مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۴/ شماره ۲/ پیاپی ۳۷/ تابستان ۱۳۹۹ (۷۱-۸۸)

ارزیابی اثر سوپرجاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار در شرایط کم‌آبیاری

ناصر زینی‌وند[۱]، داود خدادادی دهکردی[۲*]، حیدرعلی کشکولی[۳]، علی عصاره[۴] و اصلان اگدرنژاد[۵]

چکیده

برای بررسی تأثیر تنش رطوبتی و سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد محصول خیار رقم سوپر *دامینوس* هیبرید، در خاک شنی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در فصل زراعی (۹۶-۱۳۹۵) و با سه تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی در شهرستان سیمره استان ایلام بررسی و اجراشد. تیمارهای آبیاری در سه سطح (شامل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت‌های اصلی، به‌ترتیب با نشانه‌های I_1، I_2 و I_3 و تیمارهای سوپرجاذب در چهار سطح (۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع) به‌عنوان کرت‌های فرعی، به‌ترتیب با علائم S_0، S_1، S_2 و S_3 در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب در سطح یک درصد بر وزن میوه و عملکرد محصول خیار معنی‌دار شدند. بیشترین و کمترین وزن میوه و عملکرد محصول خیار به‌ترتیب با میانگین‌های ۷۲/۸۶ و ۵۶/۹۰ گرم و ۳/۷ و ۱/۹۷ کیلوگرم در مترمربع مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش شدید خشکی (I_3) بود. نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی، استفاده از سوپرجاذب، باعث افزایش وزن میوه و عملکرد محصول خیار نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب شد. همچنین اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب در سطح یک درصد بر کارایی مصرف آب محصول خیار معنی‌دار شدند. بر اساس نتایج بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب با مقادیر ۸/۱۱ و ۶/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش خشکی شدید (I_3) بود. در پایان نتیجه‌گیری شد که سوپرجاذب قادر است از کاهش معنی‌دار عملکرد محصول خیار در شرایط تنش آبی و بافت سبک شنی جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: پلیمر فراجاذب، تنش آبی، ذخیره‌سازی آب، کم‌آبیاری.

ارجاع: زینی‌وند ن. خدادادی دهکردی د. کشکولی ح. عصاره ع. و اگدرنژاد ا. ۳۹۹. ارزیابی اثر سوپرجاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار در شرایط کم‌آبیاری. مجله پژوهش آب ایران. ۳۷: ۷۱-۸۸.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
۵- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
*** نویسنده مسئول**: **davood_kh70@yahoo.com**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۳۱

مقدمه

کم‌آبیاری یک راهکار بهینه‌سازی عملکرد محصولات در شرایط تنش خشکی است. این تکنیک هر چند که همراه با کاهش محصول در واحد سطح است، فرار از خسارت‌های احتمالی جبران‌ناپذیر می‌باشد و از طرفی، از کم‌آبیاری برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن یا بهبود و تثبیت تولید محصولات یک منطقه استفاده می‌شود (هاشمی‌نیا، ۱۳۸۶). خیار با نام علمی کوکومایس ساتیویوس (*Cucumis sativus*) متعلق به خانواده کدوئیان[1] است. بررسی‌ها نشان می‌دهد عملکرد خیار در شرایط گلخانه‌ای در ایران بین ۱۲۰ تا ۲۹۰ تن در هکتار است. میانگین عملکرد خیار در مزرعه ۲۰ و در گلخانه ۲۵۰ تن در هکتار و آب مصرف شده در زراعت خیار در مزرعه ۱۸۰۰۰ و در گلخانه ۷۵۰۰ مترمکعب در هکتار است. کارایی مصرف آب در زراعت خیار در گلخانه ۳۳ و در مزرعه ۱/۱۱ کیلوگرم در مترمکعب گزارش شده است (افاضاتی و همکاران، ۱۳۹۴). تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه اعم از آناتومی، مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی تأثیرگذار است (خادم و همکاران، ۱۳۹۰). هیدروژل سوپرجاذب پلیمری آب‌دوست با شبکهٔ سه بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را حتی در فشار لایه‌های بالایی خاک دارد (ظهوریان مهر، ۱۳۸۵). سوپرجاذب‌ها توانایی ذخیرهٔ مقادیر متفاوتی آب را در خود دارند و در نتیجه قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب را در خاک افزایش می‌دهند. آب ذخیره شده در این مواد در مواقع کمبود رطوبت خاک، آزاد می‌شود و مورد استفادهٔ ریشه گیاه قرار می‌گیرد (هن و همکاران، ۲۰۱۰). افاضاتی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار، در گلخانه و شرایط کم‌آبیاری را بررسی و گزارش کردند که کم‌آبیاری بر تمام صفت‌ها جز قطر ساقه، تأثیر معنی‌دار دارد. همچنین، اثر سوپرجاذب و اثر متقابل کم‌آبیاری و سوپرجاذب برای همهٔ صفت‌ها، به جز قطر ساقه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد میوه (۳۸۱۸/۱ گرم در هر بوته) به گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل و ۰/۴ درصد سوپرجاذب مربوط بود. بیشترین کارایی مصرف آب (۱۴/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در گیاهان تحت تیمار ۶/۲ میلی‌متر آب آبیاری در شبانه روز و ۰/۴ درصد سوپرجاذب حاصل شد. نجفی علیشاه و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر چهار سطح پلیمر سوپرجاذب آکواسورب[2] (صفر، ۲، ۴ و ۸ گرم در کیلوگرم خاک) و سه دور آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز) بر شاخص‌های رشد، میزان عملکرد و راندمان مصرف آب در گیاه خیار سبز گلخانه‌ای رقم نگار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد و شاخص‌های رشد خیار سبز تحت تأثیر مصرف هیدروژل قرار گرفت و به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین میزان مصرف آب با طولانی‌تر شدن دور آبیاری به‌طور معنی‌داری در تمامی تیمارها کاهش یافت. با مصرف ۲ گرم پلیمر سوپرجاذب در هر کیلوگرم خاک و دور آبیاری شش روز، بیشترین مقدار عملکرد (۱۹۶/۳ گرم در بوته) حاصل شد. هر چند مصرف هیدروژل به‌طور معنی‌داری میزان مصرف آب را افزایش داد، مصرف ۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک موجب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب (۸/۴۸ درصد و ۱۷ گرم خیار سبز تولید شده به ازای هر لیتر آب) شد. رضاوردی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) در یک پژوهش گزارش کردند که کارایی مصرف آب خیار در تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل ۳۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۳۱ درصد کاهش نشان داد. عبدی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی نتیجه گرفتند که کارایی مصرف آب گیاه خیار برای تیمارهای آبیاری ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد تحت روش آبیاری قطره‌ای تیپ، به‌ترتیب ۱۳/۹۶، ۱۲/۲۲ و ۱۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار به ازای هر مترمکعب آب به دست آمد. ملایی و ریاحی (۱۳۸۶) گزارش دادند که حداکثر عملکرد خیار گلخانه‌ای با سیستم آبیاری قطره‌ای، از نوع نوار تیپ سطحی برابر ۱۹۶/۸ تن در هکتار (۱۹/۶۸ کیلوگرم در مترمربع) بود که با احتساب ۲/۷۸ بوته در هر مترمربع، عملکرد هر بوته ۷ کیلوگرم محصول شد. ذونعمت کرمانی و اسدی (۱۳۹۳) گزارش دادند که حداکثر عملکرد خیار گلخانه‌ای ۲۵۳/۴۲ تن در هکتار (۲۵/۳۴۲ کیلوگرم در مترمربع) بوده است. همچنین حداکثر عملکرد خیار گلخانه‌ای در ترکیه ۱۴/۸ کیلوگرم در مترمربع گزارش شده است (آیاس و دمیرتاش، ۲۰۰۹؛ افاضاتی و همکاران، ۱۳۹۴). محبتی و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند سوپرجاذب زئولیت باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود.

1- Cucurbitaceae

2- Aquasorb

احرار و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان داشتند افزودن هیدروژل به بستر کشت خیار سبز به میزان ۱/۵ درصد وزنی باعث افزایش عملکرد میوه خیار می‌شود. افاضاتی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که بیشترین میانگین عملکرد محصول خیار مربوط به سطح کاربرد ۰/۴ درصد سوپرجاذب و با آبیاری کامل بود که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح داشت. کمترین عملکرد محصول نیز مربوط به سطح سوپرجاذب صفر با ارتفاع آب آبیاری برابر ۶/۲ میلی‌متر بود. موسوی‌زاده (۱۳۹۷) و نجفی علیشاه (۱۳۹۰) عنوان کردند که سوپرجاذب منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد خیار نسبت به شاهد شد. تیلور و هالفاکر (۱۹۸۶) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. جانسون (۱۹۸۴) تأثیر کابرد هیدروژل را بر ظرفیت نگهداری خاک شنی بررسی و گزارش کرد که مصرف ۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک منجر به کاهش نیاز آبیاری و افزایش فواصل آبیاری شد. خادم و همکاران (۱۳۹۰) بیان داشتند کاربرد توام کود دامی و سوپرجاذب با بهبود وضعیت رشد، سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۵/۹ درصد نسبت به شاهد شده است. آنان بیان داشتند سوپرجاذب از طریق بهبود و اصلاح وضعیت خاک، سبب رشد بهتر ذرت و افزایش عملکرد دانه شده است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر سوپرجاذب بر عملکرد و نیز تخمین تابع بهینه تولید آب-عملکرد گیاه خیار رقم سوپر *دامینوس* هیبرید تحت شرایط کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعهٔ تحقیقاتی در شهرستان سیمره واقع در استان ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳°۰۹'۲۰ شمالی و طول جغرافیایی ۴۷°۲۴'۰۵ شرقی و نیز با ارتفاع ۹۸۲ متر از سطح دریا اجرا شد. پژوهش حاضر در دو فصل کشت (تابستان ۹۶-۹۵) اجرا شد. شهرستان دره شهر، از یک طرف به رودخانه سیمره و از طرف دیگر به دامنهٔ زاگرس متصل و براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک سرد تا خشک گرم است. متوسط بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌لیتر و دمای هوا از حداقل ۲- درجه سلسیوس تا حداکثر ۴۵+ درجه سلسیوس متغیر است. قبل از انجام نقشهٔ اجرایی طرح، ابتدا تعداد ۱۸ نمونه خاک از ۹ نقطه اصلی واقع در ابتدا، وسط و انتهای زمین از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت و پس از ترکیب کردن نمونه‌ها، نمونه مرکب ایجاد شده برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک به آزمایشگاه فرستاده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق (cm)	بافت خاک	چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)	درصد وزنی رطوبت در PWP	درصد وزنی رطوبت در FC	نفوذپذیری (cm/h)	EC (dS/m)	pH	کربن آلی (%)	پتاسیم قابل جذب (mg/l)	فسفر قابل جذب (mg/l)
۰-۳۰	شنی	۱/۵۵	۱۲	۲۱/۵	۳	۴/۸۹	۷/۸	۰/۹۸	۲۱۳	۱۴/۵۴
۳۰-۶۰	شنی	۱/۷				۵/۲۳	۷/۷	۰/۷۶	۲۰۲	۱۵/۶۸

برای تعیین کیفیت آب آبیاری، از منبع (چاه) آب مزرعه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. آب آبیاری مزرعه از چاه تأمین می‌شد. نتایج تجزیهٔ شیمیایی آب در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- تجزیهٔ کیفی آب آبیاری مزرعه مورد آزمایش

EC (dS/m)	pH	کاتیون (meq/l)				آنیون (meq/l)			
		Ca^{++}	mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	CO_3^{-}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	$SO_4^{=}$
۲/۱	۷/۵	۸/۲۱	۹/۳۵	۸/۸۳	۰/۱۳	۰/۴	۳/۴۳	۱۰/۹۶	۱۱/۷۳

رقم مورد استفاده در این آزمایش از نوع رقم سوپر *دامینوس* هیبرید بود که از شرکت گلپاد (نمایندگی شرکت سیمینیس فرانسه) تهیه شد. سوپرجاذب استفاده شده در این آزمایش، با عنوان هیدروژل سوپر آب آ ۳۰۰[1] بود که از شرکت شیمیایی نوابسپار تهیه شد. این هیدروژل سوپرجاذب تری پلیمری ترکیبی از آکریل آمید، آکریلیک اسید و پتاسیم آکریلات است. آزمایش به‌صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۲ تیمار و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، تیمارهای آبیاری در ۳ سطح (شامل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت‌های اصلی، به‌ترتیب با علائم I_1، I_2 و I_3 و تیمارهای سوپرجاذب در ۴ سطح (۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع) به‌عنوان کرت‌های فرعی، به‌ترتیب با نشانه‌های S_0، S_1، S_2 و S_3 در نظر گرفته شدند. ابعاد هر کرت فرعی ۱/۲ × ۴ متر درنظرگرفته شد. مساحت خالص کل طرح با احتساب ۱۲ تیمار و سه تکرار، ۱۷۳مترمربع بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم با استفاده از گاوآهن ۳ خیش، ۲ بار عمود بر هم به عمق ۳۰ سانتی‌متر و عملیات تکمیلی شامل دیسک، ماله و در نهایت کرت‌بندی انجام شد. بعد از کرت‌بندی، برای هر کرت، ۶ خط کاشت در نظر گرفته و سپس خط کاشت به عمق ۲۰ سانتی‌متر برای کارگذاری سوپرجاذب و کودهای شیمیایی پایه، باز شد. پس از تعیین میزان سوپرجاذب برای هر کرت، عملیات کارگذاری آن برای هر خط کاشت به‌طور یکنواخت انجام شد. همچنین کودهای پایه شامل کود فسفر (منبع سوپر فسفات تریپل)، کود پتاس (سولفات پتاسیم) و کود اوره تعیین و در هر خط کاشت به همراه سوپرجاذب به کار برده شد. سپس یک لایه خاک روی آن‌ها قرار گرفت. کود اوره در دو مرحله که ۵۰ درصد آن به‌صورت پایه و ۵۰ درصد آن در مرحله رویشی (پاشیدن کنار هر بوته) به گیاه داده شد. کود اوره، کود فسفر و پتاس به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار داده شد. کشت بذرهای خیار در نیمهٔ اول مرداد ماه هر سال و به‌صورت دستی انجام گرفت. در هر کپه ۳ عدد بذر به عمق ۴-۳ سانتی‌متری قرار داده شد. فاصله بین خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین بوته‌ها ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد کل بوته‌های کاشته شده در هر کرت ۶۰ بوته بود. عملیات تنک در هر کرت در مرحلهٔ ۳ برگی انجام گرفت. برای برنامه‌ریزی و تعیین دور آبیاری، با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی، از شاخص رطوبت خاک استفاده شد. با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک از طریق نمونه‌برداری تا عمق ریشه گیاه (تا حداکثر ۸۰ سانتی‌متر و حداقل از ۳ کرت) در روزهای قبل از آبیاری اقدام می‌شد و زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز برای خیار می‌رسید، آبیاری بعدی انجام می‌شد. در نتیجه دور آبیاری با توجه به تیمار بدون تنش آبی تعیین شد و هم‌زمان تمامی تیمارهای طرح با دور آبیاری یکسان و با اعماق متفاوت آب، آبیاری می‌شدند. برای اعمال رژیم‌های مختلف آب و اعمال ضرایب هر تیمار، از معادله زیر استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۶):

$$SMD=(q_{fc}-q_i).B_d.D_r.f \qquad (۱)$$

در این معادله، SMD[2] کمبود رطوبت خاک (cm)، B_d جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)، D_r عمق توسعه ریشهٔ گیاه (cm)، θ_i درصد وزنی رطوبت موجود خاک و f ضرایب هر تیمار به‌صورت اعشار (۱، ۰/۸ و ۰/۶) است. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه و در مرحله ۴ تا ۶ برگی انجام شد. همچنین برای مشخص کردن رطوبت خاک در هر سه تیمار از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی[3] استفاده و مقدار مصرف آب توسط گیاه از طریق اندازه‌گیری اجزاء بیلان آب بر اساس معادله زیر محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۶):

$$I + P = (ET + D_d + R_0) \pm \Delta S \qquad (۲)$$

که در آن؛ I و P به‌ترتیب عمق آب آبیاری و بارندگی (mm)، ET، D_d و R_0 به‌ترتیب تبخیر و تعرق گیاه، عمق آب فرونشت عمقی و عمق رواناب (mm) و ΔS تغییرات ذخیره رطوبت خاک (mm) هستند. برداشت در زمان رسیدگی کامل میوه‌های خیار به‌صورت دستی انجام شد. از هر کرت پس از حذف ردیف‌های حاشیه‌ای هر کرت، برداشت انجام و میوه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و برچسب‌گذاری شد. سپس کیسه‌ها برای اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد و رشد به آزمایشگاه منتقل شدند و عملکرد کرت به‌صورت دقیق تعیین شد. برای تعیین کارایی مصرف آب از معادلهٔ (۳) استفاده شد:

1- Super AB A 300

2- Soil Moisture Deficit
3- TDR

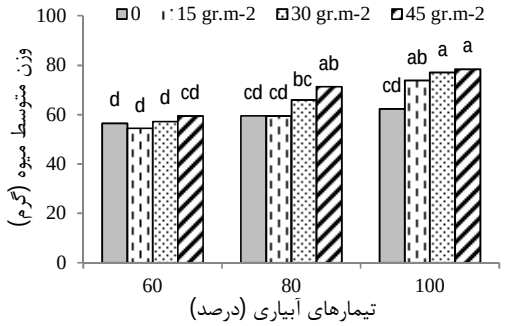
$$WUE = \frac{D}{W} \quad (۳)$$

در این معادله، WUE[1] کارایی مصرف آب ($kg\ m^{-3}$)، D جرم ماده خشک تولید شده (kg) و W حجم آب مصرف شده توسط گیاه (m^3) بود (علیزاده، ۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21.0 انجام و برای پی بردن به اثر تیمارها از رویهٔ تجزیه واریانس (ANOVA) و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۱ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن میوه

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر وزن میوه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی وزن میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ چنان‌که بیشترین وزن میوه در تیمار آبیاری کامل (I_1) به میزان ۷۲/۸۶ گرم و کمترین وزن میوه در شرایط تنش شدید خشکی (I_3) به میزان ۵۶/۹۰ گرم مشاهده شد که با نتایج مطالعه یزدانی (۱۳۹۶)، محبتی و همکاران (۱۳۹۷) و وانگ و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. آنان عنوان کردند که با افزایش تنش خشکی، وزن میوه خیار کاهش می‌یابد. تنش آبی بر رشد رویشی گیاه اثر می‌گذارد و باعث کاهش آن می‌شود. در این آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ شد که این دو عامل باعث ایجاد وضعیت نامساعد برای رشد گیاه شده و در نهایت کاهش وزن میوه رخ داد. اثر کاربرد سوپرجاذب بر وزن میوه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن میوه خیار با کاربرد ۴۵ و ۳۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب به‌ترتیب به میزان ۶۹/۷۲ و ۶۶/۷۲ گرم به دست آمد و کمترین آن در تیمار بدون کاربرد سوپرجاذب به میزان ۵۲/۴۲ گرم بود. نتایج اثر متقابل کاربرد سوپرجاذب و نیاز آبی گیاه بر وزن میوه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد در وضعیت تنش خشکی، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش وزن میوه نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب شده است. بیشترین وزن میوه در تیمار آبیاری کامل (I_1) و با کاربرد ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع سوپرجاذب مشاهده شد و کمترین آن نیز در تیمار تنش شدید خشکی (I_3) و در وضعیت بدون کاربرد سوپرجاذب و کاربرد ۱۵ و ۳۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب به دست آمد (شکل ۱). دلیل آن را می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی موثر آب و مواد غذایی توسط سوپرجاذب دانست که توانسته است وضعیت مساعدی را در نهایت از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورد و از کاهش وزن میوه جلوگیری کند که با نتایج مطالعهٔ موسوی‌زاده (۱۳۹۷) مطابقت دارد. او نشان داد که استفاده از نانو سوپرجاذب باعث افزایش وزن میوه شده است.



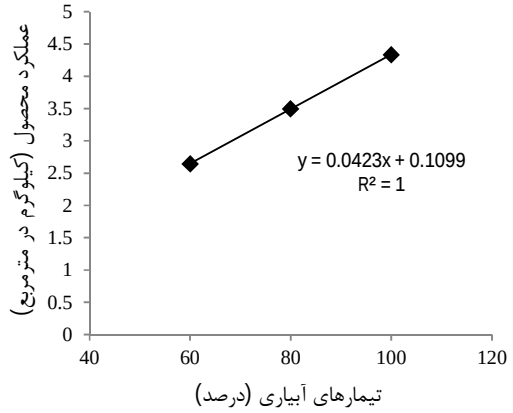
شکل ۱- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سطوح مختلف کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر وزن متوسط میوه خیار

عملکرد محصول

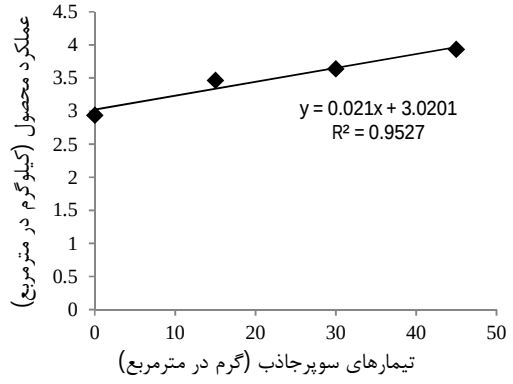
نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد محصول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد محصول به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ چنان‌که بیشترین و کمترین عملکرد محصول به‌ترتیب با میانگین‌های ۳/۷۰ و ۱/۹۷ کیلوگرم در مترمربع مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش شدید خشکی (I_3) بود (شکل ۴). نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد با افزایش آب مصرفی گیاه، عملکرد محصول افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک واحد در نیاز آبی، عملکرد محصول ۰/۰۴۲ کیلوگرم در مترمربع افزایش یافت (شکل ۲). افزایش میزان آب مصرفی، میزان محصول تولیدی را نیز افزایش داد که می‌توان نتیجه گرفت عملکرد محصول به شدت از حجم آب آبیاری تأثیر می‌پذیرد که این نتیجه، با نتایج پژوهش محبتی و همکاران (۱۳۹۷) و بلانکو و فولگاتی (۲۰۰۳) بر روی خیار مطابقت دارد. کمبود آب در مراحل زایشی خیار با ریزش گل‌ها سبب ممانعت از دستیابی به پتانسیل عملکرد می‌شود. استفاده از سوپرجاذب باعث

1- Water Use Efficiency

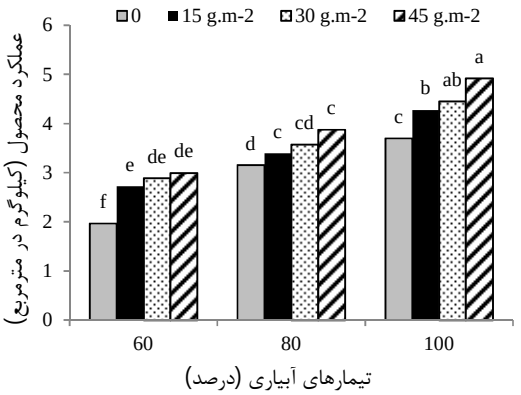
فراهم شدن رطوبت کافی و کاهش اثر کم‌آبیاری می‌شود و با جلوگیری از ریزش گل‌ها پتانسیل عملکرد را حفظ می‌کند. کاهش عملکرد خیار در وضعیت تنش کمبود آب با مطالعه اسدی و کاراندیش (۱۳۹۵)، مصلحی و همکاران (۱۳۹۰)، ملایی و ریاحی (۱۳۸۶) و ذونعمت کرمانی و اسدی (۱۳۹۳) مطابقت دارد. مصلحی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش دادند که بیشترین عملکرد خیار گلخانه‌ای ۴۰ کیلوگرم بر مترمربع در آبیاری کامل بود. گزارش فوق نشان داد تنش رطوبتی بر اساس آبیاری در مکش ۶۰ سانتی‌بار، عملکردی برابر ۳۹ کیلوگرم بر مترمربع و در مکش ۴۰ سانتی‌بار، عملکردی برابر ۳۷ کیلوگرم بر مترمربع در بر داشت. اثر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد محصول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش یک واحد کاربرد سوپرجاذب، عملکرد محصول ۰/۰۲۱ کیلوگرم در مترمربع افزایش یافت (شکل ۳). با کاهش میزان پلیمر سوپرجاذب از عملکرد محصول کاسته شد و دلیل آن را می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط سوپرجاذب دانست که توانسته است وضعیت مساعدی را در نهایت از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورد و از کاهش عملکرد محصول جلوگیری کند؛ چنان‌که تیمار S_3 بیشترین میانگین عملکرد محصول به میزان ۴/۹۲ کیلوگرم در مترمربع و تیمار S_0 کمترین عملکرد محصول به میزان ۳/۷ کیلوگرم در مترمربع را نشان داد (شکل ۴). نتایج به دست آمده با نتایج مطالعهٔ محبتی و همکاران (۱۳۹۷) و احرار و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. نتایج اثر متقابل کاربرد سوپرجاذب و نیاز آبی گیاه بر عملکرد محصول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین عملکرد محصول در تیمار آبیاری کامل (I_1) و با کاربرد ۴۵ گرم در مترمربع سوپرجاذب به میزان ۴/۹ کیلوگرم در مترمربع مشاهده شد و کمترین آن نیز در تیمار تنش شدید خشکی (I_3) و در وضعیت بدون کاربرد سوپرجاذب به دست آمد. به‌طورکلی در وضعیت تنش خشکی، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد محصول نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب شده است (شکل ۴). نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه افاضاتی و همکاران (۱۳۹۴)، موسوی‌زاده (۱۳۹۷)، نجفی علیشاه (۱۳۹۰)، تیلور و هالفاکر (۱۹۸۶)، جانسون (۱۹۸۴) و خادم و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. به نظر می‌رسد فراهمی عناصر غذایی و افزایش میزان رطوبت قابل دسترس خاک، سبب افزایش تعداد و وزن میوه شد که این امر باعث افزایش عملکرد محصول در تیمارهای دارای سوپرجاذب شد.



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد محصول خیار



شکل ۳- اثر روند تغییرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد محصول خیار



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سطوح مختلف کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد محصول خیار

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس اثر نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب بر وزن میوه، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب گیاه خیار

صفت مورد آزمایش	منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
وزن میوه	نیاز آبیاری	۲	۳۰۷۰/۱۷	۱۵۳۵/۰۸	**۸۸/۱۵
	سوپرجاذب	۳	۱۱۱۱/۴۴	۳۷۰/۴۸	**۱۰/۵۸
	نیاز آبیاری× سوپرجاذب	۶	۵۱۴/۹۲	۸۵/۸۲	*۲/۴۵
	خطای کل	۳۶	۱۲۶۰/۱۴	۳۵/۰۰	
عملکرد محصول	نیاز آبیاری	۲	۱۱/۵۵	۵/۷۸	**۱۴۴/۷۴
	سوپرجاذب	۳	۲/۲۶	۰/۷۵	**۱۲/۷۸
	نیاز آبیاری × سوپرجاذب	۶	۲/۵۰	۰/۴۲	**۷/۰۶
	خطای کل	۳۶	۲/۱۲	۰/۰۶	
کارایی مصرف آب	نیاز آبیاری	۲	۳۰۵/۸۰	۱۵۲/۹۰	**۳۰/۲۱
	سوپرجاذب	۳	۲۷۲/۱۱	۹۰/۷۰	**۱۰/۳۶
	نیاز آبیاری × سوپرجاذب	۶	۲۹۲/۷۴	۴۸/۷۹	**۵/۵۷
	خطای کل	۳۶	۳۱۵/۲۱	۸/۷۶	

** و * به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

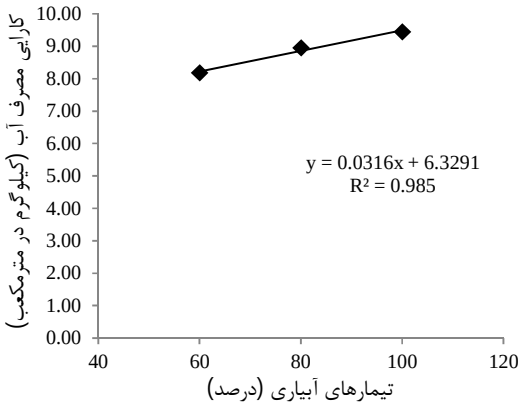
کارایی مصرف آب خیار

در جدول ۴، مقدار جذب آب توسط گیاه خیار بر اساس محاسبه اجزای بیلان آب در پروفیل خاک به همراه میزان عملکرد میوه و کارایی مصرف آب در خیار تحت تیمارهای مختلف سوپرجاذب و نیاز آبیاری نشان داده شده است. نتایج نشان داد هرچه میزان کاربرد سوپرجاذب افزایش یافته، تغییرات رطوبت خاک نیز بیشتر شده است. همچنین هر چه عمق آبیاری کمتر شده، تغییرات رطوبتی خاک بیشتر شده است که نشان از تأثیر بیشتر استفاده از سوپرجاذب در نگهداشت آب خاک در وضعیت کمبود آب دارد. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد اثر تیمارهای آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب با مقادیر ۸/۱۱ و ۶/۱۵ کیلوگرم در مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I1) و تنش خشکی شدید (I3) بود. دلیل آن را می‌توان به افزایش معنی‌دار عملکرد محصول در تیمارهای آبیاری کامل (I1) نسبت به تنش خشکی شدید (I3) مرتبط دانست. نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد با افزایش نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که با افزایش یک واحد در نیاز آبیاری، کارایی مصرف آب ۰/۰۳۲ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد (شکل ۵). اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). دلیل آن را می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط سوپرجاذب دانست که توانسته است با جلوگیری از هدر رفت آب و مواد غذایی در خاک سبک شنی، در نهایت از کاهش معنی‌دار عملکرد محصول خیار و بالطبع کارایی مصرف آب خیار جلوگیری کند. نتایج نشان داد که تیمار S_3 بیشترین کارایی مصرف آب را به میزان ۱۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار S_0 کمترین کارایی مصرف آب را به میزان ۸/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب داشتند (جدول ۴) که با نتایج کریمی و نادری (۱۳۸۶)، هاترمن و همکاران (۱۹۹۹)، احرار و همکاران (۱۳۸۸)، کوهستانی و همکاران (۱۳۸۸) و شریفان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت داشت. با افزایش یک واحد در کاربرد سوپرجاذب، کارایی مصرف آب ۰/۰۵۲ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد (شکل ۶). نتایج اثر متقابل کاربرد سوپرجاذب و نیاز آبی گیاه، بر کارایی مصرف آب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری کامل (I_1) و با کاربرد ۴۵ گرم در مترمربع سوپرجاذب به میزان ۱۰/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد و کمترین آن نیز در تیمار تنش شدید خشکی (I_3) و در وضعیت بدون کاربرد سوپرجاذب به دست آمد. به‌طورکلی می‌توان گفت در وضعیت تنش خشکی، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش کارایی مصرف آب نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب شده است (شکل ۷). احرار و همکاران (۱۳۸۸) و عابدی کوپایی و

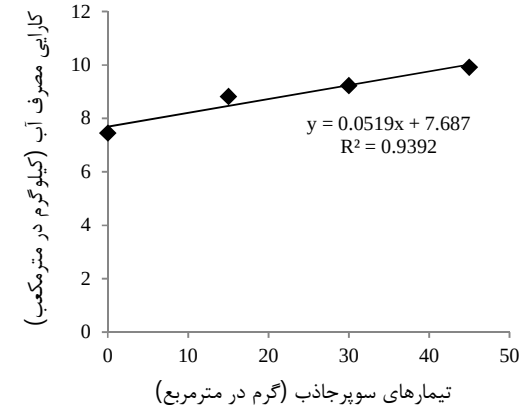
مسفروش (۱۳۸۸) نشان دادند که افزودن پلیمر سوپرجاذب به خاک منجر به افزایش کارایی مصرف آب در خیار می‌شود که این نتیجه با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. نجفی علیشاه (۱۳۹۰) نیز نشان داد استفاده از هیدروژل باعث افزایش کارایی مصرف آب در خیار می‌شود. افاضاتی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش دادند که بیشترین میانگین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار کاربرد ۰/۴ درصد سوپرجاذب در تمامی تیمارهای آبیاری است. کمترین کارایی مصرف آب نیز مربوط به آبیاری کامل و کاربرد ۰/۶ درصد سوپرجاذب است. ذونعمت کرمانی و اسدی (۱۳۹۳) گزارش کردند که کارایی مصرف آب برای گیاه خیار ۵۸/۵۷ کیلوگرم در مترمکعب آب است. نتایج نشان داد که هر چند با کاهش میزان آب آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش یافت، این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبود و شیب یکنواختی نداشت؛ چنان‌که برای مثال بین تیمار I_2S_3 با تیمارهای I_1S_3 و I_1S_2 و نیز بین تیمار I_2S_2 با تیمارهای I_1S_2 و I_1S_1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج نشان داد که سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در وضعیت تنش خشکی از کاهش معنی‌دار عملکرد خیار و بالطبع کارایی مصرف آب آن جلوگیری به عمل آورد.

نتیجه‌گیری

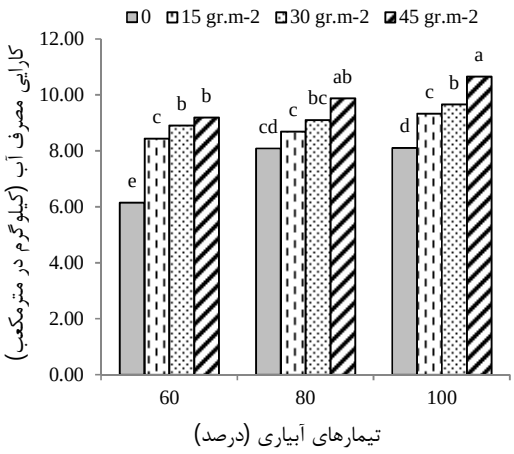
نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان به تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی دانست که در نهایت سبب کاهش عرضهٔ مواد پرورده و کاهش عملکرد می‌شوند. در این میان حضور سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن‌ها در وضعیت تنش خشکی، در نهایت مواد پروردهٔ کافی را برای گیاه فراهم و از کاهش معنی‌دار عملکرد جلوگیری کند؛ لذا با استفاده از سوپرجاذب به خوبی می‌توان با کاربرد آب کمتر، عملکرد قابل قبولی را به دست آورد، کارایی مصرف آب را افزایش داد و در نتیجه در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و با آب صرفه‌جویی شده، سطح زیرکشت را افزایش داد.



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب



شکل ۶- اثر روند تغییرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سطوح مختلف کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب خیار

جدول ۴- برآورد کارایی مصرف آب خیار در تیمارهای مختلف آبیاری و کاربرد سوپرجاذب

تیمارها		عمق آب آبیاری (mm)	بارندگی (mm)	تغییرات رطوبت خاک (mm)	مصرف گیاه (mm)	عملکرد گیاه (تن در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
I_1	S0	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۶/۰۰	۴۵۵/۸۰	۳۶/۹۷	۸/۱۱
	S1	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۸/۰۰	۴۵۷/۸۰	۴۲/۷۵	۹/۳۴
	S2	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۱۱/۰۰	۴۶۰/۸۰	۴۴/۵۳	۹/۶۶
	S3	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۱۲/۰۰	۴۶۱/۸۰	۴۹/۲۰	۱۰/۶۵
I_2	S0	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۳/۰۰	۳۸۹/۳۰	۳۱/۵۰	۸/۰۹
	S1	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۴/۰۰	۳۹۰/۳۰	۳۳/۹۳	۸/۶۹
	S2	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۶/۰۰	۳۹۲/۳۰	۳۵/۷۳	۹/۱۱
	S3	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۶/۰۰	۳۹۲/۳۰	۳۸/۷۸	۹/۸۹
I_3	S0	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۱۷/۰۰	۳۱۹/۸۰	۱۹/۶۸	۶/۱۵
	S1	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۰/۰۰	۳۲۲/۸۰	۲۷/۲۵	۸/۴۴
	S2	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۱/۰۰	۳۲۳/۸۰	۲۸/۸۸	۸/۹۲
	S3	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۳/۰۰	۳۲۵/۸۰	۲۹/۹۷	۹/۲۰

منابع

۱. احرار م، دلشاد م، و بابالار م، ۱۳۸۸، بهبود کارایی مصرف آب و کود در کشت بدون خاک خیار گلخانه‌ای با استفاده از پیوند و پلیمرهای ابرجاذب، علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۶۹-۷۷.

۲. اسدی ر، و کاراندیش ف، ۱۳۹۵، تأثیر مدیریت آبیاری و آرایش لوله‌های آبده آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، بهره وری آب و سود خالص در کشت خیار گلخانه‌ای، تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱): ۱۳-۲۴.

۳. افاضاتی م، ایران دوست م، و رضایی استخروییه ع، ۱۳۹۴، تأثیر پلیمر سوپرجاذب بر رشد و عملکرد گیاه خیار گلخانه‌ای تحت شرایط کم‌آبیاری، مدیریت آب و آبیاری، ۵(۲): ۲۰۳-۲۱۴.

۴. خادم س ع، رمرودی م، گلوی م، و روستا م، ج، ۱۳۹۰، تأثیر تنش خشکی و کاربرد نسبت‌های مختلف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای، علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۲(۱): ۱۱۵-۱۲۳.

۵. ذونعمت کرمانی م، و اسدی ر، ۱۳۹۳، تأثیر پتانسیل ماتریک خاک و الگوی کارگذاری لوله آبده بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای، مدیریت آب و آبیاری، ۴(۲): ۲۰۳-۲۱۴.

۶. رضاوردی نژاد و، شبانیان اصل م، بشارت س، و حسنی ع، ۱۳۹۶، تعیین نیاز آبی، ضریب گیاهی و کارایی مصرف آب محصولات خیار و گوجه فرنگی در شرایط گلخانه (مطالعه موردی: منطقه ارومیه)، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۸(۳): ۲۷-۳۹.

۷. شریفان ح، مختاری پ، و هزارجریبی ا، ۱۳۹۲، بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب بر تغییرات ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف- لوئیس در آبیاری چویچه‌ای، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۱): ۲۰۵-۲۱۲.

۸. ظهوریان مهر م، ۱۳۸۵، سوپرجاذب‌ها، انتشارات انجمن پلیمر ایران، ۸۳ ص.

۹. عابدی کوپایی ج، و مسفروش م، ۱۳۸۸، ارزیابی کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد، کارایی مصرف آب و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۳): ۱۰۰-۱۱۱.

۱۰. عبدی س، عصاره ع، و اسدی لور م، ۱۳۹۶، تعیین کارایی مصرف آب خیار در شرایط کم‌آبیاری با آبیاری قطره‌ای تیپ (TAPE) در منطقه زرین آباد ایلام، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)، ۷ اسفند ماه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج، ۱۲ ص.

۱۱. علیزاده ا، ۱۳۸۶، طراحی سیستم‌های آبیاری، جلد اول، طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۴۵۲ ص.

۱۲.کریمی ا. و نادری م. ۱۳۸۶. بررسی اثرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در خاک‌های با بافت مختلف. پژوهش کشاورزی؛ آب، خاک و گیاه در کشاورزی. ۷(۳): ۱۸۷-۱۹۸.

۱۳.کوهستانی ش. عسکری ن. و مقصودی ک. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر هیدروژل‌های سوپرجاذب بر روی عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش خشکی. پژوهش آب ایران. ۳(۵): ۷۱-۷۸.

۱۴.محبتی ع. ا. نجفی مود م. ح. شهیدی ع. و خاشعی سیوکی ع. ۱۳۹۷. اثر متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد زئولیت بر عملکرد خیار گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۹(۲): ۵۵-۶۶.

۱۵.مصلحی ش. نجفی پ. طباطبائی س. ح. و نورمهتاد ن. ۱۳۹۰. تأثیر تنش رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای. آب و خاک. ۲۵(۳): ۷۷۰-۷۷۵.

۱۶.ملایی ع. و ریاحی ح. ۱۳۸۶. تعیین آب مصرفی خیار گلخانه‌ای تحت روش‌های آبیاری میکرو (قطره ای، تیپ و تیپ زیرسطحی). اولین کارگاه فنی ارتقاء کارآیی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای، تهران، ۲۶ مهر ماه.

۱۷.موسوی‌زاده م. ۱۳۹۷. تأثیر نانو سوپرجاذب ASN-320 برتحمل خیار گلخانه‌ای به تنش شوری و کم‌آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز. ۹۵ ص.

۱۸.نجفی علیشاه ف. ۱۳۹۰. تأثیر نیتروژن، پلیمر آبدوست و نیاز آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های رشد خیار سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان. ۱۰۵ ص.

۱۹.نجفی علیشاه ف. گلچین ا. و محبی م. ۱۳۹۲. تأثیر پلیمر سوپرجاذب آکوسورب و دور آبیاری بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص‌های رشد خیار گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۴(۱۵): ۱-۱۳.

۲۰.هاشمی‌نیا س. م. ۱۳۸۶. مدیریت آب در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۵۳۶ ص.

۲۱.یزدانی س. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد خیار گلخانه‌ای تحت تنش آبی و شوری آب آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز. ۹۸ ص.

22. Ayas S. and Demirtaş C. 2009. Deficit irrigation effects on cucumber (Cucumis sativus L. Maraton) yield in unheated greenhouse condition. Food, Agriculture and Environment. 7(3 and 4): 645-649
23. Blanco F. F. and Folegatti M. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 7(2): 285-29.
24. Han Y. G. Yang P. L. Luo Y. P. Ren S. M. Zhang L. X. and Xu L. 2010. Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. Environmental Earth Sciences. 61: 1197-1205.
25. Huttermann A. Zommorodi M. and Reise K. 1999. Addition of hydrogels to soil prolonging the survival of pinus halepensis seedling subjected to drought. Soil and Tillage Research. 50: 295-304.
26. Johnson S. J. 1984. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils, Journal of the Science of Food and Agriculture. 35: 1196-1200.
27. Taylor K. C. and Halfacre R. G. 1986. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to Ligustrum Lucidum. Hortscience. 21(5): 1159-1161.
28. Wang Y. R. Kang Sh. Zh. Li F. Sh. and Zhang L. 2007. Saline water irrigation scheduling through a crop-water-salinity production function and soil-water-salinity dynamic model, Pedosphere. 17(3): 303-317.