

اثر تنش آبی و پلیمر (سوپرجاذب A200) بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت (*Zea mays L.*) در منطقه بیرجند

منصور فاضلی رستم پور^{۱*}، محمد جواد ثقه الاسلامی^۲، سید غلامرضا موسوی^۲

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه علوم تحقیقات تبریز و مربی مرکز آموزش شهید خیابانیان وابسته به دانشگاه جامع علمی کاربردی؛ ۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۳

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد. کاربرد برخی مواد، نظیر پلیمرهای سوپرجاذب در خاک، باعث افزایش ماندگاری آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب و آب شویی کودها می‌گردد. این مواد می‌توانند اثرات تنش کم آبی بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد در مناطق خشک و نیمه خشک گردند. به منظور بررسی تاثیر سوپرجاذب در شرایط تنش آبی بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و بعضی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت، آزمایشی به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند انجام گردید. تیمار رژیم آبیاری با سه سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی و مقادیر سوپرجاذب با چهار سطح (شاهد، ۳۵، ۷۵ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج این آزمایش نشان داد که تنش آبی و سوپرجاذب تاثیر معنی داری بر عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب داشت. بیشترین عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار و کمترین عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار تامین ۴۰ درصد نیاز آبی به همراه عدم استفاده از سوپرجاذب بود. به نظر می‌رسد، سوپرجاذب با کاهش اثرات منفی تنش آبی بر گیاه، باعث افزایش عملکرد دانه شده باشد. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش عملکرد دانه شود، بر کارآیی مصرف آب نیز تاثیر مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: پلیمر سوپرجاذب Superab A200، دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ.

مقدمه

از نقطه نظر کشاورزی، خشکی عبارت از ناکافی بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکندگی آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Ober et al., 2005). این محدودیت به همراه سایر تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، سرما، گرما، و تنش‌های زنده، پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاهان زراعی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهند (Martinez et al., 2007). پلیمرهای سوپرجاذب (اِبرجاذب و فِراجاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند. در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Widiastuti et al., 2008; Green et al., 2004). مقدار جذب آب، در این پلیمرها بسته به فرمول‌بندی، آب، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپرجاذب متغیر است (Monnig, 2005; Huettermann et al., 1999). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک گشته و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli et al., 2010). در تحقیق دیگری رابطه بین مصرف پلیمرهای سوپرجاذب و افزایش آب در دسترس گیاه را بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با مصرف سوپرجاذب، ۱۰/۶۸ درصد آب بیشتر نسبت به شاهد در خاک باقی ماند (Wu et al., 2008).

از نقطه نظر کشاورزی، خشکی عبارت از ناکافی بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکندگی آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Ober et al., 2005). این محدودیت به همراه سایر تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، سرما، گرما، و تنش‌های زنده، پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاهان زراعی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهند (Martinez et al., 2007). پلیمرهای سوپرجاذب (اِبرجاذب و فِراجاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند. در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Wu et al., 2008).

بود. این تحقیق به صورت طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار رژیم آبیاری با سه سطح ($I_1=100, I_2=70, I_3=40$) و درصد تامین نیاز آبی گیاه) به عنوان عامل کرت اصلی و مقادیر سوپرجاذب با چهار سطح (شاهد= S_1 , $S_2=35, S_3=75$ و $S_4=105$ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شد. طول هر کرت ۶ متر و شامل ۶ خط کشت بود. قبل از کاشت بذر، سوپرجاذب A200 در تیمارهای مورد نظر در کنار پشته، و در عمق ۲۰-۱۵ (حداکثر تراکم ریشه) سانتی متری زیر بذر قرار گرفت (Kazemi Arbat, 2006). بعضی از خصوصیات سوپرجاذب A200 در جدول ۱ آورده شده است (Abedi- Koupai and Asadkazemi, 2006). از زمان کاشت بذر، به مدت ۲۷ روز آبیاری در تمام تیمارها یکسان بود. فاصله ۳ آبیاری اول جهت سبز شدن یکنواخت هر ۴ روز یک بار انجام شد. و پس از رسیدن به مرحله ۲ برگی که گیاه یک مقاومت نسبی در مقابل تنش آبی کسب کرد و همچنین به خاطر پایین بودن تبخیر و تعرق و دمای پایین اوایل فصل، آبیاری هر ۷ روز یکبار انجام شد. نیاز آبی گیاه از روش FAO و براساس کلاس A با استفاده از معادله ۱ تعیین شد (Giovanni et al., 2009). با در نظر گرفتن کارایی ۸۰ درصد برای آبیاری نشتی، میزان آبیاری در هر تیمار تعیین و با استفاده از کنترلر انجام شد.

$$ET_c = K_c (ET_o) \quad [1]$$

که در آن ET_c و K_c به ترتیب تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی می‌باشند.

اثر منفی خشکی روی تولید محصولات زراعی از جمله ذرت و خسارت اقتصادی ناشی از آن، خصوصاً در مرحله گلدهی و در مرحله دانه بستن گیاه به دفعات گزارش شده است (Monneveux et al., 2007; Tolk et al., 1999). عملکرد دانه در ذرت همبستگی نزدیکی با تعداد دانه در هر بلال دارد (Otegui and Melon, 1997). تعداد نهایی دانه در ذرت وابستگی زیادی به میزان شیره پرورده ذخیره شده پیش از گلدهی دارد، که احتمالاً به دلیل ارتباط بسیار نزدیک بین تعداد دانه و سرعت رشد محصول پیش از گلدهی می‌باشد (Andrade et al., 2002). اثر مستقیم تنش خشکی بر تعداد دانه به دلیل کاهش پتانسیل آب تخمدان و کاهش ماده خشک قابل تقسیم به بلال، بر اثر کاهش قدرت مقصد (تخمدان) است (Lizaso et al., 2003). این آزمایش به منظور بررسی امکان تعدیل و کاهش اثرات تنش آبی بر عملکرد و کارایی استفاده از آب ذرت از طریق سوپرجاذب انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان ۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند به زاهدان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی با میانگین بارندگی ۰/۱ میلی‌متر و ۹۵/۱ میلی‌متر به ترتیب در فصول گرم و سرد سال، با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا و با آب و هوای گرم و خشک انجام شد. خاک قطعه زمین آزمایش دارای بافت لوم رسی شنی، با هدایت الکتریکی ۲/۷۴ میلی موس بر سانتی‌متر و اسیدیته ۸/۳

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های ماده سوپرجاذب A200

Table 1. The properties of Superab A200 material

Appearance	شکل ظاهری	White granule
Grain size (mm)	اندازه ذرات (میلی متر)	0.5-1.5
Water content (%)	مقدار رطوبت (درصد)	3-5
Density (g cm ⁻³)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	1.4-1.5
pH	اسیدیته	6-7
The actual capacity of absorbing the solution of 0.9 % NaCl	ظرفیت عملی جذب محلول نمک کلرید سدیم ۰/۹٪	45
The actual capacity of absorbing tap water	ظرفیت عملی جذب آب مقطر	190
The actual capacity of absorbing distilled water	ظرفیت عملی جذب آب شهر	220
Maximum durability (year)	حداکثر دوام (سال)	7

در این معادله GA مساحت زمین، W_1 و W_2 وزن خشک برداشت شده از مساحت GA و T_1 و T_2 زمان‌های برداشت می‌باشند (Rasheed et al., 2003).

داده های حاصل از یادداشت برداری‌ها و نمونه‌گیری-های صفات مورد نظر، به کمک نرم افزارهای SAS نسخه ۹.۲ و SPSS نسخه ۱۴ تجزیه و تحلیل شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۴ رسم گردید. برای مقایسه میانگی های مربوط به هر یک از تیمارها از روش دانکن در سطح ۵ احتمال درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

کارآیی مصرف آب

رژیم آبیاری اثر معنی داری بر کارآیی مصرف آب داشت (جدول ۲). کارآیی مصرف آب در تیمارهای تامین ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۷۲ و در تیمار تنش شدید (تامین ۴۰ درصد نیاز آبی) ۰/۱۵ گرم دانه بر لیتر بود (جدول ۳). فاره و همکاران (Farre et al., 2006) گزارش نمودند کارآیی مصرف آب در شرایط آبیاری مطلوب ۱/۸۸ گرم دانه بر لیتر و در شرایط کمبود آب به ۰/۵۰ گرم دانه بر لیتر رسید. به نظر می‌رسد پائین بودن شاخص سطح برگ در تنش خشکی باعث کاهش CGR و عملکرد دانه و در نتیجه کاهش کارآیی مصرف آب می‌شود. بین شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و کارآیی مصرف آب همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/833$) وجود داشت (جدول ۴).

سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب داشت (جدول ۲). کارآیی مصرف آب در تیمارهای شاهد، ۳۵، ۷۰، و ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۶۸، ۰/۶۵ و ۰/۷۲ گرم دانه بر لیتر بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که سوپرجاذب به دلیل کاهش آب و مواد غذایی از دست رفته و افزایش کارایی مصرف آنها در طی فصل رشد، باعث افزایش سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک شد. در این حالت دوام سطح برگ و طول دوره فتوسنتز در گیاه افزایش یافته و عملکرد دانه بیشتری ایجاد می‌شود که این امر سبب افزایش کارآیی مصرف آب از طریق افزایش صورت کسر WUE می‌شود. این نتایج منطبق بر نتایج به دست آمده توسط هادی و همکاران (Hady et al., 2006) است. بین دوام سطح برگ در طول فصل رشد و کارآیی مصرف آب همبستگی

برای تعیین شاخص های فیزیولوژیک رشد، نمونه گیری از هر کرت با فاصله زمانی هر دو هفته یک بار و با انتخاب چهار بوته بصورت تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام گرفت. عملکرد دانه در ذرت حاصل ضرب چند جزء می باشد، که اجزای عملکرد نامیده می شوند. این اجزای در ذرت شامل تعداد دانه در هر بلال، متوسط وزن هزار دانه و تعداد بلال در هر بوته می باشد (Andrade et al., 2002). با توجه به این که رقم ۷۰۴ تک بلال است، بنابراین عملکرد نهایی دانه در واقع حاصل ضرب وزن دانه در تعداد دانه است. جهت تعیین عملکرد در پایان فصل رشد، یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت شده و سپس عملکرد ذرت تعیین شد. جهت اندازه گیری وزن خشک ساقه، برگ و دانه نمونه‌ها در دمای ۷۵-۷۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت در آون قرار داده شده و سپس با ترازوی دیجیتال وزن شد.

برای تعیین کارآیی مصرف آب (WUE) از مهمترین تعریف آن در کشاورزی (عملکرد اقتصادی تولید شده به ازای آب مصرف شده در واحد سطح) استفاده شد. بنابراین کارآیی مصرف آب از معادله ۲ محاسبه گردید (Farre et al., 2006):

$$WUE = \frac{GY}{W_{ap}} \quad [2]$$

که در آن GY و W_{ap} به ترتیب عبارتند از کیلوگرم دانه تولید شده و متر مکعب آب استفاده شده.

شاخص سطح برگ (LAI) از تقسیم سطح برگ هر بوته (LA)، به سطح زمینی که توسط آن اشغال شده است (GA)، هر دو بر اساس متر مربع، با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید (Rasheed et al., 2003):

$$WUE = \frac{LA}{GA} \quad [3]$$

دوام سطح برگ (LAD) بیان کننده ماندگاری سطح برگ در طول فصل رشد است که با استفاده از معادله ۴ زیر محاسبه گردید (Rasheed et al., 2003).

$$LAD = \frac{(LA_1 + LA_2) \times (t_2 - t_1)}{2} \quad [4]$$

که در آن LA_1 و LA_2 به ترتیب سطح برگ بوته‌ها در نمونه برداری اول و دوم، T_1 و T_2 به ترتیب زمان نمونه برداری اول و دوم هستند.

سرعت رشد گیاه یا CGR بر اساس معادله ۵ محاسبه گردید:

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times \frac{1}{GA} \quad [5]$$

(جدول ۳). برودان و اگلی (Brevedan and Egli, 2003) گزارش کردند تنش کمبود آب تعداد دانه در بلال را ۲۵ تا ۳۳ درصد کاهش داد. اثر مستقیم تنش خشکی بر تعداد دانه، به دلیل کاهش پتانسیل آب تخمدان و کاهش ماده خشک قابل تقسیم به بلال، به دلیل کاهش قدرت مقصد (تخمدان) است، از طرف دیگر تعداد نهایی دانه در ذرت به میزان شیره پرورده ذخیره شده پیش از گلدهی بستگی زیادی داشته و افزایش شیره پرورده نیز ارتباط مستقیم با میزان CGR دارد (Lizaso et al., 2003). به نظر می‌رسد، کاهش معنی‌دار تعداد دانه تحت تنش کمبود آب، به دلیل کاهش سطح برگ در مرحله رشد رویشی و در نتیجه کاهش سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک و همچنین افزایش سقط جنین به دلیل کاهش شیره پرورده در مرحله زایشی باشد. در این آزمایش، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/839$) بین سرعت رشد محصول در طول فصل رشد و تعداد نهایی دانه دیده شد (جدول ۴). آندرید و همکاران (Andrade et al., 2002) همبستگی مثبتی بین سرعت رشد محصول و تعداد نهایی دانه در بلال گزارش نمودند.

مثبت و معنی‌داری ($r=0/83$) وجود داشت (جدول ۴). برهمکنش آبیاری و سوپرچاذب تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب داشت (جدول ۱). حداکثر کارایی مصرف آب در تیمار I_1 و 105 کیلوگرم سوپرچاذب در هکتار و I_1 و 35 کیلوگرم سوپرچاذب در هکتار و حداقل آن در تیمار I_3 و بدون مصرف سوپرچاذب مشاهده گردید (جدول ۶).

عملکرد و اجزای عملکرد

رژیم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد (جدول ۲). آنالیز آماری داده‌ها نشان داد، عملکرد دانه در تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب، به ترتیب حدود ۴۷ و ۹۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲)، ضمن این که بین تمام سطوح آبیاری تفاوت معنی‌دار دیده شد. کمبود آب در مراحل گلدهی و گرده افشانی، باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیر طبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود (Grant et al., 1989).

رژیم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در بلال می‌شود (جدول ۲). تعداد دانه در تیمار I_2 و I_3 نسبت به I_1 به ترتیب حدود ۴۴ و ۶۹ درصد کاهش یافت

جدول ۲. تجزیه واریانس میانگین مربعات مربوط به عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت.

Table 2. Mean squares from the analysis of variance for yield, yield component and water use efficiency (WUE) in *Zea mays*.

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
			عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه (گرم)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
		df	Grain yield (g.m ⁻²)	Grain no. per cob	1000 kernel weight (g)	WUE (kg.m ⁻³)
Block	بلوک	2	885.21*	15477.32*	1394.31*	0.01**
Irrigation regim	رژیم آبیاری	2	729964.73**	216263.87**	11759.22**	2.06**
Error a	خطای a	4	3857.55	7347.45	2672.23	0.02
Superabsorbent	سوپرچاذب	3	30272.88**	4252.27 ^{ns}	6536.32**	0.19**
Interaction	اثر متقابل	6	5478.07**	1202.64 ^{ns}	412.81 ^{ns}	0.03**
Error b	خطای b	18	239.18	3059.25	301.84	0.02
C.V%	ضریب تغییرات %		5.54	21.54	7.13	6.05

* و ** و ^{ns} به ترتیب عبارتند از معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار.

*, ** and ^{ns} means significant at 0.05 and 0.01 probability levels, and non-significant, respectively.

جدول ۳. مقایسات میانگین های اثر رژیم های آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه ای

Table 3. The means comparisons of the effect of irrigation regimes on yield, yield component and water use efficiency in *Zea mays*.

Irrigation regimes [§]	عملکرد دانه	تعداد دانه	وزن هزار دانه	کارایی مصرف آب
	(گرم بر مترمربع) Grain yield (g.m ⁻²)	در بلال Grain no. per cob	(گرم) 1000 kernel weight (g)	(کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg.m ⁻³)
I ₁	526.60 a	390.23 a	274.52 a	0.96 a
I ₂	277.66 b	258.52 b	244.84 ab	0.72 b
I ₃	33.33 c	121.75 c	211.93 b	0.15 c

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی دار نمی باشند.
[§] I₁, I₂ و I₃ به ترتیب عبارتند از تامین ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه.

Means in each column followed by a similar letter are not significantly different at P<0.05 according to Duncan's multiple range test.

[§] I₁, I₂ and I₃ means supplying 100, 70 and 40% of crop water requirement, respectively.

جدول ۴. ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی شاخص های رشد ذرت

Table 4. The Pearson correlation coefficient between yield, water use efficiency and some growth analyses in *Zea mays*.

	۱. عملکرد دانه	۲. کارایی مصرف آب	۳. شاخص سطح برگ	۴. سرعت رشد محصول	۵. دوام سطح برگ
1. Grain yield	1				
2. Water use efficiency	0.96**	1			
3. Leaf area index	0.86**	0.83**	1		
4. Crop growth rate	0.96**	0.95**	0.95**	1	
5. Leaf area duration	0.85**	0.83**	0.99**	0.89**	1

** Significant at the 1% probability level

** معنی دار در سطح ۱ درصد

جدول ۵. مقایسات میانگین اثر سوپرجاذب بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه ای

Table 5. The means comparisons of the effects of superabsorbent for yield, yield component and water use efficiency in *Zea mays*.

Superabsorbent levels [§]	عملکرد دانه	تعداد دانه	وزن هزار دانه	کارایی مصرف آب
	(گرم بر مترمربع) Grain yield (g.m ⁻²)	در بلال Grain no. per cob	(گرم) 1000 kernel weight (g)	(کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg.m ⁻³)
S ₁	194.27 c	226.83 a	208.00 c	0.39 c
S ₂	303.81 b	258.93 a	246.09 b	0.68 b
S ₃	294.30 b	262.91 a	247.53 b	0.65 b
S ₄	324.42 a	278.65 a	273.43 a	0.72 a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی دار نمی باشند.
[§] S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عبارتند از کاربرد صفر، ۳۵، ۷۵ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب.

Means in each column followed by a similar letter are not significantly different at P<0.05 according to Duncan's multiple range test.

[§] S₁, S₂, S₃ and S₄ are applying 0, 35, 75, 105 kg.ha⁻¹ superabsorbent, respectively.

جدول ۶. برهمکنش بین رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت دانه ای

Table 6. The interaction between Irrigation regimes and Superabsorbent on grain yield and water use efficiency.

رژیم آبیاری [§]	سطوح سوپرجاذب*	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
Irrigation regimes [§]	Superabsorbent levels*	Grain yield (g.m ⁻²)	WUE (kg.m ⁻³)
I ₁	S ₁	444.03 c	0.81 c
	S ₂	545.21 b	0.99 ab
	S ₃	537.60 b	0.98 b
	S ₄	579.58 a	1.05 a
I ₂	S ₁	130.62 f	0.34 d
	S ₂	318.26 e	0.83 c
	S ₃	305.43 e	0.79 c
	S ₄	356.34 d	0.93 b
I ₃	S ₁	8.17 h	0.04 f
	S ₂	47.95 g	0.22 e
	S ₃	39.88 g	0.18 e
	S ₄	37.33 g	0.17 e

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند. § I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عبارتند از تامین ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه.

* S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب عبارتند از کاربرد صفر، ۳۵، ۷۵ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب.

Means in each column followed by a similar letter are not significantly different at P<0.05 according to Duncan's multiple range test.

* S₁, S₂, S₃ and S₄ are applying 0, 35, 75, 105 kg.ha⁻¹ superabsorbent, respectively.

§ I₁, I₂ and I₃ means supplying 100, 70 and 40% of crop water requirement, respectively.

سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد ذرت می‌گردد (Mao et al., 2011). میزان فتوسنتز و ماده خشک به طور مستقیم تحت تاثیر کمبود آب قرار می‌گیرند و در نتیجه منجر به کاهش میزان عملکرد ذرت می‌شوند (Efthimiadou et al., 2009).

سوپرجاذب باعث افزایش تعداد دانه در بلال شد، اما تاثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۲). تعداد دانه در بلال در تیمار شاهد و تیمارهای ۳۵، ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار، به ترتیب به میزان ۲۲۶/۸۳، ۲۵۸/۹۳، ۲۶۲/۹۱ و ۲۷۸/۶۵ افزایش یافت (جدول ۵). به نظر می‌رسد سوپرجاذب از طریق تامین آب و به دنبال آن برخی عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل دانه، باعث کاهش سقط جنین و در نتیجه افزایش دانه‌های بارور شده است.

سوپرجاذب باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شد (جدول ۲). وزن هزار دانه در تیمار شاهد و ۳۵، ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار، به ترتیب به میزان ۲۰۸، ۲۴۶/۰۹، ۲۴۷/۵۳ و ۲۷۳/۴۳ افزایش یافت و تفاوت

رژیم آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت (جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد وزن هزار دانه در تیمارهای I₁ و I₂ با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارد، به طوری که وزن هزار دانه در تیمارهای I₂ و I₃ نسبت به I₁ به ترتیب حدود ۱۱ و ۳۳ درصد کاهش یافت (جدول ۳). مکلیچ و لاربی (Mekliche and Larbi, 2002) بیان داشتند کاهش وزن دانه در تنش خشکی به دلیل پیری زودرس برگ‌ها و در نتیجه کاهش مدت پر شدن دانه است. بین پتانسیل آب دانه و شیره پرورده ذخیره شده در آن همبستگی نزدیکی وجود دارد و افزایش پتانسیل آب دانه باعث افزایش توسعه سلول‌ها و در نتیجه بالارفتن قدرت مخزن می‌گردد (Borras et al., 2003).

سوپرجاذب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید (جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد عملکرد دانه در تیمار شاهد و ۳۵، ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار به ترتیب ۳۰۳/۱۹۴، ۲۹۴/۳ و ۳۲۴/۴۲ گرم بر مترمربع بود، و تفاوت معنی‌داری بین شاهد با سطوح سوپرجاذب دیده شد (جدول ۵). گزارش شده که

به ساقه در گیاه *Ctenanthe setosa* برابر ۰/۸۳ بود، اما در تنش آبی ۶۴ روزه این نسبت به ۲/۶۷ رسید (Terazi et al., 2006). برهمکنش سطوح آبیاری و سوپرجاذب بر تعداد دانه و وزن هزار دانه تاثیر معنی‌داری نداشت، اما سطوح سوپرجاذب، باعث افزایش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه نسبت به شاهد گردید.

در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد تیمارهای I_۲ و I_۳ کارآیی مصرف آب را نسبت به تیمار I_۱ به ترتیب ۲۵ و ۸۴/۳۷ درصد کاهش دادند. از طرف دیگر ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب توانست کارآیی مصرف آب را نسبت به شاهد ۴۵/۸۳ درصد افزایش دهد (جدول ۵). بررسی برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب نشان داد که تیمارهای I_۲S_۲ و I_۲S_۳ توانستند کارآیی مصرف آبی مشابه تیمار I_۱S_۱ داشته باشند، یعنی مصرف ۳۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار توانست باعث صرفه‌جویی ۳۰ درصدی آب برای آبیاری ذرت در طول فصل رشد گردد و می‌توان گفت با مصرف ۳۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار در تیمار I_۲ برای تولید یک گرم دانه در مترمربع، تقریباً به میزان ۱۶۵ لیتر آب صرفه جویی شده است.

معنی‌داری بین شاهد و سطوح سوپرجاذب دیده شد (جدول ۵). احتمالاً سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، در مرحله پر شدن دانه، توانسته محتوی نسبی آب گیاه و در نتیجه پتانسیل آب سلول‌ها و قدرت مخزن را افزایش داده و باعث بالا رفتن وزن دانه گردد.

عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تاثیر برهمکنش آبیاری و سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در تیمار I_۱S_۴ بود و سوپرجاذب نتوانست جایگزین آبیاری گردد (جدول ۶). به نظر می‌رسد برهمکنش سطوح خشکی و سطوح سوپرجاذب به دلیل سرمایه‌گذاری بیشتر گیاه جهت توسعه ریشه و در نتیجه جذب آب از یک طرف و همچنین توسعه ریشه در مناطق عمیق خاک باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش تاثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه شده است. هنگامی که گیاه به وسیله خشکی تهدید می‌شود، سیستم ریشه آن عمیق‌تر می‌شود. این ریشه‌ها اگرچه آب را فراهم می‌نمایند، ولی مواد غذایی کمی جذب می‌کنند، زیرا بیشتر مواد معدنی در دسترس در لایه‌های فوقانی خاک تجمع یافته‌اند (Saki Nejad, 2011). تحت آبیاری مطلوب نسبت ریشه

منابع

- Abedi- Koupai, J., Asadkazemi, J., 2006. Effects of hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. Iranian Polymer Journal. 15(9), 715- 725.
- Andrade, F.H., Echarte, L., Rizzalli, R., Della Maggiora, A., Casanovas, M., 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. Crop Sci. 42, 1173-1179.
- Borras, L., Westgate, M.E., Otegui. M.E., 2003. Control of kernel weight and kernel water relation by post-flowering source-sink ratio in maize. Ann. Bot. 91, 857- 867.
- Brevedan, R.E., Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Sci. 43, 2083- 2088.
- Hady, O. A., Wanas, Sh.A., 2006. Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogels. J. App. Sci. Res. 2(12), 1293- 1297.
- Efthimiadoua, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froudwilliams, B., Eleftherochorinos, I., 2009. Effects of cultural system (organic and conventional) on growth, photosynthesis and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.) under semi-arid environment. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. . 37 (2): 104-111.

- Farre, I., Faci, J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manage.* 83, 135- 143.
- Giovanni P, Jonghan, K., Marek, T., Howell, T., 2009. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (KC) of maize and sorghum. *Agric. Water Manage.* 96, 1698–1704.
- Grant, R.F., Jackson, B.S., Kiniry, J.R., Arkin, G.F., 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81, 61- 65.
- Green, C.H., Foster, C., Cardon, G.E., Butters, G.L., Brick, M., Ogg, B., 2004, Water release from cross-linked polyacrylamide. Colorado State University, Ft. Collins, CO, p.252-260.
- Huettermann, A., Zommodi, M., Reise, K., 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil Tillage Res.* 50, 295-304.
- Kazemi Arbat, H., 2006. Morphology and Anatomy of Cereal crops. Tabriz University Publication. 588p. [In Persian].
- Larbi, A., Mekliche, A., 2004. Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. *Options Méditerranéennes Series A, Séminaires Méditerranéens.* 60, 193–196.
- Lizaso, J.I., Batchelor, W.D., Westgate, M.E., 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Res.* 80, 1- 17.
- Mao, S., Islam, M.R., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., Hu. Y., 2011. Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. *African J. Agric. Res.* 6(17), 4108-4115
- Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., Pinto, M., 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Europ. J. Agron.* 26, 30- 38.
- Monneveux, P., Sheshshayee, M.S., Akhter, J., Ribaut J.M., 2007. Using carbon isotope discrimination to select maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids for drought tolerance. *Plant Sci.* 173, 390- 396.
- Monnig, S., 2005. Watter saturated super- absorbent polymers used in high strength concrete. *Otto- Graf- Journal.* 16, 193-202.
- Nazarli, H., Zardashti, M.R. Darvishzadeh, R., Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. *Not Sci. Biol.* 2(4), 53-58.
- Ober, E.S., Bloa, M., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Res.* 91, 231-249.
- Otegui M.E., Melon, S., 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: Sowing date effects. *Crop Sci.* 37, 441-447.
- Rasheed, M., Hussain, A., Mahnood. T., 2003. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. *Inter. J. Agric. Biol.* 4, 721-722.
- Saki Nejad, T., 2011. Effect of drought stress on shoot/root ratio. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 8(2), 595-598.

- Terazi, R., Kadioglu, A., 2006. Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system in *Ctenanthe setosa*. Acta. Biologica Craccoviensia Series Botanica. 48, 2: 89- 96.
- Tolk, J.A., Howell, T.A., Evett, S.R., 1999. Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. Soil Tillage Res. 50(2), 137-147.
- Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M., Zhang, D.K., 2008. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. Desalination. 218, 271- 280.
- Wu, L., Liu, M., Liang, R., 2008. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. Biores. Technol. 99, 547-554.

