

چکیده:

یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی، استفاده از گیاهان زراعی متحمل همراه با کاربرد مواد نگه‌دارنده آب در خاک مانند زئولیت می‌باشد. شاهدانه از گیاهان دانه روغنی و دارویی است. به منظور بررسی نقش زئولیت در تعدیل تنش کم‌آبیاری و بهبود کارکردها و شاخص‌های رشدی شاهدانه، آزمایشی در تابستان ١٣٩٣ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در چهار سطح (تأمین ٤٠، ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی زئولیت در سه سطح (صفر، ٥ و ١٠ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد از نظر روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، دوام زیست‌توده (BMD)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) در بین سطوح زئولیت و رژیم‌های آبیاری تفاوت وجود داشت. افزایش میزان آب آبیاری به دلیل حضور زئولیت در خاک اطراف ریشه، باعث افزایش شیب رشد در ویژگی‌های LAI، LAD، BMD و CGR و هم‌چنین شاخص کلروفیل برگ شد. به طور کلی، زئولیت موجب تخفیف زیان ناشی از کمبود آب در صفات مورد بررسی گردید. از این‌رو، با توجه به نقش زئولیت در ایجاد شرایط لازم جهت رشد بهتر شاهدانه، کاربرد مقدار ١٠ تن زئولیت در هکتار بویژه در شرایط تنش شدید مفید به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: پایداری غشا، سرعت جذب خالص، شاخص سطح برگ، شاخص‌های رشد، مواد جاذب‌الرطوبه

مقدمه:

شاهدانه گیاهی یکساله، علفی و دوپایه بوده که از ده هزار سال پیش مورد استفاده قرار می‌گرفته است (سنگلانگ، ٢٠٠٩). این گیاه به طور وسیعی در سراسر جهان پراکنده شده، ولی منشأ اصلی آن، مناطق معتدل آسیا است. شاهدانه جهت استفاده از فیبر، ساخت کاغذ، استخراج روغن و تولید ترکیبات دارویی و مخدر کشت می‌گردد. الیاف شاهدانه برای ساخت مواد عایق در ساختمان، صنایع اتومبیل‌سازی، کاغذسازی و تولید پارچه کاربرد دارد (وانگ و همکاران، ٢٠٠٩).

در سطح جهانی، خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که گیاهان زراعی با آن مواجه هستند و یک سوم اراضی قابل کشت در جهان از نبود آب کافی برای کشاورزی دچار مشکل می‌باشند (هویرو، ١٩٩٦). بر اساس گزارش فائو (FAO، ٢٠١٠) نود درصد از مساحت کشور ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد. ایران دارای اقلیم مدیترانه‌ای است که ویژگی‌های این منطقه شامل تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب می‌باشد. در چنین نقاطی از جهان با ورود گیاهان دانه‌ای به مرحله پرشدن دانه، به تدریج از میزان

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

بارندگی‌ها کاسته شده و از طرفی دمای هوا، تبخیر و تعرق و در نتیجه نیاز آبی گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین، در چنین مرحله‌ای از رشد گیاه تا حدودی با کمبود آب مواجه شده و حدی از تنش خشکی و گرمایی را تجربه می‌کند که این امر می‌تواند باعث کاهش تولید شود. تحت این شرایط، جذب و انتقال مواد دچار اختلال شده و قابلیت دسترسی به آب و به دنبال آن مواد غذایی محدود می‌گردد که این پدیده می‌تواند از یک یا چند فعالیت فیزیولوژیک ممانعت نموده و یا حتی باعث توقف آن‌ها گردد. تنش خشکی منجر به انسداد روزنه‌ای و کاهش تعرق، کاهش پتانسیل آب برگ بافت‌های گیاهی، کاهش فتوسنتز و ممانعت از رشد، تجمع اسید آبسیزیک (ABA)، پرولین، مانیتول، سوربیتول، ترکیبات پاک‌کننده رادیکال‌ها (آسکوربات، گلوتاتیون، آلفاتوکوفرول)، سنتز پروتئین‌ها و mRNA ها می‌گردد (یوردانوف و همکاران، ۲۰۰۳).

یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیولوژیک صورت گرفته در گیاهان تحت تنش خشکی تغییر در میزان کلروفیل است. مطالعات نشان می‌دهد که تنش خشکی علاوه بر کاهش سطح برگ، موجب کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها نیز می‌گردد، که باعث کاهش تولید موادی نظیر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها خواهد شد (هاشم زاده و همکاران، ۱۳۸۰).

انعطاف‌پذیری توسعه برگ به عنوان یک فرایند مهم جهت حفظ و کنترل مصرف آب در گیاهان محسوب می‌گردد. در مراحل نمو رویشی، حتی تنش بسیار جزئی می‌تواند سرعت رشد برگ و در نهایت، شاخص سطح برگ را کاهش دهد. کاهش سطح برگ منجر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود. علاوه بر این، تسریع پیری برگ‌ها و ریزش آنها نیز که به عنوان یک فرایند کاهش مصرف آب و ادامه بقا در گیاهان مواجه با تنش خشکی مطرح است. سرعت جذب خالص از محاسبه تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ و در واحد زمان بدست می‌آید. از آنجایی که برگ اندام اصلی فتوسنتزی گیاه محسوب می‌گردد، هرگونه کاهش در توسعه برگ بر سرعت رشد گیاه و سرعت جذب خالص اثر می‌گذارد (کالواچه و همکاران، ۱۹۹۷).

زئولیت‌ها، مواد جامد بلورین و آبدار با روزنه‌های متحدالشکل به ابعاد ۳ تا ۱۰ آنگستروم هستند، ابعاد آن‌ها در حد مولکولی است، از این رو، به زئولیت‌ها غربال‌های مولکولی (Molecular sieves) نیز می‌گویند. زئولیت‌ها دارای کاتیون‌هایی از خانواده فلزات قلیایی و قلیایی- خاکی هستند و ساختمان سه بعدی نامحدودی دارند. کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت بر افزایش رشد محصولاتی مثل ذرت، چغندرقند و سورگوم در آمریکا، چین و کوبا مورد بررسی قرار گرفته است (ابرل و همکاران، ۱۹۹۵). غلامحسینی و همکاران (۱۳۸٦) تأثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد آفتابگردان را بررسی و مشاهده کردند اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری و زئولیت و هم‌چنین برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک نهایی و میزان کلروفیل برگ در مرحله گلدهی معنی‌دار بود. نتایج پژوهش زاهدی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین کاربرد زئولیت و عدم کاربرد آن بر ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک وجود داشت. نتایج پژوهش تادیلاس و آرگیروپولوس (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد کلینوپتیلولیت موجب افزایش زیست توده گیاهی گردید. نوری و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که کاربرد زئولیت، عملکرد دانه و ماده خشک را افزایش داد. هم‌چنین در پژوهش غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۸)، زئولیت موجب افزایش در مقدار وزن‌تر و خشک علوفه کلزا و میزان کلروفیل برگ آن شد. عشقی و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش معنی‌دار کاربرد زئولیت بر وزن خشک ساقه گیاه سویا را گزارش دادند. در پژوهش رنجبرچوبه و همکاران (۱۳۸۳) بر گیاه توتون، اثر مثبت زئولیت بر ارتفاع بوته و وزن خشک برگ‌ها معنی‌دار بود، اما بر صفت کلروفیل برگ اثرگذار نبود. بنابراین، با توجه به این نکته که تاکنون پژوهشی در مورد نقش زئولیت در تغییرات شیب تجمع ماده خشک و یا افزایش سطح برگ در دوره رشد گیاه بویژه در شرایط تنش کم‌آبی صورت نگرفته بود، این پژوهش با هدف بررسی نقش برهمکنش تنش کم‌آبیاری و زئولیت بر شاخص‌های رشدی گیاه شاهدانه انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی نقش زئولیت و اثر تخفیف دهندگی آن بر کارکردها و شاخص‌های رشدی شاهدانه، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش نمونه‌ای مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک تهیه شد و جهت آزمون خاک و توصیه کودی به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد ارسال گردید. عامل اصلی شامل تنش خشکی در چهار سطح (تأمین ٤٠، ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی شامل زئولیت در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. ابتدا در مزرعه عملیات خاکورزی انجام و پس از کرت بندی سطوح زئولیت اعمال گردید. سپس بوسیله فاروئر، پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و بذور شاهدانه با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع کاشت شد. کاشت در هفته اول خردادماه و به صورت دستی انجام گرفت. جهت حذف اثرات جانبی بین کرت‌های فرعی، یک متر و بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله ایجاد شد. طی فصل رشد، عملیات لازم از جمله مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی و کوددهی بر اساس توصیه آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد انجام شد. بدین ترتیب که میزان سوپر فسفات تریپل و گوگرد کشاورزی به ترتیب به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار که یک سوم آن قبل از کشت و مابقی طی دو مرتبه به صورت سرک اعمال گردید. دو پشته کناری و ۳۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. به منظور اعمال تیمار تنش خشکی، ابتدا نمونه‌برداری از خاک مزرعه (از عمق‌های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦٠ سانتی‌متر) انجام و پس از کشت، آبیاری برای کلیه تیمارها بصورت یکسان و بر مبنای نیاز آبی محاسبه شده بوسیله روش پنمن–مانتیث اصلاح شده توسط فائو، صورت گرفت. زمانی که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد، به میزان ۵۰ درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی رسید، آبیاری انجام شد، به این نحو که میزان آب مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی، در واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد. هم‌چنین، جهت اعمال تیمارهای تأمین ٤٠، ٦٠ و ٨٠ درصد نیاز آبی گیاه، با استفاده از کنتور حجمی آبیاری کرت‌ها انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاه شاهدانه در مزرعه و همزمان با باز شدن چهارمین برگ گیاه (کد ۱۰۰۸ در مراحل رشدی گیاه شاهدانه) (مدیاویلا و همکاران، ۱۹۹۸) صورت گرفت و تا زمان رسیدگی و برداشت ادامه داشت. لازم به ذکر است که نسبت بوته‌های نر و ماده در هر کرت حدود ۵۰:۵۰ محاسبه شد و بوته‌های تر در مرحله رشدی ۲۱۰۳ (پایان مرحله گلدهی) خشک شد. از این زمان تا پایان فصل رشد، تراکم بوته در کرت‌ها به نصف رسید که در محاسبات تعیین نیاز آبی هر کرت و بررسی شاخص‌های رشدی در نظر گرفته شد.

به منظور اندازه‌گیری‌های آنالیز رشد، از زمان سبز شدن با فواصل مشخص، در هر مرحله، سه بوته از هر کرت برداشت و سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter AM 200) اندازه‌گیری شد و سپس به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، بافت‌های گیاهی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار گرفت. با استفاده از اندازه‌گیری‌های فوق و روابط زیر، شاخص‌های سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، و دوام سطح برگ (LAD) محاسبه گردید (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۵).

$$LAI=LA/GA \qquad LAD=(T_f-T_p)$$
$$(〖LA〗_f+〖LA〗_P)/2 \qquad NAR=CGR/LAI$$

DWf وزن خشک نهایی، DWp وزن خشک در مرحله قبل، 〖LA〗_f سطح برگ نهایی، 〖LA〗_P سطح برگ در مرحله قبل، Tf زمان مرحله نهایی، Tp زمان مرحله قبل، GA سطح زمین اشغال شده توسط گیاه، Ln پایه لگاریتم با مبنای طبیعی.

برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد. هم‌چنین، به منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا (Membrane Stability Index)، نمونه‌هایی به قطر یک سانتی‌متر از جوان‌ترین برگ توسعه یافته در مرحله گلدهی (کد ۲۲۰۲ در مراحل رشدی گیاه شاهدانه) برداشت شد و دو مرتبه با آب دوبار تقطیر به منظور از بین بردن الکترولیت‌های سطحی شسته شد. دیسک‌های برگی، درون ویال‌هایی حاوی آب دو بار تقطیر قرار گرفت و به مدت ٦ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، سپس هدایت الکتریکی، توسط دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) اندازه‌گیری شد (Lt). آن‌گاه نمونه‌ها در اتوکلاو قرار گرفتند. پس از آن ویال‌ها به مدت ٢٤ ساعت، در دمای اتاق قرار داده شدند و نشت الکترولیت‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (L0). در نهایت از رابطه زیر درصد پایداری غشا اندازه‌گیری شد (غولام و همکاران، ۲۰۰۲):

$$MSI\% = (1 - \frac{L_t}{L_0}) \times 100$$

سنجش میزان سبزینگی برگ (شاخص کلروفیل) نیز از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته و با استفاده از دستگاه SPAD در مرحله گلدهی (کد ۲۲۰۲ در مراحل رشدی گیاه شاهدانه) صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها بوسیله نرم‌افزار آماری SAS و همبستگی بین صفات با نرم‌افزار SPSS انجام و مقایسه میانگین با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Sigma plot 12.5 انجام شد.

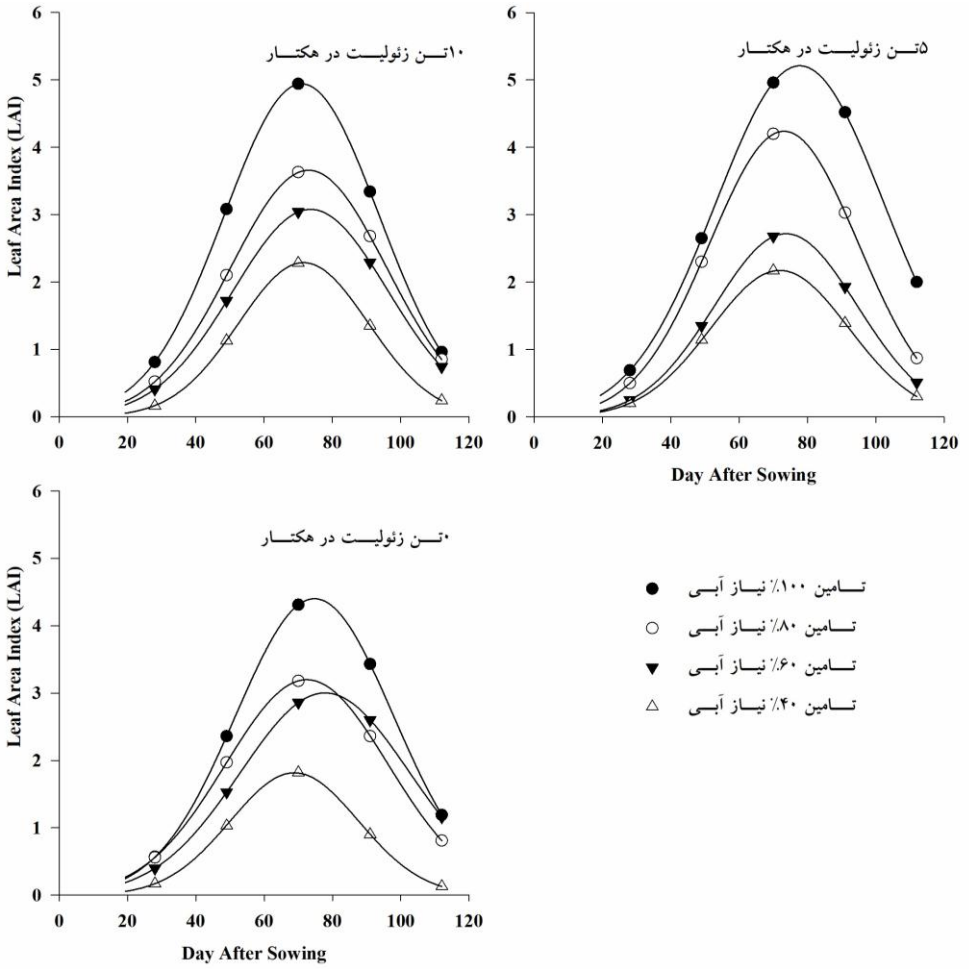
نتایج و بحث:

شاخص سطح برگ: تغییرات شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری و هم‌چنین مقادیر مختلف زئولیت نشان داد در تمامی سطوح زئولیت، کاهش میزان آب آبیاری باعث کاهش میزان و آهنگ افزایش شاخص سطح برگ، در نیمه نخست دوره رشد گیاه شد. اما شدت کاهش رخداده، در همه سطوح تیمارها یکسان نبود. هم‌چنین، متناسب با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش یافت، به طوری که با کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار و در شرایط تأمین ٤۰ درصد نیاز رطوبتی، ۲۳/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد در زمانی که مقدار شاخص سطح برگ در اوج خود بود، کاهش نشان داد (شکل ۱). از آن‌جا که سطح برگ، تأثیر عمده‌ای در میزان عملکرد و سرعت رشد گیاه زراعی دارد، به همین سبب، ویژگی‌های پیچیده‌ای داشته و اجزای اصلی آن تعداد و اندازه برگ‌ها هستند. سینگر و همکاران (۱۹۹٦) و نیلسون و نلسون (۱۹۹۸) نیز در بررسی خود نشان دادند که تنش خشکی، باعث کاهش سطح برگ شد. هم‌چنین مشاهده شد که در تیمارهای کاربرد ۱۰ و ۵ تن زئولیت در هکتار، سطح برگ شاهدانه با آهنگ افزایشی برابری به ویژه در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به اوج خود رسید. این نتیجه، شاید حاکی از نقش زئولیت در کمک به گیاه در رسیدن به پتانسیل رشدی خود در نیمه نخست دوره رشد بود. علاوه بر این، با مقایسه سطوح تنش خشکی در مقادیر عدم کاربرد زئولیت، مشاهده گردید که در شرایط تأمین ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی، روند افزایش سطح برگ نزدیک به یکدیگر بود. با مقایسه سطوح مذکور در تیمار کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار، می‌توان نقش برجسته زئولیت در افزایش مقدار سطح برگ را حدس زد.

دوام سطح برگ: دوام سطح برگ، بیان کننده بزرگی و یا پربرگی گیاه، در طول دوره رشد آن است. دوام سطح برگ، هم میزان سطح برگ و هم دوام بافت‌های فتوسنتزی جامعه گیاهی را در بر می‌گیرد و منعکس کننده وسعت و یا مجموع نور دریافت شده در طول فصل رشد نیز است (سوقانی و همکاران، ۱۳۸۹). روند تغییرات دوام سطح برگ شاهدانه نیز مشابه با روند شاخص سطح برگ بود، به طوری که ابتدا روند افزایشی داشت و سپس در اواخر فصل رشد بویژه همزمان با مرحله حذف بوته‌های نر، به دلایلی از جمله کاهش تعداد بوته در واحد سطح و یا کاهش تعداد برگ‌های بالغ و هم‌چنین پیری سریع برگ‌ها کاهش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد تفاوت بین رژیم‌های آبیاری از تفاوت بین سطوح زئولیت چشم‌گیرتر بود، به عبارت دیگر، با کاهش میزان آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

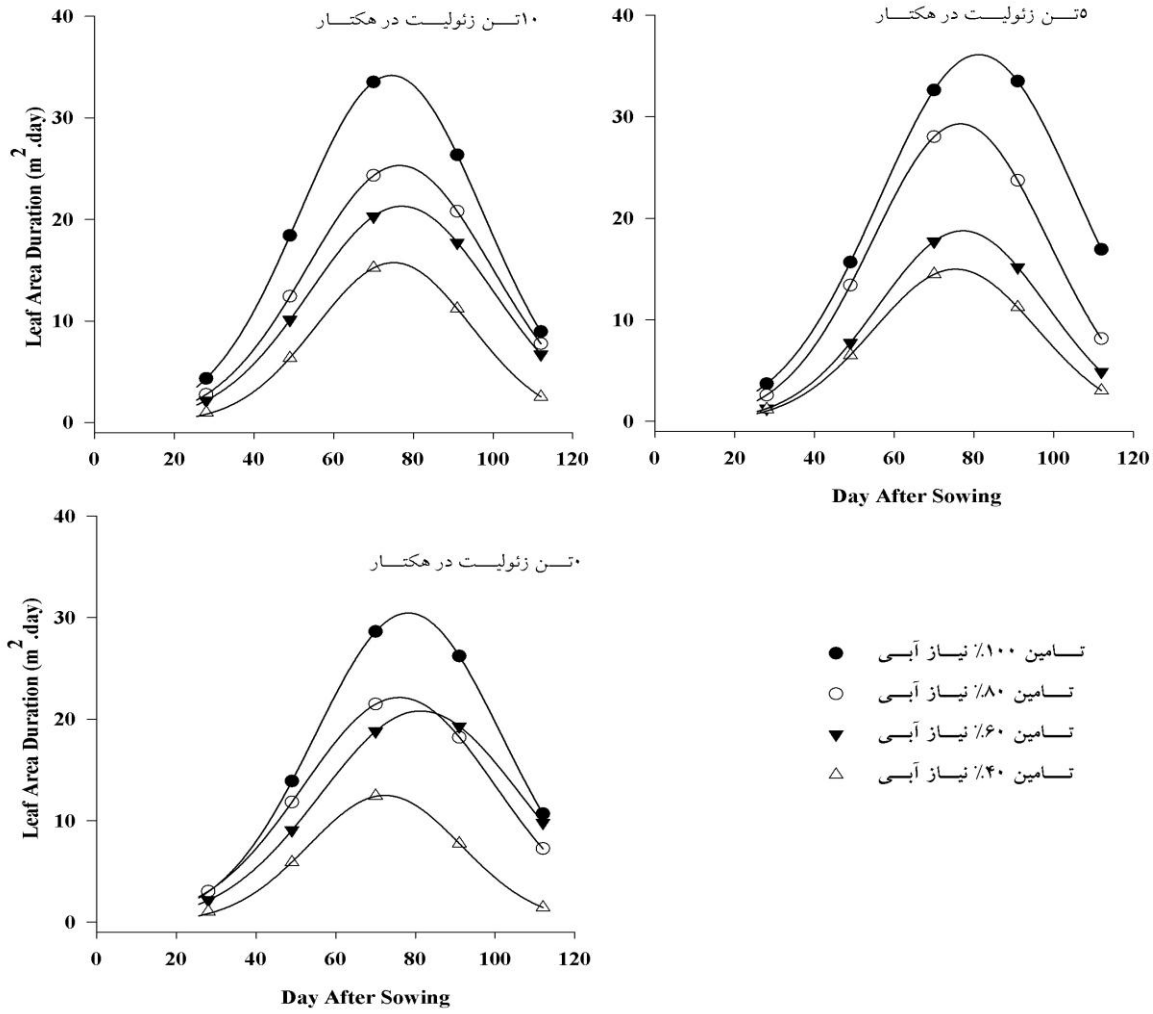


شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ شاهدانه در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

آبیاری در هر سطح کاربرد زئولیت، حداکثر دوام سطح برگ ثبت شده کاهش یافت؛ کاهش مذکور در تیمارهای مختلف متفاوت بود (شکل ۳). در واقع چنین به نظر می‌رسد که کمبود آب باعث تسریع فرآیند پیری برگ‌ها شد، در این شرایط حداکثر عمر مفید برگ‌ها نسبت به شرایط آبی بهینه کاهش یافت. نتایج پژوهش‌های انجام شده نیز حاکی از تسریع سرعت زوال و پیری برگ‌ها در شرایط تنش خشکی بود (Nunez- Barrios، ۱۹۹۱ و Husain و همکاران، ۱۹۹۰). هم‌چنین در مقایسه سطوح تأمین ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی در تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار، مشخص شد کاربرد زئولیت موجب حفظ دوام سطح فتوسنتز کننده گیاه در طول فصل رشد گردید (شکل ۲). در این بین، رابطه مستقیم بین صفات سطح برگ و دوام سطح برگ در کل دوره رشد وجود داشت (شکل ۳).

سرعت رشد محصول: بررسی منحنی تغییرات رشد محصول نشان داد، در مراحل اولیه رشد، سرعت رشد محصول در کم‌ترین مقدار خود بوده و پس از آن با کامل شدن پوشش گیاهی و استفاده مطلوب‌تر از نور خورشید و هم‌چنین افزایش سطح برگ، مقدار آن افزایش یافت (شکل ۳). در ادامه دوره رشد، تغییرات میزان سرعت رشد محصول پس از خشک شدن بوته‌های نر و هم‌چنین کاهش سطح برگ، به دلیل افزایش رقابت، کاهش نفوذ نور به داخل سایه‌انداز گیاهی و هم‌چنین کاهش کارایی اندام‌های فتوسنتز کننده رو به پایین بود. هم‌چنین در بررسی نقش رژیم آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد محصول، تنش خشکی باعث کاهش سرعت رشد محصول گردید (شکل ٤). در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]



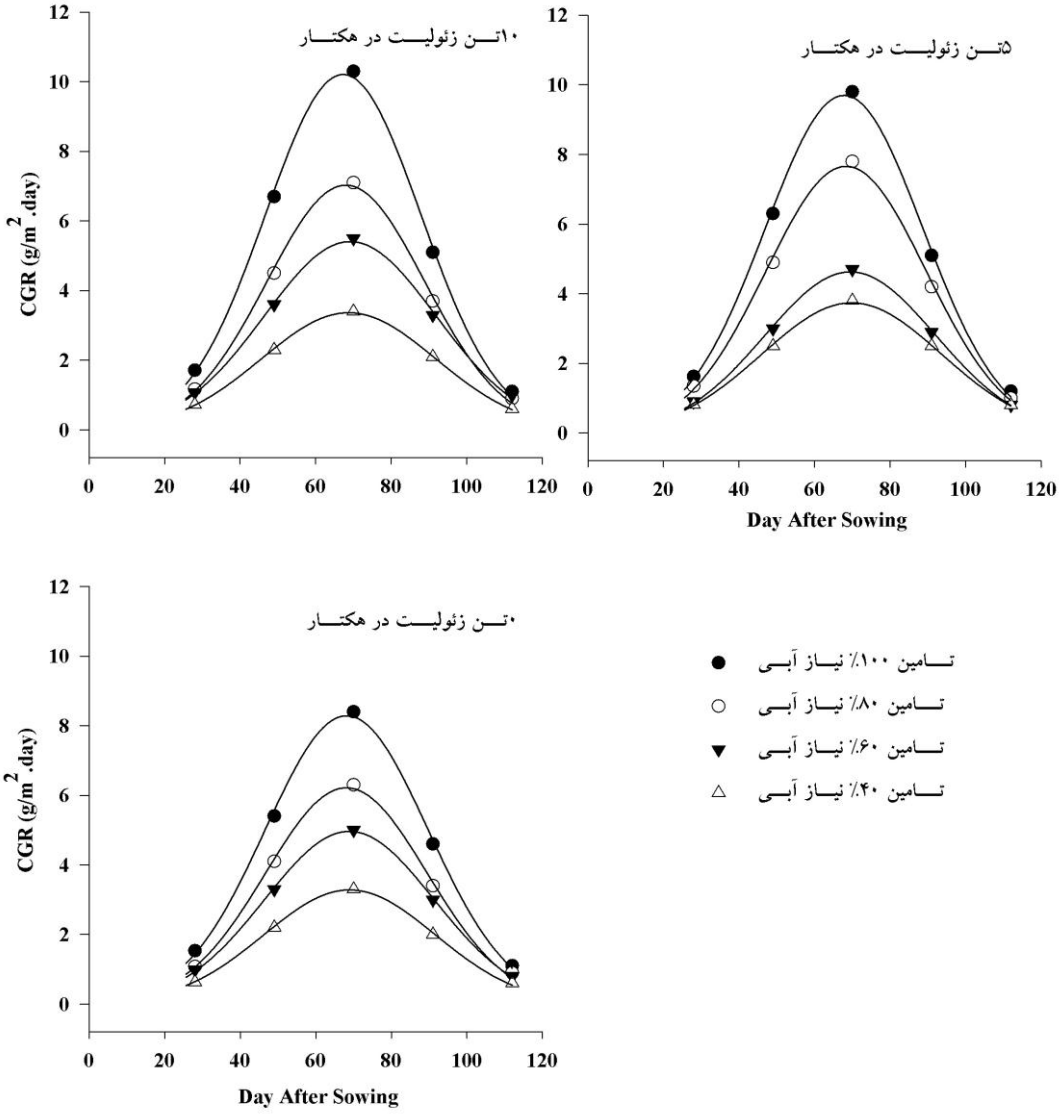
شکل ۲- روند تغییرات دوام سطح برگ شاهدانه در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، سایه‌اندازی برگ‌ها نسبت به شرایط ٤۰ درصد نیاز رطوبتی بیشتر بود و احتمالاً به همین جهت کاهش سرعت رشد محصول در مراحل پایانی در این تیمارها بیشتر بود.

از طرف دیگر، کاهش سرعت رشد محصول، در تیمارهای تنش خشکی ممکن است به اثر منفی تنش خشکی بر شاخص سطح برگ مربوط شود (شکل ۱). زیرا، افزایش شدت تنش خشکی، از طریق کاهش تعداد و سطح برگ‌ها و دوام سطح برگ سبب کاهش شاخص سطح برگ و به عبارت دیگر توان فتوسنتزی گیاه شد. از طرف دیگر، نقش زئولیت (بویژه کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار) در حفظ آب در محیط ریشه، موجب شد که اثرات منفی تنش خشکی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول کاهش یابد، اما این کاهش بسته به میزان استفاده از زئولیت و نیز شدت تنش متفاوت بود.

سرعت جذب خالص: اثر سطوح مختلف رژیم آبیاری بر سرعت جذب خالص در گیاه شاهدانه نشان داد که در ابتدای فصل رشد به دلیل کاهش سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم، میزان جذب خالص مقداری افزایش یافت ولی در ادامه فصل رشد کاهش یافت (شکل ٤). نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش سرعت جذب خالص شد که علت آنرا عمدتاً ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها و به دنبال آن کاهش میزان فتوسنتز، کاهش توانایی گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به فرایند رشد و هم‌چنین افزایش مصرف مواد فتوسنتزی در فرایند تنفس گزارش کردند (بایوئلو جیمنز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

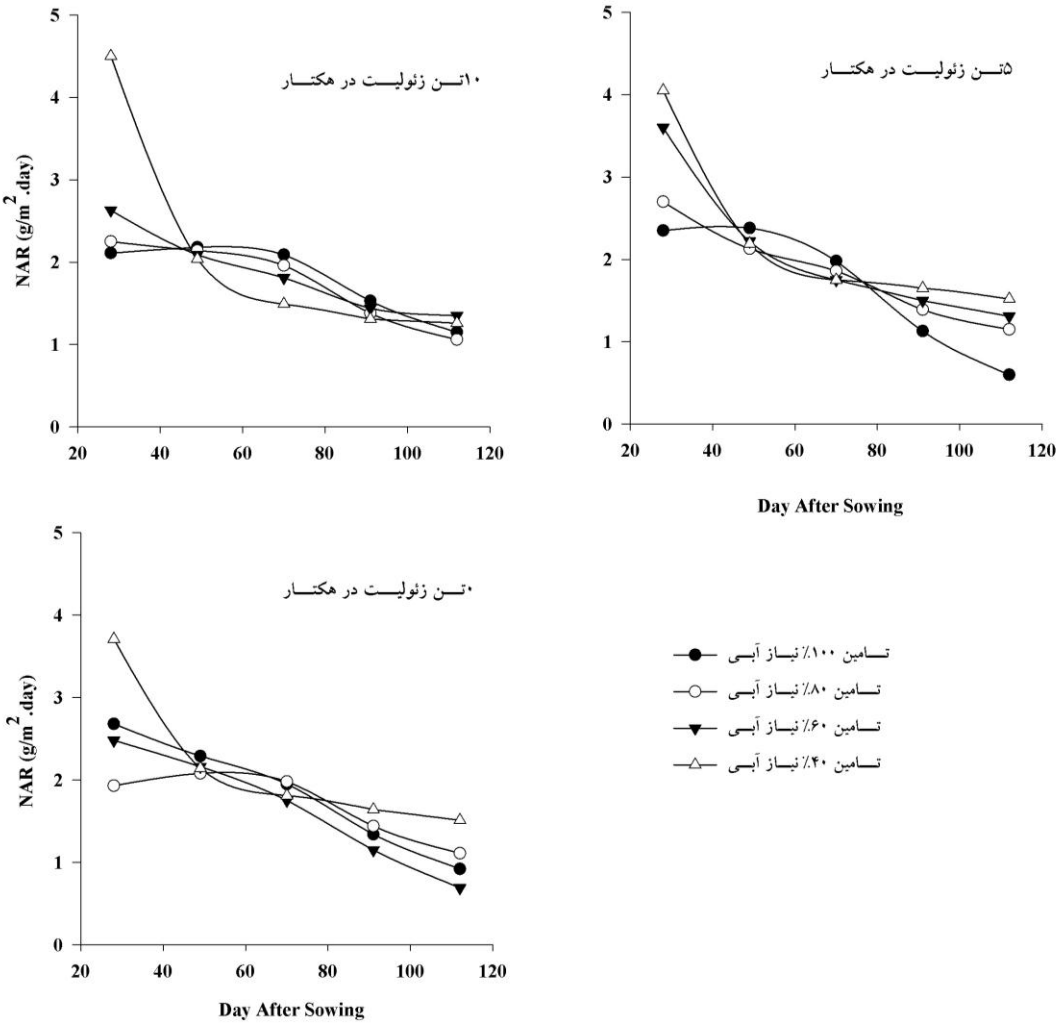


شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

همکاران، ۲۰۰۳). از طرف دیگر، هم‌تراز شدن مقدار بیشینه جذب خالص در سطح کاربرد ۱۰ تن زئولیت و اختلاف زیاد با سطح عدم کاربرد زئولیت، بیانگر اثر تخفیف‌دهندگی رژیم آبیاری بر شاخص‌های رشدی مثل سرعت جذب خالص بود.

سرعت رشد نسبی: روند تغییرات سرعت رشد نسبی در شکل ۵ نشان داد، با افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش توان تولید گیاه تا اواسط مرحله گلدهی، سرعت رشد نسبی افزایش و پس از آن با افزایش سن ریزش برگ‌ها و در معرض سایه قرارگرفتن برگ‌های پایینی که در مجموع سبب کاهش توان فتوسنتزی گیاه شد، کاهش یافت. ضمن آن‌که، در این شرایط افزایش وزن اولیه به دلیل افزایش بافت‌های تمایز یافته‌ای که عملاً در فرآیند رشد و تولید غیرفعال بود، نسبت تولید مواد فتوسنتزی به کل وزن خشک کاهش یافت. لازم به ذکر است که زئولیت، با وجود نگه‌داری رطوبت در منطقه ریشه گیاه و کمک به انتقال مواد معدنی به اندام‌های هوایی شاهدانه، نقش بارزی در بالا نگه‌داشتن میزان سرعت نسبی رشد، نداشت، به طوری‌که روند تغییرات سرعت رشد نسبی در هر یک از سطوح زئولیت تقریباً مشابه سطوح دیگر بود. در ادامه، با کاهش سطح برگ در گیاه، رشد نسبی شروع به کاهش کرد. در این رابطه، ساکی‌نژاد (۱۳۸۲)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]



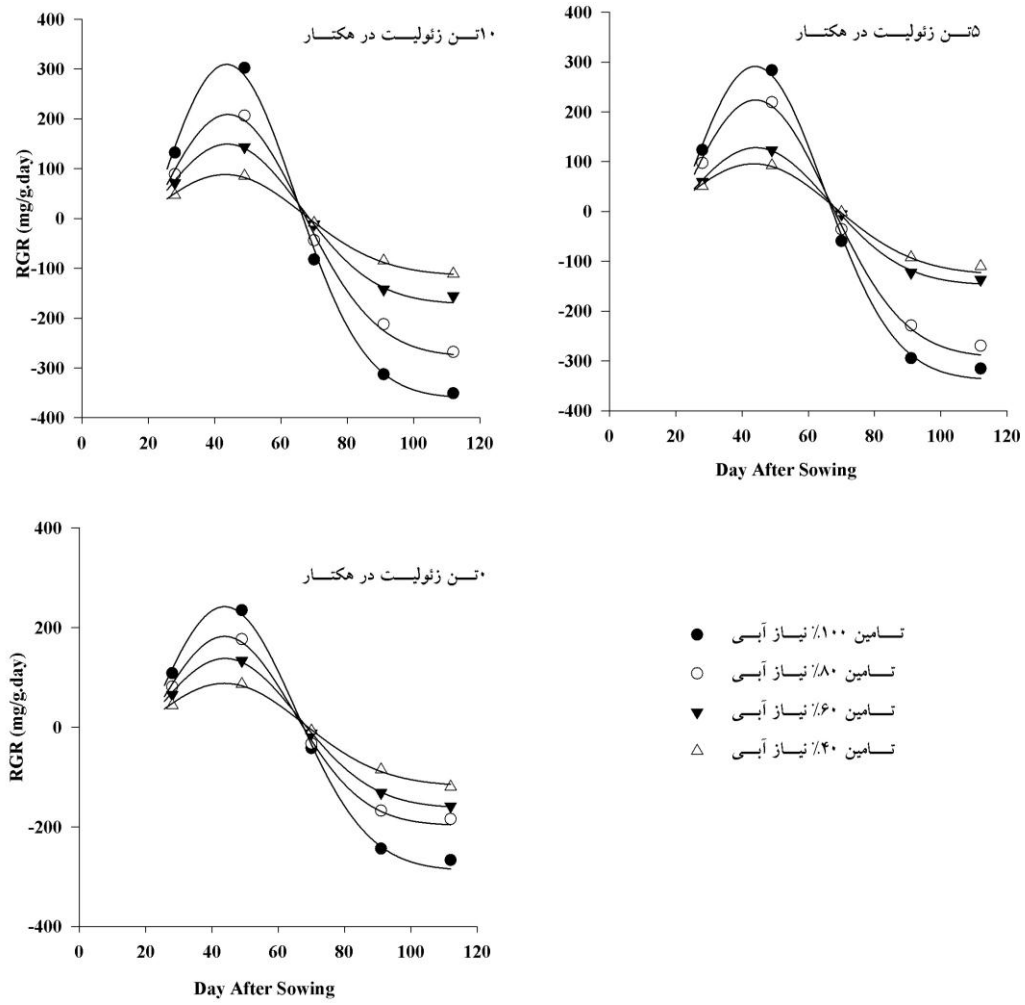
شکل ٤- روند تغییرات سرعت جذب خالص در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

گزارش داد که افزایش شدت تنش خشکی احتمالاً از طریق سرعت بخشیدن به تشکیل بافت‌های بالغ و کاهش سرعت تشکیل بافت‌های مرسیتمی سبب کاهش سرعت رشد نسبی شد. قبادی (۱۳۸۵) نیز نشان داد که روند تغییرات سرعت رشد نسبی در تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید مشابه شرایط مطلوب بود، با این تفاوت که مقدار سرعت رشد نسبی در تیمار تنش خشکی کمتر از شاهد بود.

میزان سبزینگی برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قرائت SPAD نشان داد که تنها برهمکنش تنش خشکی و زئولیت اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفت داشت و اثرات ساده هر یک از عوامل مورد بررسی، معنی‌دار نبود (جدول ۱). هم‌چنین، بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کارایی زئولیت به عنوان ماده نگه‌دارنده آب در خاک، در شرایط تأمین ۸۰ درصد و ٦۰ درصد رطوبت، نسبت به عدم کاربرد زئولیت در تیمارهای مذکور تأثیر کمتری داشت (شکل ٦). به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد اثر مفید زئولیت در مورد صفت شاخص کلروفیل در شرایط تنش شدید بازرتر بود. هم‌چنین که تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی شاهدانه، موجب گردید که میزان سبزینگی برگ در سطح بالا باقی بماند. افزایش مقادیر سبزینگی برگ در شرایط تنش خشکی، احتمالاً به دلیل کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها بود.

پایداری غشا: نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل نشان داد که آبیاری، زئولیت و برهمکنش آبیاری و زئولیت اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

معنی‌داری بر ویژگی پایداری غشا داشت (جدول ۱). هم‌چنین عدم کاربرد زئولیت در هکتار به همراه تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین و تیمارهای کاربرد ۱۰ تن زئولیت و تأمین ٦۰ درصد نیاز رطوبتی (١٤/٤ درصد کمتر از تیمار شاهد)، عدم کاربرد زئولیت و تأمین ٤۰ درصد نیاز آبی (١٤/٢ درصد کمتر از تیمار شاهد) کمترین میزان پایداری غشا را داشتند (شکل ۷). اعمال تنش خشکی، بویژه تنش شدید، موجب اختلال در روند عادی فعالیت غشا سلولی در برگ گیاه و احتمالاً به دنبال آن افزایش نفوذپذیری غشا برای الکترولیت‌ها را موجب شد. به عبارت دیگر، غشای سلول در حفظ استحکام ساختار خود، بویژه در شرایط عدم تأمین رطوبت لازم جهت رشد و نمو، به ویژه در شرایط تنش شدید، دچار تخریب شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که زئولیت در افزایش درصد پایداری غشا در تیمارهای مورد بررسی، نقش مفیدی نداشت. قبادی (۱۳۸۵) نیـز نشان داد که با شدت یافتن تنش خشکی، سلول‌ها پایداری غشای خود را از دسـت می‌دهند. جیانـگ و هوآنـگ (۲۰۰۲) نیز ضمن بررسی خود مشـاهده کردند که تحت تأثیر تنش خشکی، نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت.

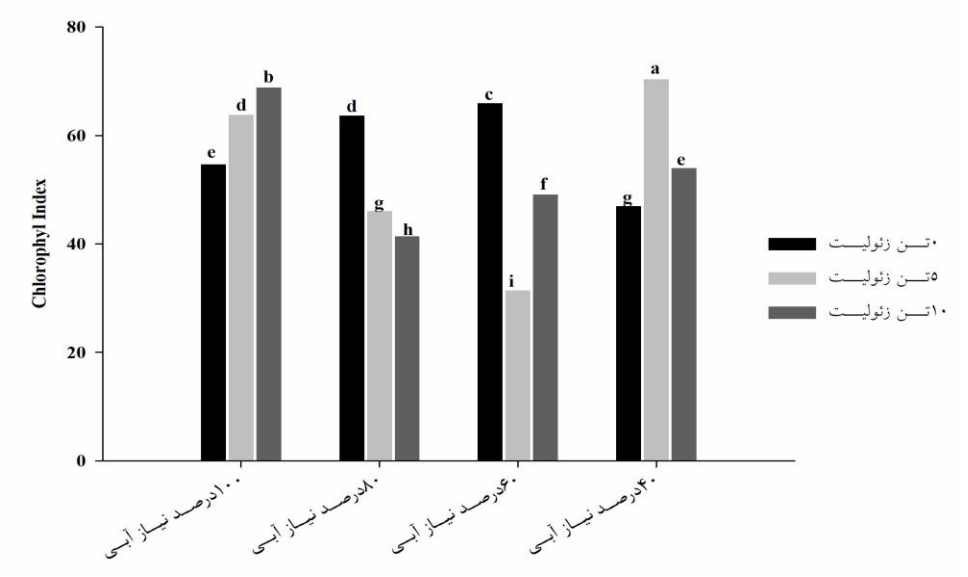
دوام زیست‌توده و ماده خشک: به طور کلی منحنی تجمع ماده خشک از مدل سیگموئیدی تبعیت کرده و از سه مرحله تشکیل شد. در مراحل اولیه رشد، شدت افزایش وزن خشک گیاه کم بود و همزمان با افـزایش شـاخص سـطح بـرگ (شکل ۱) بـا شـدت بیشتری افزایش یافت. در پایان دوره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

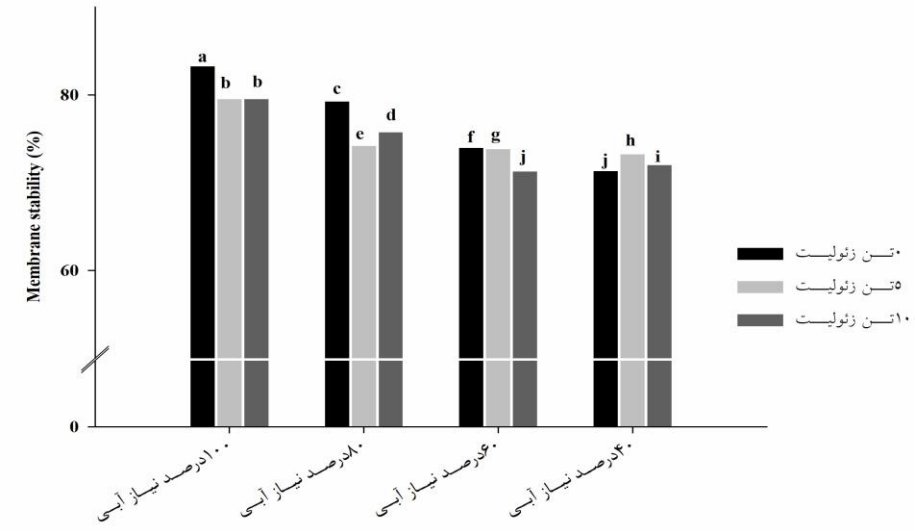
جدول ۱- تجزیه واریانس صفات پایداری غشا و شاخص کلروفیل

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		شاخص کلروفیل	درصد پایداری غشا
تکرار	۲	۵۸۰/۲ *	۰/۰۳ *
تنش خشکی	۳	۳۵۷/٤ ns	۱۳٦/٤ **
خطای اصلی	٦	۲۲۵/۸	۰/۰۲
زئولیت	۲	۸۹ ns	۱۷/۳۵ **
تنش × زئولیت	٦	٦۰٤/۲ **	۸/۸۲ **
خطای فرعی	۱٦	۱٤۱/۲	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات		۲۱/۷	۰/۱۱

ns، * و **، به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



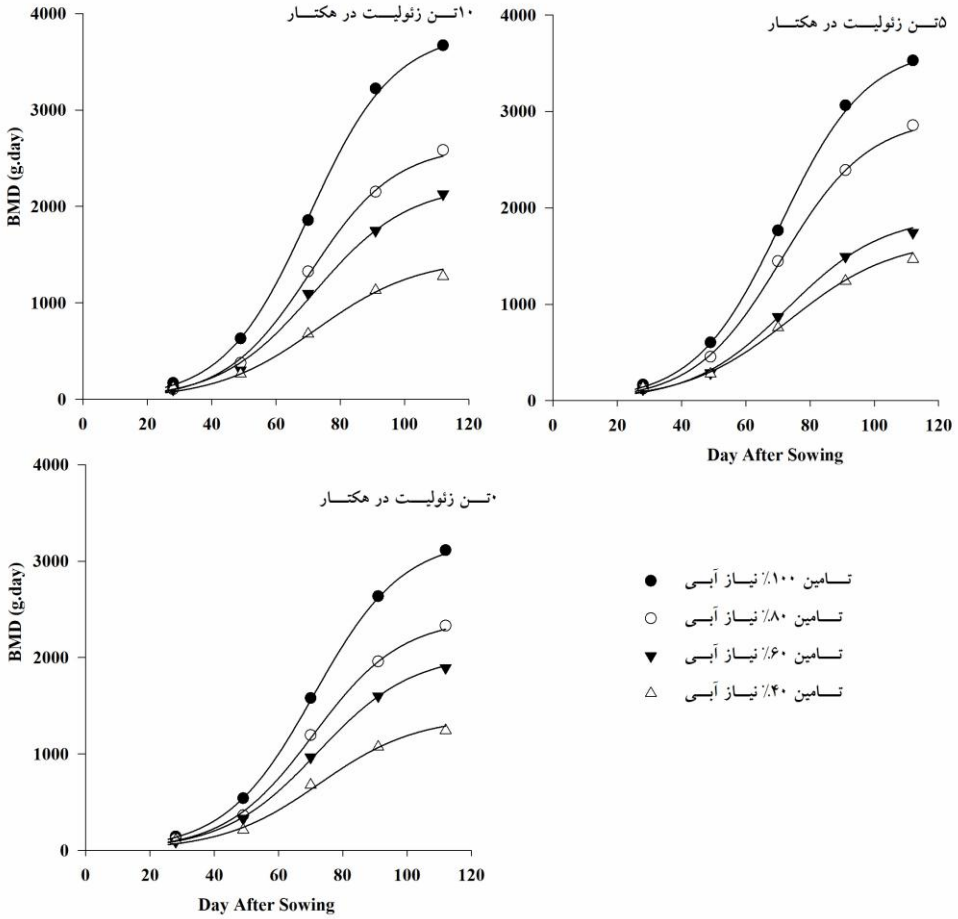
شکل ٦- برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح زئولیت بر شاخص کلروفیل



شکل ۷- برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح زئولیت بر پایداری غشا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

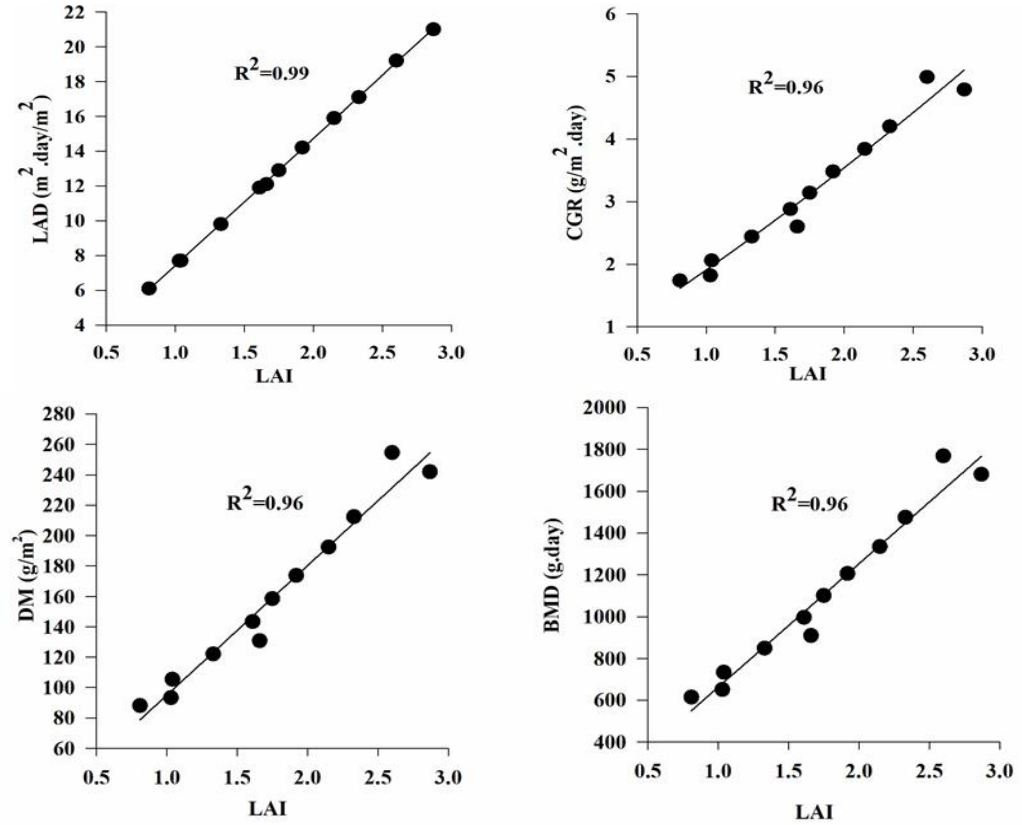


شکل ۸- روند تغییرات دوام زیست‌توده شاهدانه در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

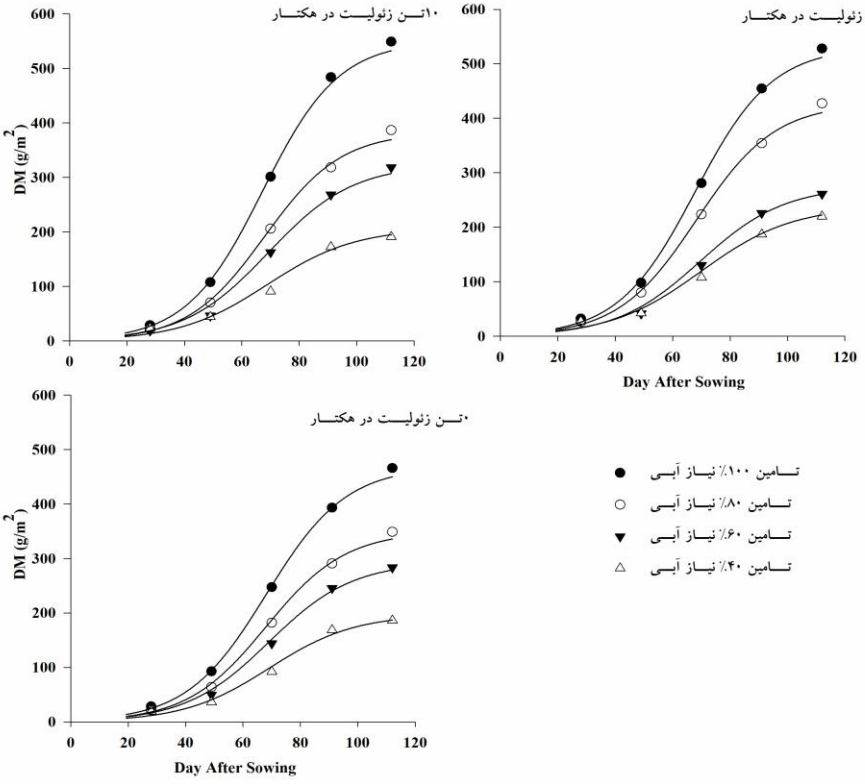
رشد، تدریج از سرعت افزایش وزن خشک گیاه کاسته شد و در نهایت به سطح نسبتاً ثابتی رسید (شکل ۸). موید این نکته، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص سطح برگ صفات مورد بررسی بود (شکل ۹). نتایج نشان داد کاهش میزان آب آبیاری باعث تنزل تجمع ماده خشک هم از نظر میزان ماده خشک و هم از نظر آهنگ تجمع ماده خشک گردید. هم‌چنین بین سطوح زئولیت به کار رفته از نظر روند تجمع ماده خشک در هر چهار شرایط آبیاری تفاوت مشاهده شد. به‌نحوی که با کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار، اختلاف بین تیمارهای تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، از نظر روند تجمع ماده خشک نسبت به سایر سطوح زئولیت بیشتر بود. هم‌چنین، برترین سطح رژیم آبی از نظر روند تجمع ماده خشک در همه سطوح کاربرد زئولیت، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (شکل ۸).

هم‌چنین، در بررسی تغییرات ماده خشک گیاه در طول دوره رشد مشاهده گردید که اعمال رژیم آبیاری در همه سطوح کاربرد زئولیت موجب کاهش کل ماده خشک گیاه شد (شکل ۱۰). ولی لازم به ذکر است که این کاهش در همه سطوح با هم برابر نبود. از آن‌جا که وزن خشک شاخساره با پیشرفت رشد گیاه، افزایش یافت، در مراحل اولیه رشد، تجمع ماده خشک در همه تیمارها پایین بود و اختلاف چندانی بین تیمارها مشاهده نشد. در این مرحله، گیاه بسیار کوچک و رشد شاخساره ناچیز بود. با افزایش رشد گیاه، رشد شاخساره و سطح فتوسنتز کننده افزایش یافت و سرعت تجمع ماده خشک بیشتر شد. ممکن است یکی از علل اصلی کاهش تجمع ماده خشک، کاهش سطح برگ (شکل ۱) و در نتیجه کاهش سطح فتوسنتز کننده و در نهایت کاهش توان تولید گیاه بوده باشد. همبستگی مثبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]



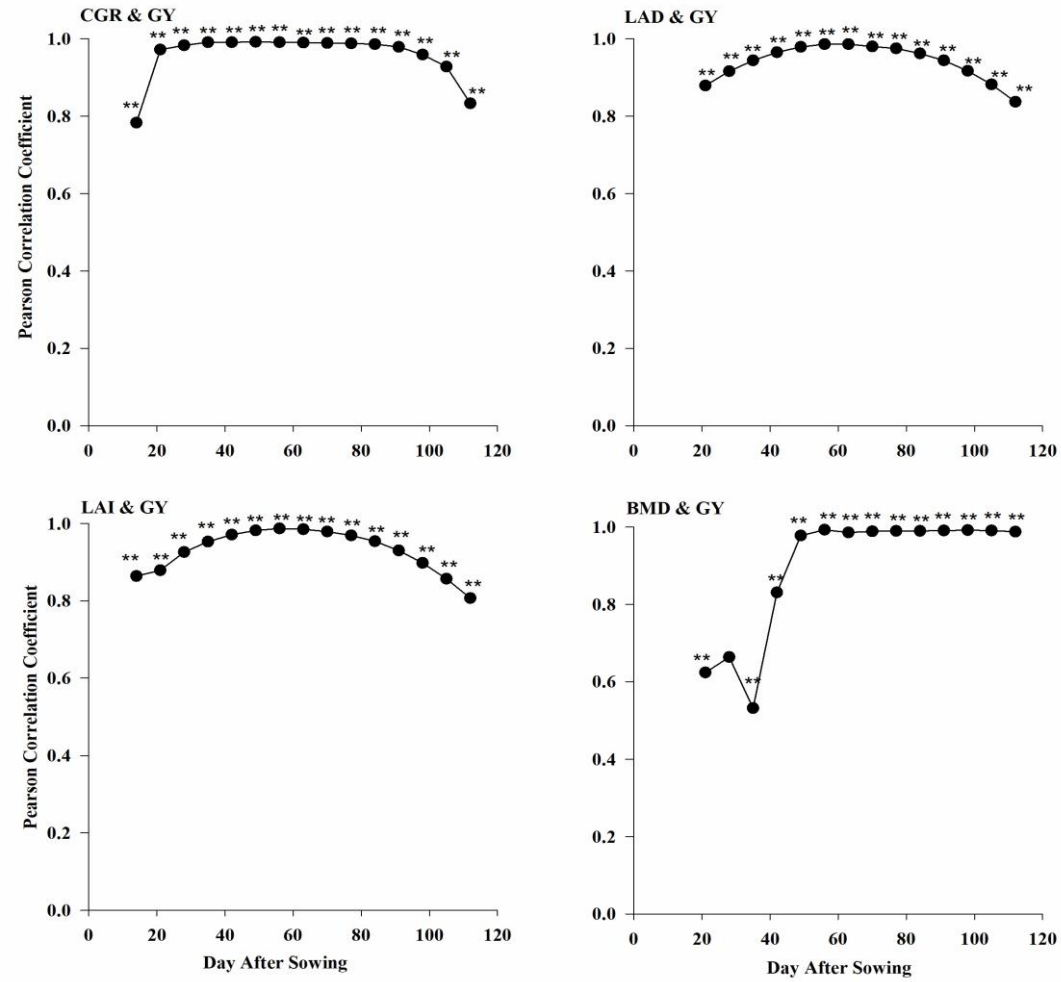
شکل ۹- ارتباط بین شاخص سطح برگ با دوام زیست‌توده (BMD)، دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد محصول (CGR) و ماده خشک (DM) در تیمارهای مورد بررسی در آزمایش



شکل ۱۰- روند تغییرات ماده خشک شاهدانه در برهمکنش سطوح زئولیت در رژیم‌های آبیاری مختلف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]



شکل ۱۱- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، دوام زیست‌توده (BMD) و سرعت رشد محصول (CGR) با عملکرد دانه (GY). * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

و معنی‌دار بین صفات نیز گویای این مطلب بود. کریدمن (۱۹۸٦) نیز نشان داد که رشد گیاه، تا حد زیادی از سطح برگ و فعالیت بافت‌های فتوسنتز کننده تبعیت می‌کند و سرعت رشد برگ، اغلب مهم‌ترین عامل تعیین کننده تولید گیاه به شمار آمد. از طرف دیگر، حضور مواد جاذب الرطوبه، مانند زئولیت به ویژه در تیمارهای تنش شدید، موجب روند افزایش ماده خشک شد. علاوه بر کاهش سطح برگ، کاهش دوام سطح برگ و کارآیی فتوسنتزی گیاه و بازدارندگی‌های روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای فتوسنتز در شرایط تنش خشکی (پاسبان‌اسلام، ۱۳۷۹؛ بهارگاوا و پارانچی، ۲۰۰٤) علل دیگری هستند که در کاهش میزان فتوسنتز خالص و تولید مطلوب مواد پرورده لازم جهت رشد و توسعه اندام‌های گیاه در شرایط تنش خشکی نقش دارند. نتایج تحقیقات قبادی (۱۳۸۵) و هاشم و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش ماده خشک گیاه شد.

در بررسی ضرایب همبستگی بین شاخص‌های رشدی در مراحل مختلف رشد گیاه شاهدانه با عملکرد، مشاهده شد که در همه مراحل، سرعت رشد نسبی، دوام زیست‌توده، دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی را با عملکرد داشتند (شکل ۱۱). این نتایج هم‌چنین نشان داد که در اوایل رشد، همبستگی شاخص‌های رشدی با عملکرد دانه اگرچه مثبت و معنی‌دار، اما کم بود، ولی با پیشرفت مراحل رشدی و بزرگ شدن شاهدانه میزان همبستگی صفات با عملکرد افزایش داشت. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

که با افزایش شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و دوام بیوماس به ویژه در میانه فصل رشد، عملکرد دانه نیز افزایش یافت و درنتیجه به منظور حصول بیشتر عملکرد دانه، باید سطح فتوسنتز کننده گیاه (برگ‌ها) و تداوم سبزمانی سطح برگ را افزایش داد تا مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به دانه‌ها انتقال یابد.

نتیجه‌گیری:

نقش زئولیت در بهبود عملکرد در گیاهان زراعی روشن بوده است، اما این مطلب که زئولیت چگونه موجب این افزایش می‌گردیده، مورد بررسی قرار نگرفته بود. نتایج این پژوهش نشان داد در صورتی که تنش کم‌آبیاری به گونه‌ای باشد که ۲۰ درصد از نیاز آبی گیاه در هر آبیاری تأمین نشود، زئولیت قادر است که تا حد زیادی از طریق سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک و دوام زیست‌توده جبران خسارت کند. با این وجود، با کمبود آب آبیاری به حدود ٤۰ درصد و بیشتر نسبت به آبیاری کامل در هر مرتبه آبیاری، به دلیل افزایش احتمال خسارت‌های غیرقابل برگشت در بافت‌های تولیدکننده، زئولیت نیز در شرایط مذکور قادر به تأمین نیاز رطوبتی گیاه نبوده و در نتیجه نقش مفیدی نداشت. هم‌چنین مشاهده شد پایداری غشا سلولی تحت تأثیر زئولیت قرار نگرفت.

منابع:

پاسبان اسلام، ب. (۱۳۷۹) ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی کلزا. پایان‌نامه دکتری زراعت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رنجبرچوبه، م.، اصفهانی، م.، کاووسی، م. و یزدانی، م. ر. (۱۳۸۳) تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳٤۷، پژوهش‌نامه علوم کشاورزی، ۱: ٦۳-۷٦.

سوقانی، م.، واعظی، ش. و صباغ‌پور، س. ح. (۱۳۸۹) ارزیابی خصوصیات مرفوفیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ‌های لوبیا سفید، مجله علوم زراعی ایران، ۱۲: ٤٥۱-٤۳٦.

غلامحسینی، م.، قلاوند، ا.، مدرس‌ثانوی، ع. م. و جمشیدی، ا. (۱۳۸٦) تأثیر کاربرد کمپوست‌های زئولیتی در اراضی شنی بر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی آفتابگردان. مجله علوم محیطی، ۵: ۳٦-۲۳.

غلامحسینی، م.، آقاعلیخانی، م. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۸) تأثیر زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در یک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه‌ای، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۳: ٦۰-٤۹.

هاشم‌زاده، ح.، دهباشی، ع. و رزمجو، ا. (۱۳۸۰). بررسی تغییرات میزان کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئید در مراحل مختلف رشد کلزای تراریخت شده با آنتی‌سنسی ژن آلوتامین سنتتاز، هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۸ تا ۱۰ شهریورماه. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

Bayuelo-Jimenez, J. S., Debouck, D. G., and Lynch, J. P. (2003) Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field Crops Research 80: 207-222.

Calvache, M., Reichardt, K., Bacchp, O. O. S., and Dourado-Neto, D. (1997) Deficit Irrigation at Different Growth Stages of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Imbabello). Scientia Agricola 1: 1-16.

Eberl, D. D., Barbarick, K. A., and Lai, T. M. (1995) Influence of NH_4 exchanged clinoptilolite on nutrient concentrations in *Sorghum* Sudan grass. International Committee on Natural Zeolits: 491-504.

Eshghi, S., Mahmoodabadi, M. R., Abdi, G. R., and Jamali, B. (2010) Zeolite Ameliorates the Adverse Effect of Cadmium Contamination on Growth and Nodulation of Soybean Plant (*Glycine max* L.). Journal of Biology and Environmental Science 4: 43-50.

FAO. 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterly bulletion of Statistucs. Rome, Italy.

Gardner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchell, R. L. (1985) Physiology of Crop plants. Iowa State University Press, USA:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

186-208.
Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K. (2002) Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39–50.
Houerou L. 1996. Climate change, drought and desertification. Journal of Arid Environment 34:133-185.
Husain, M. M., Reid, J. B., Othman, H., and Galiagher, J. N. (1990) Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. Field Crops Research 23: 1-17.
Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I., and Soldati, A. (1998) Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). Journal of the International Hemp Association 5: 68-74.
Mun˜oz-Perea, C. G., Allen, R. G., Westermann, D. T., Wright, J. L. (2007) Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. Euphytica 155: 393–402.
Nielsen, D. C., and Nelson, N. O. (1998) Black bean sensivity to water stress at various growth stages. Crop Science 38: 422-427.
Noori, M., Zendehdel, M., and Ahmadi, A. (2006) Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. Toxicological and Environmental Chemistry 88: 77-84.
Nunez- Barrios, A. (1991) Effects of soil water deficits on the growth and development of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different stages of growth. Dissertation Abstracts International B, Science and Engineering. Field Crops Abstracts 1992 045-04556.
Richard, G. A., Luis, S. P., Lisbon, P., and Martin, S. (1998) FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO, Water Resources, Development and Management Service. Rome, Italy 326p.
Sengloung, Th. (2009) Phenological Characteristics and fiber properties of Thai hemp (*Cannabis sativa* L.). Doctor of Philosophy (Botany). Graduate School, Kasetsart University.
Singer, S. M., Helmy, Y. I., Maras, A. N., and Abou-Hadid, A. F. (1996) Growth and Development of Bean Plants (*Phaseolus vulgaris*) Grown on the Water-Stress. Cahiers Options Mediterraneennes 31: 241-250.
Tsadilas, C. D., and Argyropoulos, G. (2010) Effect of Clinoptilolite Addition to Soil on Wheat Yield and Nitrogen Uptake. Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 2691-2699.
Wang, R., He, L. S., Xia, B., Tong, J. F., Li, N., and Peng, F. (2009) A Micropropagation system for cloning of hemp (*Cannabis sativa* L.) by shoot tip culture. Pakistan Journal of Botany 41: 603-608.
Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. (2003) Plant response to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue: 187-206.
Zahedi, H., Noor-Mohamadi, G., Shiranirad, A. H., Habibi, D., and Mashhadi Akbar Boojar, M. (2009) The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. World Applied Sciences 7: 255-262.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.8.0] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-04]