

تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیوشیمیایی سه رقم ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

محمد مقدم^{۱*}، مرتضی علیرضایی نقندر^۲، یحیی سلاح‌ورزی^۳ و مرتضی گلدانی^۴

۱ و ۲. استادیار و دانشجوی سابق دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳. مربی پژوهشی مرکز تحقیقات انار، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۴)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه رقم اصلاح‌شده ریحان در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۱ انجام شد. آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه رقم تجاری ریحان (Comin Hoja Larga، Genoes، Rubi) و سه سطح تنش خشکی (شاهد، تنش متوسط ۷۵ درصد و تنش شدید ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی نشان داد که بین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و درصد اسانس در ارقام مختلف اختلاف معناداری وجود دارد. همچنین سطوح مختلف تنش خشکی تأثیر معناداری بر تعداد شاخه فرعی، وزن تر و درصد اسانس در ارقام مختلف داشت. براساس نتایج این پژوهش ارقام استفاده‌شده پاسخ فیزیولوژیکی متفاوتی نسبت به تنش خشکی نشان دادند به طوری که رقم Comin Hoja Larga توانست تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی را سه هفته قبل از برداشت به خوبی تحمل کند. بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۵۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد. به منظور تولید بیشتر میزان اسانس (۰/۷۵ درصد) تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در شرایط مشابه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای فیزیولوژیکی، تنش خشکی، صفات مورفولوژیکی، وزن خشک.

مقدمه

ریحان^۱ متعلق به تیره نعناعیان^۲ و بومی آسیاست. انسان از ۳ هزار سال پیش از گونه‌های مختلف جنس ریحان برای مقاصد دارویی و خوراکی استفاده کرده است. خواص دارویی و وجود ترکیبات معطر سبب شده است ریحان یکی از گیاهان مشهور در سراسر دنیا باشد، به طوری که بخشی از این خواص مربوط به ترکیبات روغن‌های فرار موجود در آن است. اسانس و عصاره

ریحان به طور گسترده در صنایع غذایی، عطرسازی، دارویی و بهداشتی کاربرد دارد (Makari & Kintzios, 2008). خاصیت ضد باکتری، ضد قارچی، ضد حشره‌ای و آنتی‌اکسیدانته اسانس و عصاره گونه‌های مختلف این جنس موضوع پژوهش‌های زیادی بوده است (Suppakul et al., 2003). همچنین خواص ضد التهابی، ضد اسپاسمی، ضد نفخی، ضد استرس، ضد مالاریا، تقویت سیستم ایمنی، ضد سرطانی، کاهش‌دهنده چربی خون،

در مطالعه اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و میزان اسانس گیاه بادرشی بیشترین عملکرد اسانس، قند محلول و کلروفیل a و کلروفیل کل به ترتیب در تیمارهای ۶۰، ۴۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش شد. با افزایش تنش از مقدار کلروفیل a کم و بر مقدار کلروفیل b افزوده شد (Safikhani, 2006). اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشد بادرنجبویه نشان داد که تنش خشکی بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی و درصد و عملکرد اسانس گیاه مؤثر است (Ardekani et al., 2010). تنش خشکی بر عملکرد تر و خشک، کلروفیل a و b، قندهای محلول، پرولین، محتوای نسبی آب برگ و درصد و عملکرد اسانس نعنای فلفلی تأثیرگذار بود (Izadi et al., 2009). بررسی اثر تنش آبی بر تغییر ترکیبات اسانس ریحان نشان داد که هم‌زمان با اعمال تنش خشکی، پتانسیل آب برگ گیاه به شدت کاهش پیدا کرد، ولی در مقابل مقدار اسانس ریحان به ۶/۲ میکرولیتر بر گرم وزن خشک گیاه افزایش یافت. همچنین مشخص شد تنش خشکی سبب افزایش لینالول و متیل‌کاوایکول در ریحان می‌شود، اگرچه اجزای نسبی سزکویی‌ترین‌های آن کاهش می‌یابد (Simon et al., 1992). در نتیجه بررسی تأثیر تنش رطوبتی (۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی ریحان بنفش مشخص شد که ارتفاع گیاه، ضخامت ساقه، تعداد و سطح برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و محتوای کلروفیل گیاه کاهش پیدا می‌کند، ولی میزان آنتوسیانین و پرولین آن به شدت افزایش می‌یابد (Alishah et al., 2006). از آنجا که تنش آبی از بزرگ‌ترین مشکلات تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران به‌شمار می‌رود، شناخت واکنش‌های گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی به کمبود آب اهمیت ویژه‌ای دارد. با ارزیابی ارقام مختلف در شرایط کم‌آبی می‌توان تأثیر این شرایط بر عملکرد و میزان متابولیت‌های ثانویه گیاه را ارزیابی و با اطمینان بیشتری ارقام مناسب را برای این نواحی توصیه کرد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر تنش

التیام‌دهنده زخم معده، تسکین‌دهنده درد، تب‌بر و محرک آن به اثبات رسیده است (Holm, 1999; Suppakul et al., 2003). مصرف جهانی اسانس ریحان در سال ۲۰۰۷ تقریباً ۵۰۰ تن به ارزش تقریبی ۱۲ میلیون یورو برآورد شده است (Brud, 2007). ارقام مختلفی از این گیاه تا کنون به دنیا معرفی شده است که در نقاط مختلف کشت و کار می‌شوند.

گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی متعددی روبه‌رو می‌شوند که هر یک از این تنش‌ها می‌تواند با توجه به میزان حساسیت و مرحله رشد گونه گیاهی آثار متفاوتی بر رشد، نمو و عملکرد آن‌ها داشته باشد و سبب تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی و مولکولی متعددی در آن‌ها شود که این امر موجب بازدارندگی شدیدی در رشد گیاه و در نتیجه کاهش محصول می‌شود (Imam & Zavarehi, 2005). پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی متفاوت است. همچنین توانایی گیاهان برای سازش به تنش‌های محیطی به نوع، شدت و مدت تنش، زمان وقوع، مرحله رشد و گونه گیاهی بستگی دارد (Mirfattah et al., 2009).

گیاهان برای کاهش آثار زیان‌بار خشکی از سازوکارهای متنوعی استفاده می‌کنند. چنین سازوکارهایی دامنه وسیعی از واکنش‌ها از سطح سلول تا کل گیاه را شامل می‌شوند. در شرایط کمبود آب فتوسنتز و سطح برگ و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Mizanzadeh & Imam, 2010). پایداری غشای سلولی تحت تنش رطوبتی به‌منزله یک شاخص مهم تحمل به خشکی ذکر شده است. از محتوای نسبی آب به‌منزله شاخصی مناسب از وضعیت آب‌برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش می‌یابد و سبب تغییر در غشای یاخته‌ای و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌شود. درحقیقت نشت الکترولیت نیز می‌تواند به‌منزله یک شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب‌های وارده به یاخته‌های برگ طی دوره تنش خشکی مطرح باشد (Fu et al., 2004). همچنین گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند (Izadi et al., 2009).

کود ورمی کمپوست به مقدار ۱۰ گرم به هر کدام از گلدان‌ها اضافه شد. برای تعیین منحنی رطوبتی خاک از دستگاه صفحات فشاری^۲ استفاده شد. بدین ترتیب که مقداری از خاک استفاده‌شده در آزمایش را در این دستگاه قرار داده و سپس پتانسیل‌های مختلفی از فشار (مکش) در محدوده ظرفیت زراعی (۳۳/۰- بار)، تا نقطه پژمردگی دائم (۱۵- بار)، بر آن اعمال شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه خاک از دستگاه خارج شد. مرحله بعد ابتدا وزن مرطوب و در نهایت وزن خاک خشک‌شده در آون (دما ۱۰۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت) اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه زیر درصد رطوبت وزنی خاک، در مکش اعمال‌شده محاسبه شد.

$$\text{ظرفیت وزنی} = (A-B/B) \times 100$$

برای وضعیت

ظرفیت زراعی

A: وزن خاک مرطوب پس از خروج آب ثقی

B: وزن خاک خشک‌شده در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت

پس از تعیین نقطه ظرفیت زراعی، میزان آب لازم برای رسیدن رطوبت خاک گلدان به حد ظرفیت زراعی تعیین شد. اعمال تنش خشکی به این صورت بود که گلدان‌ها به صورت روزانه توزین می‌شدند و نقصان رطوبتی در هر تیمار با آبیاری گلدان‌ها تا رسیدن به سطح تیمار مورد نظر برطرف می‌شد. پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات در مرحله تمام‌گل صورت پذیرفت. صفات ارزیابی‌شده در این آزمایش شامل صفات زیر بودند:

صفات مورفولوژیکی و میزان اسانس

در مرحله گل‌دهی ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی و طول گل‌آذین در هر بوته اندازه‌گیری شد. سپس پیکر رویشی گیاهان از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و وزن تر آن‌ها محاسبه شد. نمونه‌ها در سایه و در دمای اتاق خشک و سپس وزن آن‌ها تعیین شد. اسانس نمونه‌های خشک‌شده با استفاده از دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت

دیرهنگام بر خصوصیات مورفولوژیکی و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی سه رقم تجاری ریحان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۱، به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه رقم تجاری و دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) به نام‌های Rubi (رقم ۱)، Genoes (رقم ۲) و Comin Hoja Larga (رقم ۳) که حاوی اسانس فراوانی‌اند، به‌منزله فاکتور اول و سه سطح تنش خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌منزله فاکتور دوم بودند. بذور استفاده‌شده در این آزمایش از شرکت انترسمیلاس (اسپانیا)^۱ تهیه و برای جوانه‌زنی و سبز شدن یکنواخت در سینی‌های مخصوص نشا کشت شدند. گیاهچه‌ها در مرحله چهاربرگی به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متری، ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری و گنجایش ۱۲ کیلوگرم خاک منتقل شدند. در هر گلدان ۴ گیاهچه سالم و یکنواخت کشت شد. گلدان‌ها در گلخانه در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی (دمای ۲۵- ۲۷ درجه سانتی‌گراد) و ۸ ساعت تاریکی (۱۵- ۱۷ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۷۰ درصد نگهداری شدند. گیاهان طی دوره استقرار به مدت ۴۵ روز در شرایط بهینه و بدون اعمال تنش آبی رشد کردند. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی دیرهنگام و کوتاه‌مدت بر روی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آزمایش‌شده، سه هفته قبل از برداشت تیمارهای مورد نظر تنش خشکی اعمال شدند. انتقال نشاهای سه تا چهار برگی به داخل گلدان در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۱ ماه انجام شد و آزمایش در اواسط مرداد ۱۳۹۱ پایان پذیرفت.

خاک استفاده‌شده در این آزمایش دست‌ساز و ترکیبی از ماسه و خاک سطح‌الارض به نسبت ۱:۱ بود.

تبادلات گازی

به منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول CO₂ در مترمربع در ثانیه) و غلظت CO₂ درون‌روزنه‌ای (میکرومول CO₂ بر مول) از دستگاه IRGA^۱ مدل LCA4 استفاده شد. هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول در مترمربع در ثانیه) با استفاده از دستگاه پرومتر اندازه‌گیری شد. هدایت مزوفیلی (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) از تقسیم‌کردن فتوسنتز به غلظت CO₂ درون‌روزنه‌ای به دست آمد. میزان کمتر فتوسنتز و فرآوری CO₂ در حضور مقادیر بالای CO₂ داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین‌بودن میزان هدایت مزوفیلی و ناتوانی سلول‌های مزوفیل در استفاده از CO₂ است (Fischer *et al.*, 1998). به منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO₂ بر مول H₂O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شد (Ritchie *et al.*, 1990). تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ صبح و بلافاصله بعد از اعمال سطوح مختلف آبیاری صورت گرفت. در هر تیمار صفات مورد نظر در برگ‌های میانی شاخه اصلی در ۴ بوته هر گلدان اندازه‌گیری شد و ۴۵ ثانیه بعد از قراردادن برگ داخل محفظه شیشه‌ای دستگاه اعداد ثبت شد (Siosemardeh, 2004; Fischer *et al.*, 1998).

محتوای نسبی آب (RWC^۲)

برای این منظور قطعات ۱ سانتی‌متری از برگ‌های وسطی شاخه اصلی و از قسمت میانی برگ تهیه و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۴ ساعت در شدت نور کم داخل آب مقطر قرار داده شدند. در انتها وزن خشک نمونه‌های برگ‌های اندازه‌گیری و محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه زیر به دست آمد (Ritchie *et al.*, 1990):

$$\%RWC = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس})}{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})} \times 100$$

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها به وسیله نرم‌افزار

استخراج شد. درصد اسانس (حجمی- وزنی) با قرائت حجم اسانس و با احتساب رطوبت نمونه‌ها (برای این منظور سه نمونه گیاهی داخل آون در دمای ۷۲ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قراردادن در آون محاسبه و درصد رطوبت نمونه‌ها تعیین شد) محاسبه شود.

شاخص پایداری غشا

شاخص پایداری غشا از طریق نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. مقادیر نشت الکترولیتی سلول‌های برگ از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Marcum, 1998). در این رابطه E1 و E2 به ترتیب نشت الکترولیتی اولیه و ثانویه‌اند.

$$EL = (E1/E2) \times 100$$

محتوای کلروفیل و کارتنوئید

اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدهای برگ نیز با استفاده از روش Dere و همکاران (1998) انجام گرفت و براساس روابط زیر محاسبه شد.

$$CHL_a = 15.65A_{666} - 7.340A_{653}$$

$$CHL_b = 27.05 A_{653} - 11.21 A_{666}$$

$$C_{x+c} = 1000 A_{470} - 2.860 C_a - 129.2 C_b/245$$

$$CHL_t = CHL_a + CHL_b + C_{x+c}$$

در این روابط CHL_a: میزان کلروفیل a؛ CHL_b: میزان کلروفیل b؛ C_{x+c}: میزان کاروتنوئیدها کل و CHL_t: کلروفیل کل را نشان می‌دهند. بدین منظور عصاره‌گیری با استفاده از استون انجام و جذب نور در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۶۶ قرائت شد.

رنگدانه‌های گیاهی

اندازه‌گیری میزان رنگدانه‌های گیاهی در مرحله گل‌دهی کامل گیاه با استفاده از دستگاه SPAD (مدل SPAD 502, Minolta, Japan) صورت پذیرفت.

کربوهیدرات کل

کربوهیدرات کل نمونه‌های برگ‌های ریحان نیز با استفاده از معرف آنترون ارزیابی شد (Hedge & Hofreiter, 1962).

1. Infra Red Gas Analyser
2. Relative Water Content

در سطح ۵ درصد معنادار شد (جدول ۱). تنش شدید موجب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و میزان رنگدانه‌های گیاهی شد که با نتایج تحقیقات پژوهشگران دیگر (Baker & Musgrave, 1964; Gratani & Varone, 2004) در تضاد است. مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل a و b و کارتنوئید در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد، ولی کمترین میزان کلروفیل a در تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و کلروفیل b در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند و کمترین میزان کارتنوئید نیز در تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (جدول ۲). بررسی آثار متقابل رقم و سطوح مختلف تنش خشکی بر محتوای نسبی کلروفیل b نشان داد بیشترین میزان کلروفیل b در رقم Comin Hoja Larga همراه با تنش شدید و کمترین میزان در رقم Genoes همراه با آبیاری کامل حاصل شد (شکل ۱).

آماره MSTAT-C تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن انجام شد. ضریب همبستگی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ver. 21) محاسبه شد.

نتایج و بحث

نشت الکترولیت

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و سه رقم ریحان و اثر متقابل آن‌ها بر نشت الکترولیتی معنادار نبود (جدول ۱). به نظر می‌رسد در این پژوهش با توجه به اعمال تنش خشکی در سه هفته قبل از برداشت احتمالاً آسیب‌وارده به یاخته‌های برگ اندک بوده و اثری بر نشت الکترولیت نداشته است.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف بر محتوای کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها معنادار نبود، ولی اثر سطوح مختلف تنش خشکی در سطح ۱ درصد بر روی این صفات معنادار بود و اثر متقابل رقم و تنش تنها در مورد کلروفیل b

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نشت الکترولیتی	کلروفیل A	کلروفیل B	کلروفیل کل	کارتنوئیدها	رنگدانه‌های گیاهی
رقم	۲	۲۷/۵۷ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۰۴۷ ^{ns}	۱/۱۴ ^{ns}	۰/۰۸۸ ^{ns}	۱۸۶/۱۱ ^{ns}
تنش	۲	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۵۳ ^{**}	۰/۱۷ ^{**}	۲/۶۱ ^{**}	۰/۰۲۳ ^{**}	۶۳۷/۶۴ ^{**}
رقم × تنش	۴	۱۶/۲۵ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۱۳ [*]	۱/۶۳ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۱۹۶/۱۳ ^{ns}
C.V		۳/۴	۱۹/۴	۱۶/۹	۱۲/۱	۱۰/۹	۱۶/۹

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده وجود نداشتن اختلاف معنادار و وجود اختلاف معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۱

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای	هدایت روزنه‌ای	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	طول گل‌آذین	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	درصد اسانس
رقم	۲	۹۴/۷۰ ^{ns}	۸۶/۵۱ ^{ns}	۸۶/۵۱ ^{**}	۱۲۰۸/۴۵ ^{ns}	۳۶۵۸/۰۵ ^{**}	۰/۱۵ ^{ns}	۴/۷۵ ^{ns}	۱۵۹۱/۵۰ ^{**}	۱۵۵/۰۶ ^{**}	۰/۲۹ ^{**}
تنش	۲	۱۸۷/۳۰ ^{ns}	۱۳۱/۷۵ ^{**}	۱۳۱/۷۵ ^{**}	۴۲۶۴۲/۳۹ ^{**}	۱۰۴/۲۶ ^{ns}	۱۶/۸۴ ^{**}	۲۱/۴۱ ^{ns}	۲۸۷/۳۴ [*]	۱۱/۶۹ ^{ns}	۰/۲۰ ^{**}
رقم × تنش	۴	۳۹/۷۶ ^{ns}	۷۵/۶۱ ^{ns}	۷۵/۶۱ ^{ns}	۱۸۷۵۴/۹۴ ^{ns}	۴۳/۶۰ ^{ns}	۱۵/۶۷ ^{ns}	۲۶/۳۴ ^{ns}	۱۱۷/۶۱ ^{ns}	۲/۱۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{**}
C.V		۱۷/۳	۱/۰	۱۳/۷	۱۴/۹	۹/۹	۱۳/۲	۱۳/۵	۱۴/۸	۱۶/۴	۴/۴

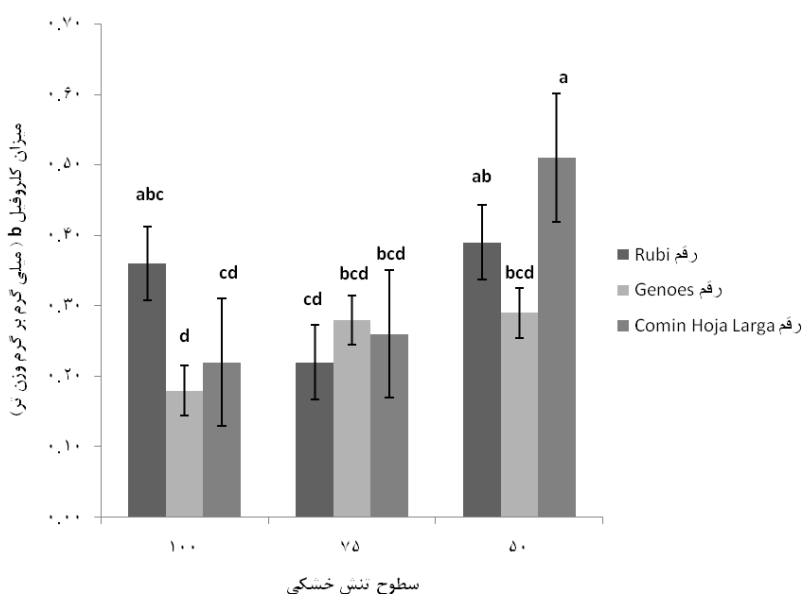
ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده وجود نداشتن اختلاف معنادار و وجود اختلاف معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۲. تأثیر رقم و سطوح تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های ریحان

تیمار	نشت الکتروولت (%)	کلروفیل a (میلی گرم بر وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم بر وزن تر)	کاروتنوئیدها (میلی گرم بر وزن تر)	رنگدانه‌های گیاهی	کربوهیدرات		سرعت فتوسنتز (میکرومول CO ₂ در مترمربع در ثانیه)	غلظت CO ₂ زیر روزنه‌ای (میکرومول CO ₂ بر مول)
							(میلی گرم بر وزن تر)	نسبی آب (%)		
رقم										
Rubi	۶۰/۵۶ b	۰/۵۴ a	۰/۳۲ a	۱/۲۴ a	۰/۳۷ a	۳۵/۳۷ a	۴۹/۲۳ a	۶۳/۹۷a	۲/۲۳ a	۳۴۷/۳۳ a
Genoes	۶۲/۱۶ ab	۰/۳۴ b	۰/۲۵ a	۰/۸۵ b	۰/۲۶ b	۳۷/۱۸ a	۴۵/۷۹ a	۶۰/۰۹a	۱/۹۴ b	۳۵۱/۰۷ a
Hoja Larga Comin	۶۲/۶۰ a	۰/۵۳ a	۰/۳۳ a	۱/۲۱ab	۰/۳۵ ab	۴۰/۸۳ a	۴۷/۰۸ a	۵۹/۷۷a	۲/۴۶ ab	۳۵۰/۳۷ a
تنش										
٪۱۰۰ FC	۶۱/۸۷ a	۰/۳۹ b	۰/۲۵ b	۰/۹۱ b	۰/۲۷ b	۳۴/۹۳ b	۵۹/۴۲ a	۶۸/۶۷a	۳/۱۳ a	۳۴۷/۳۵ b
٪۷۵ FC	۶۱/۷۱ a	۰/۳۸ b	۰/۲۶ b	۰/۹۰ b	۰/۲۷ b	۳۴/۷۱b	۴۲/۰۶ a	۵۹/۶۷b	۲/۸۷ a	۳۴۸/۶۹ ab
٪۵۰ FC	۶۱/۷۴ a	۰/۶۴ a	۰/۴۰ a	۱/۴۸ a	۰/۴۴ a	۴۳/۷۴b	۴۰/۶۱ a	۵۵/۴۸b	۱/۶۳b	۳۵۲/۷۲ a

ادامه جدول ۲. تأثیر رقم و سطوح تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های ریحان

تیمار	هدایت روزنه‌ای (میلی مول در مترمربع در ثانیه)	هدایت مزوفیلی (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)	کارایی مصرف آب (میکرومول CO ₂ بر مول H ₂ O)	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	طول گل آذین (سانتی متر)	تعداد شاخه‌ی فرعی	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)	درصد اسانس (/.)
Rubi	۴۶/۵۰ a	۹/۳۳ a	۸۵/۹۲ a	۳۲/۴۹ b	۱۰/۶۸ a	۱۰/۱۴a	۱۰/۸۸b	۱/۸۹ b	۰/۴۸b
Genoes	۵۱/۱۶ a	۵/۵۶ b	۷۱/۸۰a	۵۳/۲۱ a	۹/۷۹ a	۱۰/۱۳a	۲۲/۲۶a	۵/۹۵ a	۰/۶۸ a
Comin Hoja Larga	۵۰/۸۱ a	۷/۰۹ ab	۸۰/۰۷ a	۵۴/۴۸ a	۱۰/۲۳ a	۱۰/۰۰a	۲۶/۶۷a	۶/۵۶ a	۰/۶۶ a
تنش									
٪۱۰۰ FC	۵۰/۲۱ ab	۹/۰۵ a	۸۴/۲۷a	۴۹/۱۱ a	۱۱/۳۲ a	۹/۴۲ b	۲۳/۹۰a	۵/۵۹a	۰/۵۱c
٪۷۵ FC	۳۱/۴۶ b	۸/۲۷ a	۱۱۸/۶۹a	۴۵/۲۶ b	۹/۶۳ a	۱۱/۰۳a	۱۸/۳۸b	۴/۲۶ b	۰/۶۰ b
٪۵۰ FC	۶۶/۸۱ a	۴/۶۶ b	۳۴/۸۳ b	۴۵/۸۱ ab	۹/۷۵ a	۹/۸۲ b	۱۷/۵۳b	۴/۵۵ ab	۰/۷۰a



شکل ۱. اثر متقابل رقم و سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان کلروفیل b

کلروفیل افزایش نشان داد. علاوه بر این کاهش کلروفیل ممکن است به علت تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد، که رادیکال‌های آزاد سبب تجزیه این رنگزه‌ها می‌شوند (Schutz & Fangmeir, 2001). در این پژوهش به نظر می‌رسد تنش خشکی کوتاه‌مدت سبب افزایش کاروتنوئیدها و در نتیجه حفاظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از تخریب کلروفیل‌ها شد. این امر سبب افزایش کلروفیل با اعمال تنش شد. در مطالعه‌ای دیگر به نقش کاروتنوئیدها در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها اشاره شد (Lawlor & Cornic, 2002). حفظ کلروفیل در برگ تحت شرایط تنش از شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. با توجه به نتایج حاصل از همبستگی صفات (جدول ۳) رابطه مثبت و معناداری در سطح احتمال ۱ درصد بین کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و رنگدانه‌های گیاهی وجود داشت. به طوری که با افزایش هر یک از این رنگزه‌های گیاهی، سایرین نیز افزایش نشان می‌دهند.

در بررسی اثر تنش خشکی بر ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002) و نعنای (Misra & Sricastatva, 2000) نشان داده شد که هم‌زمان با تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش پیدا می‌کند که با نتایج این پژوهش مطابقت نداشت. اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر روی رنگزه‌های گیاهی در این مطالعه معنادار نشد و ارقام مختلف پاسخ یکسانی از این نظر به این شرایط نشان دادند. تنها میزان کلروفیل b بر اثر متقابل رقم و تنش معنادار شد (شکل ۱). کاهش میزان کلروفیل‌ها بر اثر تنش خشکی علل متعددی دارد. از جمله اینکه هم‌زمان با کاهش مقدار آب خاک و پتانسیل آب‌برگ، برخی هورمون‌ها مانند اتیلن و اسید آبسازیک افزایش می‌یابد و فعالیت کلروفیل‌ها زیاد می‌شود و به علت هیدرولیز کلروپلاست و پروتئین‌های تیلاکوئیدی محتوای کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a به b نیز کاهش پیدا می‌کند (Loggini et al., 1999). به نظر می‌رسد تنش خشکی دیر هنگام اعمال شده در این آزمایش اثری بر روی هورمون‌های یاد شده و فعالیت کلروفیل‌ها نداشت و به همین علت میزان

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده

A _{FW}	B _n	Inf	H	WUE	MC	SC	Oil	CO ₂	Phr	RWC	CAR	spad	X+C	CHL _a	CHL _b	CHL _a	EL ^۱
																	۱ -۰/۰۶۴ CHL _a
																	۱ ۰/۸۷۱ ^{**} -۰/۰۶۴ CHL _b
																	۱ ۰/۹۴۴ ^{**} ۰/۹۸۳ ^{**} -۰/۰۷۴ CHL _a
																	۱ ۰/۹۹۳ ^{**} ۰/۹۳۹ ^{**} ۰/۹۶۷ ^{**} -۰/۰۹۴ X+C
																	۱ ۰/۴۶۵ ^{**} ۰/۴۹۱ ^{**} ۰/۵۵۲ ^{**} ۰/۴۴۹ ^{**} -۰/۱۱۳۵ Spad
																	۱ -۰/۰۷۵ -۰/۰۶۷ -۰/۰۲۰ -۰/۰۴۳ ۰/۰۲۰ -۰/۱۶۱ CAR
																	۱ ۰/۰۱۳ -۰/۲۸۵ -۰/۲۶۰ -۰/۲۶۳ -۰/۲۸۲ -۰/۲۴۳ -۰/۰۲۹ RWC
																	۱ ۰/۰۲۸ ۰/۲۷۵ -۰/۵۲۰ ^{**} -۰/۱۲۷ -۰/۱۲۵ -۰/۲۲۱ -۰/۰۶۹ -۰/۱۳۱ Phr
																	۱ -۰/۷۴۰ ^{**} -۰/۰۷۹ ۰/۳۳۰ [*] ۰/۲۶۸ ۰/۲۶۲ ۰/۲۵۴ ۰/۳۲۲ ۰/۲۰۲ ۰/۲۱۲ CO ₂
																	۱ ۰/۳۹۱ [*] -۰/۵۲۱ ^{**} -۰/۲۲۵ ۰/۰۷۵ ۰/۳۰۰ ۰/۰۷۷ ۰/۷۱ ۰/۱۴۱ ۰/۰۲۹ ۰/۳۲۸ Oil
																	۱ ۰/۲۶۲ -۰/۰۱۷ -۰/۲۶۴ -۰/۰۳۹ -۰/۰۰۳ ۰/۳۸۰ [*] ۲/۰۰ ۰/۲۰۷ ۰/۳۱۳ ۰/۱۴۶ -۰/۲۱۱ SC
																	۱ -۰/۲۵۲ -۰/۵۱۰ ^{**} -۰/۷۵۵ ^{**} ۱/۰۰۰ ^{**} ۰/۰۲۷ ۰/۲۸۶ -۰/۵۱۱ ^{**} -۰/۱۲۸ -۰/۱۲۶ -۰/۲۲۲ -۰/۰۶۹ -۰/۱۴۰ MC
																	۱ ۰/۴۴۶ ^{**} -۰/۷۵۷ ^{**} -۰/۲۸۳ -۰/۰۶۲ ۰/۴۶۱ ^{**} -۰/۰۵۷ ۰/۰۷۵ -۰/۴۸۵ ^{**} -۰/۲۰۷ -۰/۲۲۳ -۰/۳۲۶ -۰/۱۷۰ ۰/۰۴۷ WUE
																	۱ -۰/۱۴۴ -۳/۰۰ ۰/۰۷۰ ۰/۵۳۳ ^{**} ۰/۱۸۸ -۰/۳۰۶ -۰/۰۶۲ -۰/۰۱۸ ۰/۲۷۴ -۰/۱۵۸ -۰/۱۲۰ -۰/۰۸۳ -۰/۱۱۱ ۰/۴۲۳ [*] H
																	۱ ۰/۱۷۷ -۰/۳۱۱ ۰/۱۶۴ ۰/۰۴۵ -۰/۱۷۶ -۰/۲۹۳ ۰/۱۵۷ ۰/۳۱۳ ۰/۰۷۳ ۰/۰۹۵ ۰/۱۱۶ ۰/۱۲۷ ۰/۰۹۹ ۰/۱۴۱ ۰/۰۱۸ Inf
																	۱ -۰/۲۷۴ -۱/۰۰ -۰/۰۴۳ -۰/۵۷ -۰/۳۱۱ ۰/۰۰۳ -۰/۱۲۶ -۰/۰۶۰ -۰/۲۸۰ -۰/۰۵۲ -۰/۰۲۴ -۰/۱۶۳ -۰/۱۴۷ -۰/۱۳۹ -۰/۱۳۴ -۰/۰۴۶ Bn
																	۱ -۰/۱۰۱ ۰/۳۴۹ [*] ۰/۸۶۶ ^{**} -۰/۱۵۱ -۰/۱۵۳ -۰/۰۰۵ ۰/۲۴۱ ۰/۱۰۸ -۰/۱۵۶ -۰/۱۵ -۰/۰۹۰ ۰/۲۸۹ -۰/۰۹۸ -۰/۰۸۳ -۰/۰۴۵ -۰/۰۷۹ ۰/۳۶۰ [*] A _{FW}
																	۰/۹۴۷ ^{**} -۰/۰۷۲ ۰/۰۳۷ ۰/۹۲۲ ^{**} -۰/۱۴۱ -۰/۳۰۸ ۰/۱۰۳ ۰/۴۰۵ [*] ۰/۱۸۲ -۰/۳۱۴ -۰/۰۱۰ -۰/۰۵۸ ۰/۳۹۹ [*] -۰/۱۱۷ -۰/۰۶۱ -۰/۰۱۲ -۰/۰۶۲ ۰/۳۵۹ [*] A _{DW}

* و **: به ترتیب معناداری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

۱. EL, CHL_a, CHL_b, CHL_a, X+C, Spad, CAR, RWC, Phr, CO₂, SC, MC, WUE, H, Inf, Bn, A_{FW}, A_{DW}, Oil به ترتیب نشانگر نشت الکترولیت، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، رنگدانه‌های گیاهی، کربوهیدرات، محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، غلظت CO₂ زیر روزنه‌های، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، کارایی مصرف آب، ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک بوته و درصد اسانس است.

محتوی نسبی آب‌برگ و کارایی مصرف آب

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب‌برگ و کارایی مصرف آب در سطح ۱ درصد معنادار شد؛ درحالی‌که اثر ساده رقم و اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر این صفات معنادار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین محتوای نسبی آب‌برگ در آبیاری کامل حاصل شد و کمترین میزان در تنش شدید به دست آمد که از نظر آماری با تنش متوسط اختلاف معناداری نشان نداد (جدول ۲). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد که از نظر آماری با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معناداری نشان نداد و کمترین کارایی مصرف آب نیز در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین آثار ساده رقم بیانگر آن است که بیشترین و کمترین سرعت فتوسنتز به ترتیب در رقم Rubi و Genoes حاصل شد (جدول ۲). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین سرعت فتوسنتز در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) صورت پذیرفت که از نظر آماری با تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معناداری نشان نداد و کمترین میزان در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (جدول ۲). در این پژوهش تنش خشکی و به‌ویژه تنش شدید موجب کاهش سرعت فتوسنتز شد که با نتایج پژوهش‌های قبلی مطابقت داشت (Mizanzadeh & Imam, 2010). درصد بیشتر کاهش فتوسنتز به عوامل انتشار CO_2 برمی‌گردد. مطالعات نشان می‌دهد که تنش خشکی به‌طور مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم با بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب CO_2 بر فتوسنتز مؤثر است (Baker & Musgrave, 1964). انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و موجب اشباع‌شدن برگ‌ها از این مواد می‌شود که

ممکن است فتوسنتز را محدود کند. با محدودشدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن کاهش می‌یابد. در مورد ارقام مختلف نیز سرعت فتوسنتز اثر معناداری داشت. هرچند اثر متقابل رقم و تنش خشکی در این مطالعه معنادار نشد. فعالیت فتوسنتز برگ می‌تواند به‌منزله وسیله‌ای مفید برای طبقه‌بندی گیاهان متحمل به کم‌آبی استفاده شود و انتخاب رقم مناسب از این جهت اهمیت دارد.

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر هدایت روزنه‌ای در سطح ۱ درصد معنادار بود ولی اثر ارقام مختلف و اثر متقابل رقم و تنش خشکی معنادار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای به ترتیب در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (جدول ۲). براساس نتایج تجزیه واریانس ارقام مختلف، سطوح مختلف تنش خشکی و اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر صفت غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای معنادار نبود (جدول ۱). نتایج حاصل از همبستگی صفات نشان داد که بین غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و هدایت مزوفیلی رابطه منفی و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و بین غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و اسانس رابطه مثبت و معنادار وجود دارد. همچنین فتوسنتز با هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب رابطه مثبت و معنادار و با CO_2 و میزان اسانس رابطه منفی و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد دارد (جدول ۳). در این پژوهش تنش خشکی بر غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و در مورد ارقام مختلف و اثر متقابل آن‌ها تأثیری نداشت. نتایج بررسی اثر شب‌بند و تنش خشکی در بادرنجبویه نشان داد که تنش خشکی موجب بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه سبب پایین‌آمدن جذب CO_2 و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Blumenthal, 2000). بررسی نتایج حاصل از همبستگی صفات نشان داد با افزایش هدایت مزوفیلی، کارایی مصرف آب و فتوسنتز نیز افزایش و میزان CO_2 زیرروزنه‌ای کاهش می‌یابد.

ارتفاع گیاه و طول گل‌آذین

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف بر ارتفاع گیاه در سطح ۱ درصد معنادار بود ولی بر طول گل‌آذین معنادار نبود. همچنین سطوح مختلف کم‌تنش خشکی و اثر متقابل رقم و تنش خشکی برای هر دو صفت معنادار نبود (جدول ۱). اگرچه بیشترین (۱۱/۳ سانتی‌متر) و کمترین (۹/۶ سانتی‌متر) طول گل‌آذین به‌ترتیب در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد اما این اختلاف از نظر آماری معنادار نبود. نتایج مقایسه میانگین آثار ساده رقم بیانگر آن است که بیشترین ارتفاع گیاه (۵۴/۵ سانتی‌متر) در رقم Comin Hoja Larga حاصل شد که از نظر آماری با رقم Genoes اختلاف معناداری نشان نداد. کمترین ارتفاع گیاه (۳۲/۵ سانتی‌متر) نیز در رقم Rubi مشاهده شد (جدول ۲). بررسی همبستگی صفات رابطه مثبت و معناداری در سطح احتمال ۱ درصد بین ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه نشان داد. طول گل‌آذین نیز رابطه مثبت و معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با وزن تر گیاه دارد (جدول ۳). گزارش‌ها بیانگر آن است که خشکی موجب کاهش ارتفاع در ریحان و نعناع می‌شود (Mirsa & Sricastatva, 2000; Hassani & Omidbeigi, 2002) که با نتایج این پژوهش در تضاد است. مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تنش کوتاه‌مدت رطوبتی به مدت ۵ تا ۷ روز قبل از برداشت سبب کاهش ارتفاع در ریحان شد (Jerez *et al.*, 2004). در این پژوهش با وجود تنش کوتاه‌مدت آبیاری اثر مشابهی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی متأثر از طول دوره تنش و شدت آن است. به‌طوری‌که تنش خشکی کوتاه‌مدت به اندازه تنش خشکی طولانی سبب تأثیر بر روی ارتفاع نمی‌شود. علاوه بر این احتمال دارد اعمال تنش در مراحل اولیه رشد بر روی ارتفاع مؤثر باشد و در اینجا که تنش سه هفته قبل از برداشت اعمال شده است، به‌علت پایان مراحل رشد رویشی گیاه اثری بر ارتفاع نداشت.

وزن تر و خشک بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سه رقم ریحان بر وزن تر و خشک گیاه در سطح ۱ درصد معنادار بود ولی سطوح مختلف تنش خشکی بر روی وزن خشک

اثری نداشت و فقط بر وزن تر گیاه در سطح ۵ درصد تأثیر معناداری داشت. اگرچه تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک بوته در تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری کامل شد، ولی این اثر معنادار نبود. درحالی‌که تنش خشکی در سه هفته قبل از برداشت موجب کاهش وزن تر گیاه شد و در ارقام مختلف بین تنش شدید و متوسط اثر متفاوتی دیده شد. اثر متقابل رقم و تنش خشکی نیز در هر دو مورد معنادار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین آثار ساده رقم بیانگر آن است که بیشترین وزن خشک گیاه (۶/۵۶ گرم) در رقم Comin Hoja Larga و وزن تر (۲۶/۶۷ گرم) در رقم Comin Hoja Larga مشاهده شدند که از نظر آماری با رقم Genoes اختلاف معناداری نداشتند. کمترین وزن خشک گیاه (۱/۸۹ گرم) و وزن تر (۱۰/۸۸ گرم) نیز در رقم Rubi مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین وزن تر (۲۳/۹۰ گرم) در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین وزن تر (۱۷/۵۳ گرم) در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد که از نظر آماری با تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۲).

یکی از آثار تنش خشکی کاهش وزن ماده خشک است. در گیاه نعناع، تنش آبی سبب کاهش معناداری در میزان ماده خشک شد (Misra & Sricastatva, 2000) که با نتیجه این پژوهش مطابقت ندارد. نتایج این آزمایش با گزارش‌های دیگر که بیان کردند تنش کوتاه‌مدت رطوبتی به مدت ۵ تا ۷ روز قبل از برداشت ریحان سبب کاهش وزن خشک آن می‌شود (Jerez *et al.*, 2004) نیز مطابقت ندارد. در همین زمینه بررسی‌ها نشان داد که در گیاه نعناع میزان ماده خشک با انجام آبیاری بیشتر افزایش می‌یابد (Charles *et al.*, 1990). در این پژوهش نیز بیشترین وزن خشک در آبیاری کامل مشاهده شد. در پژوهش‌های انجام‌شده توسط سایر پژوهشگران مشاهده شد که همگام با افزایش تنش و کمبود آب وزن خشک ریحان کاهش می‌یابد (Simon *et al.*, 1992; Hassani & Omidbaigi, 2002). به نظر می‌رسد علت تضاد نتایج

محلول در گیاه بادرشبو (Safikhani, 2006) معنادار گزارش شد و به منظور تنظیم فعالیت اسمزی، تنش خشکی موجب افزایش میزان کربوهیدرات کل شد، تنش خشکی دیر هنگام در این پژوهش تأثیر معناداری بر کربوهیدرات کل نداشت.

تعداد شاخه فرعی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش خشکی در سطح ۱ درصد بر تعداد شاخه فرعی معنادار بود؛ ولی اثر ارقام مختلف و اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر این صفت معنادار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد بیشترین تعداد شاخه فرعی (۱۱ عدد) در تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد و کمترین تعداد شاخه فرعی (۹/۴ عدد) در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد که از نظر آماری با تنش شدید اختلاف معناداری نشان نداد (جدول ۲).

مطالعات قبلی نشان داده است که تنش خشکی منجر به کاهش تعداد شاخه فرعی در ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002) و بادرشبو (Safikhani, 2006) شد که با نتایج این پژوهش همخوانی ندارد. به نظر می‌رسد اعمال تنش دیر هنگام و کوتاه مدت در این گیاه بر روی رشد رویشی اثری ندارد و در نتیجه تعداد شاخه فرعی با افزایش شدت تنش کاهش نشان نداد.

درصد اسانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف بر درصد اسانس در سطح ۱ درصد معنادار بود. همچنین سطوح مختلف تنش خشکی بر درصد اسانس سه رقم ریحان در سطح ۱ درصد تأثیر معناداری داشت و اثر متقابل رقم و تنش خشکی در سطح ۱ درصد معناداری شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین آثار ساده رقم بیانگر آن است که بیشترین درصد اسانس (۰/۶۸ درصد) در رقم Genoes مشاهده شد که از نظر آماری با رقم Comin Hoja Larga اختلاف معناداری نشان نداد و کمترین میزان اسانس (۰/۴۸ درصد) در رقم Rubi مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین آثار ساده سطوح مختلف کم آبیاری نشان داد بیشترین

این پژوهش با سایر پژوهشگران اعمال تنش کوتاه مدت بر روی گیاه بود که این میزان بر روی کاهش مواد فتوسنتزی و در نتیجه وزن ماده خشک مؤثر نبود. نتایج این پژوهش در مورد اثر تنش خشکی بر روی وزن تر با نتایج سایر پژوهش‌ها در نعنای (Simon *et al.*, 1992; Misra & Sricastatva, 2000) و ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002) مطابقت دارد. نتایج بررسی همبستگی بین صفات نشان داد بین وزن تر و خشک گیاه و همچنین بین وزن تر و ارتفاع گیاه رابطه مثبت و معناداری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۳).

رنگدانه‌های گیاهی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان رنگدانه‌های گیاهی در سطح ۱ درصد معنادار بود ولی اثر ارقام مختلف و اثر متقابل رقم و تنش خشکی در مورد این صفت معنادار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش بر رنگدانه‌های گیاهی نشان داد بیشترین میزان رنگدانه در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد هر چند از نظر آماری بین سطوح مختلف تنش اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۲).

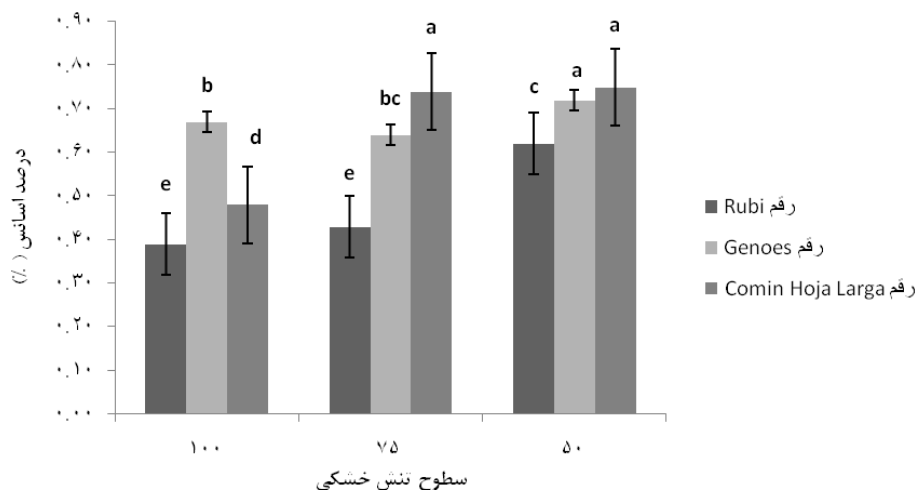
آزمایش انجام شده بر روی گندم زمستانه نشان داد که با بروز تنش خشکی میزان رنگدانه‌های گیاهی افزایش یافت (Barraclough & kate, 2001). افزایش رنگدانه گیاهی در شرایط تنش خشکی در گلرنگ پاییزه نیز گزارش شده است که این اثر احتمالاً به علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌هاست (Movahhedy Dehnavy *et al.*, 2004).

کربوهیدرات کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف، سطوح مختلف تنش خشکی و اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر کربوهیدرات کل معنادار نبود (جدول ۱). در بررسی همبستگی صفات نیز رابطه مثبت و معنادار در سطح احتمال ۵ درصد بین میزان کربوهیدرات‌ها و سرعت فتوسنتز مشاهده شد (جدول ۳). اگرچه در مطالعات پیشین اثر تنش خشکی بر میزان کربوهیدرات‌های

کاهش سطح برگ ناشی از تنش و در نتیجه تجمع بیشتر اسانس توجه کرد که در نتایج مطالعه‌ای دیگر در گیاه نعنای نیز این مطلب گزارش شده است (Charles *et al.*, 1990). نتایج بررسی همبستگی صفات نشان داد که میزان اسانس با ارتفاع گیاه رابطه مثبت و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و با وزن خشک رابطه مثبت و معنادار در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. علاوه بر این رابطه منفی و معنادار بین میزان اسانس در سطح احتمال ۱ درصد با هدایت مزوفیلی مشاهده شد (جدول ۳). بررسی‌ها نشان داد که تنش کوتاه‌مدت رطوبتی به مدت ۵ تا ۷ روز قبل از برداشت ریحان می‌تواند سبب افزایش میزان اسانس ریحان شود (Jerez *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد در این پژوهش نیز با توجه به اعمال تنش سه هفته قبل از برداشت اثری مشابه گزارش شد و بیشترین میزان اسانس در تنش شدید آبیاری مشاهده شد. در واقع اسانس‌ها بازمانده‌های ناشی از فرایندهای اصلی متابولیسم گیاهان، به‌ویژه در پاسخ به تنش وارد شده به گیاه محسوب می‌شوند.

(۰/۷۰ درصد) و کمترین (۰/۵۱ درصد) درصد اسانس به ترتیب در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (جدول ۲). بررسی آثار متقابل رقم و سطوح مختلف تنش خشکی بر روی میزان اسانس نشان داد بیشترین درصد اسانس (۰/۷۵ درصد) در رقم Comin Hoja Larga همراه با تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین درصد اسانس (۰/۳۹ درصد) در رقم Rubi همراه با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد. هرچند از نظر آماری بین تنش شدید و متوسط در رقم Comin Hoja Larga و بین آبیاری کامل و تنش متوسط در رقم Rubi اختلاف معناداری مشاهده نشد (شکل ۲). نتایج این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران که بیان کردند محتوای اسانس ریحان در واکنش به تنش آبی افزایش می‌یابد، مطابقت دارد (Hassani & Omidbaigi, 2002; Jerez *et al.*, 2004). در این آزمایش شاید بتوان درصد بالای اسانس در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) را با تراکم زیاد غده‌های مترشحه اسانس بر اثر



شکل ۲. اثر متقابل رقم و سطوح مختلف تنش خشکی بر درصد اسانس

شناسایی سازوکارهای مؤثر در سازگاری به تنش خشکی کمک کند. با توجه به نتایج این پژوهش برای حصول نتیجه مطلوب انتخاب ارقام مناسب ریحان و مقاوم به تنش خشکی با توجه به شرایط اکولوژیکی هر منطقه پیشنهاد می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط کمبود آب در

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی یکی از عوامل مهم محیطی برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیسمی در گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست. مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیکی در شرایط تنش و بدون تنش می‌تواند به

پژوهش‌های بیشتر در این زمینه و اعمال تنش در دوره‌های مختلف رشد گیاه نیز توصیه می‌شود.

سیاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۲/۳۳۹۵۴/۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت.

کشور و با توجه به افزایش روزافزون مصرف و تقاضای ریحان و اسانس آن در صنایع مختلف توصیه می‌شود به‌منظور تولید به شیوه علمی و حصول به بیشترین حد رشد، عملکرد و میزان اسانس در این گیاه در شرایط مشابه این آزمایش، از ارقام مناسب مانند رقم Comin Hoja Larga و تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) برای بیشترین بازده اسانس استفاده شود. البته

REFERENCES

1. Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A. & Dizaji, A.A. (2006). Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Biological Sciences*, 6(4), 763-767.
2. Ardekani, M., Abbaszadeh, B., Sharifi ashorabadi, A., Lebaschi, M., Moaveni, P. & Mohabbati, F. (2010). Influence of drought tension on growth indices of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Plant and Ecosystem*, 6(21), 47-58. (in Farsi)
3. Baker, D.N. & Musgrave, R.B. (1964). The effects of low-level moisture stresses on the rate of apparent photosynthesis in corn. *Crop Science*, 4, 249-253.
4. Barraclough, P.B. & Kate, J. (2001). Effect of water stress on chlorophyll meter reading in wheat. *Plant Nutrition*, 92, 722-723.
5. Blumenthal, M. (2000). Role of dew on the recovery of water stressed in balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Plant Physiology*, 154, 759-766.
6. Brud, W.S. (2007). *Industrial uses of essential oils*. In: Baser, K.H.C. and Buchbauer, G. (Eds). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press. pp. 843-853.
7. Charles, D.J. & Simon, J.E. (1990). Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, 29, 2837-2840.
8. Dere, S., Gunes, T. & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and total carotenoids contents of some algae species using different solvents. *Botany*, 22, 13-17.
9. Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Candon, A.G. & Saavedra, A.L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38, 1467-1475.
10. Fu, J., Fry, J. & Huang, B. (2004). Minimum water requirements of four turf grasses in the transition zone. *Horticultural Science*, 39, 1740-1744.
11. Gratani, L. & Varone, L. (2004). Leaf key traits of *Erica arborea* L., *Erica multiflora* L. and *Rosmarinus officinalis* L. co-occurring in the Mediterranean maquis. *Flora*, 199, 58-69.
12. Hassani, A. & Omidbaigi, R. (2002). Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. *Agricultural Science*, 12(3), 47-99. (in Farsi)
13. Hassani, A. & Omidbaigi, R. (2006). Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Biological Science*, 6(4), 763-767.
14. Hedge, J.E. & Hofreiter, B.T. (1962). *Carbohydrate Chemistry*. Academic Press, New York. pp. 17-22.
15. Holm, Y. (1999). Bioactivity of basil. In: Holm, Y. & Hiltuen, R. (Eds.), *Basil: the genus Ocimum*. Hawood Academic, Amsterdam, pp. 113-135.
16. Imam, Y. & Zavarehi, M. (2005). *Drought tolerance in Higher plants (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis)*. Academic Publishing Center of Tehran, Iran. 186 pp. (in Farsi)
17. Izadi, Z., Asnaashari, M. & Ahmadvand, G. (2009). Influence of drought tension on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 10(3), 223-234. (in Farsi)
18. Jerez, E., Barroso, L. & Cartaya, O. (2004). Effects of short stress periods and mycorrhizal inoculation on the behavior of white basil (*O. basilicum* L.). *Cultivos-Tropicales*, 25(2), 29-35.
19. Lawlor, D.W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, 275-294.
20. Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. & Navari Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to Drought. *Plant Physiology*, 119, 1091-1100.

21. Makari, O. & Kintzios, S. (2008). *Ocimum* sp. (basil): botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. *Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 13(3), 123-150.
22. Marcum, K.B. (1998). Cell membrane theromotability and whole-plant heat tolerance of Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 38, 1214-1218.
23. Mirfattah, M., Rabyii, V., Dashti, F., Mosaddeghi, M. & Darabi, M. (2009). Effect of drought tension on yield and some of the physiological indexes in two accumulations of Parsley (*Petroselinum crispum* Mill.). *Iranian Journal of Horticultural science*, 10(4), 337-344. (in Farsi).
24. Misra, A. & Sricastatva, N.K. (2000). Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 7, 51-58.
25. Mizanzadeh, H. & Imam, Y. (2010). Investigation of indices of leaf area, height, photosynthetic rate, stomatal conductance of four species of wheat under the drought tension. *Ecophysiology of Agricultural Plants*, 2(2), 111-121. (in Farsi)
26. Movahhedy Dehnavy, M., Modarres Sanavy, S.A.M., Soroushzadeh, A. & Jalili, M. (2004). Changes in proline, Total Soluble Sugers, SPAD and Chlorophyll Fluorescence in Winter Safflower Cultivars under Drought stress and Foliar Application of Zinc and Manganese. *Iranian journal of Desert*, 9 (1), 93-109. (in Farsi)
27. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. & Haloday, A.S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
28. Safikhani, F. (2006). *Investigation of physiological aspects of drought resistance in Dragonhead (Dracocephalum moldavica L.)*. Ph.D. thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Ramin Higher Education Agriculture and Natural Resources. (in Farsi)
29. Schutz, M. & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194.
30. Simon, J.E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R.J. & Charles, D.J. (1992). Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1), 71-75.
31. Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. & Ebrahimzadeh, H. (2004). Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 35(1), 93-106. (in Farsi)
32. Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K. & Bigger, S.W. (2003). Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *Agriculture and Food Chemistry*, 51(11), 3197-3207.

The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Mohammad Moghaddam^{1*}, Morteza Alirezaei Noghondar², Yahya Selahvarzi³ and Morteza Goldani⁴

1, 2. Assistant Professor and Former Ph.D. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Instructor, Center of Pomegranate Research, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4. Assistant Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: Mar. 9, 2015 - Accepted: Aug. 26, 2014)

ABSTRACT

This research was conducted to assay the effect of different levels of irrigation on morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.), in Ferdowsi University of Mashhad, 2012. The pot experiment was performed as a factorial based on randomized complete design with four replications. The factors included three commercial cultivars of basil (Comin Hoja Larga, Rubi, Genoes) and three levels of drought stress (100, 75, 50% FC). The results showed that cultivars had significant effect on plant height, dry and fresh weight and oil content. Also different levels of drought stress had significant effect on the number of branches, fresh weight and oil content. Studied cultivars showed different physiological response to drought stress. As cultivar Comin Hoja Larga could well tolerate 50% FC three weeks before harvesting time. High chlorophyll b content (0.51 mg/g fresh weight) was observed in severe stress (50% FC). In order to product maximum oil content (0.75), severe stress (50% FC) in same condition is recommended.

Keywords: drought stress, dry weight, morphological characteristics, physiological parameters.