نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 387-377
شاپا: 4730 - 2008

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, P. 377-387
ISSN: 2008 - 4730

تأثیرکاربرد سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و ارتباط آن با عملکرد دانه و اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

علیرضا پیرزاد[1*] - رضا درویش زاده[2*] - عباس حسنی[3]

تاریخ دریافت: 1392/08/01
تاریخ پذیرش: 1394/03/12

چکیده

این آزمایش برای ارزیابی تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد زیره سبز به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال 1389 اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A) و سطوح مختلف سوپرجاذب (صفر، 60، 120، 180، 240 و 300 کیلوگرم در هکتار) بودند. بالاترین میزان کلروفیل *a* (0/266میلی‌گرم در لیتر) و کلروفیل کل (0/518میلی‌گرم در لیتر) در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و بدون کاربرد پلیمر به‌دست آمد. بالاترین (0/259میلی‌گرم در لیتر) و پایین‌ترین (0/028میلی‌گرم در لیتر) میزان کلروفیل *b* در تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر و به‌ترتیب با کاربرد 60 و 240 کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب مشاهده شد. بالاترین عملکرد دانه (1226کیلوگرم در هکتار) و اسانس (36/5کیلوگرم در هکتار) مربوط به آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک و 60 کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. با افزایش فاصله آبیاری به 100، 150 و 200 میلی متر تبخیر، برای تولید حداکثر عملکرد، به‌ترتیب به 120، 180 و 120 کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب نیاز بود. درصد اسانس زیره با افزایش فاصله آبیاری تا 150 میلی‌متر تبخیر به‌تدریج و به‌صورت معنی دار افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر فاصله آبیاری روند کاهشی داشت. مشابه عملکرد دانه، کمترین عملکرد اسانس (0/9کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر و 120کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، یعنی کمتر از عملکرد تولید شده تحت شرایط آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر بود. در نهایت، مقدار مناسب پلیمر سوپرجاذب برای سطوح مختلف آبیاری متفاوت بود، یعنی برای شاهد، و تنش‌های ملایم و متوسط کمتر از 120 کیلوگرم، و برای تنش شدید 300 کیلوگرم در هر هکتار مناسب برای تولید اسانس در زیره سبز توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پلیمر، تشتک تبخیر کلاس A، زیره سبز، کلروفیل، کلونجر

مقدمه

خواص درمانی میوه زیره سبز در اکثر فارماکوپه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. اسانس میوه این گیاه خاصیت ضدباکتریایی دارد. از این اسانس درصنایع آرایشی و بهداشتی و صنایع غذایی استفاده می‌شود (20). زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. و از تیره چتریان، گیاهی است علفی و یکساله و منشاء آن مناطق شرقی مدیترانه و ایران گزارش شده است. این گیاه یکی از مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین گیاهان دارویی است که می‌تواند در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در شرایط کمبود آب و حاصلخیزی کم خاک، حایز اهمیت فراوانی باشد (17 و 20). عوامل محیطی محل رویش گیاهان دارویی بر مقدار کل ماده مؤثره و عناصر تشکیل دهنده آن و تولید وزن خشک گیاه تأثیر می‌گذارد. آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و نمو، و مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (19). تنش کمبود آب فرآیندهای گیاهی را مختل کرده و با افزایش شدت تنش، این اثرات تشدید شده و برخی دیگر از فرآیندها هم تحت تأثیر قرار می‌گیرند (13).

یکی از روشهای افزایش بهره وری آب اتخاذ سیاستهای کم‌آبیاری است. در کم‌آبیاری گیاه با هدف مشخص تحت تنش قرار می‌گیرد. برای کم آبیاری باید گیاهانی انتخاب شوند که دارای فصل رویشی کوتاه و متحمل به خشکی باشند. یکی از گیاهانی که اغلب این شرایط را داراست و با توجه به قیمت بالایی که دارد می‌تواند با مصرف مقادیر

1و3- دانشیاران گروه گیاهان دارویی و صنعتی، پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه
2- دانشیار گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه
(* -نویسنده مسئول: (Email: a.pirzad@urmia.ac.ir

کم آب، ارزش اقتصادی بالایی را تولید نماید، زیره سبز می‌باشد. درباره رژیم آبیاری زیره سبز اطلاع دقیقی در دست نیست و کشاورزان تنها بر اساس دانش و تجربه بومی خود اقدام به این زراعت می کنند. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی رژیم آبیاری زیره سبز نیز متفاوت است (16 و 23). در تحقیقی سه ساله در شرایط آب و هوایی مشهد مشاهده شد که اثر آبیاری در افزایش عملکرد زیره سبز در سال‌هایی که بارندگی سالیانه به بیش از 250 میلی‌متر می‌رسد، نه تنها معنی‌دار نیست بلکه موجب کاهش محصول نیز می‌شود. انجام یک آبیاری زمانی مفید است که مجموع بارندگیهای دوره 120 روزه رشد گیاه کمتر از 150 میلی‌متر بوده و به اصطلاح بهار خشک باشد (25). در یک مطالعه دیگر با دو مرتبه آبیاری عملکرد بیشتری در زیره سبز نسبت به یک و چهار بار آبیاری به‌دست آمد (16).

اهمیت استفاده از گیاهان دارویی، وجود ماده موثره در آن‌ها است. بنابراین، کیفیت در گیاهان دارویی نسبت به گیاهان زراعی از اهمیت بیشتری برخوردار است. از جمله عواملی که بر میزان جذب عناصر غذایی و مقدار اسانس تأثیر می‌گذارد، تنش خشکی است. با وجود درصد اسانس بالا در تامین آب قابل دسترس کمتر (2 بار آبیاری)، کاهش معنی دار ترکیبات تشکیل دهنده اسانس در مقادیر تنش متوسط (3 بار آبیاری) گزارش گردید، ولی مقادیر این ترکیبات در شرایط تامین آب زیاد (4 بار آبیاری) به شدت کاهش یافت. تنش خشکی می تواند با تغییر اختلاف پتانسیل و تأثیر بر قدرت جذب آب و املاح توسط ریشه‌ها، باعث تغییر میزان جذب عناصر توسط گیاه گردد. بنابراین کنترل میزان آب موجود در سطح ریشه‌ها می‌تواند به افزایش کیفیت در گیاهان دارویی کمک کند (2).

پلیمرهای سوپرجاذب قادر به ذخیره آب به میزان 200 تا 500 میلی‌لیتر در هرگرم وزن خشک پلیمر هستند (6). این مواد با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و با کنترل آب ذخیره‌ای قابل دسترس گیاه در شرایط محیطی خشک، رشد و استقرار گیاهچه را بهبود می‌بخشند (3). در کشاورزی از پلیمرهای سوپرجاذب به عنوان یک ماده افزودنی به خاک، به عنوان مخزن عناصر غذایی و نیز به عنوان ابر جاذب آب در خاک استفاده می‌شود. خواص این مواد وابسته به عوامل زیادی از جمله خصوصیات ترکیبی و شیمیایی آنها، بافت خاک، گونه گیاهی و نیز فاکتورهای محیطی، می‌باشد. پلیمرهای سوپرجاذب از نوع پلی‌اکریل آمید جزو این دسته مواد بوده که به عنوان جاذب آب در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند و این خصوصیت برای مقابله با شرایط کم آبی و کاهش اثرات سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی اهمیت به سزایی دارد (7). پلیمرهای سوپرجاذب بر میزان نفوذ آب در خاک، وزن مخصوص ظاهری و ساختمان خاک (15) و نیز میزان تبخیر از سطح خاک (28) تأثیر می‌گذارند. تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب در مقادیر 0/05، 0/1، 0/2 و 0/3 درصد وزنی در مقایسه با شاهد، روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل ظرفیت نگهداری آب، تخلخل و ضریب آب گذری بررسی شد و نتایج حاصله نشان داد که 0/3 درصد وزنی پلیمر بیشترین تأثیر را روی افزایش تخلخل کل خاک داشت (11). با تجزیه پلیمرهای سوپرجاذب در خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک تا 12 درصد افزایش می‌یابد (4). یکی از راه‌های افزایش قابلیت ثبات خاکدانه‌ها و جلوگیری از تشکیل سله، ممانعت از ایجاد رواناب در مزرعه و کاهش فرسایش خاک، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب در خاک می‌باشد (5). کاربرد پلیمر سوپرجاذب در آبیاری شیاری، میزان فرسایش فاروها را تا 99 درصد کاهش می‌دهد (27). در برخی شرایط پلیمرهای سوپرجاذب به‌عنوان عامل آزادکننده کود در ماتریکس خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (18). بدین صورت که این پلیمر عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را جذب نموده و به مرور آن‌ها را آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌دهد و مانع از آبشویی این عناصر می‌گردد. در یک مطالعه آب حاصل از آبشویی خاک حاوی پلیمر سوپرجاذب مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که این آب از EC پائینی برخوردار است (29) و علت آن را جذب و نگهداری کودها و نمک‌های اضافه شده به ماتریکس خاک توسط پلیمر سوپرجاذب ذکر کردند (1). با افزایش مقادیر سوپرجاذب عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف در شاخه فرعی، تعداد غلاف درساقه اصلی، تعداد شاخه در بوته، ارتفاع بوته و درصد پروتئین دانه سویا روند افزایشی داشت که این افزایش در شرایط آبیاری معمول و یا تحت شرایط تنش خشکی قابل ملاحظه بود (30).

با توجه به این‌که کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران می‌باشد، و از طرف دیگر پلیمرهای سوپرجاذب به عنوان ذخیره کننده‌های رطوبت در تعدیل اثرات کمبود آب موثرند. بنابراین بدست آوردن سطوح اقتصادی کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب، برای به‌دست آوردن غلظت مناسب از رنگیزه های فتوسنزی از اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق مزرعه ای برای بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب در کاهش اثرات تنش کمبود آب (رژیم‌های مختلف آبیاری) به صورت فاکتوریل و برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در 3 تکرار انجام گرفت. تحقیق در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در 11 کیلومتری شمال غرب ارومیه، به طول جغرافیایی ' 5 و °45 شرقی و عرض جغرافیایی ' 32 و °37 شمالی و با ارتفاع 1320 متر از سطح دریا در سال 1389 انجام گرفت. به استناد آمار 36 ساله، میانگین بارندگی سالیانه برابر با 335 میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه برابر با 11 درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول 1- نتایج آزمایش تجزیهٔ خاک

Table 1- Results of soil analysis

عمق نمونه-برداری خاک	درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه‌ای	شن	رس	سیلت	نیتروژن کل	کربن آلی	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی
Soil Depth	Field Capacity	Sand	Clay	Loam	N	OC	Available K	Available P	pH	EC
(cm)				%			(mg kg^{-1})			(dS. m^{-1})
0-30	22.5	40	32	28	0.20	0.88	449	21	7.6	0.455

به منظور بررسی وضعیت خاک مزرعه، 4 نمونهٔ مرکب از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر، حاصل از 40 نمونهٔ ساده جهت انجام تجزیه‌های مربوطه آماده گردید. نتایج حاصل از تجزیهٔ خاک در جدول 1 ارایه شده است. فاکتورهای آزمایش، رژیم‌های آبیاری در 4 سطح (آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌مترتبخیر از تشتک تبخیرکلاس A) و سطوح مختلف سوپرجاذب (صفر، 60، 120، 180، 240 و 300 کیلوگرم در هکتار) اعمال شدند. در هر واحد آزمایشی (عرض 2 متر و طول 3 متر) پس از رسیدن تبخیر تجمعی به سطح مورد نظر آبیاری انجام شد و میزان آب خاک به ظرفیت زراعی رسانده شد. کاشت بذرها در 15 فروردین ماه و برداشت بذور پس از رسیدگی کامل در اول شهریور همان سال انجام شد. میزان آب آبیاری برای تیمارهای 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر به ترتیب 923، 450، 311 و 171 مترمکعب در هر هکتار بود. برای پرهیز از برخورد بارندگی احتمالی، سایبان‌های پلاستیکی به اندازه واحدهای آزمایشی ساخته شده بود، ولی در سال مورد آزمایش بارندگی موثر در طول دوره اعمال تنش اتفاق نیفتاد.

بذرهای زیره سبز در ردیف هایی به فاصله 30 سانتی متر از هم کاشته شدند، فاصله دو بوته از هم در روی ردیف 10 سانتی متر بود. ویژگی‌های فیزیولوژیک موثر در فتوسنتز یعنی میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* وکلروفیل کل برگ در مرحله شروع پر شدن دانه (پس از پایان گلدهی) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

میزان کلروفیل برگی (کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر[1] به روش‌های قرائت میزان جذب در طول موج‌های 645 و 663 نانومتر اندازه گیری شدند (12، 14 و 21).

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه زیره سبز، 2 مترمربع از سطح هر کرت با حذف اثر حاشیه، به طور کامل برداشت شد و بلافاصله در سایه و در دمای 25 درجه سانتی‌گراد خشک شده، میانگین عملکرد دانه در هر هکتار بر اساس ماده خشک محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، هر کدام از نمونه‌ها در دمای 72 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت نمونه نگهداری شدند.

دانه‌های زیره پس از جمع آوری پودر گردید، و 25 گرم از پودر حاصل در یک بالن یک لیتری با آب مخلوط و در دستگاه کلونجر[1] به مدت 3 ساعت در حالت جوش قرار داده شد تا اسانس آن به‌روش تقطیر با آب از دانه جدا گردد (9). درصد اسانس به روش وزنی-وزنی اندازه‌گیری شد. عملکرد اسانس از حاصلضرب درصد وزنی-وزنی اسانس در عملکرد دانه در واحد سطح به‌دست آمد. تجزیه‌های آماری بر اساس مدل آماری طرح‌های مورد استفاده توسط نرم افزارهای MSTATC و SAS انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون SNK در سطح احتمال 5 درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرمتقابل بین پلیمر سوپرجاذب و آبیاری بر روی میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل برگ زیره سبز در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بالاترین میزان کلروفیل *a* برگ زیره سبز (0/266 میلی‌گرم در لیتر) در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و بدون کاربرد پلیمر سوپرجاذب به‌دست آمد. کمترین میزان کلروفیل *a* برگ (0/057 میلی‌گرم در لیتر) مربوط به تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با اضافه کردن 120 کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار بود. در شرایط بدون پلیمر با افزایش فواصل آبیاری از 50 تا 200 میلی‌متر تبخیر کلروفیل *a* کاهش نشان داد. در شرایط کاربرد 60 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *a* در کمترین حد ممکن در تیمارهای آبیاری پس از 50 و 100 میلی‌متر تبخیر قرار داشت، ولی با افزایش فاصله آبیاری تا 200 میلی‌متر تبخیر کلروفیل *a* برگ با یک افزایش شدید مواجه شد. در شرایط کاربرد 120 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *a* در تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر حداکثر بود. ولی با کاربرد 180 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *a* در تیمارهای آبیاری پس از 100 و 150 میلی‌متر تبخیر بالاترین غلظت را به خود اختصاص داد. با اضافه کردن 240 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *a* با افزایش

1- Clevenger

تنش کمبود آب در تیمارهای آبیاری پس از 50 تا 200 میلی‌متر تبخیر یک روند افزایشی داشت. در حالی‌که این روند با کاربرد 300 کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار تغییر کرد و در شدیدترین تنش یعنی تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر کاهش یافت (شکل 1).

بالاترین میزان کلروفیل *b* برگ زیره سبز (0/2588 میلی‌گرم در لیتر) در تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و با 60 کیلوگرم درهکتار سوپرجاذب به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با میزان کلروفیل *b* حاصل از تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر نداشت. کمترین میزان کلروفیل *b* برگ (0/0278 میلی‌گرم در لیتر) مربوط به تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با اضافه کردن 240 کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار بود که ازنظر آماری با میزان کلروفیل *b* حاصل از تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر و 60 کیلوگرم در هکتار پلیمر تفاوت معنی‌دار نشان نداد. در شرایط آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر، افزودن پلیمر سوپرجاذب کاهش شدیدی را در میزان کلروفیل *b* نشان داد. بدون کاربرد پلیمر، با افزایش شدت تنش کمبود آب شدید یعنی از تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر به بعد کلروفیل *b* کاهش یافت. ولی با کاربرد 60 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، از تیمار آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و تنش شدیدتر از آن شروع به افزایش یافت. در شرایط کاربرد 120 و 240 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *b* در تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر حداکثر بود ولی با کاربرد 180 و 300 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل *b* در تیمار آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر، بالاترین غلظت را به خود اختصاص دادند (شکل 2).

بالاترین میزان کلروفیل کل برگ زیره سبز (0/5184 میلی‌گرم در لیتر) در تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و بدون سوپرجاذب به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با میزان کلروفیل کل حاصل از تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر و کاربرد 60 کیلوگرم پلیمر نداشت. کمترین میزان کلروفیل کل برگ (0/0872 میلی‌گرم در لیتر) مربوط به تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با اضافه کردن 60 کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار بود. در شرایط آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر، افزودن پلیمر سوپرجاذب کاهش شدیدی را در میزان کلروفیل کل نشان داد. بدون کاربرد پلیمر، با افزایش شدت تنش کمبود آب شدید یعنی از تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر به بعد کلروفیل کل کاهش یافت، هرچند در شدیدترین تنش (آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) با اندکی افزایش مواجه شد. ولی با کاربرد 60 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، از تیمار آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و تنش شدیدتر از آن شروع به افزایش یافت. در شرایط کاربرد 120 و 240 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل کل در تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر حداکثر بود. ولی با کاربرد 180 و 300 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار، کلروفیل کل در تیمار آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر بالاترین غلظت را به خود اختصاص دادند (شکل 3).

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول 3) نشان داد که اثر متقابل بین سوپرجاذب و آبیاری روی عملکرد دانه، درصد اسانس و عملکرد اسانس در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد. این نتیجه بیانگر پاسخ متفاوت زیره سبز از نظر عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس به سطوح آبیاری در شرایط افزودن مقادیر متفاوت از سوپرجاذب می‌باشد.

بالاترین عملکرد دانه (1226 کیلوگرم در هکتار) مربوط به آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد 60 کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود، که افزایش چشمگیری نسبت به عملکرد دانه حاصل از همین سطح آبیاری بدون کاربرد سوپرجاذب نشان داد.

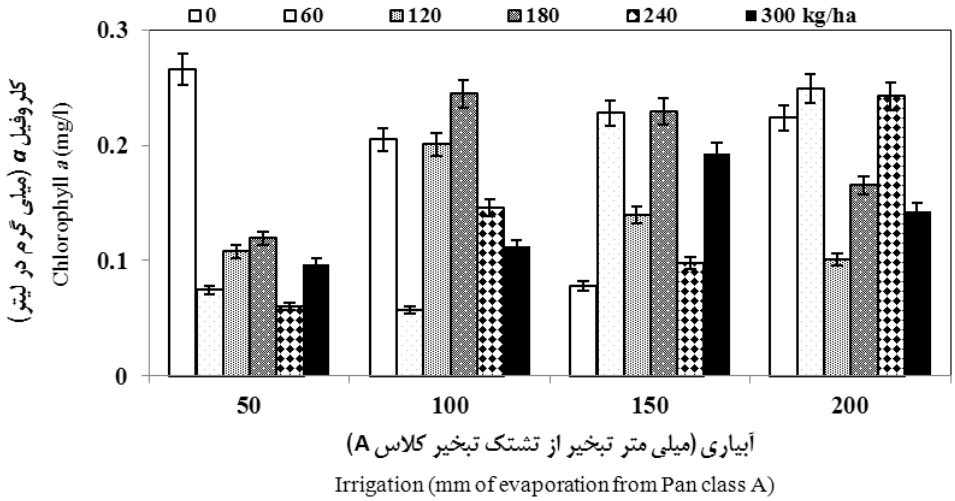
جدول 2- تجزیه‌واریانس اثر آبیاری و سوپرجاذب بر میزان کلروفیل *a*، *b* وکلروفیل کل در برگ زیره‌سبز

Table 2- Analysis of variance effect of irrigation and super absorbent on leaf chlorophyll *a*, *b* and total chlorophyll in cumin

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		
		کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کلروفیل کل Total Chlorophyll
بلوک (R) Block	2	0.00344^{ns}	0.00052^{ns}	0.00591^{ns}
سوپرجاذب (A) Super absorbent	5	0.00876**	0.01139**	0.02932**
آبیاری (B) Irrigation	3	0.01356**	0.00213^{ns}	0.01975*
A×B	15	0.01532**	0.01419**	0.05285**
اشتباه آزمایشی Error	46	0.002356	0.001556	0.004949
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation		30.84	32.77	25.34

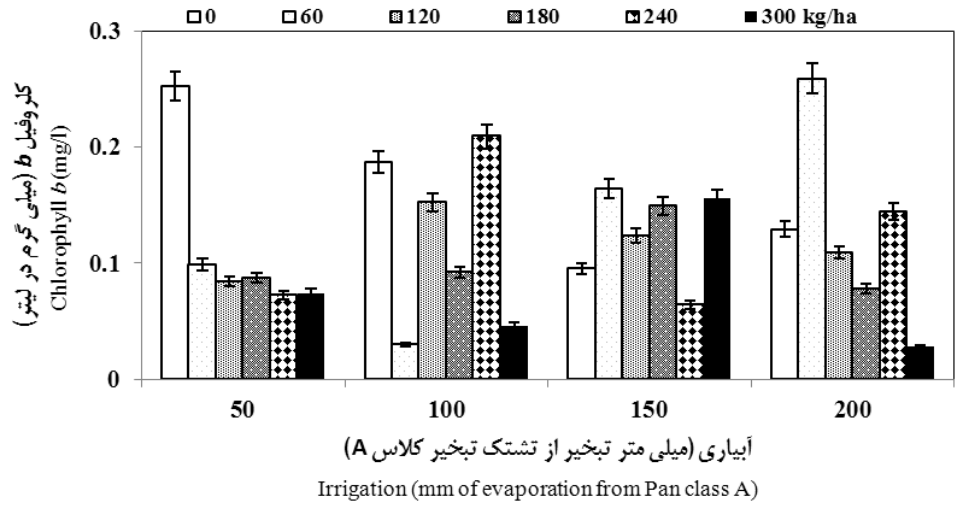
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1 %.



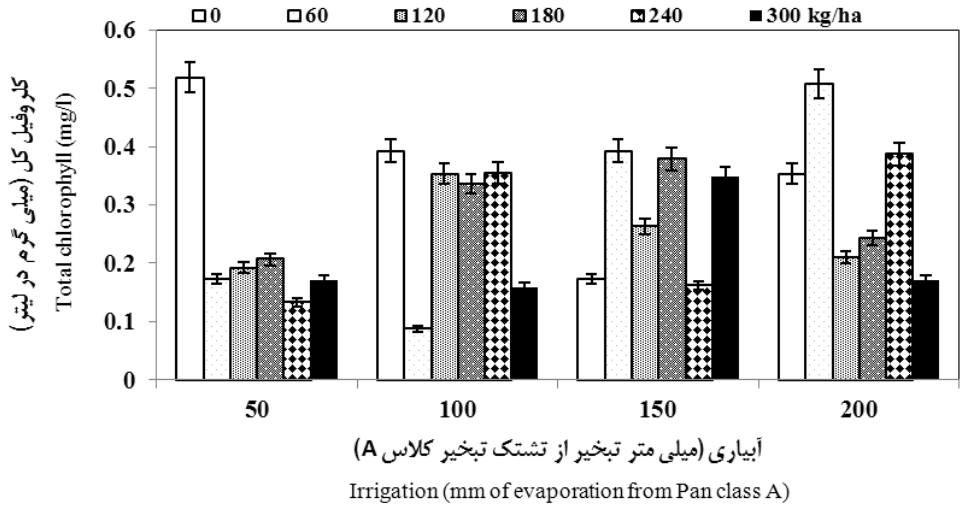
شکل 1- مقایسه میانگین‌های کلروفیل *a* برگ زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری. تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه‌گیری میانگین‌ها را نشان می‌دهند.

Figure 1- Means comparison of cumin leaf chlorophyll *a* affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.



شکل 2- مقایسه میانگین‌های کلروفیل *b* برگ زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری. تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه‌گیری میانگین‌ها را نشان می‌دهند.

Figure 2- Means comparison of cumin leaf chlorophyll *b* affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.



شکل 3- مقایسه میانگین‌های کلروفیل کل برگ زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری. تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه‌گیری میانگین-ها را نشان می‌دهند.

Figure 3- Means comparison of total chlorophyll in cumin leaves affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.

جدول 3- تجزیه واریانس اثر آبیاری و سوپرجاذب بر عملکرد دانه و اسانس زیره سبز

Table 2- Analysis of variance effect of irrigation and super absorbent on the yield of seed and essential oil in cumin

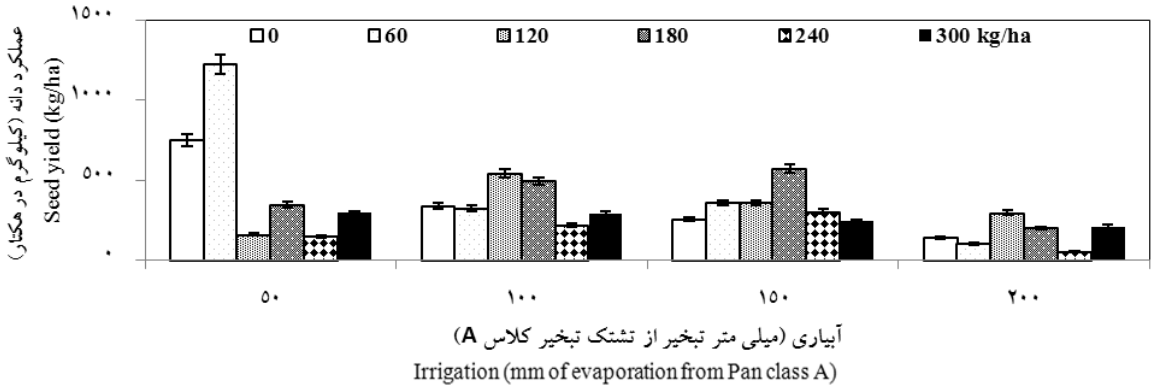
منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		
		عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
(R) Block بلوک	2	2465.95^{ns}	0.1059^{ns}	20.65^{ns}
(A) Super absorbent سوپرجاذب	5	1359398.53**	2.4774**	1709.43**
(B) Irrigation آبیاری	3	2826987.61**	33.6500**	6235.69**
A×B	15	1486718.17**	5.7046**	2521.38**
Error اشتباه آزمایشی	46	10624.94	0.0437	20.14
Coefficient of variation ضریب تغییرات (%)		10.01	6.92	13.21

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1 %.

با این حال افزایش بیشتر از این مقدار پلیمر عملکرد دانه را به پایین تر از تیمار شاهد (عدم مصرف پلیمر سوپرجاذب) کاهش داد.

به نظر می‌رسد، مقادیر خیلی زیاد پلیمر (بیش از 120 کیلوگرم در هکتار برای آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، 240 کیلوگرم در هکتار برای آبیاری پس از 100 و 150 میلی‌متر، و بیش از 180 کیلوگرم در هکتار برای آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر) با جذب و نگهداری آب یک رقیب برای ریشه گیاه در جذب آب محسوب می‌شوند. چرا که منجر به کاهش عملکرد در همان سطح آبیاری بدون کاربرد پلیمر شده است. در شرایط آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A برای تولید حداکثر عملکرد دانه، نیاز به افزودن 120 کیلوگرم پلیمر در هر هکتار می‌باشد. با این‌که 180 کیلوگرم پلیمر در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه با کاربرد 120 کیلوگرم نداشت، ولی مقادیر بالاتر از آن باعث کاهش معنی‌دار و شدید در عملکرد دانه شدند. با افزایش شدت تنش کمبود آب (آبیاری پس از 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک)، به-ترتیب به 180 و 120 کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب نیاز هست تا حداکثر عملکرد دانه تولید شود.



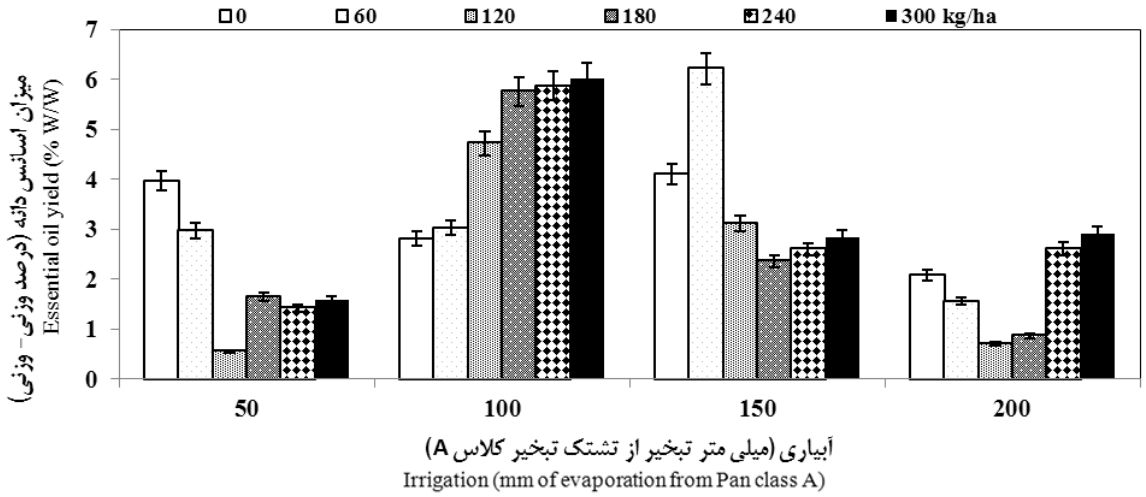
شکل 4- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری. تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه گیری میانگین ها را نشان می دهند.

Figure 4- Means comparison of seed yield in cumin plants affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.

مقادیر کمتر و بیشتر از این مقدار، عملکرد دانه را کاهش داده است. هرچند سطح کلی عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر بسیار پایین بود، ولی در تامین آب کافی (آبیاری پس از 50 و 100 میلی‌متر تبخیر) با کاربرد مقادیری از سوپرجاذب عملکرد به کمتر از شرایط تنش شدید خشکی (آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر) می‌رسد. با این توضیحات، کمترین عملکرد دانه (55 کیلوگرم در هکتار) مربوط به آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد 240 کیلوگرم سوپرجاذب در هر هکتار بود (شکل 4).

درصد اسانس زیره با افزایش فاصله آبیاری از 50 تا 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به تدریج و به صورت معنی‌دار افزایش یافت ولی با افزایش شدت تنش (آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر) روند کاهشی نشان داد. به‌طوری که بالاترین درصد اسانس (6/22 درصد) از تیمار آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد 60 کیلوگرم سوپرجاذب به‌دست آمد. البته این مقدار درصد اسانس تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر و کاربرد مقادیر سوپرجاذب بیش از 180 کیلوگرم در هر هکتار نداشت. کمترین درصد اسانس (0/56 درصد) متعلق به تیمارهای آبیاری پس از 50 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک و مصرف 120 کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار بود. در تامین نامحدود آب برای زیره (آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر)، بیشترین درصد اسانس از تیمار شاهد (بدون پلیمر) به‌دست آمد که با اضافه کردن هر مقدار از پلیمر درصد اسانس کاهش یافت. هرچند مقادیر بالاتر سوپرجاذب افت بیشتری را از نظر درصد اسانس زیره نشان دادند. در تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر، با افزایش کاربرد پلیمر تا 180 کیلوگرم در هکتار درصد اسانس روند صعودی داشت، ولی در مقادیر بالاتر از آن، درصد اسانس تغییر معنی-داری نداشت. با شدیدتر شدن تنش (آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک)، افزودن سوپرجاذب تا 60 کیلوگرم در هکتار موجب بالا رفتن درصد اسانس شد، هرچند مقادیر بالار از آن درصد اسانس را به‌شدت کاهش داد. با وجود سطح پایین درصد اسانس در تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر، کاربرد مقادیر بالاتری از پلیمر سوپرجاذب (240 و 300 کیلوگرم در هکتار) درصد اسانس را تا حدودی افزایش داد (شکل 5).

عملکرد اسانس دانه زیره سبز برآیند عملکرد دانه (شکل 4) و درصد اسانس (شکل 5) می‌باشد. روند تغییرات عملکرد اسانس (شکل 6) هم نشان دهنده این تاثیر می‌باشد، هرچند عملکرد دانه بیشتر از درصد اسانس تاثیر می‌پذیرد. بنابراین بیشترین عملکرد اسانس (36/5 کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر و کاربرد 60 کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون سوپرجاذب) در این سطح آبیاری افزایش معنی‌داری داشت. ولی مقادیر بالاتر پلیمر کاهش بسیار زیادی را در تولید اسانس به همراه داشت، طوری‌که کمترین عملکرد اسانس (0/9 کیلوگرم در هکتار) مربوط به گیاهانی بود که با مصرف 120 کیلوگرم پلیمر، پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک آبیاری شدند.



شکل 5- مقایسه میانگین‌های درصد وزنی–وزنی اسانس دانه زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری.
تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه‌گیری میانگین‌ها را نشان می‌دهند.

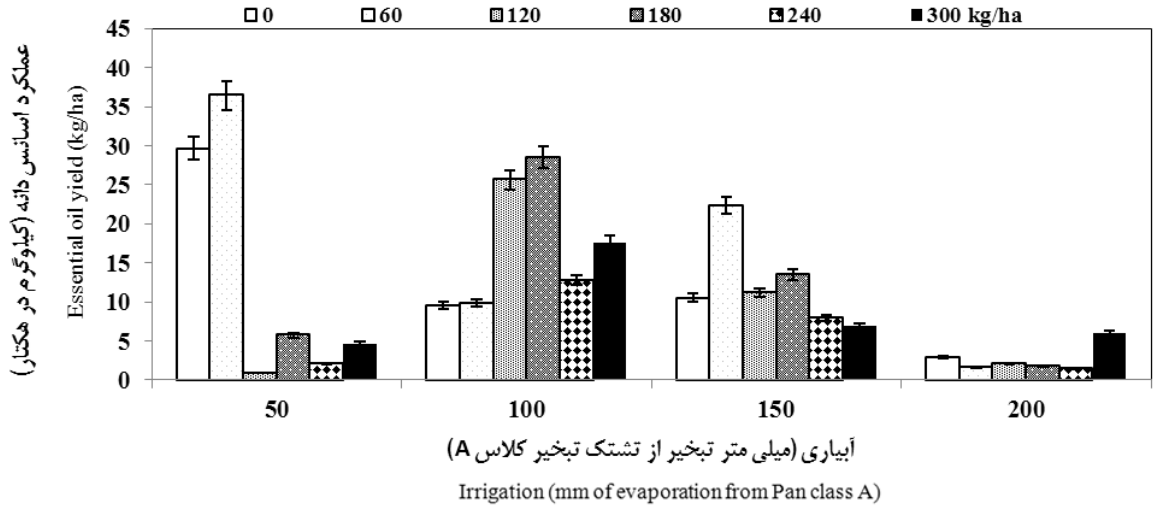
Figure 5- Means comparison of essential oil percent (W/W) in cumin plants affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.

این کاهش بسیار بیشتر از عملکرد اسانس تولید شده تحت شرایط آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر بود. در تیمار آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر، کاربرد پلیمر سوپرجاذب تا 120 کیلوگرم در هکتار عملکرد اسانس را افزایش داد، اما در مقادیر بالاتر ابتدا این افزایش عملکرد متوقف شد و سپس کاهش یافت. افزایش عملکرد اسانس با مصرف پلیمر سوپرجاذب به خاک تا 60 کیلوگرم در هکتار و کاهش بعدی با مقادیر بالاتر پلیمر در تیمار آبیاری پس از 150میلی-متر تبخیر، تا حدودی مشابه تغییرات عملکرد اسانس در شرایط تامین نامحدود آب بود. در فواصل آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر، عملکرد اسانس بسیار پایین تر از سایر سطوح آبیاری بود. با این حال افزایش عملکرد معنی‌داری در کاربرد 300 کیوگرم سوپرجاذب مشاهده می‌شود (شکل 6).

به‌طورکلی تامین آب در فواصل آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با افزودن مقدار اندکی از سوپرجاذب (60 کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه و اسانس حداکثر را تولید می‌نماید. ولی در صورت عدم دسترسی به آب و افزایش فواصل آبیاری به دو برابر (آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر از تشتک) برای حصول حداکثر عملکرد نیاز به کاربرد 120 کیلوگرم در هکتار پلیمر می‌باشد. باید توجه داشت که این ترکیب تیماری دارای حداکثر میزان اسانس دانه (درصد وزنی-وزنی) می‌باشد. حتی در شرایط بدتر (آبیاری پس از 150 میلی‌متر تبخیر) نیز به‌دلیل افزایش درصد اسانس همزمان با اعمال تنش کمبود آب در این تیمار، عملکرد قابل قبولی با اضافه کردن 60 کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار به‌دست می‌آید. باتوجه به اینکه عملکرد اسانس در شرایط آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر بسیار پایین است، ولی در صورت استفاده از مقادیر بسیار بالاتر سوپرجاذب (300 کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اسانس به بیش از دو برابر شاهد (بدون پلیمر) در این سطح آبیاری افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که در این سطح آبیاری تولید اسانس زیره سبز اقتصادی نباشد و فقط به جهت ملاحظات زیست محیطی و ایجاد پوشش سبز می‌توان در این شرایط اقدام به کشت زیره سبز نمود. اما در رابطه با رنگیزه‌های فتوسنتزی، می‌توان گفت که افزایش فاصله آبیاری بسته به شدت تنش، تولید کلروفیل را با محدودیت مواجه ساخته است. ولی کاربرد سوپرجاذب، هرچند به صورت متفاوت در سطوح مختلف آبیاری، توانسته است بر این محدودیت غلبه کرده و تولید کلروفیل را افزایش دهد.

تنش خشکی تاثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ و در نتیجه عملکرد گیاه دارد (26). در شرایط تنش آب، انتقال الکترون در فتوسیستم II ذرت مختل شده (8) و در این وضعیت، الکترون اضافی خارج شده از آب، باعث تولید اکسیژن فعال و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی به دلیل پراکسید شدن چربی ها، پروتئین ها و کاهش میزان کلروفیل گیاه می‌گردد (22). در چند مرحله اندازه‌گیری شاخص کلروفیل (SPAD) ذرت نشان داده شد که میزان این شاخص با افزایش کاربرد سوپرجاذب تا 70 کیلوگرم در

هکتار رونـد افزایشـی داشـت، و در مقـادیر بـالاتر از آن افـزایش در شاخص کلروفیل در بیشتر مراحل اندازه گیری (مراحل رشد) با سرعت کمتر مشاهده شد و یا ثابت بود.



شکل 6- مقایسه میانگین‌های عملکرد اسانس دانه زیره سبز تحت تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب در رژیم‌های مختلف آبیاری. تیمارهای آبیاری پس از 50، 100، 150 و 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب شرایط بدون تنش، تنش ملایم، متوسط و شدید کمبود آب می‌باشند. اشتباه استانداردها دقت اندازه-گیری میانگین‌ها را نشان می‌دهند.

Figure 6- Means comparison of essential oil yield in cumin plants affected by different super absorbent polymer amounts under irrigation regimes. Irrigation after 50, 100, 150 and 200 mm of evaporation from pan were respectively non-stress, mild, moderate and severe stress conditions. The standard errors show the accuracy in measuring averages.

همچنین بیشترین شاخص کلروفیل در تامین 100 درصد نیاز آبی گیاه در کلیه مراحل نمونه‌برداری (1072 تـا 1678 درجـه-روز رشـد) گزارش گردید (8). این یافته ها به نوعی جبران کاهش عملکرد (دانه و اسانس) در تنش کمبود آب را توسط کاربرد سطوحی از سوپرجاذب را در پژوهش حاضر توجیه مـی‌کنـد. بنـابراین سـوپرجاذب از طریـق افزایش میزان کلروفیل در کلیه سـطوح آبیـاری (هرچنـد بـا مقـادیر متفاوت در هر کدام از سطوح آبیاری) (شکل‌های 1 تا 3) و در نتیجه افزایش سبزمانی برگ‌ها در طی مرحله رشد رویشـی و پرشـدن دانـه (10)، باعث افزایش عملکرد دانه (شکل 4) و بـه دنبـال آن عملکـرد اسانس (شکل 6) گردید.

در یک تحقیق روی بابونه‌آلمانی هم بیشترین عملکرد بیولوژیکی در شرایط تامین نامحدود آب (آبیاری پس از 50 میلی‌متـر تبخیـر از تشتک تبخیر کلاس A) حاصل شد، و بـا افـزایش تـدریجی فاصـله آبیاری از میزان بیوماس تولیدی کاسته شد تا در تیمار آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر به حداقل رسید. با این حال در شرایط کمبود آب، سطوحی از سوپرجاذب توانست عملکرد بیوماس را در این گیاه بهبـود بخشد. هرچند مقادیر سوپرجاذب بـرای جبـران کـاهش عملکـرد در تیمارهای آبیاری یکسان نبود (24). در گیاه بابونه‌آلمانی هـم مشـابه مانند مطالعه حاضر (زیره سبز) سطوحی از سوپرجاذب از طریق بهبود تولید کلروفیل (کلروفیل *a*، *b*، و کلروفیل کل) بخشی از عملکـرد از دست رفته توسط کمبود آب را جبران کرده است.

به طور کلی، اثرمتقابل معنی‌دار بین آبیاری و سوپرجاذب، کاربرد مقدار مشخصی از پلیمر را به عنوان سطح مطلوب برای هـر کـدام از رژیم‌های آبیاری توصیه می‌کند. طوری که این مقدار مطلـوب بـرای عملکرد اسانس (محصول اصلی زیره سبز) متـاثر از مقـادیر مطلـوب سوپرجاذب از نظر کلروفیـل بـرگ، عملکـرد دانـه و درصـد اسـانس می‌باشد. تغییرات اجزای عملکرد اسانس نشان می‌دهـد کـه مصـرف مناسب مقدار پلیمر سوپرجاذب در صورت تامین آب بـه انـدازه تیمـار شاهد (بدون تنش، آبیاری پس از 50 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) 60 کیلوگرم، برای تنش ملایم (آبیاری پس از 100 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) 120 کیلـوگرم، تـنش متوسـط (آبیـاری پـس از 150 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) 60 کیلـوگرم، و بـرای تـنش شـدید (آبیاری پس از 200 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیـر) برابـر بـا 300 کیلوگرم در هر هکتار می‌باشد.

منابع

1- Abraham J., and Rajasekharan Pillai V.N. 1995. N, N-methylene bisacrylamide-crosslinked polyacrylamide for controlled release urea fertilizer formulations. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 26(19-20):3231-3241.
2- Ahmadian A., Ghanbari A., Ghalvi M., Siahsar B., and Arazmjo E. 2010. The effect different irrigation regimes and animal manure on nutrient, essential oil and chemical composition on cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science), 16(4):83-94. (in Persian with English abstract)
3- Akhter S., Mahmood K., Malik K.A., Mardan A., Ahmad M., and Iqbal M.M. 2004. Effect of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant, Soil and Environment, 50:463-469.
4- Al-Harbi A.R., Al-Omran A.M., Shalalay A.A., and Choudhary M.L. 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. HortScience, 34(2):223-224.
5- Ben-Hur M., and Letey J. 1989. Effect of polysaccharides, clay dispersion, and impact energy on water infiltration. Soil Science Society of America Journal, 53:233-238.
6- Bowman D.C., and Evans R.Y. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. HortScience, 26:1063-1065.
7- Chatzopoulos F., Fugit J.F., and Ouillous L. 2000. Étude, en fonction de différents paramètres, de l'absorption et de la désorption d'eau par un copolymère acrylamide–acrylate de sodium reticule. European Polymer Journal, 36(1):51-60.
8- Earl H.J., and Davis R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal, 95:688- 696.
9- Eikani M.H., Golmohammad F., Mirza M., and Rowshanzamir S. 2007. Extraction of volatile oil from cumin (*Cuminum cyminum*) with superheated water. Journal of Food Process Engineering, 30:255-266.
10- Fazeli Rostampour M., Seghatoleslami M.J., and Moosavi G.R. 2010. The study of drought stress effect and superabsorbent on relative water content and leaf chlorophyll index and its relationship with seed yield in corn (*Zea mays* L.). Crop Physiology, 2(1):19-31. (in Persian with English abstract)
11- Ganji Khorramdel N. 1999. The effect of super absorbent polymer PR 3005A on some physical properties of soil. MSc. Dissertation, Tarbiat Modarres University. (in Persian)
12- Gross J. 1991. Pigment in vegetables, Van Nostrand Reinhold, New York.
13- Hashemi-Dezfooli A., Koocheki A. and Banayan-Avval K. 1996. Improving crops yield (Translation). Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Press. (In Persian)
14- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148:350-382.
15- Helalia A., and Letey J. 1988. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator. Soil Science Society of America Journal, 52:247-250.
16- Kafi M., and Keshmiri E. 2011. Study of yield and yield components of iranian land race and indian RZ19 cumin (*cuminum cyminum*) under drought and salinity stress. Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology), 25(3):327-334. (in Persian with English abstract)
17- Kafi M., Rashed Mohassel M.H., Koocheki A., and Molafiayi A. 2002. Cumin, production and processing. Zaban va Adab Publication, Tehran, Iran. (In Persian)
18- Mikkelsen R.L. 1994. Using hydrophilic polymer to control nutrient release. Fertilizer Research, 38:53-59.
19- Omidbaigi R. 1995. Production and processing of medicinal plants. No.1, Astan Quds Razavi Publication. Mashhad, Iran (In Persian).
20- Omidbaigi R. 2011. Production and processing of medicinal plants. No.3, Astan Quds Razavi Publication. Mashhad, Iran. (In Persian)
21- Ovsati Z. 1992. Laboratory techniques in biochemistry. Jihad-e-Daneshgahi Pub., Tehran, Iran. (In Persian)
22- Parry M.A.J., Andraloje P.J., Khan S., Lea P.J., and Keys A.J. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. Annals of Botany, 89:833- 839.
23- Rahimian Mashhadi H. 1992. Effect of planting dates and irrigation regime on Cumin growth and yield. I.R.O.S.T. Khorasan Center, Mashhad, Iran. (in Persian)
24- Razban M., and Pirzad A. 2011. Evaluate the effect of varying amounts of super absorbent under different irrigation regimes on growth and water deficit tolerance of German chamomile (*Matricaria chamomilla*) as a second crop. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 21(4): 124- 137. (in Persian with English abstract)
25- Sadeghi B. 1991. Rates of nitrogen and irrigation on Cumin production. I.R.O.S.T. Khorasan Center, Mashhad, Iran. (in Persian)

26- Schlemmer M.R, Francis D.D., Shanahan J.F., and Schepers J.S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal, 97:106-112.
27- Soyjka R.E., and Lentz R.D. 1997. Reduction furrow irrigation erosion with polyacrylamide. Journal of Production Agriculture, 10:47-52.
28- Teyel M.Y., and EL-Hady O.A. 1981. Super gel as a soil conditioner. Acta Horticulturae, 119:247-250.
29- Wang Y., and Boogher C.A. 1987. Effect of medium-incorporated hydrogel on plant growth and water use of two foliage species. Journal of Environmental Horticulture, 5:125-127.
30- Yazdani F., Alahdadi I., Akbari G., and Behbahani M.R. 2007. Effect of different rates of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on soybean yield and yield components (*Glycine max* L.). Pajouhesh-va-Sazandegi, 75:167-174. (in Persian with English abstract)