مجله علوم باغبانی ایران
دوره ۴۱، شماره ۲، ۱۳۸۹ (۱۶۱-۱۵۳)

اثر تنش خشکی بر برخی صفات مرفولوژی، میزان و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی *Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze

رضا امیدبیگی[۱] و محمد محمودی سورستانی[۲]*
۱، ۲، استاد و دانشجوی سابق دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
(تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۱۸ - تاریخ تصویب: ۸۹/۷/۷)

چکیده

گل مکزیکی گیاهی علفی، چندساله و متعلق به خانواده نعناع می‌باشد. از مواد موثره این گیاه، در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود. از آنجایی که تنش خشکی تولید محصول و مواد موثره در گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در تحقیق حاضر به بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر برخی خصوصیات مرفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، طول و تعداد شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به شاخه، عملکرد گیاه، میزان و عملکرد اسانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پرداخته شده است. تیمارهای تنش آبی عبارت بودند از: ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، ۸۵٪ ظرفیت زراعی، ۷۰٪ ظرفیت زراعی، ۵۵٪ ظرفیت زراعی، ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۸۵٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی)، ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۷۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی) و بالاخره ۸۵٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار در صفات مذکور به جز میزان اسانس، به ترتیب در تیمارهای ٪۱۰۰-۸۵ و ٪۵۵ ظرفیت زراعی مشاهده گردید. در حالی که بیشترین مقدار اسانس در تیمار ٪۵۵ و کمترین آن در تیمار ٪۷۰-۱۰۰ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: **اسانس، تنش خشکی، سطح برگ، عملکرد، گل مکزیکی.**

مقدمه

گل مکزیکی یا آق اوستا (*Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze) گیاهی علفی، چندساله و متعلق به راسته لامیال‌ها (Lamiales) و خانواده نعناع (Lamiaceae) می‌باشد. ساقه این گیاه استوانه‌ای و سبزرنگ، برگ‌ها تخم مرغی، دندانه‌دار و متقابل است. گل‌ها دوجنسی و آبی رنگ که در سنبله‌ای به طول ۱۵-۵ سانتی‌متر در انتهای ساقه ظاهر می‌شود. از گل‌ها و برگ‌های خشک شده یا تازه گیاه گل مکزیکی، اسانس استخراج می‌شود. میزان اسانس و اجزاء تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف فنولوژیکی، شرایط اقلیمی گوناگون و همچنین در گونه‌های مختلف، متفاوت است. مقدار اسانس در پیکر رویشی تازه گل مکزیکی ۰/۲ تا ۱/۸ درصد است و بیشترین مقدار آن در گل‌ها وجود دارند. متیل کاویکول[۱] یکی از اجزای اصلی اسانس آن می‌باشد. از مواد موثره این گیاه، در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی و همچنین در صنایع بستنی‌سازی و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود. از این گیاه، داروهایی برای معالجه بیماری‌های ریوی و سرفه نیز استفاده می‌کنند. اسانس گل مکزیکی، خاصیت ضد باکتریایی و قارچی دارد. گل‌های این گیاه عسل آور هستند (Omidbaigi, 2007).

1. Methyl chavicol

* نویسنده مسئول: محمد محمودی‌سورستانی تلفن: ۰۹۱۲-۸۰۸۷۷۱۲ E-mail: f_mahmoodi2000@yahoo.com

در حدود یک سوم اراضی جهان با کمبود بارندگی مواجه است و ایران با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود. عدم بارندگی کافی و توزیع غیریکنواخت آن در طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه خشک مثل ایران ما باعث شده است که نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی به قدر کافی تامین نگردد. بنابراین قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی به خصوص در برخی از مواقع سال امری اجتناب ناپذیر است و برای تولید عملکرد رضایت بخش باید کمبود آب از طریق آبیاری جبران شود. با توجه با اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیای کشور ما است و راه فراری از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر نبوده و از طرفی مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به طور روز افزونی در جامعه افزایش می‌یابد، لذا اتخاذ روش‌هایی چون بهره‌برداری صحیح از آب به همراه استفاده از شیوه های صحیح زراعی شامل: کشت گیاهان مقاوم، شناخت ارتباط کمبود آب خاک و رشد محصولات در هر مرحله و بررسی واکنش‌های مرفولوژیکی در مقابله با تنش، مثمر ثمر و مفید واقع خواهند شد(Kocheki & Nasiri Mahalati, 1994).

تأثیر تنش‌های خشکی بر محصولات زراعی در ایران به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است. ولی، متاسفانه در مورد گیاهان دارویی که حتی ممکن است تأثیر مثبتی نیز بر خواص دارویی آنها نیز داشته باشند، تحقیق‌های جامع و مفصل کمتر صورت گرفته است. همچنین با توجه به اینکه هر چه مقدار مواد موثره یک گیاه دارویی بیشتر باشد، استحصال آن در صنایع داروسازی مقرون به صرفه می‌باشد، شناخت عوامل موثر بر کمیت و کیفیت مواد موثره گیاهان دارویی مورد توجه محققین قرار گرفته است. بنابراین تحقیق بر روی گیاهی که بومی ایران نیست و بذر آن برای اولین بار به کشور آورده شده است، از اهمیت فراوانی برخوردار است.

در یک تحقیق اثر تنش خشکی در پنج گونه گیاه دارویی بررسی و فاکتورهایی مانند ماده خشک تولیدی، وزن ریشه، طول ریشه، وزن اندام هوایی و ارتفاع گیاهان اندازه‌گیری شده و در پایان آزمایش دو گیاه مریم گلی و بومادران به عنوان گیاهان دارویی مقاوم در شرایط خشک و یا کم آب معرفی گردید (Lebaschi & Sharifi Ashourabadi, 2004). همچنین تنش آبی اثر معنی‌داری بر پارامترهای رشدی، عملکرد پیکر رویشی، روابط آبی، میزان کلروفیل، انباشت پرولین، قندهای محلول، مقدار و عملکرد اسانس گیاه ریحان دارد (Hassani et al., 2003).

بررسی‌ها نشان داد رشد گیاه (شامل وزن قسمت هوایی و ریشه، تعداد برگ) در سه کولتیوار جعفری با افزایش تنش خشکی، کاهش می‌یابد. عملکرد اسانس در دو کولتیوار برگ صاف و برگ چروکیده افزایش یافته در حالی که در کولتیوار ریشه‌ای تغییر نمی‌کند (Petropoulos et al., 2008). دو واریته گیاه پروانش هم تفاوت‌هایی از نظر رشد اولیه، ماده خشک و رنگدانه‌های فتوسنتزی در تنش خشکی نشان می‌دهند. تنش خشکی تأثیر بیشتری روی واریته قرمز نسبت به سفید دارد (Jaleel et al., 2008a).

در گیاهان دارویی تنش خشکی باعث افزایش مواد موثره آنها می‌گردد. این مطلب در گیاهان گل راعی (*Hypericum brasiliense*)، ریحان (*Ocimum americanum* L.) و مرزه (*Satureja hortensis* L.) به اثبات رسیده است (Abreu & Mazzafera, 2005; Lebaschi et al., 2003; Khalid, 2006). گیاه پروانش به دلیل افزایش تولید مواد موثره مخصوصاً آلکالوئید آجمالایسین در مناطق کم آب توصیه شده است (Jaleel et al., 2008b). اما در برخی گونه‌ها هم مثل مرزنجوش مکزیکی (*Lippia berlandieri* Schauer) تغییری در میزان مواد موثره در شرایط تنش آبی مشاهده نشده است (Dunford & Vazquez, 2005). میانگین عملکرد اسانس گیاه نعناع در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری نیمه کامل نسبت به شاهد که آبیاری نشده بود، به ترتیب ۵۸ و ۳۸ درصد بیشتر بودند و تیمارهای آبیاری هیچگونه تأثیری در نوع اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس نداشت (Alkire et al., 1993).

با توجه به موارد ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، طول و تعداد شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه و مقدار اسانس گیاه گل مکزیکی می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی بهار و تابستان سال ۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۷ تیمار تنش آبی و سه تکرار، طراحی و اجرا شد. تیمارهای آبیاری به شرح زیر بودند:

۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، ۸۵٪ ظرفیت زراعی، ۷۰٪ ظرفیت زراعی، ۵۵٪ ظرفیت زراعی، ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۸۵٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی)، ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۷۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی) و ۸۵٪ ظرفیت زراعی (مرحله رویشی)-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (مرحله زایشی).

زمین مورد نظر در پائیز شخم و در بهار دیسک و تسطیح و سپس کرت‌های مورد آزمایش (با ابعاد ۲×۲ متر) مشخص گردید. بذور گیاه گل مکزیکی در نیمه دوم فروردین در طول ردیف‌هایی با فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت گردید. پس از جوانه‌زنی و رشد، در مرحله ۴ برگی، گیاهان تنک و فاصله دو گیاه روی ردیف، ۲۰ سانتی‌متر تنظیم شد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که بافت خاک از نوع شنی لومی بوده و ظرفیت مزرعه‌ای آن، ۲۳/۴درصد می‌باشد. همه کرت‌های آزمایش تا رسیدن گیاهان به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر بصورت یکسان آبیاری گردید و سپس تیمارهای مورد نظر در دو مرحله رشد رویشی و زایشی اجرا گردید. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و تعیین زمان آبیاری از دستگاه TDR (TRASE System 1 6050X1, Soil Moisture Equipment Crop., USA) استفاده شد (Topp & Davies, 1985).

در مرحله گلدهی صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد و مجموع طول شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ها، عملکرد پیکر رویشی تازه و خشک و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی مورد بررسی قرار گرفت. اسانس گیاهان تیمارهای مختلف در مرحله گلدهی کامل توسط دستگاه تقطیر با آب (کلونجر) به مدت ۴ ساعت استخراج گردید (European pharmacopoeia, 1983).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار آماری SAS و برای انجام مقایسات میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه دانکن در سطوح ۱ و ۵ درصد استفاده خواهد شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر ارتفاع گیاه، تعداد و مجموع طول شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ها، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، عملکرد پیکر رویشی تازه و خشک، درصد اسانس و عملکرد اسانس داشته در حالی که اثر آن بر طول گل‌آذین معنی‌دار نبوده است (جدول ۲).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	پ هاش (pH)	هدایت الکتریکی (Ds/ms)	درصد مواد آلی	نیتروژن (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)	مس (ppm)	منگنز (ppm)	بور (ppm)
لومی شنی	۷/۷	۱/۰۴	۱/۷۳	۰/۱۵	۱۴۰	۷۷۰	۵۰۴۵	۳۸۱	۹/۰۸	۳/۳۷	۰/۸۷	۱۰/۶۳	۰/۶

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک، عملکرد گیاه، درصد و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد شاخه جانبی	مجموع طول شاخه جانبی	قطر ساقه	تعداد برگ	سطح برگ	طول گل آذین	وزن تازه برگ	وزن خشک برگ
بلوک	۲	۱۲۷/۴۷*	۱۹/۸۵	۱۶۲۵۱/۴۷	۰/۳۸	۱/۲۰	۱۸۲/۴۲	۰/۲۱	۱/۰۸	۰/۴۵
تیمار	۶	۱۲۹/۸۸**	۳۸/۷۱**	۱۹۶۵۲۷/۷۶**	۲/۰۵**	۲۵۰/۳۷**	۲۴۲۱/۵۲**	۰/۱۹	۱۱/۷۳**	۲/۶۰**
خطا	۱۲	۲۲/۰۳	۶/۶۹	۲۸۵۷۶/۸۱	۰/۱۹	۷/۵۴	۸۹/۲۳	۰/۱۷	۲/۱۰	۰/۵۵
CV		۶/۸۳	۱۲/۱۵	۲۶/۸۱	۸/۷۷	۱۵/۵۳	۱۸/۸۸	۱۹/۴۹	۱۸/۰۸	۱۷/۲۱

*، **: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تازه ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ریشه به شاخه	وزن تر کل	عملکرد تازه پیکر رویشی	عملکرد خشک پیکر رویشی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
بلوک	۲	۲/۴۷	۰/۴۰	۱/۵۱	۰/۸۰	۰/۰۰۵۵*	۳/۵۵	۰/۵۹	۰/۱۱	۰/۰۴*	۳/۶۱
تیمار	۶	۱۵/۵۷**	۴/۴۷**	۷/۴۱**	۲/۴۷**	۰/۰۰۴۱**	۲۸/۷۲**	۴/۷۸**	۱/۱۴**	۰/۱۴**	۱۶/۳۵**
خطا	۱۲	۳/۱۷	۱/۰۲	۰/۸۴	۰/۴۵	۰/۰۰۱۷	۵/۳۵	۰/۸۹	۰/۲۳	۰/۰۹	۲/۷۷
CV		۲۲/۴۲	۲۳/۷۹	۱۸/۶۲	۲۳/۱۵	۱۸/۷۴	۲۱/۰۴	۲۱/۰۴	۱۹/۳۳	۱۶/۶۲	۱۶/۳۳

*، **: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

همچنین جدول مقایسه میانگین صفات مذکور نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار در صفات مذکور به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰-۸۵٪ و ۵۵٪ مشاهده شد. در حالی که بیشترین درصد اسانس در تیمار ۵۵٪ و کمترین آن در تیمار ۷۰-۱۰۰٪ دیده شد. علاوه بر آن نتایج نشان داد که صفات تعداد شاخه جانبی، مجموع طول شاخه جانبی و وزن تر کل گیاه به جز تیمارهای ۱۰۰-۸۵٪ و ۵۵٪ و درصد اسانس به جز تیمارهای ۷۰-۱۰۰٪ و ۵۵٪، بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

در جدول مقایسه میانگین مشخص شد که تیمار ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی باعث بالاترین ارتفاع (۷۶/۳۳) و تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی سبب کوتاهترین ارتفاع (۵۷ سانتی‌متر) گیاهان شدند. بین تیمارهای ۱۰۰٪، ۸۵٪ و ۸۵-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در حالی که تیمار ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی باعث کاهش معنی‌داری در ارتفاع شد که نشان دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی در مرحله حساس زایشی این گیاه می‌باشد. علت کاهش ارتقاع، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Cabuslay et al., 2002).

جدول مقایسه میانگین نشان داد که تنها بین تیمار تنش خشکی شدید (۵۵٪ ظرفیت زراعی) با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار بوده و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نبود. نتایج این بررسی با نتایج بدست آمده در مورد ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002) و کنف (Ogbonnaya et al., 1998) و بادرشبو (Hassani, 2006) همخوانی داشت. شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب به حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک می‌گردد. محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط تنش خشکی در گیاه کنف، یک مکانیسم سازگاری است که به وسیله آن گیاه تلاش می‌کند تا آب را برای مراحل بحرانی تر نمو نظیر مرحله گلدهی حفظ نماید (Ogbonnaya et al., 1998). بنابراین کاهش تعداد و طول شاخه جانبی در شرایط تنش شدید آبی را شاید بتوان به عنوان یک مکانیسم سازگاری برای گیاه گل مکزیکی در نظر گرفت.

تفاوت میان تیمارهای مختلف آبیاری در قطر ساقه گیاه گل مکزیکی نیز معنی‌دار بود و بیشترین قطر در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی (۶/۳۲ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی (۳/۹۴ سانتی‌متر) مشاهد شد. این نتایج نشان می‌دهد که قطر ساقه نیز مانند ارتفاع، تحت تأثیر تقسیم و بزرگ شدن سلولی در شرایط تنش کمبود آب است.

علاوه بر آن جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار تعداد و سطح برگ نیز به ترتیب در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ و ۵۵٪ ظرفیت زراعی قرار دارد. بین تیمارهای ۱۰۰٪، ۸۵-۱۰۰٪ و ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری در این صفات مشاهده نمی‌شود. بنابراین زمان اعمال تنش آبی در مرحله رشد رویش و زایشی تأثیری در این صفات ندارد. کاهش طول ساقه و سطح برگ در گونه‌های زیادی در شرایط خشکی گزارش شده است (Hong-Bo et al., 2008). انعطاف پذیری سطح برگ جهت حفظ و کنترل آب در محصولات اهمیت زیادی دارد. در برخی گیاهان کاهش سطح برگ قبل از کاهش هدایت روزنه ای اتفاق می‌افتد (Babu & Rao, 1983). سطح برگ هم در شاخه‌های اصلی و هم در شاخه‌های جانبی تحت تأثیر تنش

خشکی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه کاهش سطح برگ منجر به کاهش عملکرد محصول از طریق کاهش فتوسنتز می‌شود، اهمیت زیادی دارد. کمبود آب، تعداد برگ در گیاه، اندازه برگ و طول برگ را کاهش می‌دهد. گسترش سطح برگ به تورژسانس برگ، دما و میزان آسیمیلات‌ها برای رشد بستگی دارد که همگی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Reddy et al., 2004).

نتایج حاصل از طول گل‌آذین اصلی گیاه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار میان کلیه تیمارهای مورد بررسی است. با این وجود بیشترین طول گل آذین در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ مشاهده شد.

وزن تر برگ گیاه گل مکزیکی در تیمارهای مختلف مورد بررسی متفاوت بود. بیشترین مقدار آن (۱۱۹/۴۵ گرم) در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین آن (۲۱/۱۱ گرم) در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده گردید. اما بین تیمارهای ۱۰۰٪ با ۸۵-۱۰۰٪ و همچنین ۸۵٪ با ۷۰٪ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

صفات وزن خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه در تیمارهای مختلف آبیاری تغییرات مشابهی داشتند. این صفات نیز بیشترین مقادیر را در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین را در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی داشتند. اما بین تیمارهای ۱۰۰٪ با ۸۵-۱۰۰٪ و همچنین ۸۵٪، ۷۰٪ و ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری دیده نشد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه نشان داد تأثیر مقادیر آبیاری بین دو تیمار ۱۰۰-۸۵٪ و ۵۵٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار است، در حالی که بین تیمارهای ۸۵٪، ۷۰٪ و ۷۰-۱۰۰٪ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این تحقیق وزن تر و خشک ریشه در تیمار تنش خشکی شدید کاهش نشان داد. شایان ذکر است که خصوصیات ریشه مخصوصاً طول، تراکم ریشه و تعداد ریشه‌های ضخیم به منظور رشد خوب اندام‌های هوایی گیاه، اهمیت زیادی دارد. گیاهان معمولا با تولید سیستم ریشه‌ای عمیق به منظور افزایش جذب آب توسط گیاه از خشکی اجتناب می‌کند. سیستم ریشه‌ای افشان با جذب آب از لایه‌های سطحی در مراحل اولیه رشد گیاه، نقش موثری در تسریع رشد گیاه دارد (Martinez et al., 2003). توزیع سیستم ریشه‌ای درون خاک می‌تواند عامل کلیدی جهت اجتناب از تنش خشکی شدید باشد. در تحقیق حاضر با اینکه وزن تر و خشک ریشه با خشکی شدید کاهش می‌یابد ولی گیاه با توزیع ریشه‌ها درون خاک می‌تواند تا حدودی این نقیصه را جبران کند.

جدول ۳ همچنین نشان می‌دهد که نسبت وزن خشک ریشه به شاخه با کاهش رطوبت خاک تغییری نمی کند. با این وجود بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخه در تیمارهای ۸۵-۱۰۰٪ و ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین آن در تیمار ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده گردید. اختلاف میان تیمارهای ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود. برخی محققین نشان دادند که در شرایط تنش خشکی، این نسبت افزایش می‌یابد (Ghorbanli et al., 2001). علت آن این است که در شرایط تنش خشکی، آبدهی و کاهش حجم سلولی در شاخه‌ها نسبت به ریشه‌ها بیشتر

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، عملکرد گیاه، درصد و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی

تیمار (درصد ظرفیت زراعی)	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد شاخه جانبی	مجموع طول شاخه جانبی (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد برگ	سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	طول گل آذین (سانتی‌متر)	وزن تازه برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)
۱۰۰	۷۳/۳۳^{ab}	۲۱/۶۶^{a}	۷۵۴/۰^{a}	۵/۷۷^{ab}	۴۰۱/۳۳^{ab}	۳۲۴۲/۰^{ab}	۵/۶۶^{a}	۷۹/۸۹^{ab}	۲۳/۲۲^{ab}
۸۵	۷۰/۶۶^{ab}	۲۲/۳۳^{a}	۶۱۸/۰^{a}	۵/۰۰^{bcd}	۲۸۳/۳۳^{bc}	۲۵۸۷/۷^{abc}	۳/۵۰^{a}	۶۴/۷۶^{bc}	۱۹/۴۱^{bc}
۷۰	۶۴/۶۶^{bc}	۲۰/۳۳^{a}	۵۶۱/۳^{a}	۴/۳۷^{de}	۲۰۸/۶۷^{bc}	۱۷۳۷/۳^{bc}	۵/۱۶^{a}	۴۵/۴۷^{bc}	۱۳/۲۸^{bc}
۵۵	۵۷/۰۰^{c}	۱۳/۶۶^{b}	۱۱۴/۳^{b}	۳/۹۴^{e}	۱۴۰/۶۷^{c}	۹۱۷/۰^{c}	۳/۶۶^{a}	۲۱/۱۱^{c}	۷/۷۹^{c}
۱۰۰-۸۵	۷۲/۶۶^{ab}	۲۴/۰۰^{a}	۸۳۲/۷^{a}	۵/۲۹^{bc}	۳۶۳/۰۰^{ab}	۳۱۷۵/۰^{ab}	۵/۳۳^{a}	۸۴/۹۳^{ab}	۲۳/۹۳^{ab}
۱۰۰-۷۰	۶۶/۰۰^{b}	۲۳/۳۳^{a}	۶۴۷/۳^{a}	۴/۵۸^{cde}	۳۶۷/۳۳^{ab}	۲۵۸۵/۷^{abc}	۴/۳۳^{a}	۶۸/۰۹^{b}	۱۸/۴۲^{bc}
۸۵-۱۰۰	۷۶/۳۳^{a}	۲۳/۶۶^{a}	۸۸۶/۰^{a}	۶/۳۲^{a}	۵۳۸/۶۷^{a}	۴۴۹۷/۰^{a}	۶/۱۶^{a}	۱۱۹/۴۵^{a}	۳۲/۷۲^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین ها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

ادامه جدول ۳-

تیمار (درصد ظرفیت زراعی)	وزن تازه ساقه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت وزن خشک ریشه به شاخه	وزن تر کل (گرم/گیاه)	عملکرد تازه پیکر رویشی (تن در هکتار)	عملکرد خشک پیکر رویشی (تن در هکتار)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)
۱۰۰	۸۷/۵۴^{ab}	۲۵/۷۳^{ab}	۳۳/۰۷^{b}	۱۰/۲۱^{bc}	۰/۲۰ ^{ab}	۱۶۱/۴۳^{bc}	۲۶/۹۰^{ab}	۸/۱۵^{ab}	۱/۸۰^{ab}	۱۳۸/۶۴^{ab}
۸۵	۵۳/۳۱^{bc}	۱۵/۳۰^{bc}	۲۶/۵۶^{bc}	۸/۶۰^{bc}	۰/۲۴ ^{ab}	۱۱۲/۰۷^{bc}	۱۸/۶۷^{bc}	۵/۷۸^{bc}	۱/۷۳^{ab}	۹۴/۶۰^{bc}
۷۰	۴۶/۱۷^{bc}	۱۲/۹۶^{bc}	۱۵/۹۴^{bc}	۵/۲۳^{bc}	۰/۱۹ ^{ab}	۸۵/۶۳^{bc}	۱۴/۲۷^{bc}	۴/۳۷^{bc}	۱/۸۵^{ab}	۷۷/۲۷^{bc}
۵۵	۱۷/۶۶^{c}	۵/۰۶^{c}	۶/۸۱^{c}	۲/۵۴^{c}	۰/۲۰^{ab}	۳۲/۸۰^{c}	۵/۴۶^{c}	۲/۱۴^{c}	۲/۳۰^{a}	۴۶/۸۶^{c}
۱۰۰-۸۵	۸۳/۲۴^{ab}	۲۳/۹۶^{ab}	۳۳/۴۴^{b}	۱۳/۲۰^{ab}	۰/۲۷^{a}	۱۶۲/۱۷^{bc}	۲۷/۰۲^{ab}	۷/۹۸^{ab}	۱/۷۲^{ab}	۱۳۴/۲۰^{ab}
۱۰۰-۷۰	۶۴/۵۵^{bc}	۱۹/۱۳^{bc}	۱۶/۳۵^{bc}	۶/۵۵^{bc}	۰/۱۸^{b}	۱۲۶/۶۳^{bc}	۲۱/۱۰^{bc}	۶/۲۶^{bc}	۱/۶۴^{b}	۸۵/۷۳^{bc}
۸۵-۱۰۰	۱۳۴/۲۲^{a}	۳۸/۱۳^{a}	۵۶/۹۹^{a}	۲۰/۲۰^{a}	۰/۲۶^{a}	۲۴۷/۶۷^{a}	۴۱/۲۷^{a}	۱۱/۸۱^{a}	۱/۷۷^{ab}	۱۹۸/۲۱^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین ها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

است یا به عبارتی در شرایط خشکی، رشد ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در این شرایط فتوآسیمیلات بیشتری به ریشه‌ها اختصاص داده می‌شود. بنابراین برخی گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، میزان جذب آب را از طریق حفظ نسبی رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به شاخه، افزایش داده و آب قابل دسترس بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Nicholas, 1998). در تحقیق حاضر، نسبت وزن خشک ریشه به شاخه در تیمار تنش خشکی شدید، نسبت به شاهد تغییری نداشت. بنابراین گیاه گل مکزیکی در شرایط تنش خشکی با حفظ این نسبت، تا حدودی با کمبود آب مقابله می کند.

تفاوت بین وزن تر کل در بین تیمارهای ۱۰۰-۸۵٪ با ۵۵٪ ظرفیت زراعی از نظر آماری معنی‌دار بود. اما بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین میزان عملکرد ماده تر و خشک در واحد هکتار در بین تیمارهای مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری داشت. بطوریکه بالاترین میزان عملکرد تر و خشک (به ترتیب ۴۱/۲۷ و ۱۱/۸۱ تن در هکتار) در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آنها در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۵/۴۶ و ۲/۱۴ تن در هکتار بوده است (جدول ۳). بین تیمارهای ۸۵٪، ۷۰٪ و ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری از این لحاظ مشاهده نشد. از نتایج فوق چنین برمی‌آید که روند کاهش تعداد و سطح برگ با روند کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد در اثر تشدید کمبود آب مطابقت دارد. اولین علامت کمبود آب کاهش فشار تورژسانس است که منجر به کاهش رشد و نمو سلول‌ها مخصوصاً در ساقه و برگ می‌شود. رشد سلول مهمترین فرایند است که با تنش آبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش رشد سلول برگ منجر به کاهش ارتفاع گیاه و کاهش اندازه برگ می‌شود. با کاهش فشار تورژسانس در اثر کمبود آب، نمو سلول به دلیل عدم وجود فشار درون سلول کاهش می‌یابد. بنابراین بین کاهش اندازه سلول و میزان کاهش آب رابطه معنی‌داری در بافت‌های گیاهی دیده می‌شود. با کاهش نمو سلولی، رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد. از طرف دیگر کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر و از این طریق نیز رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین با کاهش سطح برگ، سطح تعرق گیاه کاهش می‌یابد و این اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با خشکی به حساب می‌آید. کاهش سطح برگ، سطح جذب نور خورشید و به دنبال آن سطح فتوسنتزی گیاه کاهش و نهایتاً منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌گردد (Hong-Bo et al., 2008). نتایج بدست آمده در مورد صفات اندازه‌گیری شده با یافته‌های گزارش شده در (Mirsa & Strivastava, 2000; Alkire & نعناع Simone, 1992)، آویشن (Johnson, 1995)، ریحان (Refaat & Saleh, 1997; Simon et al., 1992; Hassani et al., 2003)، بادرشبو (Hassani, 2006) و وایول (Bahernik et al., 2007)، مطابقت دارد.

بر خلاف سایر صفات اندازه‌گیری شده، بیشترین مقدار درصد اسانس (۲/۳۰) در تیمار ۵۵٪ و کمترین آن (۱/۶۴) در تیمار ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده گردید. بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود

نداشت. در شرایط تنش خشکی تولید مواد موثره به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون درون سلولی افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج بدست آمده در ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002)، آویشن (Letchamo et al., 1994) و بادرشبو (Hassani, 2006) که بیشترین درصد اسانس را در رژیم آبی ۷۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شده است، مغایرت داشت. در کل با توجه به اینکه درصد اسانس با افزایش تنش خشکی، افزایش می‌یابد، با نتایج حاصل شده در نعناع (Charles et al., 1990)، ریحان (Refaat & Saleh, 1997) و گشنیز (Hamrouni et al., 2001) همخوانی داشت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با تشدید تنش آبی عملکرد اسانس کاهش یافت. بیشترین عملکرد اسانس (۱۹۸/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰-۸۵٪ و کمترین آن (۴۶/۸۶) در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. اختلاف بین تیمارهای ۸۵٪ با ۷۰٪ و ۷۰-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و همچنین ۱۰۰٪ با ۸۵-۱۰۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود. کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیانبار تنش آبی بر رشد و پیکر رویشی گیاه باشد. چون عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد، بنابراین اگر چه در شرایط تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت ولی به دلیل کاهش محسوس عملکرد گیاه، در کل عملکرد اسانس در این شرایط کاهش یافت. نتایج مشابهی در تحقیق روی گیاهان بادرشبو (Safikhani, 2007)، گشنیز (Aliabadi Farahani et al., 2007; Aliabadi Farahani et al., 2008)، ریحان (Hassani & Omidbaigi, 2002; Refaat & Saleh, 1997)، آویشن (Letchamo et al., 1994)، اکلیل کوهی (Solinas & Deiana, 1996) و بادرشبو (Hassani et al., 2006) بدست آمده است.

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی در مرحله زایشی باعث کاهش همه صفات اندازه‌گیری شده به جز درصد اسانس می‌شود. بنابراین این گیاه نمی‌تواند تنش خشکی شدید را تحمل نماید. اگرچه درصد اسانس در شرایط تنش رطوبتی شدید (۵۵٪ ظرفیت زراعی) افزایش نشان داد ولی به دلیل کاهش شدید عملکرد و متعاقب آن کاهش عملکرد اسانس، کشت این گیاه در مناطق با کمبود آب اقتصادی نیست. اما با توجه به اینکه گیاهان پرورش یافته در شرایط تنش خشکی شدید دارای ارتفاع کمتر است و حجم کمی از زمین را اشغال می نمایند، شاید در این شرایط، بتوان با افزایش تراکم گیاه در واحد سطح، میزان کاهش عملکرد گیاه و اسانس را جبران نمود که این امر مستلزم تحقیقات بیشتر اثر توام تنش خشکی و تراکم می‌باشد.

REFERENCES

1. Abreu, I. N. & Mazzafera, P. (2005). Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43, 241–248.
2. Aliabadi Farahani, H., Arbab, A. & Abbaszadeh, B. (2008). The effects of super phosphate triple, water deficit stress and *Glomus hoi* biological fertilizer on some quantity and quality characteristics of *Coriandrum sativum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24 (1), 18-30. (In Farsi).
3. Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, M. H., Shiranirad, A. H., Valadabadi, S. A. R., Hamidi, A. & Alizadeh Sahzabi, A. (2007). The effects of *Glomus hoi* fungi, different levels of phosphorus and drought stress on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.), *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23 (3), 405-415. (In Farsi).
4. Alkire, B. H. & Simone, J. E. (1992). Water management for midwestern pepper mint *(mentha* x *Piperitir* L.) growing in highly organic Soils. *Indian Acta Horticulturae*, 344, 544-556.
5. Alkire, B. H., Simon, J. E., Palevtich, D. & Putievsky, E. (1993). Water management for midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soils, Indiana, USA. *Acta Horticulturae*, 344, 544-556.
6. Babu, V. R. & Rao, D. V. M. (1983). Water stress adaptations in the ground nut (*Arachis hypogara* L.) – foliar characteristics and adaptations to moisture stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 10, 64–80.
7. Bahernik Z., Mirza1, M., Abbaszadeh, B. & Naderi Hajy Bagher Candy, M. (2007). The effect of metabolism in response to water stress in *Parthenium argentatum* Gray, *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23 (3), 315-322. (In Farsi).
8. Cabuslay, G. S., Ito, O. & Alejal, A. A. (2002). Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit, *Plant Science*, 63, 815–827.

9. Charles, D. J., Joly, R. J. & Simon, J. E. (1990). Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, 29, 2837-2840.
10. Dunford, N. T. & Vazquez, R. S. (2005). Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*, 7(1), 20-22.
11. European pharmacopoeia. (1983). Vol. 1, Maissoneuve, SA, Sainte Ruffine.
12. Ghorbanli, M., Fakerbaher, Z., Mirza, M. & Rezaei, M.B. (2001). The effect of irrigation treatments on some of growth parameters, quality and quantity of essential oil in Satureja hortensis, Pajouhesh-va-Sazandegi, 14(3 (In Natural Resources 52)),40-45 (In Farsi).
13. Hamrouni, I., Salah, H. & Marzouk, B. (2001). *Effects of water-deficit on oil of coriander aerial parts*. INRST, Laboratoire d'Adaptation et d'Amelioration des Plants, BP 95 2050, Hammam-Lif, Tunisia, 95, 21-52.
14. Hassani, A. & Omidbaigi, R. (2002). Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics in Basil (*Ocuimm basilicum*). *Journal of Agricultural Sciences* (University of Tabriz), 12 (3), 47-59 (In Farsi).
15. Hassani, A., Omidbaigi, R. & Heidari Sharifabadi, H. (2003). Effect of different soil moisture levels on growth, yield and accumulation of compatible solutes in Basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of water and soil*, 17 (2), 218-228.
16. Hassani, A. (2006). Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil Content of *Dracocephalum moldavica*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22 (3), 256-261. (In Farsi).
17. Hong-Bo Sh., Li-Ye, Ch., Cheruth, A. J. & Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants, *Current Research in Biologies*, 331, 215–225.
18. Jaleel, C. A., Sankar, B., Murali, P. V., Gomathinayagam, M., Lakshmanan, G. M. A. & Panneerselvam, R. (2008b). Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*; impacts on ajmalicine accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62, 105–111.
19. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M. A., Gomathinayagam, M. & Panneerselvam, R. (2008a). Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61, 298–303.
20. Johnson, L. U. E. (1995). Facors affecting growth and the yield of oil in Spanish thyme (*Lippia micromera* Schou). *St. Augustine* (Trinidad and Tobago). 132 p.
21. Khalid, Kh. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20, 289-296.
22. Kocheki, A. & Nasiri Mahalati, M. (1994). *Ecology of plants*, (2nd ed.). Jahad Daneshgahi Mashad Publication. 291 p. (In Farsi).
23. Lebaschi, M. H. & Sharifi Ashourabadi, E. (2004). Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 20(3), 249-261. (In Farsi).
24. Lebaschi M.H., Sharifi Ashourabadi, E. & Mazaheri, D. (2003). Fluctuation of hypericin under water deficit. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 16(58 (in Agronomy and Horticulture)), 44-51. (In Farsi).
25. Letchamo, W., Marquard, R., Holzl, J. & Gosselin, A. (1994). Effects of water supply and light intensity on growth and essential oil of two *Thymus vulgaris* selections. *Angewandte Botanik*, 68, 83- 88.
26. Martinez, J. P., Ledent, J. F., Bajji, M., Kinet, J. M. & Lutts, S. (2003) Effect of water stress on growth, Na^+ and K^+ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L., *Plant Growth Regulation*, 41, 63–73.
27. Mirsa, A. & Strivastava, N. K. (2000). Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of. Herb, Spices & Medicinal Plants*, 7 (1), 51-58.
28. Nicholas, S. (1998). Plant resistance to environmental stress, *Current Opin. Biotechnology*, 9, 214–219.
29. Ogbonnaya, C. L., Nwalozie, M. C., Roy-Macauley, H. & Annerose, D. J. M. (1998). Growth and water relations of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under water deficit on a sandy soil. *Industrial Crops and Products*, 8m 65-76.
30. Omidbaigi, R. (2007). *Production and processing of medicinal plants*. (4th ed.). Astan Ghods Publication. Vol. 2, 438 p, (In Farsi).
31. Petropoulos, S. A., Daferera, D., Polissiou, M. G. & Passam, H. C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae*, 115(4), 393-397.
32. Reddy, A. R., Chiatanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants, *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189–1202.

33. Refaat, A. M. & Saleh, M. M. (1997). The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on sweet basil plants. *Bulletin of Faculty of Agriculture University of Cairo*, 48, 515-527.
34. Safikhani, F. (2007). *Effect of water stress on quantity and quality yield of Dracocephalum moldavica under field conditions*. Ph. D. Thesis of Agronomy, Chamran University, Ahvaz (In Farsi).
35. Simon, J. E., Bubenheim, R. 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, 71-75.
36. Solinas, V. & Deiana, S. (1996). Effect of water and nutritional conditions on the *Rosmarinus officinalis* L. phenolic fraction and essential oil yields. *Italian Eppos*, 19, 189-198.
37. Topp, G. C. & Davies J. L. (1985). Time domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. *Advances in Irrigation*, 3, 107-127.