مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۷۲-۵۹

تأثیر تنش رطوبتی و سوپرجاذب بر عملکرد محصول ذرت

نیازعلی ابراهیمی پاک[1*]، داود خدادادی دهکردی[2]، اصلان اگدرنژاد[3]

۱. دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر تنش رطوبتی و سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (SC704)، در خاکی شنی در منطقهٔ حمیدیه خوزستان انجام پذیرفت. آزمایش در غالب طرح کرت‌های خردشده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در دوازده تیمار و سه تکرار انجام شد. عمق آب آبیاری، شامل I_1، I_2 و I_3 به ترتیب معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار اصلی و سوپرجاذب شامل S_0، S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب معادل ۰(شاهد)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع به‌عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب در سطح ۱ درصد بر عملکرد دانه معنا دار شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین های ۵/۸۹ و ۲/۰۶ تن در هکتار مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش شدید خشکی (I_3) بود. همچنین، اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب در سطح ۱ درصد بر کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ معنادار شد. بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۶۶ و ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش خشکی شدید (I_3) بود. اثر تیمارهای سوپرجاذب بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش میزان سوپرجاذب، مقدار مکش متوسط ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد کاهش یافت.

کلیدواژه‌ها: ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری، مدل جذب آب، رطوبت حجمی.

* نویسنده مسئول Email: nebrahimipak@yahoo.com

مقدمه

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیهٔ انسان، دام، طیور و صنعت دارد. سهم ذرت در تأمین غذای انسان ۲۰ تا ۲۵ درصد، در خوراک دام و طیور ۶۰ تا ۷۵ درصد و در مادهٔ اولیهٔ فرآورده‌های صنعتی ۵ درصد است (۱). کمبود رطوبت یکی از عوامل مهم محدودکنندهٔ رشد ذرت به‌شمار می رود. تنش خشکی از طریق ایجاد تغییرات آناتومیکی، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر جنبه های مختلف رشد ذرت تأثیر می‌گذارد (۳). کم‌آبیاری راهکاری بهینه برای به‌عمل‌آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح است. کم‌آبیاری در گسترش سطح زیرکشت و به‌حداکثر رسانیدن یا بهبود و تثبیت تولید محصولات منطقه نیز استفاده می‌شود (۱۴).

هیدروژل سوپرجاذب پلیمری آبدوست با شبکهٔ سه‌بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را دارد، حتی اگر تحت فشار لایه‌های بالایی خاک باشد (۵ و ۷). پلیمرهای سوپرجاذب مقادیر متفاوتی آب در خود ذخیره می‌کند و قابلیت نگهداری و ذخیره سازی آب را در خاک افزایش می‌دهد. آب ذخیره‌شده در این مواد در مواقع کم آبی در خاک آزاد می‌شود و مورد استفادهٔ ریشهٔ گیاه قرارمی‌گیرد (۲۴).

تحقیقات نشان داد که پلیمرهای سوپرجاذب ظرفیت نگهداشت آب خاک و نیز آب قابل‌استفادهٔ گیاه را افزایش می‌دهد (۱۹، ۳۰ و ۳۱). طی تحقیقی نشان داده شد که پلیمر سوپرجاذب قادر است آثار مخرب کمبود آب را با جذب، حفظ و نگهداری آن به‌طور معنا داری کاهش دهد. همچنین، مشاهده شد که مصرف سوپرجاذب در لوبیاقرمز سبب افزایش مادهٔ خشک و افزایش مقاومت به خشکی در این گیاه می‌شود. همچنین، این پلیمر سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای و افزایش ظرفیت نگهداری آب در لوبیاقرمز شد (۳۶). طی آزمایشی نشان داده شد که پلیمرهای سوپرجاذب به‌خوبی با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش خشکی، شرایط مساعدی را برای رشد گیاه فراهم می‌سازد و منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصول می‌شود (۲۷).

طی آزمایشی نتیجه‌گیری شد که قابلیت نگهداری و آزادسازی آب با سوپرجاذب در خاک شن لومی نسبت به خاک‌های رسی و لومی بیشتر است (۱۰). طی تحقیقی بیان شد که سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب، باعث کاهش هدررفت آب و عناصر غذایی می شود و از این طریق به گیاه کمک می‌کند تا بخش بیشتری از محلول مصرفی دریافتی را در فرایند تولید به‌کارگیرد و در نتیجه مقدار کارایی مصرف آب و کود بهبود می‌یابد (۲). طی مطالعه‌ای نتیجه‌گیری شد که افزایش عملکرد محصولات زراعی و بالطبع افزایش کارایی مصرف آب، در اثر کاربرد مواد سوپرجاذب به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی برای مدت طولانی‌تر در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیرهٔ مواد غذایی و هوادهی بهتر در خاک است (۶).

تحقیق دیگری نشان داد که رژیم نامطلوب رطوبتی، ضمن کاهش سطح برگ ها، پیری آن‌ها را تسریع می‌کند و میزان تولید را کاهش می‌دهد، خیلی بیش از آنچه به‌علت آثار ناشی از کم‌شدن فتوسنتز خالص تقلیل پیدا کند (۱۲). کارایی مصرف آب ذرت بین ۱/۴ تا ۱/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۹)، بین ۱/۵۹ تا ۲/۳ کیلوگرم بر مترمکعب (۱۷)، بین ۱/۱ تا ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۹)، بین ۱/۶۵ تا ۱/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۲)، بین ۴/۲۱ تا ۲ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۴)، بین ۱/۶۸ تا ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۵) و بین ۱/۳۸ تا ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۶) گزارش شده است.

سوپرجاذب به‌کار گرفته‌شده در این طرح، با عنوان سوپر آب آ ۳۰۰ (super AB A 300) ساخت شرکت رهاب رزین و تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران است. این سوپر جاذب تری‌پلیمری از آکریل آمید، آکریلیک اسید و پتاسیم آکریلات است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و نیز بررسی متوسط مکش و رطوبت ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد با استفاده از مدل جذب آب در شرایط غیرشور است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در منطقهٔ حمیدیهٔ خوزستان به‌طول جغرافیای ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه ۳۰ ثانیه با ارتفاع ۱۱ متر از سطح دریا در خاکی شنی در دو فصل کشت، از اسفند ۱۳۹۳ تا آبان ۱۳۹۴ اجرا شد. با توجه به آمار دریافت‌شده از ایستگاه هواشناسی اهواز، منطقهٔ مورد آزمایش بر اساس آمار پنجاه ساله، دارای متوسط بارندگی سالیانهٔ ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت هوای ۲۵ درجهٔ سانتی گراد، متوسط حداکثر درجهٔ حرارت هوای ۳۲/۸ درجهٔ سانتی گراد و متوسط حداقل درجهٔ حرارت هوای ۱۷/۶ درجهٔ سانتی گراد بود. به‌منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک محل آزمایش، قبل از کاشت گیاه، نمونهٔ مرکبی از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری زمین برداشت و برای آنالیز خاک، به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال شد. نتایج تجزیهٔ شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

همچنین، به‌منظور تعیین کیفیت آب آبیاری، از آب مزرعه نمونه برداری و برای تجزیهٔ شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است که آب مزرعه از رودخانهٔ کرخه‌نور تأمین می شد. نتیجهٔ تجزیهٔ شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعهٔ مورد آزمایش قبل از کاشت

عمق نمونه‌برداری (cm)	پتاسیم قابل‌جذب (ppm)	فسفر قابل‌جذب (ppm)	کربن آلی (٪)	pH	EC (dS/m)	بافت خاک	فراوانی نسبی و اندازهٔ ذرات خاک (٪)		
							شن	لای	رس
۰-۳۰	۱۶۶	۱۰/۴	۰/۴۲	۸/۱	۳	شنی	۸۸	۴	۸
۳۰-۶۰	۱۵۱	۱۴/۱	۰/۳۵	۸	۲/۸	شنی	۹۰	۲	۸

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ کیفی آب مزرعه

EC (dS/m)	pH	کاتیون‌ها (meq/l)				آنیون‌ها (meq/l)			
		Ca^{++}	mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	$Co_3^{=}$	Hco_3^{-}	Cl^{-}	$So_4^{=}$
۲/۹	۷/۳	۱۰	۹	۱۲	۰/۱۲	۰	۴	۱۲/۱	۱۰/۲

رقم ذرت مورد استفاده در این طرح، سینگل کراس ۷۰۴ بود. این رقم ذرت، متحمل به تنش خشکی و مناسب برای کشت در مناطق نیمه‌گرمسیری کشور است (۱۳). این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در دوازده تیمار و سه تکرار انجام شد. در این تحقیق عمق آب آبیاری تیمار اصلی در نظر گرفته شد، شامل I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه. پلیمر سوپرجاذب نیز تیمار فرعی بود، شامل S_0، S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب معادل ۰ (شاهد)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در مترمربع. ابعاد هر کرت فرعی ۴/۵×۴ متر بود. میزان سوپرجاذب مورد نیاز در هر کرت در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک به‌طور کاملاً یکنواخت توزیع شد؛ بدین‌صورت که بعد از تعیین خطوط کشت در هر کرت، خاک آن تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد و بعد از ریختن سوپرجاذب در طول خط کشت، مجدداً خاک برداشت‌شده بازگشت داده شد و با سوپرجاذب مخلوط گردید. کشت در اول اسفند ۱۳۹۳ (برای کشت بهاره) و در اول مرداد ۱۳۹۴ (برای کشت تابستانه) انجام گرفت. برای برنامه‌ریزی و تعیین دور آبیاری، با معیار قراردادن تیمار بدون تنش آبی، از شاخص رطوبت خاک یا پتانسیل ماتریکی خاک استفاده شد.

با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک از طریق نمونه‌برداری تا عمق ریشهٔ گیاه (تا حداکثر ۸۰ سانتی‌متر و حداقل از سه کرت) به‌ازای هر ۲۰ سانتی‌متر در روزهای قبل از آبیاری اقدام شد. زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیهٔ مجاز برای ذرت رسید (رطوبت حجمی بین ۷ تا ۸ درصد) آبیاری بعدی انجام شد. در نتیجه، دور آبیاری با توجه به تیمار بدون تنش آبی تعیین و هم‌زمان تمامی تیمارهای طرح با دور آبیاری یکسان و با اعماق متفاوت آب آبیاری شد. حجم آب آبیاری به‌طور دقیق و تنظیم‌شده به کرت‌های آزمایشی داده شد. از پمپی یک اینچی و کنتور حجمی دقیقی استفاده شد. لذا، راندمان کاربرد آب طرح ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. با توجه به زهکشی مناسب خاک طرح از آبشویی نیز صرف‌نظر شد. برای اعمال رژیم‌های مختلف آب و اعمال ضرایب هر تیمار، از رابطهٔ (۱) استفاده شد (۸).

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

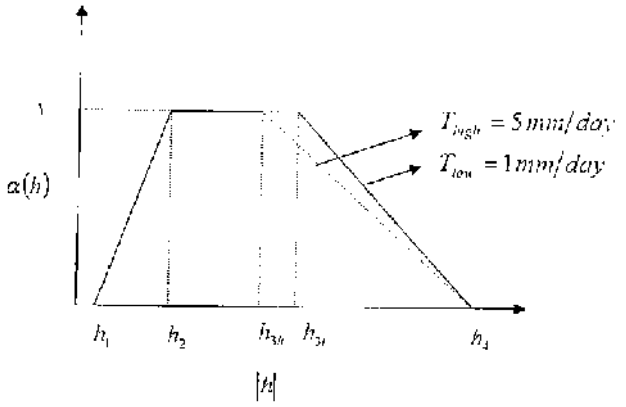
در این رابطه، SMD[1] کمبود رطوبت خاک (cm)، B_d جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)، D_r عمق توسعهٔ ریشهٔ گیاه (cm)، θ_i درصد وزنی رطوبت موجود در خاک و f ضرایب هر تیمار به‌صورت اعشار (۱، ۰/۷۵ و ۰/۵) است.

منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک مزرعه در شکل ۶ ارائه شده است. برای تعیین این منحنی، نخست خاک مزرعه در استوانه‌های فلزی به قطر ۴ و ارتفاع ۲/۲ سانتی‌متر ریخته شد که در ته آن کاغذ صافی قرارداشت. سپس، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت اشباع شد و بعد از توزین، در درون دیگ دستگاه صفحات فشاری قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت تحت مکش‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار قرارگرفت. پس از توقف جریان خروجی آب از نمونه‌ها، همگی از دستگاه خارج و وزن شد. سپس، بلافاصله در درون آون به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرارگرفت تا به‌روش وزنی میزان رطوبت آن تعیین شود. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه و در مرحلهٔ ۴ تا ۵ برگی صورت پذیرفت. به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب از رابطهٔ (۲) استفاده شد.

$$WUE = \frac{D}{W} \qquad (۲)$$

در این رابطه، WUE[2] کارایی مصرف آب (kg/m^3)، D جرم مادهٔ خشک تولیدشده (kg) و W حجم آب مصرفی گیاه (m^3) بود (۸).

1. Soil Moisture Deficit
2. Water Use Efficiency



شکل ۱. منحنی مقادیر مطلق مکش ماتریکی خاک $|h|$ در مقابل ضریب کاهندهٔ $\alpha(h)$

جدول ۳. مقادیر بحرانی مکش ماتریک (بر حسب سانتی‌متر) در اجزای تابع کاهشی $\alpha(h)$ در واکنش به تنش خشکی برای ذرت

محصول	h_4	h_{3low}	h_{3high}	h_2	h_1
ذرت	-۸۰۰۰	-۶۰۰	-۳۲۵	-۳۰	-۱۵

رسیدگی دانه‌ها در هر فصل کشت با تشکیل لایه‌ای سیاه در قاعدهٔ دانه‌ها مشخص شد. برداشت نهایی پس از حذف حواشی به‌صورت دستی از تمام بوته‌های موجود در ۲ مترمربع در وسط هر کرت (خطوط ۳ و ۴) انجام پذیرفت. محصول کل هر کرت فرعی جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و برچسب‌گذاری شد و برای تعیین عملکرد دانه به آزمایشگاه منتقل گردید. به‌منظور تعیین جذب آب در شرایط غیرشور از رابطهٔ فدس و همکاران[1] (۱۸) استفاده شد. در صورتی که هیچ‌گونه محدودیت آب در خاک وجود نداشته باشد، می توان فرض کرد که جذب نسبی آب در ریشهٔ گیاه، معادل عملکرد نسبی گیاه $\left(Y/Y_{Max}\right)$ است (۹).

$$\alpha(h)=\frac{Y}{Y_{Max}} \qquad (۳)$$

در این رابطه، $\alpha(h)$ جذب نسبی آب و $\frac{Y}{Y_{Max}}$ عملکرد نسبی گیاه است. نمای کلی ضریب کاهش $\alpha(h)$ (جذب نسبی آب) تابعی از قدرمطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ است (شکل ۱) (۹).

جدول ۳ مقادیر بحرانی مکش ماتریک برای اجزای تابع کاهشی $\alpha(h)$ در واکنش به تنش خشکی در ذرت را نشان می دهد (۹).

یکی دیگر از توابعی که برای تابع کاهشی $\alpha(h)$ معرفی شده، رابطه ای است که ون گنوختن[2] (۳۷) پیشنهاد کرد. او با فرض تأثیر یکسان تنش ناشی از شوری آب آبیاری بر محصول و در نتیجه بر تعرق، تابع سیگموییدی

1. Feddes et al.

2. Van Genuchten

(S شکل) ۴ را برای تابع کاهشی $\alpha(h)$ پیشنهاد کرد (۲۱ و ۹).

$$\alpha(h)=\frac{1}{1+\left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p}} \qquad (۴)$$

در این رابطه، h_{50} مکشی از خاک است که در آن جذب آب در گیاه نصف می شود و p ضریبی است تجربی که ون گنوختن و هافمن[1] (۳۸) مقدار p را ۳ در نظر گرفتند، در صورتی که تابع کاهنده به‌صورت S شکل صاف باشد (۲۰ و ۳۲). دیرکسن و همکاران[2] (۱۵) معادلهٔ (۴) را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریکی در آستانهٔ کاهش، یعنی h^*، تعدیل کردند و آن را به‌صورت رابطهٔ (۵) نشان دادند (۲۱).

$$\alpha(h)=\frac{1}{1+\left(\frac{h^{*}-h}{h^{*}-h_{50}}\right)^{p}} \qquad ۵)$$

$$\mathrm{P}=\frac{h_{50}}{h_{50}-h^{*}} \qquad (۶)$$

لذا، با توجه به رابطهٔ (۵) می‌توان جذب نسبی آب در ریشهٔ گیاه را در شرایط غیرشور تعیین کرد و به تبع آن متوسط مکش و متوسط رطوبت حجمی در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه را به‌دست آورد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنا دار شد (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه به‌طور معناداری کاهش یافت، چنانچه بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۵/۸۹ و ۲/۰۶ تن در هکتار مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش شدید خشکی (I_3) بود (شکل ۲). علت اصلی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش خشکی، کاهش معنا دار تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه بود (شکل ۳ و ۴) که با نتایج مجدم (۱۳)، سنچولی (۴) و خادم و همکاران (۳) مطابقت داشت.

تولنار و دنیارد[3] (۳۵) نتیجه گرفتند که عملکرد دانهٔ ذرت به رشد گل‌ها، باروری آن‌ها، نمو جنین، و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه بستگی دارد و هر کدام از این فرایندها نیاز به عرضهٔ مستمر مواد پرورده دارد. تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضهٔ مواد پرورده را کاهش می‌دهد و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌شود (۱۳، ۱۶، ۲۸ و ۳۳).

اثر تیمارهای پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنادار بود، هر چند که بین تیمارهای S_3، S_2 و S_1 اختلاف معناداری مشاهده نشد (شکل ۲). اما، با کاهش میزان پلیمر سوپرجاذب از عملکرد دانه کاسته شد و شاید دلیل آن را بتوان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط سوپرجاذب دانست که توانسته است شرایط مساعدی را در نهایت از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورد و از کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه و در نتیجه عملکرد دانه جلوگیری کند؛ چنانچه تیمار S_3 بیشترین میانگین عملکرد دانه به میزان ۸/۹۴ تن در هکتار و تیمار S_0 کمترین عملکرد دانه به میزان ۵/۸۹ تن در هکتار را نشان داد (شکل ۲). در رابطه با اثر متقابل تیمارها با عملکرد دانه، نتایج نشان داد که هر چند با کاهش میزان آب آبیاری عملکرد دانه کاهش یافت، این روند در اکثر تیمارها معنادار نبود و شیب یکنواختی نداشت، چنانچه

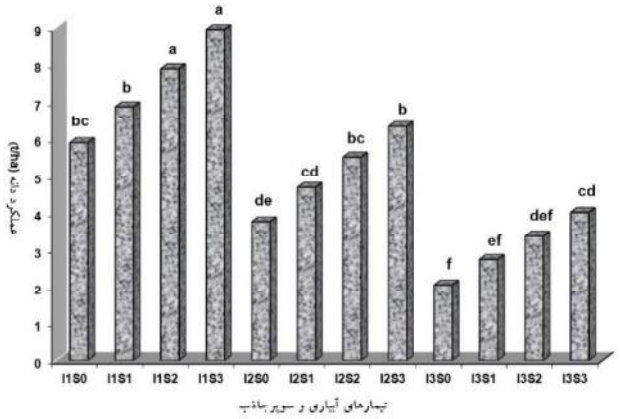
1. Van Genuchten and Hoffman
2. Dirksen et al.
3. Tollenaar and Daynard

تیمار I_2S_3 با تیمارهای I_1S_3، I_1S_2، I_1S_1 و I_1S_0 اختلاف معنا داری نداشت. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که سوپرجاذب به‌خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و موادغذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، در نهایت مواد پروردهٔ کافی را برای گیاه فراهم و از کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه جلوگیری کند. نتایج نشان داد که تیمار مقایسهٔ I_3S_3 با تیمارهای I_2S_2، I_2S_1 و I_2S_0 نیز دارای شرایط فوق بود.

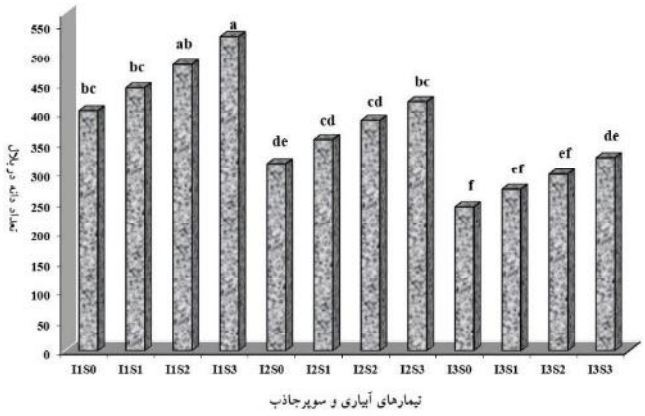
جدول ۴. تجزیهٔ واریانس اثر تیمارها بر عملکرد دانه

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
میزان آبیاری	۲	۴۶/۲۷	۱۵/۴۱	۱۸۸/۸۱**
سطوح سوپرجاذب مصرفی	۳	۱۸۵/۰۹	۶۱/۶۹	۷۵۵/۱۹**
اثر متقابل میزان آبیاری و سوپرجاذب مصرفی	۸	۱/۴۵	۰/۱۸	۲/۲۲*
خطای آزمایش	۳۰	۲/۴۵		
کل	۴۵	۲۰۷۲/۷		

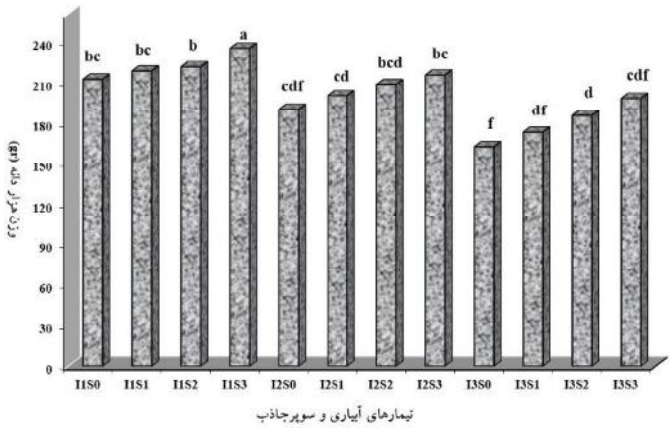
**در سطح ۱ درصد تفاوت معنادار است. *در سطح ۵ درصد تفاوت معنادار است. ns معنادار نیست



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر عملکرد دانه



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر تعداد دانه در بلال



شکل ۴. مقایسهٔ میانگین اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر وزن هزاردانه

جدول ۵. برآورد کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ تحت تیمارهای مختلف آبیاری و سوپرجاذب

تیمارها	عمق آب آبیاری (mm)	بارندگی (mm)		تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای فصل (mm)	مصرف گیاه (mm)	عملکرد گیاه (kg/ha)	کارایی مصرف (kg/m^3)
I_1	S_0	۶۰۰	۵	۵	۶۱۰	۵۸۹۰	۰/۹۶۶
	S_1	۶۰۰	۵	۶	۶۱۱	۶۸۷۰	۱/۱۲۴
	S_2	۶۰۰	۵	۷	۶۱۲	۷۸۸۰	۱/۲۸۸
	S_3	۶۰۰	۵	۸	۶۱۳	۸۹۴۰	۱/۴۵۸
I_2	S_0	۴۵۰	۵	۶	۶۴۱	۳۷۶۰	۰/۸۱۶
	S_1	۴۵۰	۵	۷	۴۶۲	۴۶۸۰	۱/۰۱۳
	S_2	۴۵۰	۵	۸	۴۶۳	۵۵۱۰	۱/۱۹
	S_3	۴۵۰	۵	۹	۴۶۴	۶۳۲۰	۱/۳۶۲
I_3	S_0	۳۰۰	۵	۷	۳۱۲	۲۰۶۰	۰/۶۶
	S_1	۳۰۰	۵	۸	۳۱۳	۲۷۵۰	۰/۸۷۸
	S_2	۳۰۰	۵	۹	۳۱۴	۳۳۷۰	۱/۰۷۳
	S_3	۳۰۰	۵	۱۰	۳۱۵	۴۰۱۰	۱/۲۷۳

کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴

جدول ۵ مقدار جذب آب در گیاه ذرت را بر اساس محاسبهٔ اجزای بیلان آب در پروفیل خاک به‌همراه میزان عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۵، هر چه میزان پلیمر سوپرجاذب بیشتر استفاده شد، تغییرات رطوبت خاک هم بیشتر شد. این موضوع نشان می‌دهد که هر چه میزان سوپرجاذب بیشتر باشد، ظرفیت نگه‌داشت رطوبتی خاک هم بیشتر می‌شود، لذا تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای فصل

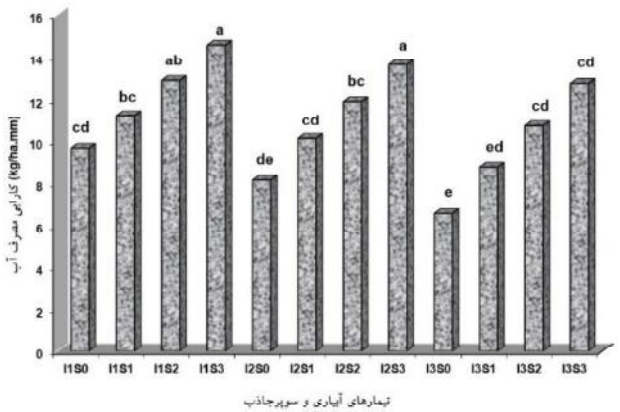
هم بیشتر شد. همچنین، هرچه عمق آب آبیاری کمتر شود، تغییرات رطوبتی خاک نیز بیشتر می‌شود که ناشی از تأثیر پلیمر سوپرجاذب در حفظ و ارتقای ظرفیت نگه‌داشت رطوبتی خاک شنی در شرایط تنش رطوبتی است. همان‌گونه که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، اثر تیمارهای آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح ۱ درصد معنادار شد. با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی مصرف آب به‌طور معناداری کاهش یافت. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۶۶ و ۰/۶۶ کیلوگرم مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل (I_1) و تنش خشکی شدید (I_3) بود. دلیل آن را می‌توان به افزایش معنا دار عملکرد محصول در تیمارهای آبیاری کامل (I_1) نسبت به تنش خشکی (I_3) شدید مرتبط دانست. اثر تیمارهای سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنا دار بود. دلیل آن را می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط سوپرجاذب دانست که توانسته است با جلوگیری از هدررفت آب و مواد غذایی در خاک سبک شنی، در نهایت از کاهش معنا دار عملکرد دانهٔ ذرت و بالطبع کارایی مصرف آب ذرت جلوگیری کند. نتایج نشان داد که تیمار S_3 بیشترین کارایی مصرف آب به میزان ۱/۴۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار S_0 کمترین کارایی مصرف آب به میزان ۰/۹۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب را داشت (شکل ۵) که با نتایج کریمی و نادری (۱۰)، هاترمن و همکاران[1] (۲۳)، احرار و همکاران (۲)، کوهستانی و همکاران (۱۱) و شریفان و همکاران (۶) مطابقت داشت. شکل ۵ مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶، نتایج اثر متقابل تیمارها با کارایی مصرف آب ذرت نشان داد که هر چند با کاهش میزان آب آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش یافت، این روند در اکثر تیمارها معنادار نبود و شیب یکنواختی نداشت. چنانچه، 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، I_1S_1 و I_1S_0 اختلاف معناداری وجود نداشت. نتایج نشان داد که سوپرجاذب به‌خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش خشکی از کاهش معنادار عملکرد دانهٔ ذرت و بالطبع کارایی مصرف آب آن جلوگیری به‌عمل آورد. این حالت بین تیمار I_3S_3 با تیمارهای I_2S_2، I_2S_1 و I_2S_0 نیز وجود داشت.

جدول ۶. تجزیهٔ واریانس اثر تیمارها بر کارایی مصرف آب

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
میزان آبیاری	۲	۱۹۹	۶۶/۵	۱۶/۳۶**
سطوح سوپرجاذب مصرفی	۳	۱۳۱/۱۵	۴۳/۷	۱۴/۶**
اثر متقابل میزان آبیاری و سوپرجاذب مصرفی	۸	۸۰/۱۵	۱۰	۹/۹**
خطای آزمایش	۳۰	۳۰/۰۶	۱	
کل	۴۵	۵۸۵۳/۰۴		

**در سطح ۱ درصد تفاوت معنادار است. *در سطح ۵ درصد تفاوت معنادار است. ns معنادار نیست

1. Huttermann et al.



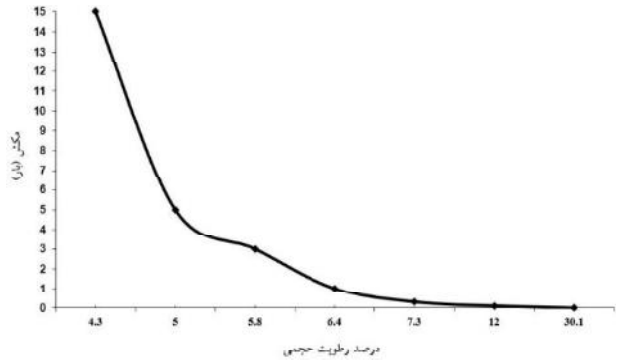
شکل ۵. مقایسهٔ میانگین اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب

جدول ۷. متوسط مکش و رطوبت ناحیهٔ ریشهٔ تیمارهای مختلف آزمایشی در طول فصل رشد

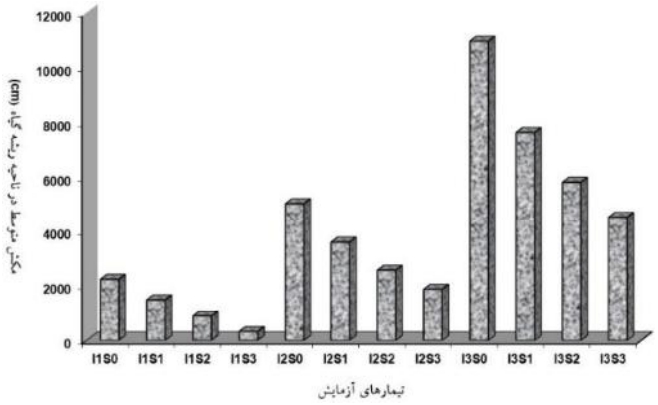
تیمارها		h^* (cm)	h_{50} (cm)	p	عملکرد نسبی اندازه‌گیری‌شده α(h) (جذب نسبی آب در ریشه)	مکش متوسط در ناحیهٔ ریشه (h)(cm)	متوسط رطوبت حجمی در ناحیهٔ ریشه (٪)
I_1	S_0	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۶۶	۲۲۳۶	۶/۰۷
	S_1	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۷۷	۱۴۸۴	۶/۲۹
	S_2	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۸۸	۸۹۰	۶/۵۹
	S_3	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۱	۳۲۵	۷/۳
I_2	S_0	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۴۲	۵۰۴۵	۵/۱
	S_1	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۵۲	۳۵۸۹	۵/۵۹
	S_2	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۶۲	۲۵۶۶	۶
	S_3	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۷۱	۱۸۷۰	۶/۲۴
I_3	S_0	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۲۳	۱۰۹۶۷	۴/۵۸
	S_1	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۳۱	۷۶۴۲	۴/۸
	S_2	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۳۸	۵۸۲۸	۴/۹۶
	S_3	۳۲۵	۳۸۳۷	۱/۰۹	۰/۴۵	۴۵۴۶	۵/۵۶

- متوسط مکش و رطوبت ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در تیمارهای مختلف آزمایش در طول فصل رشد

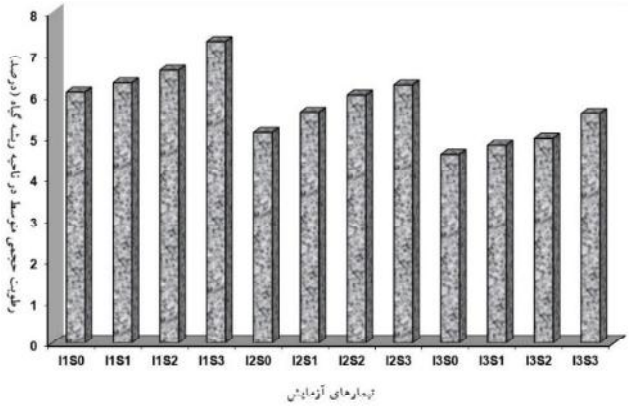
با استفاده از معادلهٔ (۵) (مدل جذب آب در گیاه در شرایط غیرشور)، مکش متوسط در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد و در تیمارهای مختلف محاسبه شد. سپس، با توجه به منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک محل آزمایش (شکل ۶) که با استفاده از نمونه‌برداری از خاک و قراردادن نمونه‌ها در دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید، میزان رطوبت معادل هر یک از مکش‌ها تعیین شد. جدول ۷ اجزای معادلهٔ (۵) را به‌همراه متوسط مکش و رطوبت ناحیهٔ ریشهٔ تیمارهای مختلف آزمایشی، در طول فصل رشد نشان می‌دهد. شکل ۷ مکش متوسط و شکل ۸ رطوبت حجمی متوسط در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد و در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۶. منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک مزرعهٔ آزمایشی



شکل ۷. مکش متوسط در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد در شرایط وجود سوپرجاذب در خاک



شکل ۸. رطوبت حجمی متوسط در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد در شرایط وجود سوپرجاذب در خاک

چنانچه شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش میزان پلیمر سوپرجاذب، میزان مکش متوسط ناحیهٔ ریشهٔ گیاه در طول فصل رشد کاهش یافت. همچنین، با کاهش میزان سوپرجاذب، از میزان رطوبت متوسط ناحیهٔ ریشهٔ گیاه، در طول فصل رشد نیز کاسته شد (شکل ۸). در مجموع با توجه به مکش و رطوبت متوسط ناحیهٔ ریشه در تیمارهای مختلف آزمایش، در طول فصل رشد، این نکته به‌دست می‌آید که سوپرجاذب به‌خوبی توانسته است در حفظ و

تداوم رطوبت در ناحیهٔ ریشه و بالابردن ظرفیت نگه‌داشت رطوبتی خاک در ناحیهٔ ریشه، موفق عمل کند و از این بابت توانسته است شرایط مساعدی را برای رشد گیاه و بالابردن عملکرد آن ایفا کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد به‌طور معناداری 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 به کاهش عرضهٔ مواد پرورده می‌انجامد و موجب کاهش عملکرد می‌شود. در این میان، حضور سوپرجاذب به‌خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، در نهایت مواد پروردهٔ کافی را برای گیاه فراهم و از کاهش معنادار عملکرد جلوگیری نماید. لذا، با استفاده از سوپرجاذب به‌خوبی می‌توان با کاربرد آب کمتر، عملکرد قابل‌قبولی به‌دست آورد و کارایی مصرف آب را افزایش داد. در نتیجه، در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و با آب صرفه‌جویی‌شده، سطح زیر کشت را افزایش داد.

منابع

۱. امام ی. (۱۳۸۶) زراعت غلات. انتشارت دانشگاه شیراز، ۲۰۰ صفحه.

۲. 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): ۷۷-۶۹.

۳. 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 اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۱): ۱۲۳-۱۱۵.

۴. سنچولی ن. (۱۳۸۶) بررسی نسبت‌های مختلف کود دامی و شیمیایی و مخلوط آن‌ها بر خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه زابل، زابل..

۵. شیخ‌مرادی ف.، عرجی ع.، عبدوسی و. و اسماعیلی ا. (۱۳۸۸) بررسی تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب بر کاهش نیاز آبی در چمن رقم اسپورت. همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی. ۳ صفحه.

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

۷. ظهوریان‌مهر م. (۱۳۸۵) سوپرجاذب ها. انتشارات انجمن پلیمر ایران، ۸۳ صفحه.

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

۹. عباسی ف. (۱۳۸۶) فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۵۰ صفحه.

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

۱۱. 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): ۷۸-۷۱.

۱۲. گاردنر اف.پی.، پرس آر.بی.پی. و میشل آر.ال. (۱۳۹۲) فیزیولوژی گیاهان زراعی. ترجمهٔ سرمدنیا غ. و کوچکی ع. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ صفحه.

۱۳. مجدم م. (۱۳۸۵) اثرات تنش کمبود آب و مدیریت مصرف نیتروژن بر خصوصیات اگروفیزیولوژیکی و عملکرد ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط آب‌وهوایی خوزستان. پایان‌نامهٔ دکترا، دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز.

۱۴. هاشمی‌نیا س.م. (۱۳۸۶) مدیریت آب در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۶ صفحه.

15. Dirksen C., Kool J.B., Koorevaar P. and Van Genuchten M.Th. (1993) HYSWASOR-Simulation model of hysteric water and Solute transport in the root zone, In: D. Russo and G. Dagan (Eds.), water flow and solute transport in soils, Springer Verlag, pp. 99-112.

16. Dwyer L.M., Srewart D.W., Hamilton R.I. and Houwing L. (1992) Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agronomy. 84: 430-438.

17. Degdelen N., Yilmaz E., Sezgin F. and Gurbuz T. (2005) Water-yield relation and water use efficiency of cotton (Gossypium hirsutum L.) and second crop corn (Zea mays L.) in western Turkey. Agricultural Water Management. 75: 79-91.

18. Feddes R.A., Kowalik P.J. and Zaradny H. (1978) Simulation of field water use and crop yield, Pudoc. Wageningen. 189 p.

19. Farrell C., Ang X.Q. and Rayner J.P. (2013) Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. Ecological Engineering. 52: 112-8.

20. Homaee M., Dirksen C. and Feddes R.A. (2002a) Simulation of root and water uptake, I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction function. Agricultural Water Management. 57: 89-109.

21. Homaee M., Feddes R.A. and Dirksen C. (2002b) Simulation of root and water uptake, II. Non-uniform transient water stress using different macroscopic reduction function. Agricultural Water Management. 57: 111-126.

22. Howell T.A., Tolk G.A., Schneider A.D. and Evett S.R. (1998) Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrid differing in maturity. Agronomy. 90: 3-9.

23. 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.

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. Karam F., Breidy J., Stephan C.R. and Rauphael J. (2003) Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. Agricultural Water Management. 63: 125-137.

26. Koksal H. and Kanber R. (1998) Water-yield relations on second crop maize under Cukurova conditions. In: Symposium on Agriculture and Forest Meteorology 98, ITU, Istanbul, 21-23 October, pp. 310-317.

27. Khodadadi Dehkordi D., Kashkuli H.A., Naderi A. and Shamsnia S.A. (2013) Evaluation of Deficit Irrigation and Superabsorbent Hydrogel on Some Growth Factors of SCKaroun701 Corn in the Climate of Khuzestan. Advances in Environmental Biology. 7(4): 527-534.

28. Nissanka S.P., Dixon M.A. and Tollenaar M. (1997) Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. Crop Science. 37: 172-181.

29. Oktem A., Simsek M. and Oktem A.G. (2003) Deficit irrigation effects on sweet corn (Zea mays saccharata sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region. I, Water-yield relationship. Agricultural Water Management. 61: 63-74.

30. Oschmann C., Kobayashi N., Perkuhn C., Grüneberg H. and Wissemeier A.H. (2009) Study to expand the range of wild plants for extensive roof greening systems using superabsorbent polymers (SAP). Acta Horticulturae. 813: 421-6.

31. Olszewski M.W., Holmes M.H. and Young C.A. (2010) Assessment of physical properties and stonecrop growth in green roof substrates amended with compost and hydrogel. HortTechnology. 20: 438-44.

32. Skaggs T.H., Van Genuchten Th., Shouse P.J. and Poss J.A. (2006) Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. Agricultural Water Management. 86: 140-149.

33. Schussler J.R. and Westgate M.E. (1991) Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduce assimilates during early kernel growth. Crop Science. 31: 1189-1195.

34. Steele D.D., Stegman E.C. and Gregor B.L. (1997) Irrigation scheduling methods for popcorn in the Northern Great Plains. Trans. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 40: 149-155.

35. Tollenaar M. and Daynard T.B. (1982) Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Canadian Plant Science. 58: 207-212.

36. Tohidi-moghadam H.R., Shirani-Rad A.H., Nour-Monhammadi G., Habibi D., modarres-sanavy S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojar M. and Dolatabadian A. (2009) Response of six oilseed rape genotypes to water stress and hydrogel application. Pesquisa Agropecuaria Tropical. 39: 243-250.

37. Van Genuchten M.Th. (1987) A numerical model for water and solute movement in and below the root zone, Research Report, U.S. Salinity Lab. Riverside, C.A., pp. 221.

38. Van Genuchten M.Th. and Hoffman G.J. (1984) Analysis of crop production, In: Shainberg, I. and Shlhevet, J.(eds.), soil salinity under irrigation, Springer Verlag, pp. 258-271.

39. Zwart S.J. and Bastiaanssen W.G.M. (2004) Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management. 69: 115-133.