تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
۱۷۱-۱۸۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1864.1442

مقاله پژوهشی

ارزیابی محلول‌پاشی کائولین در افزایش مقاومت به کم‌آبیاری ریحان بنفش (*Ocimum basilicum* var. purpurascens)

مهشید سالاری[۱]، حمید سودایی‌زاده[۲*]، محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی[۲]، رستم یزدانی‌بیوکی[۳]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد
۲. عضو هیئت‌علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد
۳. استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کائولین بر افزایش مقاومت به کم آبیاری در گیاه ریحان بنفش (*Ocimum basilicum* var purpurascens)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتورهای کم آبیاری در چهار سطح ظرفیت زراعی معادل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ومحلول-پاشی کائولین در سه سطح صفر، ۳ و ۶ درصد بود. نتایج نشان داد که اثر محلول‌پاشی کائولین و تیمارهای تنش رطوبتی بر ارتفاع، قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین و قند محلول ریحان در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش تنش به سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع گیاهان با ۱۴ درصد کاهش مواجه شد. با افزایش سطوح محلول‌پاشی کائولین تا غلظت ۳ درصد تأثیر معنی‌داری روی ارتفاع مشاهده نشد، ولی با افزایش غلظت کائولین به ۶ درصد، کاهشی برابر با ۱۸/۱ درصد مشاهده شد. گیاهان تیمارشده در عدم مصرف و مصرف کائولین در سطح ۳ درصد بدون اختلاف معنی‌دار از بالاترین وزن خشک اندام هوایی برخوردار بودند. محلول‌پاشی غلظت‌های بالای کائولین (۶ درصد) اثرات منفی روی رشد گیاه داشت. نتایج اثر متقابل کم آبیاری و کائولین حاکی از آن بود که کاربرد کائولین در سطوح (۳ و ۶ درصد) و تیمار رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود. اثرات متقابل کم آبیاری و کائولین نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب (RWC) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول ۶ درصد کائولین و کمترین آن با کاهش ۱۴/۴۴ درصد مربوط به اثر متقابل تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کائولین بود. نتایج این تحقیق بیانگر نقش مثبت کائولین تا غلظت ۳ درصد در کاهش اثرات ناشی از تیمارهای کم آبیاری بر گیاه ریحان بود.

واژه‌های کلیدی: **پرولین، قندهای محلول، محتوای کلروفیل، ویژگی‌های مورفولوژیکی.**

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum* var. purpurascens)، گیاهی یک‌ساله، علفی و یکی از گیاهان مهم دارویی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است (Omidbaigi, 1997; Javanmardi et al, 2002) که تنوع زیادی در سطح مورفولوژیکی، ترکیبات ثانویه و مخصوصاً اسانس دارد (Telci et al, 2006). این جنس دارای ۵۰ تا ۱۵۰ گونه علفی و بوته‌ای است، که در برخی از منابع به بیش از ۱۵۰ گونه نیز اشاره شده است، به همین سبب یکی از بزرگ‌ترین جنس‌ها در خانواده نعناعیان به شمار می‌رود (Sajjadi, 2006) که در میان آن‌ها *O. basilicum* مهم‌ترین گونه اقتصادی است (Omidbaigi, 2008; Javanmardi et al, 2002). در حال حاضر یکی از مهم‌ترین عواملی که کاهش تولید این گیاه را

* نگارنده پاسخگو: حمید سودایی‌زاده. پست الکترونیک: hsodaie@yazd.ac.ir

به همراه داشته است وجود تنش خشکی است (Omidbaigi, 2008; Javanmardi et al, 2002).

کم آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است (Omidi et al., 2012; Abedi et al., 2010). اثر تنش آبی به مدت‌زمان، دوام و اندازه کمبود آن بستگی دارد (Pandey et al., 2001). خشکی عامل مهمی در کاهش بازده محصولات کشاورزی در اکثر نقاط جهان است. در بین عوامل بازدارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، باغی و دارویی، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Reddy et al., 2004). کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان تحت شرایط تنش خشکی باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد (French and Turner, 1991). در این راستا مقدم و همکاران (Moghaddam et al., 2015) در تحقیقی روی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر سه رقم ریحان (*Ocimum basilicum* L.) این نتیجه به دست آمد که بین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و درصد اسانس در ارقام مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور و همچنین استفاده از روش‌هایی که منجر به کاهش اثرات سوء کمبود آب بر محصولات کشاورزی گردد، دارای اهمیت است. تکنیک‌های مختلفی جهت مقابله با تنش خشکی وجود دارد. گیاه در مقابل تنش خشکی، مکانیسم‌های دفاعی بی‌شماری ازجمله تنظیم اسمزی، کاهش فعالیت شیمیایی آب یا از دست دادن تورژسانس سلول اتخاذ می‌کند (Kiani et al., 2018)؛ اما محلول‌پاشی مواد مختلف روی گیاه نیز می‌تواند اثرات تنش خشکی را تا حدودی کاهش دهد که ازجمله این مواد می‌توان به کائولین اشاره نمود.

کائولین یکی از مواد ضدتعرق است که طی سال‌های اخیر استفاده از آن گسترش یافته است. مهم‌ترین ویژگی این مواد شیمیایی، رنگ سفید و انعکاس نور است، که در بین این مواد کائولین به‌عنوان یک ماده‌ی بی‌خطر در کشاورزی ارگانیک برای کاهش مؤثر آفتاب‌سوختگی روی میوه‌های مختلف پیشنهاد شده است (Glenn et al., 1999; Wand et al., 2006; Weerkkody et al., 2009). کائولین یک پوشش ذره‌ای کارا با ویژگی‌های منحصربه‌فرد است، ازجمله این‌که این ذرات ازنظر شیمیایی بی‌اثر هستند، قطر ذرات آن‌ها کمتر از ۲ میکرومتر است، طوری فرموله شده که قدرت پراکندگی بالایی داشته و می‌تواند پوشش یکنواختی ایجاد نماید (Glenn, 2005). پوشش ایجادشده توسط این ماده منفذدار بوده، در تبادل گازی برگ اختلالی به وجود نمی‌آورد، اشعه فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدودی مانع از عبور اشعه‌ی مادون‌قرمز و ماوراءبنفش می‌گردد. کائولین، باعث افزایش در بازتاب تشعشعات رسیده به سطح برگ شده و بدین طریق بار گرمایی گیاه را نیز کاهش داده و باعث افزایش بهره‌وری آن می‌شود (Glenn and Puterka, 2001). سگورا-مونروی و همکاران (Segura-Monroy et al., 2015) با مطالعه اثر کاربرد کائولین روی رشد گیاهچه فیسالیس (Physallis peruviana) در دو رژیم آبیاری گزارش کردند که در شرایط تنش آبی، محتوای نسبی آب (RWC) و مقدار کلروفیل کاهش یافت و کاربرد کائولین سبب افزایش ارتفاع گیاه و وزن خشک کل گیاه شد. نتایج موفتاه و الحومید (Moftah and Al-Humaid, 2005) نشان داد که محلول‌پاشی کائولین روی گیاه گل مریم (*Polianthes tuberosa* L.) باعث شد تا گیاهان تیمار شده با کائولین نسبت به شاهد از محتوای کلروفیل بالاتری برخوردار باشند. مقدم و همکاران (Moghadadam et al., 2015) در تحقیقی با تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیوشیمیایی سه رقم ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به این نتیجه دست یافتند که بین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی در ارقام مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین سطوح مختلف تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخهٔ فرعی و وزن گیاه در ارقام مختلف داشت. ارقام استفاده‌شده پاسخ فیزیولوژیکی متفاوتی نسبت به تنش خشکی نشان دادند به‌طوری‌که رقم Comin Hoja Larga توانست تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی را سه هفته قبل از برداشت به‌خوبی تحمل کند. همچنین مرشت و همکاران (Moreshet et al., 1979) در مطالعات خود اعلام کردند که در گیاهان مانند سورگوم، پنبه، گوجه‌فرنگی و بادام‌زمینی کاربرد پوشش ذره-ای باعث افزایش در میزان باردهی و محصول گردید، درحالی‌که باردهی محصولات دیگری نظیر فلفل و سیب‌درختی یا تحت تأثیر قرار نگرفت، یا کاهش نشان داد.

با توجه به نقش کائولین در افزایش مقاومت به تنش خشکی گیاهان و همچنین خواص دارویی و کاربرد گیاه ریحان در صنایع مختلف و حساسیت این گیاه به تنش‌ها

من‌جمله تنش خشکی، این پژوهش با هدف بررسی نقش کائولین در افزایش مقاومت به خشکی گیاه ریحان اجرا شد. نتایج این تحقیق می‌تواند نقش مهمی در موضوعات مرتبط با کنترل کیفیت در کشاورزی و صنایع غذایی ایفا کند و همچنین راهگشای متخصصین کشاورزی در به‌کارگیری ابزارهای جدید در مقابله با تنش خشکی باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور ارزیابی محلول‌پاشی کائولین روی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان و افزایش مقاومت به کم آبیاری در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد با میانگین رطوبت نسبی ۱۴ درصد و میانگین دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و با موقعیت مکانی عرض جغرافیایی ۳۱ درجه شمالی و طول ۵۱ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۲۰ متر اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل فاکتور کم آبیاری شامل: ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و فاکتور محلول‌پاشی شامل سه سطح صفر، ۳ و ۶ درصد کائولین بود. منبع آب آبیاری آب‌لوله‌کشی شده گلخانه پژوهشی دانشگاه یزد بود که برخی خصوصیات شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه شده است. تا یک ماه پس از کاشت (۶-۸ برگی شدن بوته‌ها) گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری شدند و از این مرحله به بعد تیمارهای کم‌آبیاری اعمال شد. همچنین، اولین محلول‌پاشی کائولین ۴۰ روز بعد از کاشت (۱۰ روز بعد از اعمال تنش) انجام گرفت.

کشت بذور در گلدان‌های زهکش‌دار به ارتفاع ۲۱ و قطر دهانه ۲۴ سانتی‌متر و حجم شش لیتر صورت گرفت. جهت پر نمودن گلدان‌ها از مخلوط خاک، ماسه و کود با نسبت-های حجمی (۲:۱:۱) استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی آب محل آزمایش

Table 1. Water chemical characteristics of experimental location

اسیدیته	هدایت الکتریکی							
pH	EC	Na^+	$Mg^{2+} + Ca^{2+}$	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^{2-}
	(دسی زیمنس بر متر) (dS.cm^{-1})	..... میلی‌اکی والان بر لیتر (mEq/L).....						
7.5	0.7	7.5	6.2	5.1	1	1	9.5	3.6

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Soil physico chemical characteristics of experimental location

هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	شن	سیلت	رس
EC	pH	Organic carbon	Phosphorus	Potassium	Sand	Silt	Clay
(dS.cm^{-1})		----------(%)----------					
2	8.7	0.09	6	230	90	6	4

بذر گیاه ریحان بنفش از مرکز تحقیقات استان یزد تهیه و بذرها در داخل گلدان‌ها کاشته شد (تعداد ۴ عدد بذر در هر گلدان) و پس از استقرار کامل بوته‌ها (۳۰ روز پس از کاشت) تیمارهای کم‌آبیاری اعمال شد. محلول‌پاشی کائولین بعد از ۱۰ روز از اعمال تیمارهای خشکی انجام‌شده و بعد از یک هفته مجدداً تکرار گردید. برای این منظور پودر کائولین به همراه سورفاکتانت مربوطه با آب کاملاً مخلوط شد و به‌وسیله سم‌پاش دستی به‌طور کامل روی بوته اسپری گردید به‌گونه‌ای که سطوح اندام هوایی گیاه، ساقه و برگ به‌طور کامل پوشش داده شد و پس از خشک شدن محلول، گیاه به‌وضوح سفید به نظر رسید (Toriurian et al., 2018). پس از استقرار کامل بوته‌ها، تیمارهای رطوبتی چهار سطح ۱۰۰ (شاهد یا بدون تنش)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد FC در هر گلدان مطابق رابطه ۱ اعمال شد:

تیمار ۱۰۰ به‌منزله ایجاد شرایط بدون تنش رطوبتی و تیمارهای ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ به‌عنوان اعمال تنش‌های متوسط و شدید رطوبتی بر ریحان بود. در تیمار اول، تمامی کسری رطوبت خاک نسبت به نقطه FC در زمان آبیاری باید از آب پر شود، درحالی‌که در تیمارهای دوم، سوم و چهارم، بخشی از این کسری، جبران خواهد شد. برای تعیین جرم آب موردنیاز برای آبیاری و رسانیدن رطوبت خاک به نقطه FC، از رابطه ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2005).

$$m = M_w - M_{FC} \quad [۱]$$

که m جرم آب موردنیاز برای اضافه کردن به خاک هر گلدان برحسب گرم یا کیلوگرم است. برای محاسبه جرم آب لازم برای آبیاری در هر نوبت، جرم اولیه تمامی گلدان‌ها (M_w) توسط ترازوی دقیق الکترونیکی اندازه‌گیری شد و جرم گلدان در نقطه FC (MFC) از طریق توزین گلدان بعد از آبیاری کامل و زهکشی آزاد اندازه‌گیری و درنهایت میانگین کسری رطوبت خاک هر تیمار نسبت به رطوبت نقطه FC (m) تعیین گردید. سپس بسته به نوع تیمار خشکی ۱۰۰ (شاهد یا بدون تنش) و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و اعمال ضرایب ۱، ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ بر روی اعداد به‌دست‌آمده برای m (جرم آب موردنیاز برای اضافه کردن به خاک هر گلدان برحسب گرم یا کیلوگرم)، مقادیر آب موردنیاز آبیاری در هر تیمار تعیین و توسط ظرف مدرج اعمال شد.

مراحل محلول‌پاشی در هنگام صبح انجام شد تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. هفت روز بعد از آخرین محلول‌پاشی، از هر گلدان به تعداد ۲۰ عدد برگ تازه در سه مرحله با فاصله‌های ۷ روز یک‌بار برای اندازه‌گیری میزان قند محلول، پرولین، کلروفیل و محتوای آب نسبی تهیه شد.

در این تحقیق برای سنجش قند محلول، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت یک هفته به ۱ میلی‌لیتر از محلول فوقانی نمونه، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه و به هم زده شد. درنهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و کالیبره کردن دستگاه با محلول شاهد (یک میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد، یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ) در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر، میزان جذب تعیین‌شده و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، میزان تغییرات قندها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید (Kochert, 1978).

برای اندازه‌گیری کلروفیل ابتدا ۰/۵ گرم بافت برگ وزن کرده و داخل هاون چینی ریخته و در عصاره تهیه‌شده جذب در طول‌موج ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد (Lichenthaler,1987). مقدار کلروفیل a، b و کل با استفاده از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه شد:

$$\text{کلروفیل a} = ۱۲/۲۵\ (A۶۶۳) - ۲/۷۹۸\ (A۶۴۵) \quad [۲]$$

$$\text{کلروفیل b} = ۲۱/۵۰\ (A۶۴۵) - ۵/۱۰\ (A۶۶۳) \quad [۳]$$

$$\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b} \quad [۴]$$

که A میزان جذب صورت در طول‌موج موردنظر است.

برای اندازه‌گیری پرولین نیز مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاه را توزین و در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف گردید. آنگاه ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص به نمونه‌ها افزوده شد و لوله‌ها در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد، سپس لوله‌ها در حمام یخ به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. آنگاه به هر لوله‌آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و خوب تکان داده شدند و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب لایه فوقانی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید (Bates, 1973).

برای اندازه‌گیری میزان آماس نسبی برگ یا مقدار محتوای آب (RWC) مقداری از برگ گیاه را در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر قرار داده تا برگ به‌اندازه نیاز، آب جذب نماید. پس از ۲۴ ساعت برگ‌ها به حالت آماس درآمدند، آن‌ها را از آب خارج نموده و با کاغذ صافی آن‌ها را خشک و وزن آماس شده برگ اندازه‌گیری شد. پس از توزین، برگ‌ها در داخل آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از خشک شدن دوباره وزن شدند. با قرار دادن اعداد به‌دست‌آمده در رابطه ۵ مقدار RWC محاسبه شد (Alizadeh, 2005).

$$RWS = (\text{وزن برگ خشک‌شده} - \text{وزن برگ آماس شده}) / (\text{وزن برگ خشک‌شده} - \text{وزن برگ تازه}) \times ۱۰۰ \quad [۵]$$

در پایان آزمایش پس از جمع‌آوری بوته‌ها، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و حجم ریشه اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از محیط نرم‌افزار MS Excel Ver. 13 انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای رطوبتی بر ارتفاع بوته ($P<0.05$)، قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی،

وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و حجم ریشه معنی‌دار بود ($P<0.01$) و اثر محلول‌پاشی کائولین نیز بر صفات فوق به‌جز حجم ریشه معنی‌دار شد ($P<0.01$). اثر متقابل سطوح رطوبتی و محلول‌پاشی کائولین به‌جز ارتفاع و حجم ریشه بر روی سایر صفات موردمطالعه معنی‌دار بود (جدول ۳). در واقع در این آزمایش کاربرد تنش و کائولین به‌تنهایی بر میزان ارتفاع گیاه معنی‌دار بود اما در اثر متقابل این دو تیمار به سبب نقش مثبت کائولین (Segura-Monroy et al., 2015) در مقایسه با تنش رطوبتی سبب عدم اختلاف معنی‌دار در اثرات متقابل دو تیمار شد. درواقع کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به دلیل کاهش فاصله میانگره‌ها، کاهش اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی، اختلال در انتقال مواد به اندام‌های مختلف و کاهش فشار تورگر و تقسیم سلول‌ها نسبت داد (Kiani et al., 2018).

نتایج نشان داد که با کاهش میزان رطوبت خاک تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ارتفاع گیاه تغییر معنی‌داری نداشت، اما با افزایش تنش به سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی ارتفاع گیاه با ۱۴ درصد کاهش مواجه شد (شکل ۱). مطابق با نتایج این تحقیق کم‌آبیاری، با اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و کاهش تولید مواد پرورده، مانع از دستیابی به پتانسیل کامل گیاه می‌شود (Chanbdracar et al., 1994).

محلول‌پاشی با کائولین تأثیر منفی و معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت ($p>۰/۰۱$) (جدول ۳). درواقع با افزایش سطوح کائولین ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری به میزان ۵ و ۱۲ سانتی‌متر به ترتیب در سطوح ۳ و ۶ نسبت به عدم کاربرد کائولین کاهش یافت. با افزایش سطوح محلول‌پاشی کائولین تا غلظت ۳ درصد تأثیر معنی‌داری روی ارتفاع مشاهده نشد ولی با افزایش غلظت کائولین به ۶ درصد، کاهشی برابر با ۱۸/۱ درصد داشت (شکل ۲). بنابراین به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی غلظت‌های بالای کائولین اثرات منفی روی رشد گیاه داشت. احتمالاً کائولین با غلظت بالاتر به دلیل ایجاد ضخامت بیشتر و شاید اختلال در عمل روزنه‌ها، بسته شدن دستگاه روزنه‌ای را موجب گردیده و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد (Burme et al., 2011) که این امر به‌نوبه خود باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن و درنتیجه کاهش سرعت فتوسنتز و متعاقباً کاهش رشد گردید (Bota et al., 2004). همچنین به نظر می‌رسد که استفاده از کائولین می‌تواند میزان تعریق را کاهش و ذخیره آب برای مدت طولانی‌تر را به همراه داشته باشد (Samadi and Faramarzi, 2014) لذا به نظر می‌رسد در این آزمایش تغییر ارتفاع گیاهان با اعمال تیمارهای کم آبیاری بدون تغییر بوده است.

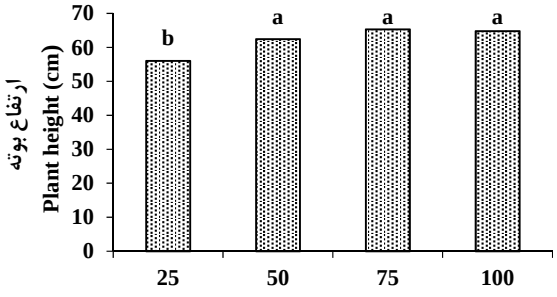
جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با کائولین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه ریحان

Table 3. Analysis of variance (Mean of squares) of moisture stress and spraying kaoline effects on mprphologhical characteristics of Basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Hieght of plant	قطر ساقه Plant diameter	سطح برگ Leaf area	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume
آبیاری Irrigation (I)	3	163.50*	3.51**	148065.8**	8.87**	16.95**	234.41**
محلول‌پاشی Spraying (S)	2	458.32**	0.25**	68422.7*	2.86**	23.31**	28.03^{ns}
آبیاری×محلول‌پاشی I×S	6	22.96^{ns}	0.11*	85798.6**	1.12*	2.07**	6.53^{ns}
خطای آزمایش Error	24	36.31	0.03	19677.0	0.32	0.31	8.58
ضریب تغییرات CV (%)		*9.69*	*4.74*	*17.56*	*11.43*	*17.68*	*21.36*

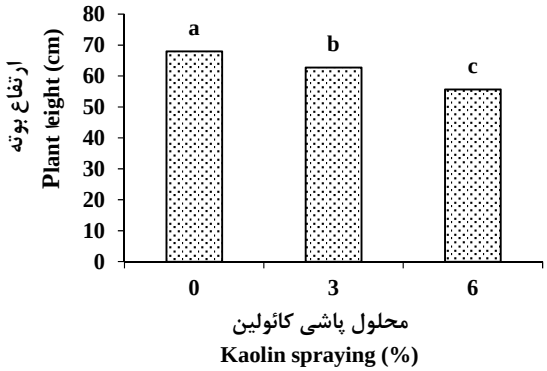
*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

*,** and ns significant at the level 0.05, 0.01 and not significant, respectively



شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف خشکی بر ارتفاع گیاه ریحان (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 1. The effect of different treatments of moisture stress on plant height of Basil (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).



شکل ۲. اثر تیمارهای مختلف کائولین بر ارتفاع گیاه ریحان (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 2. The effect of different treatments of kaoline on plant height of Basil (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای رطوبتی و محلول‌پاشی با کائولین اثر معنی‌داری بر میزان قطر ساقه ریحان داشت (p<۰/۰۱) (جدول ۳). به‌طوری‌که افزایش سطوح تنش و غلظت کائولین سبب کاهش قطر ساقه ریحان شد. اثرات متقابل تیمار رطوبتی و کائولین حاکی از آن بود که بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و غلظت ۳ درصد کائولین مشاهده شد، مطابق با نتایج این آزمایش توسط سگورا و همکاران (Segura-Monroy et al., 2015) با کاربرد کائولین در شرایط تنش خشکی، کاهش تعرق، کاهش دمای برگ، کاهش تراکم خار و ضخامت برگ‌ها گزارش شد و اعلام شد که کائولین از طریق، افزایش تراکم روزنه‌ها باعث ملایم شدن و کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی گیاه شد.

اثر سطوح مختلف کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کائولین بر سطح برگ ریحان معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش کم آبیاری و افزایش غلظت کائولین سطح برگ گیاه ریحان کاهش معنی‌داری نشان داد.

اثر متقابل تیمار رطوبتی و کائولین حاکی از آن بود که عدم مصرف کائولین و عدم تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) از بیشترین سطح برگ (۱۱۹۱ سانتی‌متر مربع) برخوردار بود (جدول ۴). همچنین کمترین سطح برگ مربوط به کاربرد غلظت ۳ درصد کائولین و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود که نسبت به بالاترین آن، حدوداً ۵۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). با کاهش میزان رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی سطح برگ به ترتیب با کاهش ۲۱/۳، ۲۸/۸ و ۲۵/۸ درصد کاهش همراه بود.

اثرات متقابل تیمار رطوبتی و محلول‌پاشی کائولین حاکی از آن بود که با افزایش غلظت محلول‌پاشی کائولین به ۶ درصد در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش قطر ساقه و سطح برگ (جدول ۴) اتفاق افتاد. این در حالی است که بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۳ درصد کائولین به میزان ۵/۰۳ میلی‌متر حاصل شد؛ اما در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف کائولین تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). یکی از اولین نشانه-های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است (Sodaeeizadeh et al., 2016)، بنابراین با افزایش میزان تنش خشکی کاهش رشد سلول اتفاق افتاده که حاصل آن کاهش فاصله بین میانگره‌ها ست که در نتیجه کاهش قطر ساقه و ارتفاع بوته حاصل شده است که با نتایج دیگر محققان نیز همسویی دارد (Segura-Monroy et al., 2015). از طرف دیگر با کاهش رشد سلول‌ها اندازه برگ‌ها کوچک‌تر شده که کاهش سطح برگ بوته را نیز به همراه دارد (Selahvarzi et al., 2008).

اعمال کم آبیاری و مصرف کائولین بر میزان وزن خشک اندام هوایی ریحان معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش کم آبیاری

سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. عدم مصرف و مصرف کائولین در سطح ۳ درصد بدون اختلاف معنی‌دار از بالاترین وزن خشک اندام هوایی برخوردار بودند. با افزایش غلظت کائولین تا سطح ۶ درصد سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد (شکل ۶). گیاهان تحت عدم تنش و تنش رطوبتی ۷۵ درصد در کاربرد ۳ درصد کائولین و همچنین گیاهان بدون تنش و عدم مصرف کائولین با بیش از ۶ گرم در بوته از بالاترین وزن خشک اندام هوایی برخوردار بودند. همچنین گیاهان تحت تأثیر بیشترین کم آبیاری در هر سه تیمار کائولین از پایین‌ترین وزن خشک اندام هوایی برخوردار بودند (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با کائولین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه ریحان

Table 4. Means comparison of moisture stress and spraying kaolin interaction effects on some of morphological characteristics of Basil

آبیاری Irrigation	محلول پاشی با کائولین Spraying of kaolin	قطر ساقه (میلی‌متر) Plant diameter (mm)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm^2)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g/plant)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g/plant)
۲۵ درصد ظرفیت زراعی 25%FC	0	3.33^{e}	772.40^{bcde}	4.01^{cd}	0.81^{g}
	3	3.26^{ef}	845.07^{bcd}	4.05^{cd}	3.05^{def}
	6	2.98^{f}	577.05^{ef}	3.61^{d}	0.93^{g}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی 50%FC	0	3.90^{d}	927.57^{b}	5.06^{b}	2.20^{ef}
	3	3.56^{e}	531.99^{f}	3.90^{cd}	3.16^{f}
	6	3.56^{e}	648.37^{cdef}	3.96^{cd}	2.17^{ef}
۷۵ درصد ظرفیت زراعی 75%FC	0	3.89^{d}	640.08^{def}	5.39^{b}	2.20^{ef}
	3	4.17^{cd}	881.1^{bc}	6.54^{a}	7.05^{a}
	6	3.99^{d}	804.07^{bcde}	5.37^{b}	4.25^{c}
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی 100%FC	0	4.63^{b}	1191.54^{a}	6.43^{a}	3.20^{d}
	3	5.03^{a}	848.43^{bcd}	6.45^{a}	5.80^{b}
	6	4.37^{bc}	917.83^{b}	4.58^{bc}	3.49^{cd}

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

(There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

اعمال کم آبیاری بر وزن خشک ریشه ریحان معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش تنش وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۴). افزایش غلظت کائولین تا سطح ۳ درصد سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و سپس با افزایش کاربرد کائولین تا ۶ درصد سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد و با عدم کاربرد کائولین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج حاکی از آن بود که حجم ریشه ریحان تنها تحت تأثیر تیمارهای رطوبتی قرار گرفت (جدول ۳). به‌طوری‌که با افزایش تنش حجم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). کشاورزنیا و همکاران (Keshavarznia et al., 2015)، با بررسی نقش ساختار ریشه جو در پاسخ به تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که در اثر تنش خشکی حجم ریشه نسب به شرایط کنترل کاهش یافت.

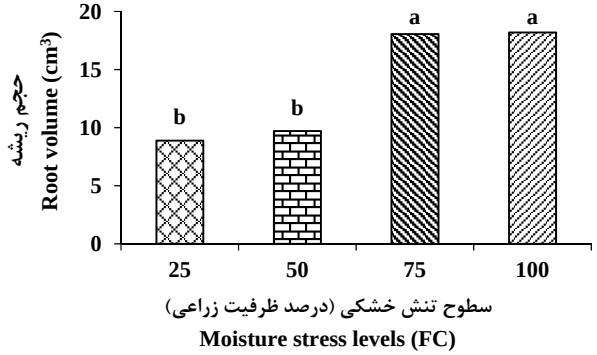
در این مطالعه کاربرد کائولین تا سطح ۳ درصد سبب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه شد، اما با افزایش غلظت کائولین تا سطح ۶ درصد در مقایسه با سطح بدون تنش سبب کاهش ویژگی‌های مورفولوژیکی ریحان شد. عکس این گزارش را سگورا- مونروی و همکاران (Segura-Monroy et al., 2015) با مطالعه اثر کاربرد کائولین روی رشد گیاهچه فیسالیس (*Physallis peruviana*) در دو رژیم آبیاری گزارش کردند که کاربرد کائولین سبب بهبود ارتفاع گیاه و وزن خشک کل گیاه در گیاهان تحت تنش شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که مصرف کائولین برای کاهش اثرات تنش آبی روش مناسبی است. ماده کائولین با کاهش در جذب نور و متعاقباً کاهش در جذب دی‌اکسید کربن و مسدود نمودن مختصر روزنه‌ها تنش آبی را کاهش داد (Glenn and Puterka, 2001)؛ بنابراین به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی غلظت‌های بالای کائولین اثرات منفی روی رشد گیاه داشت. احتمالاً با توجه به نقش کائولین در کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاه (Segura-Monroy et al., 2015) و در نتیجه در این مطالعه به نظر می‌رسد کاربرد بیش‌ازاندازه کائولین (غلظت ۶ درصد) سبب کاهش منافذ و در نتیجه کاهش بیشتر

تبخیر و تعرق شده است و در نتیجه سبب کاهش میزان رشد و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه ریحان شد.

صفات فیزیولوژیکی

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف رطوبتی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی) بر صفات محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین و میزان قند محلول معنی‌دار بود ($P<0.01$) (جدول ۵).

کاربرد کائولین نیز بر تمام صفات فیزیولوژیکی موردمطالعه معنی‌دار بود (جدول ۵). اثرات متقابل اعمال تنش‌های رطوبتی و کاربرد کائولین نیز بر تمامی صفات موردبررسی معنی‌دار بود ($P<0.01$) (جدول ۵).



شکل ۳. اثر تیمارهای مختلف خشکی بر حجم ریشه گیاه ریحان (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 3. The effect of different treatments of moisture stress on root volume of Basil. (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

جدول ۵. تجزیه واریانس تیمارهای مختلف اثر کم آبیاری و محلول‌پاشی با کائولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاه ریحان

Table 5. Analysis of variance of moisture stress and spraying Kaoline effects on some physiological characteristics in Basil

		Mean square / میانگین مربعات					
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	قند محلول Soluble sugars
I†	3	133.31 **	59.22**	20.87**	150.42**	27.76**	72.43**
K	2	32.54**	12.7*	4.9**	33.43*	9.05**	103.14**
اثر متقابل I×K	6	31.98 **	15.26 **	4.14**	35.14**	16.88**	73.34**
خطا Error	22	3.83	2.94	0.69	6.33	1.29	12.49
ضریب تغییرات CV%		*2.38*	*13.60*	*12.44*	*13.03*	*16.49*	*5.48*

† I = تیمارهای کم‌آبیاری؛ K = محلول‌پاشی با کائولین. *، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

† I = Deficit irrigation treatments; K = Spraying with kaoline. *,** and ns significant at the level 0.05, 0.01 and not significant, respectively.

در خصوص محتوای نسبی آب نتایج حاکی از آن بود که با افزایش غلظت کائولین از صفر به ۶ درصد میزان محتوای نسبی آب ۳/۵ درصد افزایش معنی‌دار یافت. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی محتوای نسبی آب ۸ درصد کاهش یافت. اثرات متقابل کم آبیاری و کائولین نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول ۶ درصد کائولین و کمترین آن با کاهش ۱۴/۴۴ درصد مربوط به اثر متقابل تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کائولین بود (جدول ۶). مطابق با نتایج این آزمایش سگورا-

مونروی و همکاران (Segura-Monroy et al., 2015) با مطالعه اثر کاربرد کائولین روی رشد گیاهچه فیسالیس (*Physallis peruviana*) در دو رژیم آبیاری گزارش کردند که کم آبیاری سبب کاهش محتوای نسبی آب گیاه شد. همچنین کشاورزنیا و همکاران (Keshavarznia et al., 2015)، با بررسی صفات فیزیولوژیک جو در پاسخ به تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که در اثر تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت به‌طوری‌که در این آزمایش نیز کاربرد تنش رطوبتی سبب کاهش محتوای نسبی ریحان شد. همسو با نتایج این تحقیق، در آزمایشی برمه و همکاران (Burme et al., 2011)، با بررسی اثر ضد تعرقی کائولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی چهار رقم زیتون دریافتند که کائولین نقش مثبت خود را در کاهش تنش آبی با افزایش محتوای نسبی آب برگ بروز داد. به نظر می‌رسد کاربرد برگی کائولین با افزایش بازتاب نور موجب کاهش دمای برگ و کاهش میزان تبخیر و تعرق برگ و در نتیجه افزایش محتوای نسبی آب می‌شود (Wunsche et al., 2004).

آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای رطوبتی و محلول‌پاشی با کائولین تأثیر معنی‌داری بر روی کلروفیل a داشت (p<۰/۰۱) (جدول ۵). اثر متقابل تیمارهای رطوبتی و کائولین در سطح احتمال یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج اثر متقابل کم آبیاری و کائولین حاکی از آن بود که کاربرد کائولین در سطوح (۳ و ۶ درصد) و تیمار رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود (جدول ۶). کمترین میزان کلروفیل a با ۵۰ درصد کاهش نسبت به بالاترین آن در تیمارهای ۳ درصد کائولین و ۲۵ درصد تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۶). با افزایش تنش و کاهش غلظت کائولین میزان این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با کائولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه ریحان

Table 6. Means comparison of moisture stress and spraying kaolin interaction effects on some of physiological characteristics of Basil

آبیاری Irrigation	محلول پاشی با کائولین Spraying of kaolin	محتوای نسبی آب (درصد) RWC (%)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Chlorophyll a (mg/gr leaf wet weight	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Chlorophyll b (mg/gr leaf wet weight	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Total chlorophyll (mg/gr leaf wet weight	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Proline (mg/g wet weight)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Soluble sugars (mg/g dry weight
۲۵ درصد ظرفیت زراعی 25%FC	0	73.44^{g}	12.03^{cd}	6.25^{cd}	18.29^{cd}	4a	63.23^{bcd}
	3	81.43^{cde}	8.86^{e}	4.59^{e}	13.45^{e}	4.85cd	70.93^{a}
	6	76.5^{fg}	10.93^{cde}	5.75^{de}	16.69^{de}	4.88cd	70.96^{a}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی 50%FC	0	85.6^{ab}	12.09^{cd}	6.18^{d}	18.27^{cd}	5.64cd	58.93^{de}
	3	83.73^{abc}	10.59^{de}	5.70^{de}	16.29^{de}	8.22b	66.20^{bcd}
	6	86.89^{ab}	10.53^{de}	5.54^{de}	16.08^{de}	6.29c	68.06^{ab}
۷۵ درصد ظرفیت زراعی 75%FC	0	79.48^{ef}	10.46^{de}	5.36^{de}	15.82^{de}	9.44b	56.10^{e}
	3	78.28^{ef}	10.61^{de}	5.63^{de}	16.24^{de}	8.32cd	62.06^{cde}
	6	84.24^{cd}	16.32^{ab}	8.85^{ab}	25.18^{ab}	8.48b	67.90^{abc}
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی 100%FC	0	85.67^{ab}	13.70^{bc}	7.65^{bc}	21.35^{bc}	12.37a	65.80^{abc}
	3	80.55^{de}	17.73^{a}	9.37^{a}	27.10^{a}	5.2cd	66.03^{abc}
	6	87.88^{a}	17.36^{a}	9.64^{a}	27.01^{a}	5.06cd	56.46^{e}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند.

There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level.
(There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای رطوبتی و کائولین بر میزان کلروفیل b بود (جدول ۵). نتایج اثر متقابل نشان داد که افزایش سطح غلظت کائولین سبب افزایش و اعمال کم آبیاری سبب کاهش میزان کلروفیل b شد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار این کلروفیل در اثر متقابل ۳ و ۶ درصد کائولین و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین میزان کلروفیل در تیمار ۳ درصد کائولین و ۲۵ درصد تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۶).

اعمال کم آبیاری و کاربرد کائولین بر مقدار کلروفیل کل ریحان اثر معنی‌دار داشت (p<۰/۰۱) (جدول ۵). به‌طوری‌که

با کاهش تنش آبیاری و افزایش میزان کائولین، محتوای کلروفیل کل افزایش یافت (جدول ۶). مشابه با نتایج این آزمایش خالقی و همکاران (Khaleghi et al., 2014)، با مطالعه اثر کاربرد برگی کائولین بر میزان کلروفیل برگ نهال‌های زیتون (*Olea europaeal* L.) تحت تنش کم‌آبی نشان دادند که بیشترین میزان کلروفیل کل در ۸۰ روز بعد از اعمال تیمار به میزان ۱/۴۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به نهال‌های محلول‌پاشی شده با کائولین ۶ درصد بود و مشخص گردید که با کاهش مقدار آب به ۶۵ و ۴۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه، در نهال‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۳ و ۶ درصد کائولین مقدار کلروفیل کل از میزان بالاتری نسبت به شاهد برخوردار بود. به نظر می‌رسد در این آزمایش با توجه به اینکه در تیمارهای بدون مصرف کائولین میزان بازتابش نور در سطح برگ پایین بود، درصد آسیب پیگمانت‌های فتوسنتزی بیشتر بود و بنابراین میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد (Anderson, 1986).

اثرات متقابل کائولین و کم آبیاری بر میزان پرولین دارای اثر معنی‌داری بود (جدول ۵)؛ که بیشترین میزان پرولین در اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کائولین حاصل شد (جدول ۶). لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2014)، نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر میزان پرولین گیاه ترخون به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر پرولین گیاه داشت. آن‌ها گزارش کردند که بالاترین میزان پرولین مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در گیاهان عالی سنتز پرولین از طریق دو مسیر گلوتامات و آرژنین/اورنیتین صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد در شرایط کم آبیاری، مسیر گلوتامات نقش اصلی در بیوسنتز پرولین ایفا می‌کند. در مسیر گلوتامات، گلوتامیک اسید با آنزیم P5CS به گلوتامیک-۵- سمی آلدئید تبدیل می‌شود که پس از تبدیل به دلتا-۱-پیرولین-۵-کربوکسیلات به کمک آنزیم P5CS به L-پرولین تبدیل می‌شود (Hu et al., 1992). درواقع مسیر تجزیه پرولین نیز در تجمع آن تحت شرایط تنش اهمیت دارد. تجمع این ماده با افزایش شدت تنش به میزان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در نتیجه افزایش بیوسنتز پرولین و کاهش تخریب آن صورت می‌گیرد (Lehmann et al, 2010).

اعمال تیمارهای رطوبتی و کاربرد کائولین بر قند محلول گیاه ریحان اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۵). به‌طوری‌که با افزایش کاربرد کائولین و افزایش اعمال تیمار رطوبتی میزان قند محلول این گیاه افزایش یافت. اثر متقابل کائولین و تیمار رطوبتی بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۵).

اثرات متقابل کائولین و تیمار رطوبتی نشان داد که بیشترین این صفت در تیمار رطوبتی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و غلظت ۳ و ۶ درصد کائولین حاصل شد (جدول ۶). مطابق با نتایج این آزمایش جعفریان (Jafarian, 2014) با اعمال تیمارهای تنش خشکی در گونه زراعی کلزا نتیجه گرفتند که با افزایش تنش خشکی میزان قند کلزا افزایش یافت و گزارش کردند که این گیاه از این مکانیسم جهت مقابله با تنش خشکی استفاده می‌کند. از آنجا که قندها از اسمولیت‌های سازگار به شمار می‌آیند و تجمع آن‌ها سبب تنظیم اسمزی، حفظ آماس سلولی و پایداری پروتئین‌ها می‌شود، لذا افزایش قندهای محلول گیاه در اثر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی از راهکارهای تحمل گیاهان به شرایط نامساعد محیطی به‌حساب می‌آید (Verma and Dubeym, 2001). درواقع قندهای محلول در شرایط خشکی تجمع یافته و ممکن است به‌عنوان عامل اسمزی عمل نمایند (Sarmadnia and Koocheki, 1997).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای رطوبتی و محلول‌پاشی کائولین بر ارتفاع، قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، پروتئین و قند محلول ریحان در سطح یک درصد معنی‌دار بود. به‌گونه‌ای که اثرات متقابل کم آبیاری ملایم یعنی ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه همراه با محلول‌پاشی کائولین ۳ درصد در اکثر صفات به میزان ۲۵-۲۰ درصد نسبت به تیمارهای کم آبیاری ۵۰ و ۲۵ درصد افزایش معنی‌داری داشت هرچند که نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰درصد پائین تر بود، ولی می‌توان این تیمار را جهت افزایش صفات کمی و کیفی گیاه ریحان اعمال نمود و در تیمار کم آبیاری شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی کائولین منجر به کاهش صفات مورفولوژیکی ریحان شد. درواقع محلول‌پاشی غلظت‌های بالای کائولین (۶ درصد) اثرات منفی روی صفات مورفولوژیکی ریحان داشت. کائولین را می‌توان به‌عنوان ماده‌ای مؤثر در کاهش اثرات کم آبیاری بر گیاه ریحان معرفی نمود.

منابع

Abedi, T., Paknivat, H., 2010. Antioxidant enzyme change in response drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 46(1), 27-34

Alizadeh, A., 2005. Soil Water-Plant Relationship. Astane Qods_e Razavi Publication. 222p. [In Persian].

Anderson, J.M., 1986. Photoregulation of the composition, function and structure of thylakoid membranes. Annual Review of Plant Physiology. 37, 93-136.

Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Bota, J., Flexas, J., Medrano, H., 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? New Phytolgist. 162, 671-681.

Burme, L., Moallemi, N., Mortazavi, S.M.H., 2011. Anti-transpiration effect of kaolin on some physiological traits of four olive cultivars. Journal of Crop Production and Processing. 1(1), 11-23. [In Persian with English summary].

Chanbdracar, B.L., Sechar, N. Tuteja, S.S, Tripathi, R.S., 1994. Effect of irrigation and nitrogen of growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum*). Indian Journal of Agronomy. 39, 701-702.

French, R.J., Turner, N. C., 1991. Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow leafed lupins. Australian Journal of Agricultural Research. 42, 471- 484.

Glenn, D.M., 2005. Particle films: A new technology for agriculture. Horticultural Reviews. 31, 1-44.

Glenn, D.M., Puterka, G., Vanderzwet, T., Byers, R.E., Feldhake, C., 1999. Hydrophobic particle films: A new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. Journal of Economic Entomology. 92, 759-771.

Glenn, D.M., Puterka, G.J., 2001. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. Journal of American Society for Horticultural Science. 126 (2), 175–181.

Hu, C.A., Delauney, A.J., Verma, D.P., 1992. A bifunctional enzyme (al-pyrroline-5-carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis I plants. Proceeding of the National Academy of Science. 89, 9354-9358.

Jafarian, S., 2014. Investigating the role of iodine in reducing the effects of drought stress on two canola and safflower species. MSc. Dissertation, Faculty of Natural Resources, University of Yazd, Iran. [In Persian with English summary].

Javanmardi, J., Khalighi, A., Khashi, A., Bais, H.P., Vivanco, J.M., 2002. Chemichal characterisation of Basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicins in Iran. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50, 5878-83.

Keshavarznia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hosseini-Salekdeh, G., Ahmadi, A., Mohseni-Fard, E., 2015. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. Iranian Journal of Field Crop Science. 45(4), 553-563. [In Persian with English summary].

Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzega, M., 2014. Studying the effect of kaolin on fluorescence and chlorophyll content in leaves of olive plants (*Olea europaea* L. cv Dezful) under water deficit sress. Journal of Plant Production. 37(2), 127-139. [In Persian with English summary].

Kiani, S., Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., Poshtdar, A., 2018. Respond of yield, yield components and water use efficiency of some fennel (F*oeniculum vulgare* L.) ecotypes in irrigation regimes and folia application of humic acid. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 34(1), 166-181. [In Persian with English summary].

Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid metod. In: Helebust, J.A., Craig, S. (eds.), Handbook of Phycologia and Biochemical Methods. London: Cambridge University Press, pp. 95-97.

Lehmann, S., Funck, D., Szabdos, L., Rentsch, D., 2010. Proline metabolism and transport in plant development. Amino Acids. 39, 949-962.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids pigments photosynthetic membranes. Methods in Enzymolgy. 148, 350-382.

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(1), 19-29. [In Persian with English summary].

Moftah, A.E., Al-Humaid, A.R., 2005. Effect of antitranspirants on water relations and photosynthetic rate of cultivated tropical plant (*Polianthes tuberosa* L.). Polish Science, 7, 405-415.

Moghaddam, M., Alirezaei Noghondar, M., Selahvarzi, Y., Goldani, M., 2015. The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science. 43 (3), 509-521. [In Persian with English Abstract].

Moreshet, S., Cohen, Y., Fuchs, M.E., 1979. Effect of increasing foliage reflectance on yield, growth, and physiological behavior of a dryland cotton crop. Crop Science. 19, 863-868.

Omidbaigi, R., 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Tarahanee Nashr Publication. Tehran-Iran. Vol 2. 424 pp. [In Persian].

Omidbaigi, R., 2008. Production and Processing of medicinal plants. Astan'e Qods's Razavi Publication, Iran. Vol 3. 397 pp. [In Persian].

Omidi, H., Movahadi Pouya, F., Movahadi Pouya, S.H., 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 18(4), 608-623. [In Persian with English summary].

Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admoue, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrojen in a Sahelian environment. I. Grain yield components and water use efficiency. European Journal of Agronomy. 15, 93 -105.

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Sajjadi, S.E., 2006. Analysis of the essential oils of two cultivated basil (*Ocimum basilicum* L.) from Iran. Daru. 14(3), 128 - 30.

Samadi, A., Faramarzi, A., 2014. Effects of anti-transpiration spraying and irrigation cutting off on yield and yield components of sunflower hybrid of Farrokh as second crop at Miyaneh region, Iran. Agroecology Journal. 10(3), 47-59. [In Persian with English summary].

Sarmadnia, G. H., Koocheki, A., 1997. Crop Physiology. Jahad Daneshgahi Mashhad Press [In Persian].

Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., Restrepo-Diaz, H., 2015. Effect of Kaolin application on growth, water use efficiency, and leaf epidermis characteristics of *Physalis peruviana* L. seedlings under two irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Technology. 17, 1585-1596 .

Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., Gazanchian, A., 2008. Physiomorphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic turfgrasses. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology. 9(3), 193-204. [In Persian with English abstract].

Sodaeeizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A.M., Hakimzadeh M.A., 2016. The Effects of Water Stress on some Morphological and physiological Characteristics of Satureja hortensis. Journal of Plant Process and Function Iranin Society of Plant Physiology. 5 (15): 1-12. [In Persian with English abstract].

Telci, I., Bayram, E., Yilmaz, G., AVC, B., 2006. Variability in essential oil composition of Turkish basils (*Ocimum basilicum* L.), Biochemical Systematics and Ecology. 34, 489-97.

Toriurian, S.H., Pasari, B., Mohamadi, Kh., 2018. The Effect of folier application of kaolin clay and irrigation cut on the quantative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Crop Physiology Journal-Islamic Azad University Ahvaz Branch. (37), 63- 49. [In Persian with English summary].

Verma, S., Dubeym, S., 2001. Effect of cadmium on soluble and enzymes of their metabolism in rice. Biology Plantrum. 1, 117-123.

Wand, S.J.E., Theron, K.I., Ackerman, J., Marais, S.J.S., 2006. Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African orchards. Scientia Horticulturae. 107, 271–276.

Weerkkody, P., Jobling, J., Infante, M., Rogers, G., 2009. The effect of maturity, sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit

grown in Australia. Scientia Horticulturae. 124, 57-61.

Wunsche, J.N., Lombardini, L., Greer, D.H., 2004. 'Surround' particle film applications: effects on whole canopy physiology of apple. Acta Horticulturae. 636, 565-571.