

The Effect of A300 Hydrogel Superabsorbent on Cucumber Yield and Estimation of Optimum Water-Yield Production Function under Water Stress Conditions

NASER ZINIVAND¹, DAVOUD KHODADADI DEHKORDI^{1*}, HEIDAR ALI KASHKULI¹, ALI ASAREH¹, ASLAN EGDERNEZHAD¹

1- Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

(Received: May. 4, 2019- Revised: July. 26, 2019- Accepted: Aug. 10, 2019)

ABSTRACT

In this study, the effect of water stress and different levels of superabsorbent on cucumber yield (variety of super dominus hybrid) in a farm with sandy soil was evaluated in Seimare region, Elam province, Iran. Experimental design was performed according to split plot method in a randomized complete block design. Three different levels of irrigation were considered as the main treatment including 100 (I₁), 80 (I₂) and 60 (I₃) percent of crop water requirement and four levels of superabsorbent were used as secondary treatment including zero (S₀), 15 (S₁), 30 (S₂) and 45 gm⁻² (S₃). According to the results, the effect of irrigation and superabsorbent treatments was significant on cucumber yield at 1 percent level. The average maximum and minimum crop yield were 3.7 and 1.97 kgm⁻² which were corresponded to the full irrigation (I₁) and severe drought stress (I₃) treatments. In addition, the effect of irrigation and superabsorbent treatments was significant on water productivity of cucumber crop at 1 percent level. The maximum and minimum water productivity were 8.11 and 6.15 kgm⁻³ which were corresponded to the full irrigation (I₁) and severe drought stress (I₃) treatments. Also, a quadratic function was introduced as the optimum water-yield production function for cucumber crop (variety of super dominus hybrid) in the sandy soil amended with superabsorbent. Finally, it was concluded that the superabsorbent could prevent from the significant reduction of cucumber yield in sandy soil and under drought stress conditions.

Keywords: Deficit irrigation, Hydrophilic polymer, Water storage, Water stress.

اثر سوپر جاذب هیدروژل A300 بر عملکرد خیار و تخمین تابع بهینه تولید آب - عملکرد خیار تحت شرایط تنش خشکی

ناصر زینی وند^۱، داود خدادادی دهکردی^{۲*}، حیدرعلی کشکولی^۱، علی عصاره^۱، اصلاان اگدرنژاد^۱

۱- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۱۹)

چکیده

در این تحقیق، اثر تنش خشکی و سطوح مختلف سوپر جاذب بر عملکرد خیار رقم سوپر دامینوس هیبرید، در خاک شنی در یک مزرعه تحقیقاتی در شهرستان سیمهره واقع در استان ایلام مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت طرح یکبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. تیمارهای آبیاری در سه سطح ۱۰۰٪ آبیاری کامل (I₁)، ۸۰٪ آبیاری کامل (I₂) و ۶۰٪ آبیاری کامل (I₃) به عنوان کرت اصلی و تیمارهای سوپر جاذب در چهار سطح به عنوان کرت فرعی شامل بدون استفاده از سوپر جاذب تیمار شاهد (S₀)، مقدار ۱۵ گرم در مترمربع (S₁)، ۳۰ گرم در مترمربع (S₂) و ۴۵ گرم در مترمربع (S₃) سوپر جاذب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تیمارهای سطوح آبیاری و سوپر جاذب در سطح یک درصد بر عملکرد خیار معنی‌دار شدند. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد خیار به ترتیب با میانگین‌های ۳/۷ و ۱/۹۷ کیلوگرم در مترمربع مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I₁) و تنش شدید خشکی (I₃) بود. هم چنین اثر تیمارهای آبیاری و سوپر جاذب در سطح یک درصد بر بهره‌وری آب خیار معنی‌دار شدند. بر اساس نتایج بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آب به ترتیب با مقادیر ۸/۱۱ و ۶/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I₁) و تنش خشکی شدید (I₃) بود. ضمناً تابعی درجه دوم به عنوان تابع بهینه تولید در شرایط خشکی برای خیار در صورت وجود سوپر جاذب در خاک شنی معرفی شد. در پایان نتیجه‌گیری شد که سوپر جاذب قادر است از کاهش معنی‌دار عملکرد خیار در شرایط تنش خشکی و بافت سبک شنی جلوگیری نماید.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، پلیمر سوپر جاذب، کم‌آبیاری، ذخیره‌سازی آب.

مقدمه

کم‌آبیاری یک راه‌کار بهینه‌سازی عملکرد تحت شرایط تنش خشکی است. این تکنیک هر چند که همراه با کاهش محصول در واحد سطح است، لیکن برای فرار از خسارت‌های احتمالی جبران‌ناپذیر می‌باشد و از طرفی بنا به اعتقاد عده‌ای، کم‌آبیاری می‌تواند برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رسانیدن و یا بهبود و تثبیت تولید محصولات یک منطقه نیز استفاده شود (Hashemi-Hashemi, 2007). خیار با نام علمی کوکومایس ساتیویوس^۱ گیاهی متعلق به خانواده کدوئیان است. بررسی‌ها نشان می‌دهد عملکرد خیار در گلخانه‌های ایران بین ۱۲۰ تا ۲۹۰ تن در هکتار است. میانگین عملکرد خیار در مزرعه ۲۰ و در گلخانه ۲۵۰ تن در هکتار، آب مصرف شده در زراعت خیار در مزرعه ۱۸۰۰۰ و در گلخانه ۷۵۰۰ مترمکعب در هکتار و بهره‌وری آب در زراعت خیار

در گلخانه ۳۳ و در مزرعه ۱۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب گزارش شده است (Afazaty et al., 2015). تنش خشکی از تغییرات در آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Khadem et al., 2011). هیدروژل سوپر جاذب پلیمری آب دوست با شبکه سه بعدی، که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را حتی در مکش لایه‌های بالایی خاک دارد (Zohurian-Mehr, 2006). پلیمرهای هیدروژل سوپر جاذب توانایی ذخیره مقادیر متفاوتی آب در خود دارد و در نتیجه قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب را در خاک افزایش می‌دهد. آب ذخیره شده این مواد در مواقع کمبود رطوبت در خاک آزاد شده و مورد استفاده ریشه گیاه قرار می‌گیرد (Han et al., 2010). Afazaty et al. (2015) در پژوهشی تأثیر سوپر جاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار، در گلخانه و شرایط کم‌آبیاری را مورد بررسی قرار دادند.

* نویسنده مسئول: davood_kh70@yahoo.com

1 . *Cucumis sativus*

2 . *Cucurbitaceae*

رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر در خاک بود. (Roshdi (2014) در پژوهش خود بیان نمود که کاربرد هیدروژل سوپر جاذب منجر به افزایش معنی دار تعداد دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه گیاه آفتابگردان شد. Shamci (2015) طی تحقیقی نتیجه گرفتند که با کاربرد هیدروژل سوپر جاذب بیشترین میانگین عملکرد دانه ذرت به میزان ۲۱/۲ تن در هکتار در تیمار دور آبیاری ۷ روز یکبار حاصل شد که افزایش ۴۶/۲۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد را نشان داد. (Aghayari et al. (2016) در پژوهشی نتیجه گرفتند که کاربرد سوپر جاذب باعث صرفه جویی در آب آبیاری به میزان ۱۳/۴ درصد در طول دوره رشد محصول ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ گردید. همچنین بیان نمودند که استفاده از سوپر جاذب در بالا بردن بهره وری آب موثر بوده است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی اثر سوپر جاذب بر عملکرد و نیز تخمین تابع بهینه تولید آب-عملکرد گیاه خیار رقم سوپر دامینوس هیبرید تحت شرایط تنش خشکی می باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان سیمره واقع در استان ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و نیز با ارتفاع ۹۸۲ متر از سطح دریا اجرا شد. تحقیق حاضر در دو فصل بهار و تابستان اجرا گردید. شهرستان دره شهر از یک طرف به رودخانه سیمره و از طرف دیگر به دامنه زاگرس متصل بوده و دارای هوای نیمه گرمسیری معتدلی است. متوسط بارندگی در سال ۳۵۰ میلی لیتر و درجه حرارت از حداقل ۲- درجه سانتی گراد تا حداکثر ۴۵+ درجه سانتی گراد می باشد. قبل از پیاده کردن نقشه اجرایی طرح، ابتدا تعداد ۱۸ نمونه خاک از ۹ نقطه اصلی واقع در ابتدا، وسط و انتهای زمین از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری برداشت گردیده و پس از ترکیب کردن نمونه‌ها، نمونه مرکب ایجاد شده برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد کم آبیاری بر تمام صفات، جز قطر ساقه، تاثیر معنی داری داشت. اثر سوپر جاذب و اثر متقابل کم آبیاری با سوپر جاذب برای همه صفات، به جز قطر ساقه معنی دار بود. بیشترین عملکرد میوه (۳۸۱۸/۱ گرم در هر بوته) به گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل و ۰/۴ درصد سوپر جاذب اختصاص یافت. بیشترین کارایی مصرف آب (۱۴/۹۵ کیلوگرم در هر مترمکعب) در گیاهان تحت تیمار ۶/۲ میلی متر آب آبیاری در شبانه روز و ۰/۴ درصد سوپر جاذب حاصل شد. (Najafi Alishah et al. (2013) طی تحقیقی تاثیر چهار سطح پلیمر سوپر جاذب آکوسورب (صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ 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 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد و شاخص‌های رشد خیار سبز تحت تاثیر مصرف هیدروژل قرار گرفت و به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین میزان مصرف آب با طولانی تر شدن دور آبیاری به طور معنی داری در تمامی تیمارها کاهش یافت. با مصرف ۲ گرم پلیمر سوپر جاذب در هر کیلوگرم خاک و دور آبیاری ۶ روز، بیشترین مقدار عملکرد (۱۹۶/۳ گرم در بوته) حاصل گردید. هر چند مصرف هیدروژل به طور معنی داری میزان مصرف آب را افزایش داد، ولی مصرف ۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک موجب افزایش معنی دار بهره‌وری آب (۱۷ گرم خیار سبز تولید شده به ازای هر لیتر آب) گردید. (Rezaverdinejad et al. (2017) در تحقیقی نتیجه گرفتند که بهره‌وری آب خیار در تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل ۳۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۳۱ درصد کاهش نشان داد. (Abdi et al. (2017) نتیجه گرفتند که بهره‌وری آب گیاه خیار برای تیمارهای آبیاری ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد تحت روش آبیاری قطره ای تیپ، به ترتیب ۱۳/۹۶، ۱۲/۲۲ و ۱۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار به ازای هر مترمکعب آب بدست آمد. (Sharifan et al. (2013) گزارش کردند که افزایش عملکرد محصولات زراعی و به دنبال آن افزایش بهره‌وری آب تحت تاثیر کاربرد مواد هیدروژل سوپر جاذب به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی برای مدت طولانی تر در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی،

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش

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

آب آبیاری مزرعه از چاه تامین می‌شد. نتایج تجزیه شیمیایی آب در جدول (۲) نشان داده شده است.

به منظور تعیین کیفیت آب آبیاری، از آب مزرعه نمونه‌برداری شد و برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد.

جدول ۲- تجزیه کیفی آب آبیاری

آنیون (mg/l)					کاتیون (mg/l)			pH	EC (dS/m)
SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺		
۵۶۲/۸۷	۳۸۹/۲	۲۰۹	۱۲	۵/۱	۲۴۳	۱۲۵	۱۸۷	۷/۵	۲/۱

همچنین کودهای پایه شامل کود فسفر (منبع سوپر فسفات تریپل)، کود پتاس (سولفات پتاسیم) و کود اوره تعیین شد و در هر خط کاشت به همراه سوپر جاذب بکار برده شد. سپس یک لایه خاک روی آن‌ها قرار گرفت. کود اوره در دو مرحله که ۵۰ درصد آن به صورت پایه و ۵۰ درصد آن در مرحله رویشی (پاشیدن کنار هر بوته) به گیاه داده شد. کود اوره، کود فسفر و پتاس به ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار داده شد. کشت بهاره بذر خیار در تاریخ نیمه اول فروردین و تاریخ کشت تابستانه در نیمه اول مرداد انجام گرفت. کشت بذور به صورت دستی انجام گرفت. در هر کپه ۳ عدد بذر به عمق ۳-۴ سانتی‌متری قرار داده شد. فاصله بین خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد کل بوته‌های کاشته در هر کرت ۶۰ بوته بود. عملیات تنک در هر کرت در مرحله ۳ برگی انجام گرفت. برای برنامه‌ریزی و تعیین دور آبیاری، با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش خشکی، از شاخص رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک 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 نموده 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 خشکی 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 رابطه زیر استفاده شد (Alizadeh, 2007):

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \cdot B_d \cdot D_r \cdot f \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه، SMD^۱: کمبود رطوبت خاک (cm)، B_d: جرم مخصوص ظاهری (gr cm⁻³) و D_r: عمق توسعه ریشه گیاه (cm)،

رقم مورد استفاده در این آزمایش از نوع رقم سوپر دامینوس هیبرید بود که از شرکت گلپاد (نمایندگی شرکت سیمینیس فرانسه) تهیه شد. رقم مورد استفاده، میوه بسیار بازارپسند و مرغوب و عملکرد بالا دارد و در عین حال مقاوم به ویروس موزائیک خیار، ویروس موزائیک هندوانه، ویروس موزائیک کدو^۲ و ویروس لکه حلقه ای بابایا^۳ می‌باشد و علاوه بر این، نسبت به بیماری سفیدک دروغی^۴ و سفیدک حقیقی خیار^۵ نیز تحمل زیاد دارد. سوپر جاذب استفاده شده در این آزمایش تحت عنوان هیدروژل سوپر آب آ ۳۰۰ بود که از شرکت شیمیایی نوایسپار تهیه شد. این هیدروژل سوپر جاذب تری پلیمری ترکیبی از آکریل آمید، آکرلیک اسید و پتاسیم آکرلات می‌باشد. آزمایش به صورت طرح یکبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۲ تیمار و سه تکرار انجام گرفت. در این آزمایش تیمارهای آبیاری در سه سطح ۱۰۰٪ آبیاری کامل (I₁)، ۸۰٪ آبیاری کامل (I₂) و ۶۰٪ آبیاری کامل (I₃) به عنوان کرت اصلی و تیمارهای سوپر جاذب در چهار سطح به عنوان کرت فرعی شامل بدون استفاده از سوپر جاذب تیمار شاهد (S₀)، مقدار ۱۵ گرم در مترمربع (S₁)، ۳۰ گرم در مترمربع (S₂) و ۴۵ گرم در مترمربع (S₃) سوپر جاذب در نظر گرفته شد. ابعاد هر کرت فرعی ۱/۲ × ۴ متر در نظر گرفته شد. مساحت خالص کل طرح با احتساب ۱۲ تیمار و سه تکرار، ۱۷۳ مترمربع بود. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم با استفاده از گاو آهن ۳ خیش، ۲ بار دیسک سنگین به عمق ۳۰ سانتی‌متر و عملیات تکمیلی شامل دیسک، ماله و در نهایت کرت‌بندی انجام گردید. بعد از کرت‌بندی، برای هر کرت، ۶ خط کاشت در نظر گرفته شد و سپس خط کاشت به عمق ۲۰ سانتی‌متر برای کارگذاری سوپر جاذب و کودهای شیمیایی پایه، باز شد. پس از تعیین میزان سوپر جاذب برای هر کرت، عملیات کارگذاری آن برای هر خط کاشت به طور یکنواخت انجام شد.

انجام پذیرفت و برای پی بردن به اثر تیمارها از رویه تجزیه واریانس (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۱ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

متوسط وزن میوه

نتایج تجزیه 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 به طور معنی‌داری کاهش یافت، چنانچه 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. (Yazdani, 2017), Mohabbati et al. (2018) و Wang et al. (2007) عنوان کردند با افزایش تنش خشکی، وزن میوه خیار کاهش می‌یابد. تنش خشکی بر خصوصیات رشدی گیاه اثر گذاشته و باعث کاهش آن می‌شود. در این آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ شد که این دو عامل باعث ایجاد شرایط نامساعد برای رشد گیاه شده و نهایتاً کاهش وزن میوه رخ داد. اثر مستقل کاربرد سوپر جاذب بر وزن میوه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین وزن میوه خیار با کاربرد ۴۵ و ۳۰ گرم در مترمربع سوپر جاذب به ترتیب به میزان ۶۹/۷۲ و ۶۶/۷۲ گرم بدست آمد و کم‌ترین آن در تیمار بدون کاربرد سوپر جاذب به میزان ۵۲/۴۲ گرم بود. نتایج اثر متقابل کاربرد سوپر جاذب و نیاز آبی بر وزن میوه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی، استفاده از سوپر جاذب باعث افزایش وزن میوه نسبت به عدم کاربرد سوپر جاذب شده است. بیش‌ترین وزن میوه در تیمار آبیاری کامل (I_1) و با کاربرد ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع سوپر جاذب مشاهده شد و کم‌ترین آن نیز در تیمار تنش شدید خشکی (I_3) و در شرایط بدون کاربرد سوپر جاذب و کاربرد ۱۵ و ۳۰ گرم در مترمربع سوپر جاذب بدست آمد (شکل ۱). شاید دلیل آنرا بتوان ناشی از ذخیره‌سازی موثر آب و مواد غذایی توسط سوپر جاذب دانست که توانسته است شرایط مساعدی را در نهایت از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورد و از کاهش وزن میوه جلوگیری کند. Mousavizadeh (2018) گزارش کرد استفاده از نانو سوپر جاذب باعث افزایش وزن میوه خیار شده است.

θ : درصد وزنی رطوبت موجود خاک و f : ضرایب هر تیمار به صورت اعشار (۱، ۰/۸ و ۰/۶) است. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه و در مرحله ۴ تا ۶ برگی صورت پذیرفت. همچنین برای مشخص نمودن رطوبت خاک از طریق دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی^۱ استفاده شد. مقدار تبخیر و تعرق گیاه از طریق اندازه‌گیری اجزاء معادله بیلان آب براساس رابطه زیر محاسبه گردید (Alizadeh, 2007):

$$I+P = (ET + D_d + R_0) \pm \Delta S \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن: I و P به ترتیب عمق آبیاری و بارندگی (mm)، ET ، D_d و R_0 به ترتیب تبخیر و تعرق گیاه، عمق آب زهکشی و عمق رواناب (mm) و ΔS تغییرات ذخیره رطوبت خاک (mm) می‌باشند. برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی بوته‌ها به صورت دستی انجام شد. جهت برداشت، از هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها یک مترمربع از بوته‌ها (وسط هر کرت) برداشت شد و بوته‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و برچسب‌گذاری شدند. سپس کیسه‌ها جهت اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد و رشد به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس عملکرد گیاه به صورت دقیق تعیین گردید. به منظور تعیین بهره‌وری آب^۲ از رابطه ۳ استفاده شد:

$$WUE = \frac{D}{W} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه^۳ WUE : بهره‌وری آب (kg m^{-3})، D : جرم ماده خشک تولید شده (kg) و W : تبخیر و تعرق گیاه (m^3) بود (علیزاده، ۱۳۸۶). توابع تولید آب - عملکرد با فرم‌های خطی ساده^۴، خطی لگاریتمی^۵، درجه دوم^۶ و متعالی^۷ به شکل‌های زیر می‌باشند (Shahidi, 2008):

- فرم خطی ساده:

$$Y = a + bI \quad (\text{رابطه ۴})$$

- فرم خطی لگاریتمی (کاب-داگلاس):

$$Y = aI^b \quad (\text{رابطه ۵})$$

- فرم درجه دوم:

$$Y = a + bI + cI^2 \quad (\text{رابطه ۶})$$

- فرم متعالی:

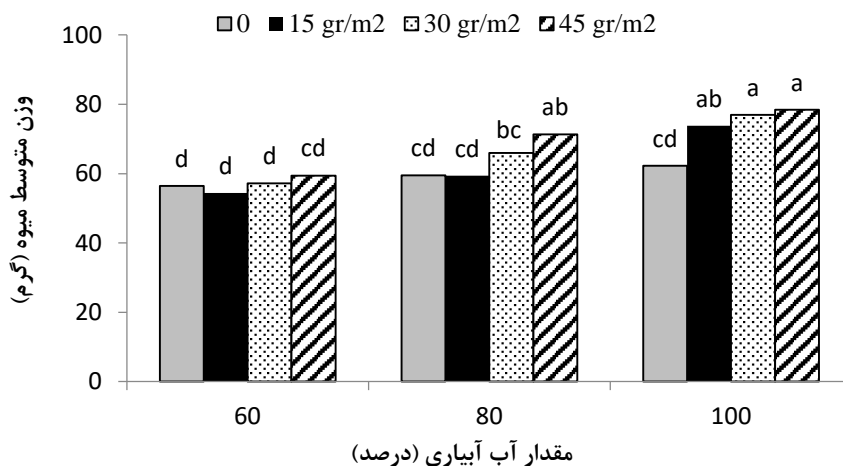
$$Y = aI^b e^{(cI)} \quad (\text{رابطه ۷})$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مقدار آب آبیاری و کاربرد سوپرجاذب بر وزن میوه، عملکرد و بهره‌وری آب گیاه خیار

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

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر نیاز آبی و سوپرجاذب بر وزن متوسط میوه خیار

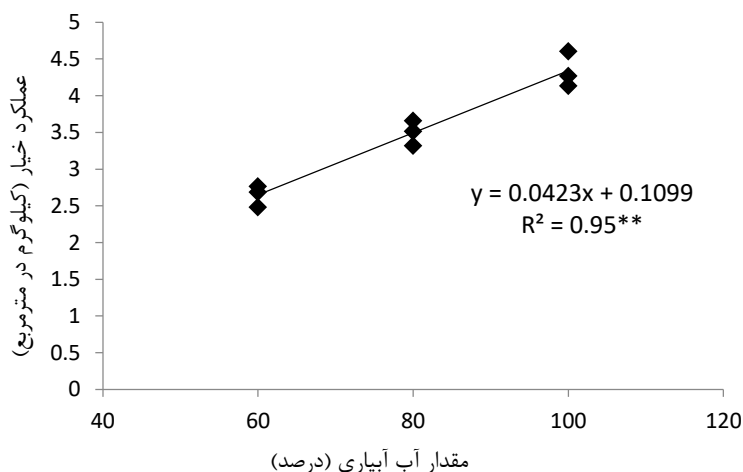
عملکرد

میزان آب مصرفی، میزان محصول تولیدی را نیز افزایش داده و می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد به شدت از حجم آب آبیاری تأثیر می‌پذیرد که با نتایج پژوهش Mahabati et al. (2018) و Blanco and Folegatti (2003) 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 فراهم شدن رطوبت کافی و کاهش اثر تنش خشکی ناشی از کم آبیاری شده و با جلوگیری از ریزش گل‌ها پتانسیل عملکرد را حفظ می‌کند. کاهش عملکرد خیار در شرایط تنش

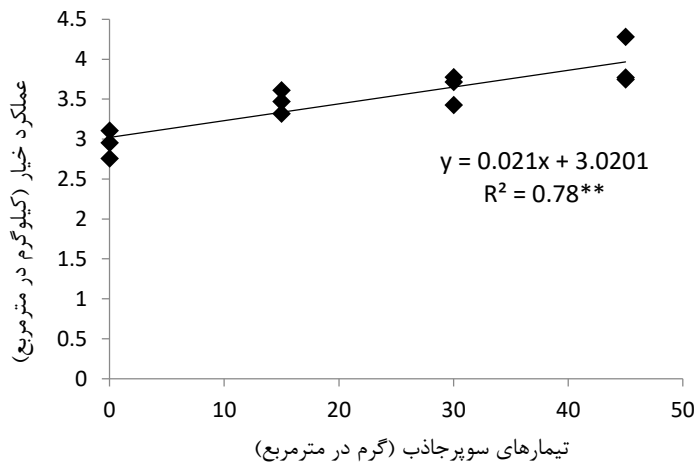
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یافت، چنانچه بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد به ترتیب با میانگین‌های ۳/۷۰ و ۱/۹۷ کیلوگرم در مترمربع مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I₁) و تنش شدید خشکی (I₃) بود (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش تبخیر و تعرق گیاه، عملکرد افزایش یافته است. به طوری که با افزایش یک واحد در نیاز آبی، عملکرد ۰/۰۴۲ کیلوگرم در مترمربع افزایش یافت (شکل ۲). افزایش

وزنی باعث افزایش عملکرد میوه خیار می‌گردد. نتایج اثر متقابل کاربرد سوپر جاذب و نیاز آبی گیاه بر عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد در تیمار آبیاری کامل (I_1) و با کاربرد ۴۵ گرم در مترمربع سوپر جاذب به میزان ۴/۹ کیلوگرم در مترمربع مشاهده شد و کم‌ترین آن نیز در تیمار تنش شدید خشکی (I_3) و در شرایط بدون کاربرد سوپر جاذب بدست آمد. بطور کلی در شرایط تنش خشکی، استفاده از سوپر جاذب باعث افزایش عملکرد نسبت به عدم کاربرد سوپر جاذب شده است (شکل ۴). Afazaty *et al.* (2015) گزارش کردند که بیش‌ترین میانگین عملکرد خیار مربوط به سطح کاربرد ۰/۴ درصد سوپر جاذب و با آبیاری کامل بود که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح داشت. کم‌ترین عملکرد نیز مربوط به سطح سوپر جاذب صفر با ارتفاع آب آبیاری برابر ۶/۲ میلی‌متر بود. Mousavizadeh (2018) و Najafi ALishah *et al.* (2013) عنوان کردند سوپر جاذب منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد خیار نسبت به شاهد گردید. Taylor and Halfacre (1986) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. Johnson (1984) کاربرد هیدروژل را بر ظرفیت نگهداری خاک شنی مورد بررسی قرار داد و گزارش کرد که مصرف ۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک منجر به کاهش نیاز آبیاری و افزایش فواصل آبیاری گردید. Khadem *et al.* (2011) بیان داشتند کاربرد توام کود دامی و سوپر جاذب با بهبود شرایط رشد، سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۵/۹ درصد نسبت به شاهد شده است. آن‌ها بیان داشتند سوپر جاذب از طریق بهبود و اصلاح شرایط خاک سبب رشد بهتر ذرت و افزایش عملکرد دانه شده است. به نظر می‌رسد فراهمی عناصر غذایی و افزایش میزان رطوبت قابل دسترس خاک، سبب افزایش تعداد و وزن میوه گردید که باعث افزایش عملکرد در تیمارهای دارای سوپر جاذب شد.

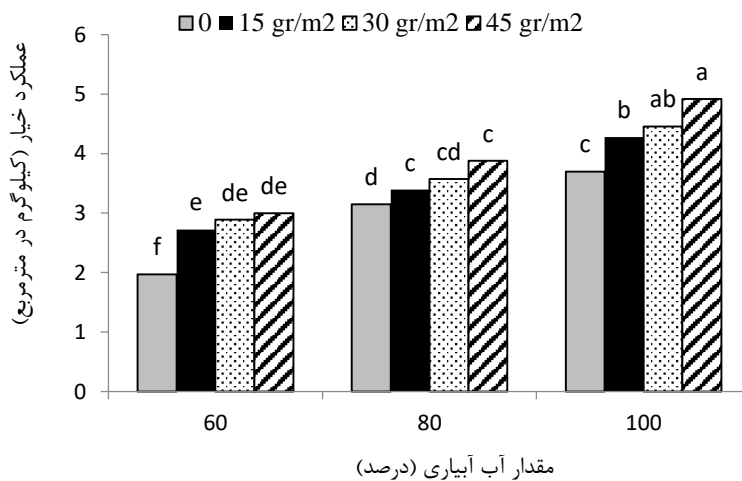
خشکی در مطالعه Asadi and Karandish (2016) گزارش شده است. Moslehi *et al.* (2011) گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد خیار گلخانه‌ای ۴۰ کیلوگرم بر مترمربع در آبیاری کامل بود. گزارش فوق نشان داد تنش خشکی بر اساس آبیاری در مکش ۶۰ سانتی‌بار، عملکردی برابر ۳۹ کیلوگرم بر مترمربع و در مکش ۴۰ سانتی‌بار، عملکردی برابر ۳۷ کیلوگرم بر مترمربع در بر داشت. حداکثر عملکرد خیار گلخانه‌ای با سیستم آبیاری قطره‌ای، از نوع نوار تیپ سطحی برابر ۱۹۶/۸ تن در هکتار (۱۹/۶۸ کیلوگرم در مترمربع) گزارش شد که با احتساب ۲/۷۸ بوته در هر مترمربع، عملکرد هر بوته ۷ کیلوگرم شد (Molai and Riahi, 2007). Zounemat-Kermani and Asadi (2014) 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 (Afazaty *et al.*, 2015; Ayas and Demirtas, 2009). اثر کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش یک واحد در کاربرد سوپر جاذب، عملکرد ۰/۰۲۱ کیلوگرم در مترمربع افزایش یافت (شکل ۳). با کاهش میزان پلیمر سوپر جاذب از عملکرد کاسته شد و شاید دلیل آنرا بتوان ناشی از ذخیره‌سازی موثر آب و مواد غذایی توسط سوپر جاذب دانست که توانسته است شرایط مساعدی را در نهایت از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورد و از کاهش عملکرد جلوگیری کند. چنانچه تیمار S_3 بیش‌ترین میانگین عملکرد به میزان ۴/۹۲ کیلوگرم در مترمربع و تیمار S_0 کم‌ترین عملکرد به میزان ۳/۷ کیلوگرم در مترمربع را نشان داد (شکل ۴). Mohabbati *et al.* (2018) بیان داشتند سوپر جاذب زئولیت باعث افزایش عملکرد می‌گردد. Ahrar *et al.* (2009) نیز بیان داشتند افزودن هیدروژل به بستر کشت خیار سبز به میزان ۱/۵ درصد



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد خیار



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



شکل ۴- اثر تیمارهای آبیاری و کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد خیار

متغیره بدست آمده است نشان می‌دهد. در این خصوص Datta *et al.* (1998) اعلام کردند که برآورد توابع بر اساس روش‌های آماری، بدلیل تعیین رابطه مستقیم آب - عملکرد بر روش‌های تئوری و تجربی که بر پایه فرضیات متعددی استوار هستند، ترجیح داده می‌شود. در این معادلات Y (عملکرد) بر حسب تن در هکتار و I (عمق آب آبیاری) بر حسب سانتی‌متر می‌باشند.

تخمین تابع بهینه تولید آب - عملکرد در شرایط وجود سوپرجاذب در خاک

در این تحقیق برای تعیین ضرایب توابع تولید آب - عملکرد، از فرم‌های مختلف خطی ساده، خطی لگاریتمی، درجه دوم و متعالی بر اساس تغییرات عمق آب آبیاری و کاربرد سوپرجاذب و با فرض ثابت بودن سایر عوامل استفاده شد. جدول (۴)، ضرایب مربوط به هر تابع را که توسط نرم افزار SAS 9.2 و بر اساس رگرسیون چند

جدول ۴- توابع تولید آب - عملکرد خیار در سطوح مختلف سوپرجاذب

تیمارها	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دوم	متعالی
S ₀	Y= 1.175 I - 13.17	Y=0.111 I ^{1.551}	Y=-0.059 I ² + 5.431 I - 88.079	Y=0.021 I ^{1.609} e ^{-0.01 I}
S ₁	Y= 1.054 I - 3.525	Y=0.695 I ^{1.089}	Y=0.0197 I ² - 0.375 I + 21.64	Y=0.0218 I ^{1.589} e ^{-0.001 I}
S ₂	Y= 1.065 I - 2.156	Y=1.848 I ^{1.047}	Y=0.018 I ² - 0.242 I + 20.845	Y=0.0239 I ^{1.389} e ^{-0.001 I}
S ₃	Y= 1.308 I - 8.047	Y=0.525 I ^{1.201}	Y= 0.015 I ² + 0.236 I + 10.82	Y=0.0241 I ^{1.130} e ^{-0.001 I}

در جدول (۵)، مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده عملکرد خیار توسط توابع مختلف نشان داده شده است.

جدول ۵- مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد خیار توسط توابع مختلف در تیمارهای مورد بررسی

تیمارها	عملکرد اندازه‌گیری شده (t ha ⁻¹)				مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (t ha ⁻¹)	
	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دوم	متعالی		
I ₁	S ₀	۳۸/۰۲	۳۸/۶۷	۳۶/۹۱	۳۷/۲۳	
	S ₁	۴۲/۳۹	۴۲/۳۵	۴۲/۷۷	۴۴/۰۲	
	S ₂	۴۴/۲۱	۴۴/۱۰	۴۴/۴۴	۴۶/۵۵	
	S ₃	۴۸/۹۳	۴۸/۸۲	۴۹/۱۸	۴۷/۲۳	
I ₂	S ₀	۲۹/۳۸	۲۹/۰۳	۳۱/۴۶	۲۹/۳۱	
	S ₁	۳۴/۶۴	۳۴/۶۳	۳۳/۹۵	۳۲/۹۸	
	S ₂	۳۶/۳۸	۳۶/۳۴	۳۵/۶۷	۳۶/۳۵	
	S ₃	۳۹/۳۲	۳۹/۱۰	۳۸/۷۷	۳۸/۰۳	
I ₃	S ₀	۲۰/۷۴	۲۰/۴۲	۱۹/۶۶	۱۹/۰۲	
	S ₁	۲۶/۸۹	۲۷/۰۴	۲۶/۲۶	۲۶/۵۱	
	S ₂	۲۸/۵۶	۲۸/۶۵	۲۸/۸۴	۲۹/۷۲	
	S ₃	۲۹/۷۰	۲۹/۷۷	۲۹/۹۶	۳۱/۱۴	

جدول ۶- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید خیار

نوع تابع	ME (t ha ⁻¹)	RMSE (t ha ⁻¹)	R ²	EF	CRM	میانگین رتبه-ها	رتبه‌نهایی
خطی	۲/۱۲ (۲)	۲/۴۶ (۲)	۰/۹۷ (۳)	۰/۹۸۸۴ (۲)	-۰/۰۰۲۴ (۳)	۲/۴	۲
خطی لگاریتمی	۲/۴۷ (۴)	۲/۸۳ (۴)	۰/۹۷ (۲)	۰/۹۸۴۵ (۳)	-۰/۰۰۱۷ (۲)	۳/۰	۳
درجه دوم	۰/۰۹ (۱)	۰/۱۲ (۱)	۰/۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۰۰۰۷ (۱)	۱/۰	۱
متعالی	۲/۱۹ (۳)	۳/۶۳ (۳)	۱/۰۶ (۴)	۰/۹۷۳۹ (۴)	۰/۰۰۲۶ (۴)	۳/۶	۴

رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. علامت منفی در CRM نشان می‌دهد که این توابع در اکثر موارد، عملکرد را بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد کرده‌اند. پس از رتبه‌بندی هر یک از شاخص‌های آماری در جدول (۶)، میانگین رتبه‌های هر تابع در ستون میانگین رتبه‌ها تعیین گردید. سپس میانگین رتبه‌های توابع با هم مقایسه شدند و تابعی که دارای میانگین رتبه کم‌تری بود، درجه یک نسبت داده شد و با افزایش میانگین رتبه، از درجه اعتبار تابع کاسته شد. با توجه به نتایج جدول (۶)، میانگین رتبه‌های توابع درجه دوم، خطی، خطی لگاریتمی و متعالی به ترتیب ۱/۰، ۲/۴، ۳/۰ و ۳/۶ بود که در این صورت تابع درجه دوم با رتبه‌نهایی یک نسبت به سایر توابع برتری داشته است. تابع خطی نیز در رتبه دوم قرار گرفت. بنابراین تابع درجه دوم به عنوان تابع بهینه تولید در شرایط خشکی برای تولید خیار در خاک شنی منطقه دره شهر معرفی گردید. برتری تابع درجه دوم نسبت به سایر توابع در مطالعات (Khodadadi Dehkordi (2012), Shahidi (2008), Najafi Mood (2012), Li et al. (2005), Kalra et al. (2007), Wang et al. (2007) نیز گزارش شده است.

پنج شاخص آماری برای مقایسه و همچنین تعیین میزان اعتبار توابع تولید محاسبه گردیدند که خلاصه نتایج آن‌ها در جدول (۶) آمده است. بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده، هر یک از توابع رتبه‌بندی شدند. تابعی که در آن مقادیر ME، RMSE و CRM حداقل باشد، درجه یک و نیز تابعی که EF و R² آن‌ها نزدیک‌تر به یک باشد درجه یک محسوب می‌گردد (Homaei et al., 2002; Khodadadi Dehkordi, 2012). با توجه به نتایج جدول (۶)، تابع درجه دوم از ME کم‌تری نسبت به توابع دیگر برخوردار بود لذا در رتبه اول قرار گرفت. توابع خطی، متعالی و خطی لگاریتمی رتبه‌های بعدی را به خود اختصاص دادند. تابع درجه دوم از لحاظ RMSE نیز در رتبه نخست قرار گرفت. تابع درجه دوم از لحاظ EF که تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین‌های مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌نماید نیز در رتبه اول قرار گرفت. مقادیر CRM نیز نشان داد تابع درجه دوم رتبه نخست را به خود اختصاص داده است و توابع خطی، خطی لگاریتمی و متعالی در

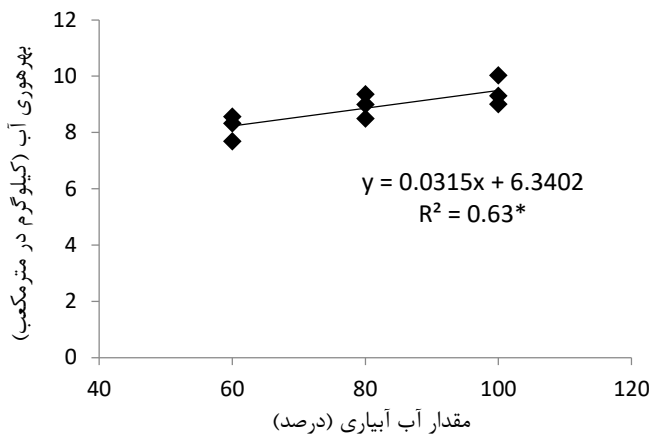
بهره‌وری آب خیار

جدول (۷)، تبخیر و تعرق خیار بر اساس محاسبه اجزای بیلان آب در پروفایل خاک به همراه میزان عملکرد و بهره‌وری آب در خیار را تحت تیمارهای مختلف سوپرجاذب و نیاز آبیاری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد هرچه میزان کاربرد سوپرجاذب افزایش یافته است، تغییرات رطوبت خاک نیز بیش‌تر شده است. همچنین هر چه عمق آبیاری کم‌تر شده، تغییرات رطوبتی خاک بیش‌تر شده است که نشان از تاثیر بیش‌تر استفاده از سوپرجاذب در نگهداشت آب خاک در شرایط کمبود آب دارد.

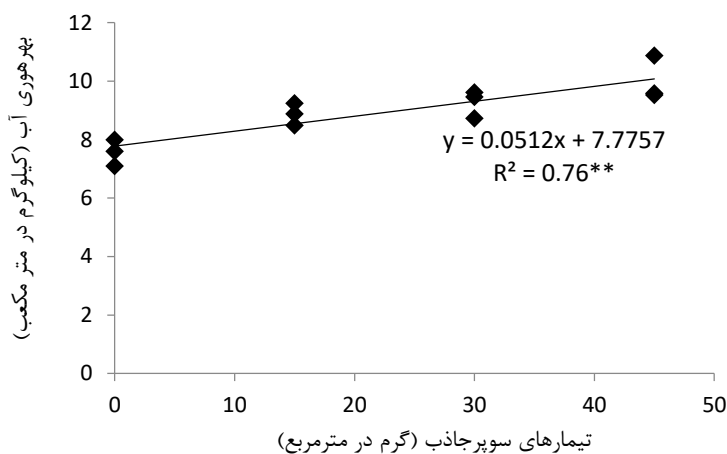
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر تیمارهای آبیاری بر بهره‌وری آب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی بهره‌وری آب به طور معنی‌داری کاهش یافت و نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آب به ترتیب با مقادیر ۸/۱۱ و ۶/۱۵ کیلوگرم در مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I1) و تنش خشکی شدید (I3) بود. دلیل آنرا می‌توان به افزایش معنی‌دار عملکرد در تیمارهای آبیاری کامل (I1) نسبت به تنش خشکی شدید (I3) مرتبط دانست. نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش نیاز آبی گیاه، بهره‌وری آب نیز افزایش می‌یابد. به طوری که با افزایش یک واحد در نیاز آبیاری، بهره‌وری آب ۰/۳۲ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد (شکل ۵). اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر بهره‌وری آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). دلیل آنرا می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی موثر 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 خیار و بالطبع بهره‌وری آب ذرت جلوگیری نماید. نتایج نشان داد که تیمار S3 بیش‌ترین بهره‌وری آب به میزان ۱۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار S0 کم‌ترین بهره‌وری آب به میزان ۸/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب را داشتند (جدول ۷) که با نتایج Karimi and Naderi (2007), Huttermann et al. (1999), Ahrar et al. (2009), Kouhestani et al. (2009), Sharifan et al. (2013) مطابقت داشت. با افزایش یک واحد در کاربرد سوپرجاذب، بهره‌وری آب ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد (شکل ۶). نتایج اثر متقابل کاربرد سوپرجاذب و نیاز آبی گیاه، بر بهره‌وری آب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیش‌ترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل (I1) 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 (I3) و در شرایط بدون کاربرد سوپرجاذب بدست آمد. بطورکلی می‌توان گفت در شرایط تنش خشکی، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش بهره‌وری آب نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب شده است (شکل ۷). (Ahrar et al. (2009) و Abedi Koupai and Mesforoush (2009) نشان دادند که افزودن پلیمر سوپرجاذب به خاک منجر به افزایش بهره‌وری آب در خیار می‌گردد که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. Najafi (2011) نیز نشان داد استفاده از هیدروژل باعث افزایش بهره‌وری آب در خیار می‌گردد. (Afazaty et al. (2015) گزارش کردند که بیش‌ترین میانگین بهره‌وری آب مربوط به تیمار کاربرد ۰/۴ درصد سوپرجاذب در تمامی تیمارهای آبیاری می‌باشد. کم‌ترین بهره‌وری آب نیز مربوط به آبیاری کامل و کاربرد ۰/۶ درصد سوپرجاذب می‌باشد. Zounemat-Kermani and Asadi (2014) گزارش کردند که بهره‌وری آب برای گیاه خیار ۵۸/۵۷ کیلوگرم در مترمکعب آب است. نتایج نشان داد که هر چند با کاهش میزان آب آبیاری، بهره‌وری آب کاهش یافت، اما این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبوده و شیب یک‌نواختی نداشت. چنانچه به عنوان مثال بین تیمار I2S3 با تیمارهای I1S2 و I1S3 و نیز بین تیمار I2S2 با تیمارهای I1S2 و I1S1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج نشان داد که سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش خشکی از کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت و بالطبع بهره‌وری آب آن جلوگیری بعمل آورد.

با توجه به شکل ۷، سوپرجاذب در آبیاری کامل نیز موجب افزایش بهره‌وری آب شده است. با توجه به اینکه بافت خاک مزرعه، بافت سبک شنی می‌باشد که نمی‌تواند آب و مواد غذایی را به خوبی و به مدت طولانی در خود نگهداری کند و همچنین مواد غذایی نیز در بافت سبک شنی بشدت در معرض آبستگي قرار دارند، لذا وجود سوپرجاذب توانسته است آب و مواد غذایی را بیش‌تر و به مدت طولانی‌تر در خود نگهداری کند و از هدر رفت آب و مواد غذایی به مناطق زیر محدوده ریشه جلوگیری به عمل آورد. نهایتاً حفظ آب و به ویژه مواد غذایی در محدوده بالای ریشه (که بیش‌ترین میزان جذب را دارد) توسط سوپرجاذب توانسته است عملکرد بالاتری را رقم زده و نهایتاً WUE بیش‌تری را نیز حاصل کند.



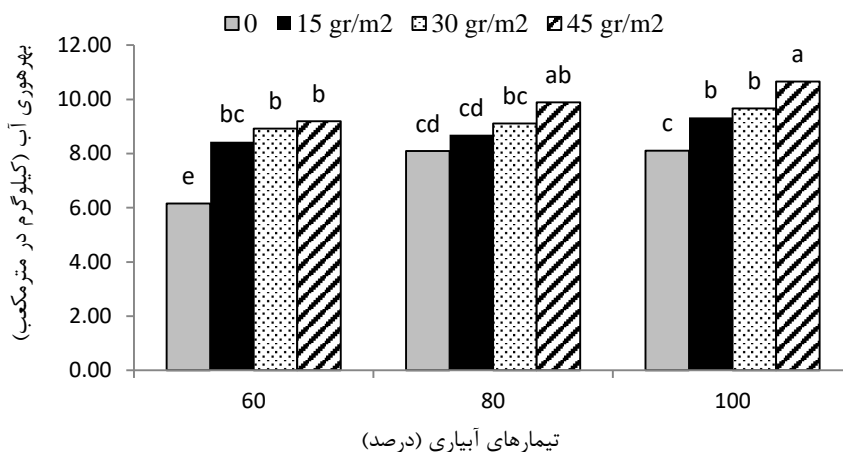
شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب



شکل ۶- اثر کاربرد مقادیر مختلف پلیمر سوپر جاذب بر بهره‌وری آب

جدول ۷- برآورد بهره‌وری آب خیار تحت تیمارهای مختلف آبیاری و کاربرد سوپر جاذب

تیمارها	عمق آب آبیاری (mm)	بارندگی (mm)	تغییرات رطوبت خاک (mm)	تبخیر و تعرق گیاه (mm)	عملکرد گیاه (تن در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
I ₁	S0	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۶/۰۰	۳۶/۹۷	۸/۱۱
	S1	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۸/۰۰	۴۲/۷۵	۹/۳۴
	S2	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۱۱/۰۰	۴۴/۵۳	۹/۶۶
	S3	۴۳۵/۵۰	۱۴/۳۰	۱۲/۰۰	۴۹/۲۰	۱۰/۶۵
I ₂	S0	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۳/۰۰	۳۱/۵۰	۸/۰۹
	S1	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۴/۰۰	۳۳/۹۳	۸/۶۹
	S2	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۶/۰۰	۳۵/۷۳	۹/۱۱
	S3	۳۶۲/۰۰	۱۴/۳۰	۱۶/۰۰	۳۸/۷۸	۹/۸۹
I ₃	S0	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۱۷/۰۰	۱۹/۶۸	۶/۱۵
	S1	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۰/۰۰	۲۷/۲۵	۸/۴۴
	S2	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۱/۰۰	۲۸/۸۸	۸/۹۲
	S3	۲۸۸/۵۰	۱۴/۳۰	۲۳/۰۰	۲۹/۹۷	۹/۲۰



شکل ۷- اثر تیمارهای آبیاری و کاربرد سوپرجاذب بر بهره‌وری آب

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش نشان داد. 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 منجر به کاهش عرضه مواد پرورده می‌گردند و موجب کاهش عملکرد می‌شوند. در این میان حضور سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، نهایتاً مواد پرورده کافی را برای گیاه فراهم نموده و از کاهش معنی‌دار عملکرد جلوگیری نماید. لذا با استفاده از سوپرجاذب به خوبی می‌توان با کاربرد آب کمتر، عملکرد قابل قبولی را بدست آورد و بهره‌وری آب را افزایش داد و در نتیجه در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و با آب صرفه‌جویی شده، سطح زیر کشت را افزایش داد. با توجه به داده‌های بهره‌وری آب خیار در مزرعه، مقدار بهینه کاربرد سوپرجاذب در رژیم آبیاری کامل، ۴۵ گرم بر مترمربع، در رژیم آبیاری ۸۰ درصد آبیاری کامل، ۳۰ گرم بر مترمربع و در رژیم آبیاری ۶۰ درصد آبیاری کامل، ۱۵ گرم بر

مترمربع می‌باشد که بیش‌ترین بهره‌وری آب را رقم زده است. بنابراین هر چه مقدار آب آبیاری بیش‌تر بوده، آب‌شستگی مواد غذایی نیز بیش‌تر صورت پذیرفته که نهایتاً میزان بیش‌تری سوپرجاذب برای جذب آب و مواد غذایی نیاز بوده که نهایتاً افزایش عملکرد و بالطبع افزایش بهره‌وری آب بیش‌تری را رقم زده‌اند. همچنین، در صورت وجود سوپرجاذب در خاک شنی، تابع تولید درجه دوم به عنوان تابع بهینه تولید در شرایط خشکی برای گیاه خیار رقم سوپر دامینوس هیبرید معرفی شد. در پایان ذکر می‌گردد که کاربرد سوپرجاذب در سطح زراعی و وسیع، بدون کمک دولت و پرداخت یارانه، توجیه اقتصادی ندارد. هزینه خرید سوپرجاذب به صورت آزاد برای کشاورزان گران تمام می‌شود. اما اگر دولت بتواند در جهت حفظ منابع آب و جلوگیری از هدر رفت آب در بخش کشاورزی (که بیش‌ترین سهم از آب قابل استحصال کشور را در اختیار دارد)، برای خرید سوپرجاذب به کشاورزان، یارانه پرداخت نماید، در آن صورت خرید و کاربرد سوپرجاذب در سطح زراعی و وسیع نیز می‌تواند برای کشاورزان صرفه اقتصادی داشته باشد.

REFERENCES

- Aghayari, F., Khalili, F. and Ardakani, M. R. (2016). Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 6(1), 1-14. (In Farsi)
- 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.
- Afazaty, M., Irandost, M. and Rezaei Estakhroeh, A. (2015). Effect of application of super absorbent on the growth and yield of cucumber under deficit irrigation. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5(2), 203-214. (In Farsi)
- Asadi, R. and Karandish, F. (2016). Influence of irrigation management and drip irrigation laterals on water use, yield and net benefits in greenhouse cucumber. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1), 13-24. (In Farsi)
- Ahrar, M., Delshad, M. and Babalar, M. (2009). Improving of consumption efficiency of water and fertilizer in soil-free planting of greenhouse Cucumber by using of Superabsorbent. *Journal of horticulture science*, 23(1), 69-77. (In Farsi)
- Abdi, S., Asareh, A. and Asadilour, M. (2017). Determination of water use efficiency of cucumber in drought stress conditions with drip irrigation (Tape) in Zarinabad, Ilam. *3rd National Conference on Water Management in the Field (Water Demand Demand)*. 26-27 February., Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.
- Abedi Koupai, J. and Mesforoush, M. (2009).

- Evaluation of Superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal of Irrigation and Drainage*, 2, 100-111. (In Farsi)
- Alizadeh, A. (2007). *Planning the irrigation systems*. Imam Reza publication, 452p.
- 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.
- Datta K. K., Sharma, V. P. and Sharma, D. P. (1998). Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 36, 85-94.
- Hashemi-nia, S. M. (2007). *Water management in agriculture*. Ferdowsi University of Mashhad Press, 536p.
- 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.
- Huttermann, A., Zommodi, 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.
- Homaei, M., Dirksen, C. and Feddes, R. A. (2002). Simulation of root and water uptake, I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction function, *Agricultural Water Management*, 57, 89-109.
- 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.
- Kalra, N., Chakraborty, D., Ramesh Kumar, P., Jolly, M. and Sharma, P. K. (2007). An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. *Agricultural Water Management*, 93(1-2), 54-64.
- Khodadadi Dehkordi, D. (2012). Evaluation of Deficit Irrigation and Different Levels of Superabsorbent (Super AB A 200) on some of Growth Indices, Yield and Yield Components of Spring and Summer Corn (*zea mays L.*) in Khuzestan Province Climate Conditions. Ph.D. thesis. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. (In Farsi)
- Khadem, S. A., Ramroodi, M., Galavi, M. and Rousta, M. J. (2011). Effect of drought stress and different levels of animal manure and superabsorbent polymer on yield and yield component of corn. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(1), 115-123. (In Farsi)
- Karimi, A. and Naderi, M. (2007). Evaluation of Superabsorbent polymer on the dry matter yield and water use efficiency of corn in soil with different texture. *Water, soil and plant in agriculture*, 7(3), 187-198. (In Farsi)
- Kouhestani, Sh., Askari, N. and Maghsoudi, K. (2009). Impact Evaluation of Superabsorbent on grain corn yield under drought stress conditions. *Iranian Water Research Journal*, 3(5), 71-78. (In Farsi)
- Li, J., Inanaga, S., Li, Z. and Eneji, E. (2005). Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. *Agriculture Water Management*, 76, 8-23.
- Mohabbati, A. A., Najafi Mood, M. H., Shahidi, A. and Khashei Siuki, A. (2018). Interaction of water stress and zeolite application on greenhouse cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 9(2), 66-55. (In Farsi)
- Mousavizadeh, M. (2018). The effect of Nano-superabsorbent (ASN-320) on greenhouse cucumber tolerance to salinity stress and deficit irrigation. M.Sc. thesis. Tabriz University. (In Farsi)
- Moslehi, Sh., Najafi, P., Tabatabaei, S. H. and Nourmahnad, N. (2011). Effect of Soil Moisture Stress on Yield and Growth Indexes of Greenhouse Cucumber. *Journal of Water and Soil*, 25(3), 770-775. (In Farsi)
- Molai, A. and Riahi, H. (2007). Determination of consumed water of greenhouse cucumber under micro-irrigation methods (drip, tape and underground tape). *1st technical workshop of enhancing water use efficiency with greenhouse productions planting*. 18 October., Tehran. (In Farsi)
- Najafi Alishah, F., Golchin, A. and Mohebi, M. (2013). The effects of Aquasorb water-absorbing polymer and irrigation frequency on yield, water use efficiency and growth indices of greenhouse cucumber. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(15), 1-13. (In Farsi)
- Najafi Alishah, F. (2011). Effect of Nitrogen, superabsorbent and water requirement on yield and green cucumber growth index. M.Sc. thesis. College of Agriculture. Zanjan University. (In Farsi)
- Najafi Mood, M. H. (2012). Effect of salinity and deficit irrigation on yield, quantitative and qualitative components of different types of cotton yield and determination of premier functions of production. Ph.D. thesis. College of water sciences. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi)
- Rezaverdinejad, V., Shabanian, M., Besharat, S. and Hasani, A. (2017). Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 8(3), 27-39. (In Farsi)
- Roshdi, M. (2014). Study on generative traits and yield of sunflower under different levels of irrigation and superabsorbent polymer. *Journal of Crop Production Research*, 5, 373-386. (In Farsi)
- Sharifan, H., Mokhtari, P. and Hezarjaribi, A. (2013). The Effect of Superabsorbent A200 on the infiltration parameters of Kostikov-Lewis equation in the Furrow irrigation. *Journal of Water and Soil*, 27, 205-212.
- Shamci Gooshki, A., Tajoddini, P. and Farah-bakhsh, H.

- (2015). Impact evaluation of superabsorbent and priming on yield and yield component of grain corn under drought stress conditions. *2nd International Conference on New Findings of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment*. 16 March., Tehran, Iran. 5p.
- Shahidi, A. (2008). Interaction of deficit irrigation and salinity and yield and yield components of two wheat cultivars and determining its water-salinity production function in the Birjand region. Ph.D. thesis of irrigation and derainage, Shahid Chamran University, Ahvaz. 276p.
- 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.
- 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.
- Yazdani, S. (2017). *Evaluation of greenhouse cucumber yield under water and salinity stresses of irrigation water*. M.Sc. thesis. College of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi)
- [Zounemat-Kermani](#), M. and [Asadi](#), R. (2014). Effect of soil matric potential and irrigation pipe layout on yield and water use efficiency of cucumber's in greenhouse. *Journal of Water and Irrigation Management*, 4(2), 203-214. (In Farsi)
- Zohurian-Mehr, M. (2006). *Super-Absorbents*. Iran Polymer Society Press, 83p.