علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی٤، زمستان ٩٧، ص. ١١٨-١٠٧

اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی

علی اکبرزاده[1]، علی شاهنظری[2*]، میرخالق ضیاتبار احمدی[3] و محمد اکبرزاده[4]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری aliponh@yahoo.com
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴- مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران.

دریافت: ۹۵/۱۲/۶ بازنگری: ۹۶/۱/۲۳ پذیرش: ۹۶/۲/۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، آزمایشی در طی یک فصل زراعی و در دو چین اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کم‌آبیاری تنظیم‌شده در پنج سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۸۵، ۷۰، ۵۵ و ٤٠ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه و آبیاری ناقص ریشه در سه سطح ۷۰، ۵۵ و ٤٠ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه، در نظر گرفته شد. میزان آب آبیاری از طریق تفاوت رطوبت قبل آبیاری و ظرفیت زراعی در تیمار آبیاری شاهد محاسبه شد. رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. بیشترین عملکرد خشک بوته و عملکرد اسانس، در چین اول به‌ترتیب در تیمار شاهد و ۷۰ درصد آبیاری ناقص ریشه، به‌میزان ۱۹٤۲ و ۲۳/٦۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در چین دوم، عملکرد تر و خشک بوته تحت‌تاثیر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری قرار نگرفت، درحالی‌که عملکرد اسانس و شاخص برداشت اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت.

کلیدواژه‌ها: تنش خشکی، مدیریت آبیاری، ظرفیت زراعی، شاخص برداشت، عملکرد اسانس.

مقدمه

حدود ۷۰ درصد از منابع آب شیرین در دنیا به مصرف کشاورزی می‌رسد که این مقدار، برای منطقه خاورمیانه حدود ۹۰ درصد می‌باشد. کمبود آب مهمترین عامل محدودکننده تولید محصول‌ها کشاورزی در سراسر جهان است. کشاورزی به گونه‌ای، هم علت و هم قربانی کمبود آب است. برای سازگاری با شرایط کمبود آب، استفاده از روش‌های افزایش بهره‌وری آب به‌منظور تولید بیشتر محصول به ازای واحد آب مصرفی، امری ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش بازده مصرف آب، اعمال مدیریت کم‌آبیاری براساس شناخت آثار تنش می‌باشد. از انواع روش‌های کم‌آبیاری، کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه می‌باشند که در کم‌آبیاری تنظیم شده میزان آب داده شده به گیاه کمتر از حد مورد نیاز آن می‌باشد و در دوره‌های غیر حساس رشد گیاه که اعمال آن موجب کاهش محصول نشود، این نوع مدیریت آبیاری به‌منظور صرفه جویی در میزان آب اعمال می‌گردد. روش آبیاری ناقص ریشه نیز طی دهه‌ی اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، منطقه ریشه، عموماً به دو ناحیه مختلف تقسیم شده و در هر بار آبیاری یک ناحیه آبیاری شده و ناحیه دیگر خشک رها می‌شود. این عمل به‌صورت تناوبی تکرار می‌گردد. به این ترتیب علی‌رغم آبیاری کمتر و صرفه‌جویی در مصرف آب، گیاه در تمام فصل رشد خود قادر به جذب آب از ناحیه ریشه خواهد بود. مطالعه‌های انجام‌شده بر گیاهان مختلف از قبیل گوجه فرنگی (Wang et al., 2011)، سیب زمینی (Wang et al., 2009)، فلفل قرمز (Cheng Shao, 2008)، لوبیا (Wakrim et al., 2005)، ذرت (Karandish et al., 2012) و سویا (Saraeitabrizi et al., 2010) همگی بر افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه اعمال آبیاری ناقص ریشه دلالت دارند. Fallahi et al. (2010) نیز با مطالعه تأثیر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر درخت سیب نشان دادند که با اعمال ۶۵ درصد نیاز آبی کامل گیاه در تیمار آبیاری ناقص ریشه، میوه‌ها خوش رنگ‌تر و بازار پسندتر بوده‌اند، درحالی‌که تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد با تیمار شاهد (تامین نیاز آبی کامل) مشاهده نشده است. Wahbi et al. (2005) با مطالعه تأثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه بر گیاه زیتون گزارش کردند که درصد روغن و وزن میوه و کارایی مصرف آب در نتیجه اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه افزایش پیدا کرده است. Shahnazari et al. (2007) نیز تأثیر آبیاری ناقص ریشه روی میزان محصول، اندازه غده و کارایی مصرف آب در گیاه سیب زمینی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تیمارهای شاهد با آبیاری کامل تا رسیدن رطوبت خاک به حد رطوبت قابل استفاده گیاه و تیمارهای آبیاری ناقص ریشه با حدود ۵۰ درصد آب مصرف شده در آبیاری کامل، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که از نظر کیفی (بازارپسندی)، محصول تولیدی در آبیاری ناقص ریشه به‌صورت معنی‌داری بیشتر از مقادیر متناظر آن در آبیاری کامل بود.

گیاهان مختلف نسبت به بهره‌وری از آب و بازده آب (تولید ارزش اقتصادی نسبت به آب مصرفی) متفاوت هستند. از این رو، شناخت گیاهان با بازده مصرف آب بالا و دوره‌های رشدی کوتاه

برای جلوگیری از اتلاف آب، بسیار مهم است. گیاهان دارویی به عنوان مجموعه‌ای از گیاهان با ارزش اقتصادی بالا می‌توانند در شرایط کمبود آب، تولید سرمایه بیشتری نسبت به آب مصرفی، در مقابل دیگر محصول‌ها داشته باشند. گیاه دارویی نعناع فلفلی نیز به عنوان گیاهی با ارزش اقتصادی بالا که در داروها و مواد بهداشتی و خوراکی به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌عنوان گیاه مورد مطالعه در این آزمایش انتخاب شد. تاکنون، تحقیق و آزمایشی که تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر گیاهان دارویی از جمله نعناع فلفلی را مورد بررسی قرار دهد، مشاهده و یا منتشر نشده است. اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه اعمال تنش کم‌آبی به گیاهان دارویی در قالب کم‌آبیاری تنظیم شده می‌باشد. Khezli و Aliabadifarahani (2011) تأثیر کم آبیاری بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی خاکشیر را مورد بررسی قرار دادند. تنش کم‌آبی به‌صورت تیمارهای با دور آبیاری متفاوت اعمال شد و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک، عملکرد سر شاخه گلدار و عملکرد اسانس در شرایط کم‌آبی، کاهش ولی درصد اسانس افزایش یافته است. Safikhani et al. (2007) با مطالعه تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو نشان دادند که بیشترین درصد اسانس در تیمار تنش رطوبتی ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه حاصل شده است. Okwany et al. (2011) تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و کیفیت اسانس گیاه نعناع معمولی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که بیشترین عملکرد اسانس در تیمار ۷۳ درصد نیاز آبی کامل و به میزان ۶۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیشترین درصد لیمونن، کاروون و میرسن به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس به‌ترتیب در تیمار های ۷۳ ، ۸۲ و ۹۴ درصد نیاز آبی کامل و به‌میزان ۱۸/۱۹ ، ۶۶/۶۷ و ۶/۱۴ درصد مشاهده شد. بیشترین میزان شاخص برداشت اسانس و کارایی مصرف آب اسانس نیز در بالاترین سطح تنش و به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۰۶ و ۰/۰۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد.

Bazazi et al. (2013) با مطالعه تأثیر تنش خشکی بر گیاه دارویی شنبلیله نشان دادند عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به‌صورت معنی تحت تاثیر تنش خشکی، کاهش یافت. Ghanbari وAriafar (2013) تأثیر کم‌آبیاری در سه سطح ۷۰ و ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد زئولیت بر صفات رشد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی نعناع فلفلی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس در تیمارهای کم‌آبیاری مربوط به تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بوده و بیشترین عملکرد اسانس نیز در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به میزان ۱۷/۵ میلی‌گرم در مترمربع، مشاهده شده است. Khorasaninedjad et al. (2016) افزایش معنی‌دار درصد اسانس در نتیجه اعمال تنش خشکی در گیاه دارویی اسطوخودوس را گزراش کردند. مواد مؤثره، اساسا با هدایت فرایندهای ژنتیکی ساخته می شوند، ولی کمیت و کیفیت آن‌ها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر آب، اقلیم، نور و خاک قرار می‌گیرند (Omidbeigi, 1995). در حال حاضر با بررسی‌های صورت گرفته، تحقیقی که تاثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه، روی گیاهان دارویی و به ویژه نعناع فلفلی را مورد مطالعه قرار داده باشد، مشاهده و یا منتشر نگردیده است. آب یکی از عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای در رشد و نمو و میزان مواد مؤثره‌ی گیاهان دارویی دارد. مطالعه تأثیر تنش کم‌آبی بر گیاهان دارویی می‌تواند راه‌کاری برای حل مشکل پایین بودن بهره‌وری از آب در شرایط کمبود آب، ارائه دهد. از این رو به‌منظور مطالعه تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه بر کارایی مصرف آب و صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی، آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی یک فصل زراعی و در دو چین در سطح مزرعه و در زمینی به مساحت تقریبی ۶۰۰ متر مربع واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری روی گیاه دارویی نعناع فلفلی با فواصل کاشت ۴۰×۲۰ سانتی‌متر، اجرا گردید. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نیز در جدول (۱) آمده است. مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده نیز در جدول (۲) ارائه شده است. تعیین میزان رطوبت موجود در خاک به‌منظور تعیین حجم آبیاری در تیمار شاهد، به‌ازای هر ۷۲ ساعت و با روش انعکاس‌سنجی حوزه زمان (روش TDR) صورت گرفت. با توجه به عمق ریشه، سنسورهای رطوبت‌سنج در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری نصب گردید و آب مورد نیاز آبیاری در تیمار آبیاری کامل از معادله (۱) محاسبه شد.

$$I = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{Fc} - \theta_{Bi})\, D_i / E_a \qquad (۱)$$

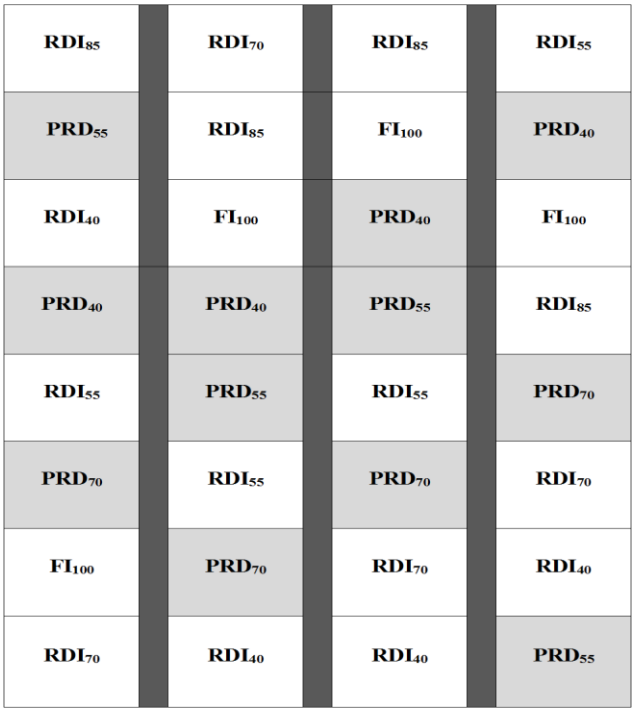
در این معادله: θ_{Fc} و θ_{Bi} به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در رطوبت قابل استفاده گیاه و قبل از آبیاری، D_i: ضخامت لایه آبیاری شونده، E_a: راندمان آبیاری (۹۰ درصد) و I: ارتفاع ناخالص آب آبیاری می باشد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل به‌عنوان شاهد(FI_{100}، ۱۰۰ درصد رطوبت قابل استفاده) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده در چهار سطح ۸۵ (RDI_{85})، ۷۰ (RDI_{70}) ، ۵۵ (RDI_{55}) و ۴۰ (RDI_{40}) درصد و آبیاری ناقص ریشه در سه سطح ۷۰ (PRD_{70})، ۵۵(PRD_{55}) و ۴۰(PRD_{40}) درصد بوده که در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار به اجرا در آمد. هر واحد آزمایشی شامل ۵ ردیف به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به طول ۳ متر بود. فاصله واحدها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. نقشه‌ای از طرح اجرا شده در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ - نتایج آزمایش خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی متر

بافت خاک	ظرفیت زراعی درصد	اسیدیته	هدایت الکتریکی	عناصر میکرو (mg/kg)				NPK		
		pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Mn	Zn	Cu	Fe	K(ppm)	P(ppm)	O.C%
لوم رسی	۳۰	۷/۴۴	۳/۰۴۱	۸/۴۶	۸/۴	۲/۶۰	۲۶/۲۲	۱۰۰	۱/۷۸۱	۰/۹۸

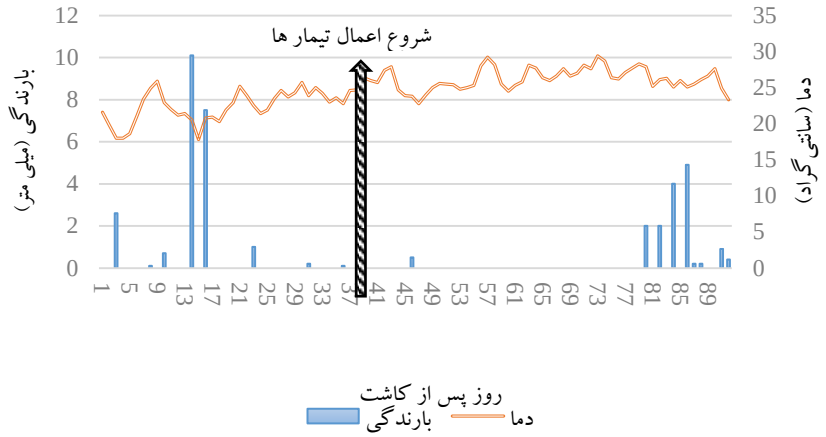
جدول ۲ - مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده

EC (dS/m)	pH	TDS (mg/lit)	Na %	HCO_3^- (mg/lit)	CL^- (mg/lit)	SO_4^- (mg/lit)	Ca^{++} (mg/lit)	Mg^{++} (mg/lit)	Na^+ (mg/lit)	K^+ (mg/lit)
۰/۶۹۵	۸/۲	۴۲۱	۳۹/۳۶	۲۷۴/۵	۷۱	۹/۶	۵۴	۱۶/۸	۶۲/۱	۲/۳۴

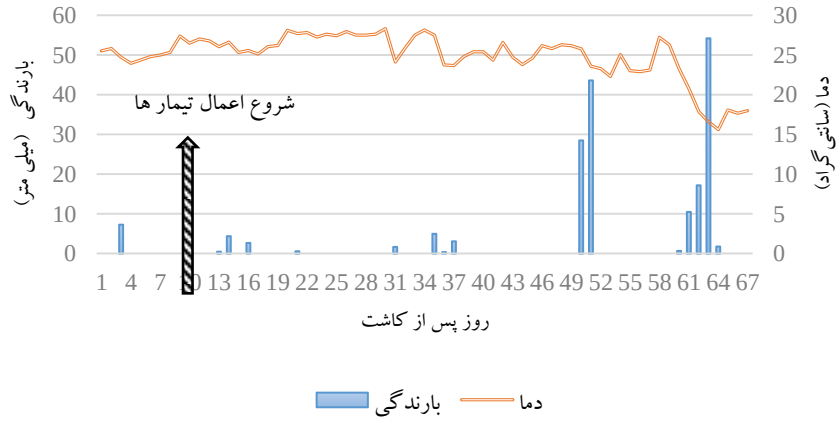


شکل ۱ – نقشه قرارگیری تیمارها در زمین

کاشت نشاهای گیاه نعناع فلفلی در چین اول، در اواسط اردیبهشت سال ۱۳۹۲ انجام گرفت و دور آبیاری نیز سه روز در نظر گرفته شد. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری نیز ۴۰ روز پس از کاشت آغاز گردید. روش آبیاری، آبیاری قطره‌ای تیپ، به فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متر بوده که در تمامی تیمارها دو لاترال در طرفین گیاه قرار داده شد. تعویض جهت آبیاری در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در هر دو دور آبیاری و به کمک شیرهای تعبیه‌شده در ابتدای خط صورت گرفت. آبیاری هر یک از تیمارها به‌صورت جداگانه انجام گرفت و حجم آب تحویلی به هر تیمار نیز توسط کنتور حجمی کنترل شد. در مرحله اواسط گل‌دهی (اواسط مرداد)، برداشت به صورت کف بر (به فاصله ۳ تا ۵ سانتی‌متری بالای خاک) و با حذف ۰/۵ متر از طول کرت از هر طرف و یک ردیف از هر طرف انجام گرفت. پس از رشد مجدد بوته و استقرار گیاه، اعمال تیمارهای مربوط به چین دوم آغاز شد. برداشت در چین دوم نیز در اواسط ماه مهر و در مرحله اواسط مرحله گل‌دهی انجام گرفت. دما و بارندگی روزانه در طی دوره کشت نعناع فلفلی در دو چین برداشت در شکل های (۲) و (۳) آمده است. عملکرد خشک و تر بوته، عملکرد برگ و سرشاخه‌های گل‌دار و ساقه خشک نیز بعد از سایه خشک‌کردن توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. اسانس‌گیری نیز به روش تقطیر با بخار و توسط دستگاه کلونجر صورت گرفت (Yazdani et al., 2002). درصد اسانس نیز براساس نسبت وزن اسانس در ۸۰ گرم برگ و سرشاخه گل‌دار محاسبه شد. شاخص برداشت نیز به‌صورت میزان محصول برداشتی نسبت به وزن تر بوته تعیین شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.



شکل ۲ - دما و بارندگی روزانه طی دوره کشت در چین اول



شکل ۳ - دما و بارندگی روزانه طی دوره کشت در چین دوم

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده نشان داد، عملکرد تر و خشک بوته در چین اول به‌صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر اعمال سطوح مختلف کم‌آبیاری در حالت تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه، قرار گرفته است (جدول۳). با توجه به جدول (۴) بیشترین عملکرد تر و خشک بوته، به‌ترتیب، به‌میزان ۹۴۲۸ و ۱۹۴۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد (FI_{100}) با تامین نیاز آبی کامل گیاه حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش سطح کم‌آبیاری، عملکرد بوته کاهش یافت، به‌طوری که با اعمال تنش‌های ملایم، کاهش عملکرد معنی‌دار نبوده و سپس با شدیدتر شدن میزان تنش عملکرد به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته است. کاهش عملکرد در نتیجه اعمال تنش خشکی توسط Bazazi et al. (2013) نیز مشاهده شد. نتایج به‌دست آمده با نتایج Izadi et al. (2009)، Forouzandeh et al. (2012) در نعناع فلفلی و Nezami et al. (2012) در سه گونه نعناع مطابقت دارد. کاهش عملکرد در نتیجه اعمال تنش براساس نظر Sreevalli et al. (2001) می‌تواند مربوط به افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه، نسبت به بخش هوایی گیاهی باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصا در ساقه و برگ‌ها است(Omidbaigi et al, 2003). با کاهش رشد سلول اندازه اندام‌ها محدود می‌شود و متعاقب آن جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. بدیهی است که با محدود شدن فراورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتا عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Omidbeigi et al, 2003). این در حالی است که با توجه به جدول (۳) در اثر اعمال کم‌آبیاری، تفاوت معنی‌داری در عملکرد برگ و سرشاخه‌های گل‌دار، عملکرد ساقه خشک و شاخص برداشت برگ خشک مشاهده نشد. کاهش معنی‌دار عملکرد تر در مقابل تفاوت غیرمعنی‌دار عملکرد برگ خشک موجب روند افزایشی شاخص برداشت برگ خشک شده است، اما این افزایش معنی‌دار نبوده است. Pirzad et al. (2010) تفاوت معنی‌دار شاخص برداشت برگ در نتیجه اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری را گزارش کردند.

جدول ۳ - تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در چین اول

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد تر بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد خشک بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد برگ خشک ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد ساقه خشک ($Kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت برگ خشک
تکرار	۳	۲۷۷۶۱۴۹	۳۸۱۸۵	۱۰۵۱۵۵	۲۵۸۰۰	۰/۰۰۰۵۱
تیمار	۷	۸۰۷۴۱۹۴ **	۱۹۵۳۶۳ **	۴۱۸۵۰ ns	۷۳۴۴۷ ns	۰/۰۰۰۹۳ ns
خطای آزمایش	۲۱	۱۰۴۶۱۹۴	۳۲۲۶۶	۳۵۴۱۳	۴۴۱۲۵	۰/۰۰۰۴۴

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

جدول ٤ - مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در چین اول

تیمار	عملکرد تر بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد خشک بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد برگ خشک ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد ساقه خشک ($Kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت برگ خشک
FI_{100}	۹۴۲۸a	۱۹۴۲a	۱۱۰۳/۷a	۸۳۷/۹a	۰/۱۱۶a
RDI_{85}	۸۳۱۵ab	۱۹۰۸ab	۱۰۷۶/۵a	۸۳۱a	۰/۱۲۹a
RDI_{70}	۷۱۲۲bcd	۱۷۲۶ab	۹۲۵a	۸۰۱/۳a	۰/۱۳۱a
RDI_{55}	۵۷۲۹cd	۱۵۳۶bc	۸۹۶/۹a	۶۳۸/۶a	۰/۱۵۶a
RDI_{40}	۵۲۹۰d	۱۲۸۸c	۸۰۴/۶a	۴۸۳/۴a	۰/۱۵۳a
PRD_{70}	۷۸۲۴abc	۱۸۳۳ab	۹۹۱/۲a	۸۴۱/۵a	۰/۱۲۸a
PRD_{55}	۶۵۵۴bcd	۱۵۸۱abc	۸۶۵/۶a	۶۱۲/۶a	۰/۱۳۳a
PRD_{40}	۵۹۶۱cd	۱۵۶۸abc	۹۳۵/۴a	۶۳۲/۶a	۰/۱۵۶a

میانگین های در هر ستون و برای هر تیمار که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

با توجه به جدول (۵) عملکرد و درصد اسانس و شاخص برداشت اسانس به‌صورت معنی‌داری تحت تاثیر استراتژی های کم آبیاری قرار گرفتند. نتایج تاثیر استراتژی‌های آبیاری بر عملکرد اسانس گیاه نعناع فلفلی در شکل (۴) آمده است. بیشترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه به میزان ۲۳/۶۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد، لیکن تفاوت معنی‌داری با تیمار PRD_{55} مشاهده نشد. با توجه به شکل (۵) و مقایسه درصد اسانس در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه در سطوح متناظر، مشاهده می‌شود که درصد اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در سطوح ۷۰ و ۵۵ درصد به اندازه قابل توجهی بیشتر از تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطوح متناظر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۵)، با اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه در سطح ۴۰ درصد، تفاوت معنی‌داری در درصد اسانس ایجاد نشد. عملکرد اسانس نیز مشابه درصد اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در ۷۰ و ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه افزایش معنی‌داری داشته است. بیشترین درصد اسانس در تیمار کم‌آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه به مقدار ۲/۴۵ درصد به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری با تیمار PRD_{70} مشاهده نشد. بررسی درصد اسانس نشان داد که با اعمال تنش‌های ملایم در قالب کم‌آبیاری تنظیم‌شده، درصد اسانس افزایش یافته و سپس با اعمال تنش به نسبت شدید، درصد اسانس کاهش می‌یابد.

با اعمال تنش در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده تا سطح ۷۰ درصد نیز، عملکرد اسانس افزایش داشته است، اما با افزایش تنش تا سطح ۴۰ درصد، عملکرد اسانس کاهش یافته است. با توجه به جدول (۴)، با افزایش شدت تنش عملکرد بوته کاهش می‌یابد و در گیاهان دارویی اسانس‌دار مانند نعناع فلفلی، برهم کنش درصد اسانس و عملکرد بوته به عنوان دو بخش تشکیل دهنده اسانس مورد توجه هستند(Izadi et al., 2009). با توجه به شکل (۴) و مقایسه عملکرد اسانس در تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه در سطوح متناظر، مشاهده می‌شود که عملکرد اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه در تمامی سطوح بیشتر از تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده می‌باشد. Khorasaninedjad et al. (2011) کاهش عملکرد و درصد اسانس در گیاه نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش خشکی را گزارش کردند. Forouzandeh et al. (2012) در تحقیقی در گلخانه، کاهش عملکرد اسانس و افزایش درصد اسانس در نتیجه تنش خشکی تا ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه زراعی در گیاه نعناع فلفلی را گزارش کردند. Khorasaninedjad et al. (2016)، حصول بیشترین درصد اسانس در تیمار ۸۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه در گیاه دارویی اسطوخودوس را گزارش کردند. آن‌ها بیان کردند که همیشه، با افزایش شدت تنش، مقدار اسانس افزایش نمی‌یابد، زیرا در تنش‌های شدیدتر، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین، گلسین، بتایین و ترکیب‌های قندی مانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان‌ها می‌کند تا شرایط لازم برای ادامه حیاتش فراهم شود. Ghanbari and Ariafar (2013) با مطالعه تاثیر تنش خشکی بر گیاه نعناع فلفلی بیان کردند که اعمال تنش موجب تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه خواهد شد تا از فرایند اکسیده شدن در سلول‌ها جلوگیری شود. Rahmani et al. (2012) نیز گزارش کردند که گیاه همیشه بهار با افزایش درصد

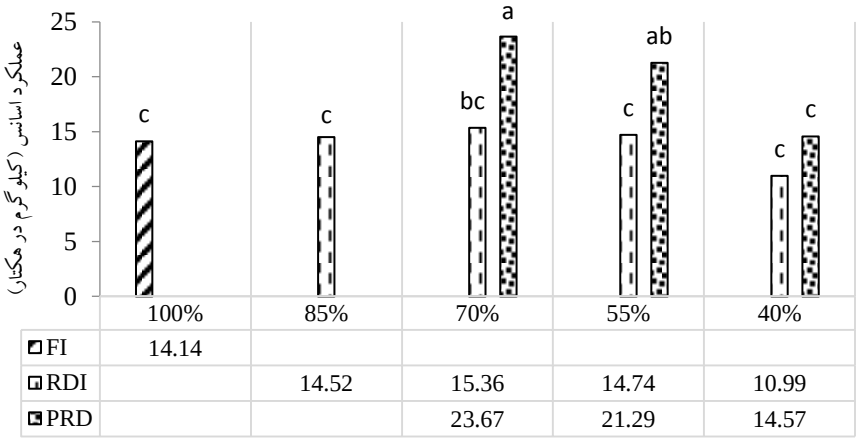
اسانس در زمان کمبود آب، از آسیب‌های وارده به سلول، ناشی از اکسیده شدن می‌کاهد.

نتایج تأثیر کم‌آبیاری بر شاخص برداشت اسانس گیاه نعناع فلفلی در شکل (۶) آمده است. بیشترین شاخص برداشت اسانس در تیمار آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۵ درصد به‌دست آمد. شاخص برداشت اسانس تا تیمار ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه زراعی روند افزایشی داشته، اما در تیمار ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه، چه در کم‌آبیاری تنظیم شده و چه در آبیاری ناقص ریشه کاهش پیدا کرد. این کاهش، به‌دلیل کاهش معنی‌دار میزان اسانس در این تیمار در مقابل کاهش غیر معنی‌دار عملکرد تر بوته می‌باشد. کمترین شاخص برداشت اسانس نیز در تیمار شاهد و تامین نیاز آبی کامل گیاه مشاهده شد. افزایش شاخص برداشت اسانس در گیاه زیره توسط Alinian and Razmjoo (2014) و در نعناع معمولی توسط Okwany et al. (2011) گزارش شد. تفاوت غیر معنی‌دار در شاخص برداشت برگ خشک در کنار افزایش معنی‌دار و قابل توجه درصد اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه موجب بالا بودن شاخص برداشت اسانس در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در سطوح متناظر بود.

جدول ۵ - تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری بر عملکرد اسانس، درصد اسانس و شاخص برداشت اسانس گیاه نعناع فلفلی در چین اول

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد اسانس	درصد اسانس	شاخص برداشت اسانس × 10^{-7}
تکرار	۳	۵۰/۴۳	۰/۰۳۲	۳/۷
تیمار	۷	۶۹/۳۳ **	۰/۸۱۸ **	۱۴/۳۳ **
خطای آزمایش	۲۱	۹/۱۴	۰،۰۳	۱/۱۵

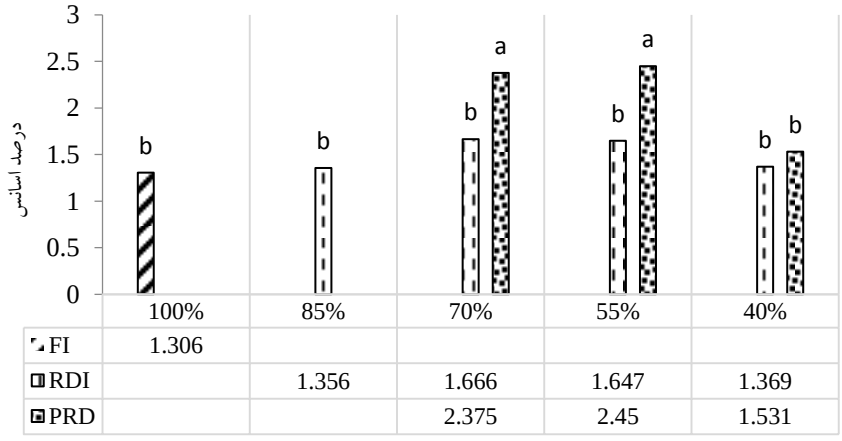
ns ، غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. **، معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد



	100%	85%	70%	55%	40%
FI	14.14				
RDI		14.52	15.36	14.74	10.99
PRD			23.67	21.29	14.57

شکل ٤ - مقایسه میانگین اثر کم‌ابیاری بر عملکرد اسانس گیاه نعناع فلفلی در چین اول

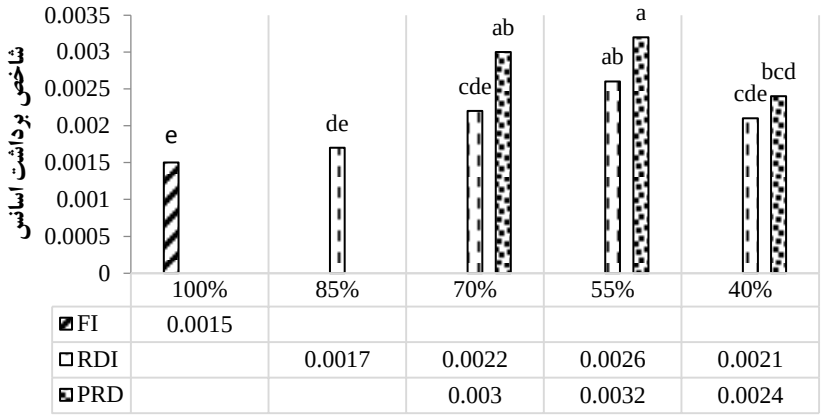
(میانگین ها برای هر تیمار که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱درصد ندارند.)



	100%	85%	70%	55%	40%
FI	1.306				
RDI		1.356	1.666	1.647	1.369
PRD			2.375	2.45	1.531

شکل ۵ - مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی در چین اول

(میانگین ها برای هر تیمار که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱درصد ندارند.)



شکل ٦ - مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر شاخص برداشت اسانس گیاه نعناع فلفلی در چین اول

(میانگین ها برای هر تیمار که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱درصد ندارند.)

جدول ٦ - تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در چین دوم

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد تر بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد خشک بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد برگ خشک ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد ساقه خشک ($Kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت برگ خشک
تکرار	۳	۶۸۲۹۲۱۰	۱۶۸۲۹۵	۴۱۴۵۲	۷۶۹۲۶	۰/۰۰۱۵
تیمار	۷	۲۸۵۷۹۲۳ ns	۹۱۰۰۷ ns	۵۸۵۶۶ ns	۱۷۲۰۷ ns	۰/۰۰۶ ns
خطای آزمایش	۲۱	۱۳۰۰۱۴۵	۷۶۱۷۲	۵۸۶۲۳	۲۹۳۸۸	۰/۰۰۱۶

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

جدول ۷ - مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در چین دوم

تیمار	عملکرد تر بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد خشک بوته ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد برگ خشک ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد ساقه خشک ($Kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت برگ خشک
FI_{100}	۷۶۳۸a	۱۷۵۴a	۹۰۲/۳a	۸۵۱/۳a	۰/۱۲۶a
RDI_{85}	۷۰۴۴a	۱۶۸۲a	۸۱۷/۲a	۸۶۵a	۰/۱۱۵a
RDI_{70}	۷۵۵۶a	۱۸۷۵a	۱۰۲۲/۷a	۸۵۲/۵a	۰/۱۳۳a
RDI_{55}	۶۲۴۴a	۱۵۰۷a	۷۵۷/۵a	۷۵۰a	۰/۱۳۰a
RDI_{40}	۵۵۷۰a	۱۴۲۲a	۶۲۱/۲a	۸۰۱/۳a	۰/۱۱۶a
PRD_{70}	۶۰۰۶a	۱۵۸۵a	۸۸۷/۵a	۶۹۷/۵a	۰/۱۴۹a
PRD_{55}	۵۴۶۲a	۱۵۰۰a	۷۳۸/۸a	۷۶۱/۳a	۰/۱۴۷a
PRD_{40}	۶۲۷۵a	۱۵۴۱a	۸۲۷/۷a	۷۱۳/۸a	۰/۱۳۱a

نتایج به‌دست آمده نشان داد، در چین دوم، عملکرد تر و خشک بوته و اجزای عملکرد آن، تحت‌تأثیر اعمال سطوح مختلف کم‌آبیاری در حالت تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه، قرار نگرفت (جدول۶). معنی‌دار نبودن نتایج اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، تا حدود زیادی می‌تواند مربوط به وقوع بارندگی‌های به نسبت شدید، در دوره گل‌دهی گیاه و ادامه داشتن آن تا زمان برداشت باشد (شکل ۳). با توجه به جدول (۷)، تغییرات میانگین‌ها نیز از روند خاصی پیروی نمی‌کند. با توجه به اهمیت خشک بودن نیمی از سیستم ریشه در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه و نیز تحت کنترل بودن میزان آب تحویلی به تیمارها در کم‌آبیاری تنظیم‌شده، با وقوع بارندگی‌های شدید در طی دوره کشت چین دوم (شکل ۳)، از میزان اثر اعمال تیمارها کاسته شده است. رشد مناسب‌تر گیاه نعناع فلفلی در چین اول نسبت به چین دوم، توسط Azizi et al. (2015)، گزارش شده و علت آن را طول دوره رشد زیاد گیاه در روزهای آفتابی با دمای مناسب هوا دانسته‌اند که سبب فتوسنتز بیشتر و در نتیجه رشد بیشتر گیاه شده است. اعمال استراتژی های کم‌آبیاری در چین دوم با شرایط بیان‌شده توسط Azizi et al. (2015) و هم‌چنین تغییرات آب و هوایی، در منطقه مورد مطالعه، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد تر و خشک و اجزای عملکرد و شاخص برداشت برگ خشک نداشته است.

جدول ۸ - تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری بر عملکرد اسانس، درصد اسانس و شاخص برداشت اسانس گیاه نعناع فلفلی در چین دوم

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد اسانس	درصد اسانس	شاخص برداشت اسانس $\times 10^{-7}$
تکرار	۳	۱۱/۹۵	۰/۰۱۲	۳/۰۹
تیمار	۷	۳۷/۹۱ **	۰/۳۸ **	۱۴/۸۱ **
خطای آزمایش	۲۱	۱۰/۷۴	۰/۰۱۴	۳/۵۶

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

جدول ۹ - مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در چین دوم

تیمار	عملکرد اسانس ($Kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس	شاخص برداشت اسانس
FI_{100}	۱۰/۰۱ab	۱/۱۳۵c	۰/۰۰۱۴b
RDI_{85}	۹/۷۴ab	۱/۱۹۴bc	۰/۰۰۱۴b
RDI_{70}	۱۴/۵۸ab	۱/۴۲۲b	۰/۰۰۱۹ab
RDI_{55}	۱۰/۵۵ab	۱/۴۱۵b	۰/۰۰۱۸ab
RDI_{40}	۷/۷۷ab	۱/۲۳۴bc	۰/۰۰۱۴b
PRD_{70}	۱۷/۰۵a	۱/۹۲a	۰/۰۰۲۹a
PRD_{55}	۱۴/۱۴ab	۱/۹۱۵a	۰/۰۰۲۸a
PRD_{40}	۱۱/۱۹b	۱/۳۳bc	۰/۰۰۱۸ab

میانگین های در هر ستون و برای هر تیمار که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

با توجه به جدول (۸)، اعمال کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و درصد اسانس و شاخص برداشت اسانس داشته است. با توجه به جدول (۹) بیشترین درصد اسانس در تیمار ۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه زراعی در روش آبیاری ناقص ریشه و به میزان ۱۷/۰۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. کمترین میزان اسانس نیز در تیمار ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده به‌دست آمد که جز با تیمار PRD_{70}، با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین درصد اسانس در تیمارهای ۷۰ و ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه زراعی در روش آبیاری ناقص ریشه مشاهده شد. بیشترین شاخص برداشت اسانس نیز به‌صورت مشابه در تیمارهای PRD_{70} و PRD_{55} مشاهده شد. معنی‌داری اثر اعمال تیمارها در بخش اسانس گیاه در مقابل معنی‌دار نبودن عملکرد و اجزای عملکرد بوته می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که بخش تشکیل‌دهنده و تولیدکننده اسانس در گیاه حساسیت بیشتری نسبت به اندام‌های گیاهی در مقابل کم آبی داشته است. Charles et al. (1990)، بیان کردند که تجمع اسانس در نتیجه اعمال تنش رطوبتی می‌تواند ناشی از تغییر نحوه تقسیم منابع در سلول‌ها بوده و اعمال تنش رطوبتی می‌تواند فرایند تولید اسانس را تشدید کند. Selmar و Kleinwachter (2013) نیز علت تجمیع اسانس در نتیجه اعمال تنش خشکی را این گونه بیان کردند که با بسته بودن روزنه‌ها، جذب CO_2 به شدت کاهش می‌یابد. در نتیجه مصرف $NADPH+H^+$ برای تثبیت کربن از طریق چرخه کالوین، کم شده و میزان $NADPH+H^+$ بسیار زیاد و بیشتر از نیاز شده و در نتیجه، فرایند های متابولیت ثانویه به سمت تولید بیشتر موادی مثل اسانس‌ها، فنول‌ها و آلکالوییدها، هدایت می‌شوند.

نتیجه‌گیری

بالا بودن میزان عملکرد اسانس، در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده و افزایش ۶۷ درصدی عملکرد اسانس نسبت به آبیاری کامل نشان‌دهنده این است که می توان چه در شرایط کمبود آب و چه در شرایط مطلوب از جهت تامین آب، از روش آبیاری ناقص ریشه به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب اسانس، استفاده نمود. همچنین افزایش میزان شاخص برداشت اسانس در نتیجه اعمال استراتژی‌های کم‌آبیاری و به‌ویژه آبیاری ناقص ریشه به‌صورتی که شاخص برداشت اسانس به دو برابر مقدار خود در آبیاری کامل افزایش یافته است، موجب کاهش هزینه‌های کشاورز، مانند هزینه تامین و انتقال آب، انرژی مورد نیاز برای پمپاژ، هزینه برداشت، حمل و نقل و اسانس‌گیری در کنار بالا بودن یا ثابت ماندن میزان عملکرد اسانس استخراج‌شده خواهد شد. با توجه به برداشت چند باره گیاه نعناع فلفلی در یک سال و ارزش مادی بالای این گیاه، اجرای سیستم آبیاری قطره ای و اعمال مدیریت آبیاری، می تواند ارزش اقتصادی بالایی داشته باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌منظور تولید گیاه دارویی نعناع فلفلی و به‌منظور استفاده از اسانس گیاه پیشنهاد می‌شود در شرایط کمبود آب از تنش خشکی تا ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه زراعی و به روش آبیاری ناقص ریشه و در شرایط مطلوب تامین آب، با توجه به حاصل شدن بیشترین عملکرد اسانس در تیمار PRD_{70}، از تنش خشکی ملایم تا ۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه و به روش آبیاری ناقص ریشه استفاده شود.

منابع

1- Alinian, S. and Razmjoo, J., 2014. Phonological, yield, essential oil yield and oil content of cumin accessions as affected by irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 54, pp. 167-174.

2- Azizi, M., Shahriari, S., Aroui, H. and Ansari, H., 2015, Effect of different irrigation regimes and mulch on vegetative properties and peppermint essential oil, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 29(1), pp. 11-21. (In Persian).

3- Bazazi, N., Khodambashi, M. and Mohammadi, Sh., 2013, The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant fenugreek, *Journal of Crop Production and Processing*, 3(8), pp. 11-22. (In Persian).

4- Charles, D. J., Joly, R. J. and Simon, J. E., 1990. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, 29(9), pp. 2837-2840.

5- Cheng Shao. G., 2008. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial root zone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse-grown hot pepper. *Scientia Horticulturae*, 119(1), pp. 11-16.

6- Falahi, E., Neilsen, D., Neilsen, G. H., Fallahi, B. and Shafii, B., 2010. Efficient irrigation for optimum fruit quality and yield in apples. In *The Efficient use of Alternative Water and Traditional Irrigation Sources in Horticulture. at ASHS-2009, St. Louis.*

7- Forouzandeh, M., Sirusmehr, A, Ghanbari, A., Asgharipoor, M. R. and Khomri, A., 2012, The effect of drought stress and urban waste compost on quantitative and qualitative characteristics of peppermint medicinal plant, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(4):670-677. (In Persian).

8- Ghanbari, M. and Ariafar, S., 2013. The effects of water deficit and zeolite application on growth traits and oil yield of medicinal peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 3(1): 32-39.

9- Izadi, Z., Asnaashari, M. and Ahmadvand, G., 2009, Effect of drought stress on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.), *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(3), pp. 223-234. (In Persian).

10- Karandish, F., Mirlatifi, S. M., Shahnazari, A., Gheysari, M. and Abbasi, F., 2012, Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize, *Journal of Water and Irrigation Management*, 2(2), pp. 85-98. (In Persian).

11- Khezli, M. and Aliabadifarahani, H., 2011, Effect of irrigation deficit on quantitative and qualitative yield of Flixweed medicinal plant, *In National Conference on new Achievements in Agriculture, Islamic Azad university, shahr-e-qods branch, Iran.*

12- Khorasaninedjad, S., Hemmati, Kh. And Soltanlu, H., 2011, Effect of drought stress on morphological characteristics, quantity and quality of essential oil of peppermint, *National Conference on Medicinal Plants, Academic Center for Education, Culture and Research, Sari, Iran*.

13- Khorasaninedjad, S., Soltanlu, H., Ramezanpoor, S. S., Hadian, J. and Atashi, S., 2016, The effect of drought stress on the growth, essential oil yield and chemical composition of Lavender, *Journal of Crop Improvements*, 17(4):979-988. (In Persian).

14- Nezami, S., Nemati, S. H., Aroui, H. and Bagheri, A., 2012, Response of Mentha Species to Water Deficit Stress Under Controlled Conditions, *Journal of Water and Soil*, 26(4), pp. 1051-1063. (In Persian).

15- Okwany, R. O., Peters, T. R., Ringer, K. L., Walsh, D. B. and Rubio, M., 2011. Impact of sustained deficit irrigation on spearmint (*Mentha spicata* L.) biomass production, oil yield, and oil quality. *Irrigation Science*, 30(3), pp. 213-219.

16- Omidbeigi, R., 1995, *Approaches to the Production of Medicinal Products*, Fekre Rooz.

17- Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F., 2003. Essential oil content and composition of sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 6, pp. 104-108.

18- Pirzad, A., Fayazmoghadam, A., Razban, M. and Raei, Y., 2010, The evaluation of dried flower and essential oil yield and harvest index of matricaria chamomilla l. under varying irrigation regimes and amounts of super absorbent polymer (A200), *Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(3), pp. 85-99. (In Persian).

19- Rahmani, N., Taherkhani, T., Zandi, P. and Moradiaghdam, A., 2012. Effect of regulated deficit irrigation and nitrogen levels on flavonoid content and extract performance of marigold (Calendula officinalis L.). *Annals of Biological Research*, 3(6), pp. 2624- 2630.

20- Saraeitabrizi, M., Babazadeh, H., Parsinedjad, M. and Modarressanavi, S. A. M., 2010, Improving soybean water use efficiency using partial root drying, *Journal of Water and Soil Science*, 14(52), pp. 1-14. (In Persian).

21- Safikhani, F., Heydarisharifabad, H., Siadat, S. A., Sharifiashurabadi, A., Seyednedjad, S. M. and Abbaszadeh, B., 2007, The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L., *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(1), pp. 86-99. (In Persian).

22- Selmar, D. and Kleinwachter, M., 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 42, pp. 558-566.

23- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E. and Jensen, C. R., 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100, pp. 117-127.

24- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. and kuikkarni, R., 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science*, 22, pp. 356-358.

25- Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H. and Serraj, R., 2005. Effects of partial root-zone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, pp. 289–301.

26- Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B. and Serraj, R., 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, pp. 275–287.

27- Wang, H., Liu, F., Andersen, M. N. and Jensen, C. R., 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Irrigation Science*, 27(6), pp. 443-448.

28- Wang, Y., Liu, F. and Jensen, R., 2011. Comparative effects of deficit irrigation and alternate partial root-zone irrigation on xylem PH, ABA and ionic concentrations in tomatoes. *Journal of Experimental Botany*, 63(5), pp. 1907–1917.

29- Yazdani, D., Jmashidi, A. M. and Mojab, F., 2002, Comparison on menthol content of cultivated Peppermint at different regions of Iran, *Journal of Medicinal Plants*, 3(3), pp. 73-77. (In Persian).

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE) **Vol. 41, No. 4, Winter 2019, p. 107-118**

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Different İrrigation Regimes on Quantitative and Qualititative Characteristics of Peppermint Medicinal Plant

A. Akbarzadeh[1], A. Shahnazari[2*], M.Kh. Ziatabar Ahmadi[3] and M. Akbarzadeh[4]

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University.

2*- Corresponding Author, Associate Professor, Water engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University *(aliponh@yahoo.com).*

3- Professor, Water engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University.

4- Instructor, Agriculture Science and Natural Resources Research Center of Mazandaran.

Received: 24 February 2017 Revised:12 April 2017 Accepted: 23 April 2017

Keywords: Drought stress, Irrigation management, Field capacity, Harvest index, Essential oil yield.

Introduction

Regulated Deficit Irrigation (RDI) is the strategy of reducing irrigation rates, during a specific period of growth and development, with the objective of conserving water and managing plant growth while maintaining or improving yield and quality. Partial root zone drying (PRD) is a possible irrigation technique that deliberately exposes the plant to water deficits to induce physiological responses that can improve the efficiency of water use. It involves irrigating only one part of the root zone in each irrigation event, leaving another part to dry to certain soil water content before rewetting by shifting irrigation to the dry side.

Various plants are different in economic efficiency of irrigation water used. Medicinal plants, as a collection of plants with high economic value, can produce more capital than other plants in terms of water scarcity. The objective of this study was to determine the response of peppermint yield components, oil yield, and water use efficiency to regulated deficit irrigation and partial root-zone drying in field condition.

Methodology

The field experiments were carried out with two harvest in 2013 at the research farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. The experimental design was a randomized complete block with four replications and eight irrigation treatment. Irrigation treatments were consisted of full irrigation (FI) that received 100% of evaporation demand; regulated deficit irrigation (RDI) treatments including RDI85, RDI70, RDI55 and RDI40 receiving 85, 70, 55 and 40% of FI treatments at each irrigation event, respectively; Partial root zone drying (PRD) techniques including PRD70, PRD55 and PRD40 receiving 70, 55 and 40% of FI treatments in one side of root zone at each irrigation event, respectively.

Plants were harvested in mid-flowering stage. Plants were weighed for fresh herbage yield and then air dried in shade for one week and then were weighed for biological yield. Flowers and aerial parts essential oil contents were determined using a Clevenger apparatus. Air-dried flowers and leaves were finely ground and eighty grams subjected to 500 ml water distillation and run for 3 hours using Clevenger apparatus. The essential oil content and percentage of essential oil was calculated in 80 grams of dried content. Data were subjected to analysis of variance using SPSS statistical package (version 21). Each treatment measured parameters means were compared using Duncan multiple range test ($p < 0.01$).

Results and Discussion

Irrigation treatments had a significant effect on fresh herbage yield and biological yield. Fresh herbage yield increased by increasing the depth of applied water. Maximum fresh herbage yield was corresponded to FI treatment (9427 kg.ha-1) whereas the lowest one was observed in RDI40 treatment (5729 kg.ha-1). Biological yield significantly decreased by implementing deficit irrigation practices. Similar to the results of fresh herbage yield, the highest biological yield achieved in FI treatment (1942 kg.ha-1) and the lowest one observed in RDI40 treatment (1288 kg.ha-1). There was no significant difference in leaves weight and stem and wooden parts weight between treatments. Wet harvest index shows upward trend in both PRD and RDI treatment but there was no significant difference between treatments.

The highest essential oil ratio achieved in PRD55 and PRD70 at rate of 2.45% and 2.38%, respectively. There was no significant difference between FI and RDI treatments. the highest oil yield achieved in PRD70 treatment (23.67 kg.ha-1) and lowest one obtained in RDI40 treatment (11 kg.ha-1). Despite decreasing irrigation regimes, there was no significant difference between RDI and FI treatments. In RDI treatments, both essential oil yield and oil ratio indicated upward trend to RDI70 treatment and after that, it decreased with applying more water deficit level. Applying PRD70 and PRD55 significantly increased oil yield. PRD treatments outperformed RDI treatments in term of oil yield and also it was more than full irrigation treatment. Wet harvest index based on oil yield increased significantly by adjusting water deficit. Highest oil harvest index achieved at PRD55 treatment; 0.0032. The lowest wet harvest index based on oil yield obtained in FI treatment; 0.0015. Also there was no significant difference between RDI treatments. Wet harvest index decreased by applying 40% water deficit in both RDI and PRD treatment.

There was no difference between plant yield components in second harvest. But there was significant difference between essential oil yield components that highest oil yield achieved in PRD55.

Conclusions

Irrigated agriculture as the major user of fresh water will likely experience greater pressure for improved water use efficiency. Deficit irrigation will be an important management technique to cope with the water scarcity. According to the result of present study, deficit irrigation strategies are valuable tool for improving water use efficiency in peppermint herb, achieving 45% water savings and maintaining sustainable production level. Partial root zone drying in peppermint clearly decreased plant biomass yield, however, oil yields increased across applied drought stresses. Lower peppermint biomass yield with higher oil yields would mean lower transportation costs and lower distillation costs. In a situation which producing peppermint leaves is concerned, according to the results and insignificant changes in leaves weight, PRD40 treatment would be suggested. It is possible to achieve about 60% of water saving and also reasonable yield compared to the full irrigation. According to the results and since the major goal of peppermint production is gaining its oil, it would be highly recommended to apply partial root zone technique with 70% or 55% of field capacity.