

امکان‌سنجی استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت (*Zea mays L.*) در یک نظام زراعی کم‌نهاد در شرایط مشهد

محسن جهان^{۱*}، نفیسه کامیستانی^۲ و فاطمه رنجبر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۳۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سوپر جاذب در کاهش تنش خشکی در گیاه ذرت (*Zea mays L.*)، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. کرت‌های اصلی شامل: (۱) کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، (۲) ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، (۳) عدم مصرف سوپر جاذب و کرت‌های فرعی شامل فواصل مختلف آبیاری (۱۴، ۱۰، ۷، روز بودند). نتایج آزمایش نشان داد که ارتفاع بوته (۱۴۰/۵ سانتی‌متر)، ماده خشک (۱۴۴/۵ گرم در مترمربع) تحت تأثیر سوپر جاذب قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آنها از کاربرد سطح دوم سوپر جاذب حاصل شد. ارتفاع بوته، ماده خشک، دمای کانوپی، تعداد ذرت، وزن تر، عملکرد اقتصادی، و وزن صد دانه تحت تأثیر فواصل آبیاری قرار گرفتند و هیچ تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز بین ارتفاع بوته، ماده خشک، دمای کانوپی، شاخص برداشت و وزن صد دانه وجود نداشت که این نتایج می‌تواند در رابطه با کاهش آب مورد نیاز برای آبیاری ذرت مهم باشد. اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص برداشت غیرمعنی‌دار بود. برهمکنش بین سوپر جاذب و فواصل آبیاری نشان داد که در سطح دوم سوپر جاذب تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین فواصل آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز در تمام صفات وجود نداشت. اثرات متقابل برای فواصل آبیاری ۷ و ۱۴ روز برای تمامی شاخص‌ها به جز ماده خشک و عملکرد اقتصادی یکسان بود. به‌نظر می‌رسد که افزایش مصرف سوپر جاذب در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نهایت کاهش تنش خشکی موثر بود و افزایش فواصل آبیاری از ۷ به ۱۴ روز هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در شرایط مشهد ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، دور آبیاری، منطقه نیمه‌خشک، ظرفیت نگهداری آب در خاک

مقدمه

استفاده از سوپر جاذب در پایداری ساختمان خاک و افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش فرسایش خاک (Lentz et al., 1998)، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Setter et al., 2001) افزایش راندمان مصرف آب (Teyel & El-Hady, 1981) افزایش قدرت جوانه‌زنی، افزایش عملکرد گیاه و کاهش نیاز آب آبیاری می‌شوند و به نظر می‌رسد زمانی که سوپر جاذب‌ها با خاک مخلوط می‌شوند سبب حفظ مقدار زیادی آب و مواد مغذی در خاک شده، بنابراین گیاه با کمبود این منابع مواجه نخواهد شد (Islam et al., 2011). جذب سریع آب و حفظ آن بوسیله‌ی سوپر جاذب‌ها، بازده جذب آب ناشی از بارندگی را بالا برده و در صورت آبیاری خاک، فواصل آبیاری را کاهش می‌دهد (Allahdadi et al., 2005). زمانیکه آب و مواد مغذی محلول در تماس با پلیمر آب‌دوست قرار می‌گیرند، سبب انبساط مولکولی آن شده و در ادامه وارد ساختار آن می‌شوند (Martin and Ruter, 1993). پلیمرهای سوپر جاذب بی‌خطر و غیرسمی هستند و در نهایت به آب، دی‌اکسید کربن، یون پتاسیم و آمونیوم تجزیه می‌شوند و

استفاده‌ی ناکارآمد از آب باران و آب آبیاری توسط محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از عوامل بسیار مهم در ایجاد بحران آب می‌باشد و کمبود آب به عامل محدود کننده‌ی جدی در تولید محصولات کشاورزی تبدیل شده است. کشور ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره‌ی زمین با مشکل کم‌آبی مواجه می‌باشد بنابراین جهت مدیریت آب و استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی تحقیقات زیادی در حال انجام می‌باشد (Islam et al., 2011).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، کارشناس ارشد آگرواکولوژی و دانشجوی دکتری آگرواکولوژی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email jahan@um.ac.ir)

به‌میزان دو برابر مقدار توصیه شده توسط شرکت تولید کننده (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و ۳- عدم استفاده از سوپر جاذب رطوبت، بود. عامل کرت فرعی سه دور آبیاری به‌ترتیب هفت، ۱۰ و ۱۴ روز بود. کشت در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۲ انجام و همزمان با آماده سازی زمین افزودن سوپر جاذب به خاک صورت گرفت. کلیه عملیات آماده‌سازی زمین توسط کارگر انجام شد. فاصله دو کرت اصلی از یکدیگر ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت با فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف برابر ۲۰ سانتی‌متر بود؛ به طوری که تراکم شش بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. در مرحله جوانه‌زنی تا استقرار کامل گیاه، آبیاری به میزان یکسان و توسط سیستم تحت فشار لوله انجام شد. اعمال تنش در مرحله‌ی ۴-۳ برگی ذرت اعمال شد. در طی فصل رشد، هر ۱۵ روز یک بار از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع نمونه‌گیری انجام گرفت و صفاتی مانند ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک بوته‌های برداشت شده تعیین شد. میزان تنش وارده به بوته‌های ذرت با استفاده از ترمومتر مادون قرمز در چند نوبت اندازه‌گیری و ثبت شد. در پایان فصل رشد، عملکرد دانه و بیولوژیک گیاهان تحت تیمارهای مختلف در سطحی به اندازه‌ی یک متر مربع اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار Minitab Ver. 16 و به‌منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۱) نشان داد که اثر مقادیر متفاوت سوپر جاذب و دور آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار کاربرد دو برابر مقدار توصیه شده سوپر جاذب به ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر بود که با دو سطح دیگر اختلاف معنی‌دار داشت و نسبت به تیمار بدون سوپر جاذب ۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۱۳۸ سانتی‌متر) در نتیجه‌ی دور آبیاری هفت روز و کمترین ارتفاع بوته (۱۲۸ سانتی‌متر) از دور آبیاری چهارده روز حاصل گردید (جدول ۲). اثرات متقابل مقادیر سوپر جاذب و دور آبیاری به‌کار رفته در آزمایش بر ارتفاع ذرت در جدول ۳ نشان داده شده است و همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۸/۹ سانتی‌متر) مربوط به استفاده‌ی دو برابر از سوپر جاذب و دور آبیاری ۷ روز بود. علت کاهش ارتفاع گیاه با افزایش فواصل آبیاری را می‌توان ناشی از کافی نبودن میزان آب در دسترس دانست.

ممکن است هیچگونه اثری از آنها در طبیعت باقی نماند (Martin, 1997; Mikklisen, 1994). این پلیمرها می‌توانند رطوبت خاک و کودها را تا ۵ سال بعد از کاربردشان در زمین‌های کشاورزی حفظ کنند (Martin, 1997). آب و مواد غذایی ذخیره شده به آرامی برای رشد گیاه تحت شرایط کمبود آب رها می‌شوند (Yazdani et al., 2007). استفاده از هیدروژل‌های سوپر جاذب به‌عنوان پلیمرهای به‌شدت آبدوست جهت کاهش اثرات مضر تنش خشکی شناخته شده‌اند (Koohestani et al., 2009). نتایج تحقیقات پندی و همکاران (Pandy & Maranvill, 2000) در خصوص اعمال تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت نشان داد که اعمال تنش رطوبتی به‌طور کلی باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، کاهش قطر ساقه و کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. کرناک و همکاران (Krank & Genkoglan, 2003) اذعان داشتند که تنش رطوبتی و کاهش مصرف آب در ذرت باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تنش رطوبتی و کاهش مصرف آب در ذرت باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ و وزن ماده‌ی خشک می‌شود. در آزمایشی روی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) نشان داده شد که تعداد دانه در بوته با کاربرد حداقل مصرف سوپر جاذب تحت تأثیر واقع نشد، اما در سطوح متوسط و بالاتر مصرف سوپر جاذب، به‌ترتیب ۳۱ و ۴۵ درصد تعداد دانه در بوته افزایش پیدا کرد (Mao & Islam, 2011). نتایج آزمایشی دیگر نشان داد که روند افزایش وزن خشک گیاه ذرت تحت تأثیر کاربرد مقادیر پلیمر سوپر جاذب به‌صورت خطی بود که می‌توان آن‌را به بهبود خصوصیات خاک و در نتیجه افزایش رطوبت قابل استفاده در خاک در اثر کاربرد پلیمرهای سوپر جاذب نسبت داد (Moazzen Ghamsari et al., 2009). گزارش شده است که استفاده از هیدروژل‌های سوپر جاذب در گیاه ذرت در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب بهبود عملکرد دانه، اجزای عملکرد و وزن تر شد (Koohestani et al., 2009). با توجه به کمبود آب در بیشتر نقاط ایران و وارد شدن تنش خشکی در اغلب گیاهان زراعی، این آزمایش با هدف بررسی اثرات دور آبیاری (تنش خشکی) و استفاده از پلیمر سوپر جاذب رطوبت روی گیاه ذرت در شرایط مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مورد نظر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ به اجرا درآمد. عامل کرت اصلی سطوح سوپر جاذب: ۱- استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌مقدار توصیه شده توسط شرکت تولید کننده (۴۰ کیلوگرم در هکتار)، ۲- استفاده از سوپر جاذب رطوبت

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد سطوح مختلف سوپر جاذب و دور آبیاری بر برخی صفات ظاهری و عملکرد در گیاه ذرت

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of data resulted from super absorbent and irrigation effects on some corn traits and yield										
وزن صد دانه 100-Seed weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد اقتصادی Economic yield	وزن تر Fresh yield	تعداد بلال Cob Number	دمای کانوپی Canopy temperature	ماده خشک Dry matter	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع بوته Plant height	درجه آزادی d.f.	منابع تغییر S.O.V
14.72	373.4	38222	46477	1.59	11.11	2961	0.31	286.14	2	بلوک (Block)
24.09ns	67.8ns	16698ns	86026ns	0.48ns	1.04ns	5203*	0.09ns	363.62**	2	سوپر جاذب (super absorbent)
5.98	498.4	9721	56253	1.42	2.07	36.7	0.6	180.44	4	خطا A (Error A)
66.95**	132.4ns	463381*	959899*	6.25*	3.44*	9933**	0.34ns	216*	2	آبیاری (Irrigation)
8.7ns	222.8ns	8814ns	5370ns	1.25ns	1.72ns	1999*	0.23ns	126.51*	4	سوپر جاذب × آبیاری (Irrigation × Super absorbent)
6.22	145.5	4512	57.520	1.25	0.55	801	0.13	49.43	12	خطا B (Error B)

* and **: indicate significant at 5 and 1% probability levels, respectively and ns: non-significant.
* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns: غیر معنی دار

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های برخی شاخص‌های رشدی و اجزای عملکرد گیاه ذرت در سطوح مختلف سوپر جاذب و دور آبیاری
 Table 2- Mean comparisons of some corn traits affected by super absorbent and irrigation interval

وزن صدانه (گرم) 100-Seed weight (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد						ارتفاع (سانتی-متر) Plant height (cm)
		اقتصادی (گرم بر مترمربع) Economic yield (g.m ⁻²)	وزن تر (گرم بر مترمربع) Fresh weight (g.m ⁻²)	تعداد بال (عدد) Cob (Number)	دمای کانوپی (درجه سانتی-گراد) Canopy temperature (°C)	ماده خشک (گرم بر مترمربع) Dry matter (g.m ⁻²)	شاخص سطح برگ Leaf area index	
19.92 a	55.1 a	584 a	1164 a	4.6 a	35.8 a	96.8 b	2.7 a	129 b*
20.37 a	50.3 a	506 a	974 a	4.7 a	36.5 a	89.8 b	2.8 a	129 b
17.33 a	50.4 a	577 a	1028 a	4.3 a	36.3 a	134.5 a	3.0 a	140 a
21.74 a	56.0 a	793 a	1398 a	5.4 a	35.7 a	144.9 a	3.0 a	138 a
19.55 ab	51.6 a	534 b	1021 a	4.5 ab	36.9 b	93.5 b	3.0 a	b132a
16.32 b	48.3 a	341 c	747 b	3.7 b	36.0 ab	82.7 b	2.5 a	128 ab

*برای هر تیمار و در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

*For each factor and in each column, means followed by the same letter(s), are not significantly different based DMR test (p ≤ 0.05).

سوپر جاذب
 Super absorbent
 سطح ۰
 level0
 سطح ۱
 level 1
 سطح ۲
 Level 2
 دور آبیاری
 Irrigation intervals
 روز ۷
 7 days
 روز ۱۰
 10 days
 روز ۱۴
 14 days

افزایش فواصل آبیاری دمای کانوپی نیز افزایش می‌یابد.

وزن تر

نتایج آزمایش بیانگر اثر معنی‌دار تیمار دور آبیاری بر وزن تر بود، در حالی که اثر تیمار سوپرچاد و اثرات متقابل سوپرچاد و دور آبیاری بر وزن تر معنی‌دار نبود (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که بیشترین (۱۳۹۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین وزن تر (۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب مربوط به آبیاری با دور هفت و چهارده روز بود، به طوری که با کاهش دور آبیاری از چهارده به هفت روز، وزن تر ۸۷ درصد افزایش یافت. گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی به دلیل کاهش سطح برگ و میزان ماده خشک تولید شده، موجب کاهش وزن تر در گیاه ذرت می‌گردد. در اثر تنش خشکی سطح برگ به عبارتی سطح جذب نور خورشید و به دنبال آن سطح فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد که در نهایت به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه منجر می‌گردد (Hong-Bo and Li-ye, 2008).

ماده خشک

اثرات ساده‌ی سطوح مختلف سوپرچاد، دور آبیاری و اثر متقابل سوپرچاد و دور آبیاری بر مقدار ماده خشک ذرت معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود (جدول ۱). با افزایش مقدار کاربرد سوپرچاد، میزان ماده خشک افزایش یافت، به طوری که بیشترین ماده خشک (۱۳۴/۵ گرم بر مترمربع) در تیمار دو برابر سوپرچاد مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۳۸ درصد افزایش داشت. بیشترین ماده خشک در تیمار آبیاری با دور هفت روز (۱۴۴/۹ گرم بر متر مربع) مشاهده گردید (جدول ۲)؛ به طوری که دور آبیاری هفت روز در مقایسه با دور آبیاری چهارده روز میزان ماده خشک را ۷۵ درصد افزایش داد (جدول ۲). نتیجه‌ای که از جدول ۲ گرفته می‌شود این است که بسته به شرایط منطقه‌ی کشت، چنانچه از ۱۰ گرم در متر مربع ماده خشکی که دور آبیاری ۱۰ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز، اضافه تولید می‌کند، صرف‌نظر شود، می‌توان دور آبیاری را چهار روز به تأخیر انداخت، بدیهی است که در شرایط محدودیت منابع آبی، ۱۰ گرم بر متر مربع و یا ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار کاهش در ماده‌ی خشک، به ازای چهار روز افزایش در فاصله‌ی بین دو آبیاری کاملاً می‌تواند توجیه‌پذیر باشد.

یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2007) گزارش کردند که افزایش فواصل آبیاری روی گیاه سویا (*Glycine max L.*) به دلیل کاهش تقسیم و طول‌شدن سلولی، کاهش رشد و ارتفاع گیاه را به دنبال داشت.

پلیمرهای سوپرچاد با بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود ساختمان و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاه زراعی در شرایط تنش خشکی فراهم می‌کنند (Samavat, 1992)، لذا به نظر می‌رسد که سوپرچاد از طریق افزایش فراهمی آب و مواد غذایی موجود در خاک گیاه سبب افزایش ارتفاع ذرت شد.

شاخص سطح برگ (LAI)^۱

نتایج حاصل از تجزیه واریانس گویای این مطلب بود که اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی از نظر تأثیر بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۱). با این حال، بیشترین شاخص سطح برگ (۳) مربوط به سطح دو برابر استفاده از سوپرچاد بود که نسبت به تیمار عدم مصرف سوپرچاد ۱۱ درصد افزایش نشان داد، هر دو دور آبیاری هفت و ده روز سبب بیشترین شاخص سطح برگ (۳) شدند (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۶) مربوط به اثر متقابل مصرف دو برابر سوپرچاد و دور آبیاری هفت روز بود. مودن قمصری و همکاران (Moazzen Ghamsari et al., 2009) گزارش کردند که افزایش شاخص سطح برگ ذرت تحت تأثیر کاربرد پلیمر سوپرچاد در دوره‌های مختلف آبیاری ممکن است در نتیجه تداوم پتانسیل فشاری لازم برای رشد برگ‌ها و تقلیل اثر تنش خشکی در گیاه باشد.

دمای کانوپی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر سطوح مختلف سوپرچاد و اثرات متقابل بین سوپرچاد و دور آبیاری بر دمای کانوپی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود، در حالی که اثر دوره‌های مختلف آبیاری معنی‌دار بود. کمترین دمای کانوپی (۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد) مربوط به دور آبیاری هفت روز و بیشترین دما (۳۶/۹ درجه سانتی‌گراد) مربوط به دور آبیاری ده روز بود (جدول ۲). با وجود عدم معنی‌داری اثرات متقابل سوپرچاد و دور آبیاری، کمترین دمای کانوپی (۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد) مربوط به تیمار بدون سوپرچاد با دور آبیاری چهارده روز بود. به نظر می‌رسد که خشکی با تأثیر بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش آب درون بافتی برگ‌ها شد که این کاهش آب در گیاه سبب افزایش دمای کانوپی می‌شود و با

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سوپر جاذب و دور آبیاری بر برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد در گیاه ذرت
Table 3- Mean comparisons of interaction effects of super absorbent and irrigation on some corn growth criteria and yield

وزن صدانه (گرم) 100-Seed weight (g)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	عملکرد اقتصادی (گرم بر متر مربع) Economic yield (g.m ⁻²)	وزن تر (گرم بر متر مربع) Fresh weight (g.m ⁻²)	تعداد پال (عدد) Cob (Number)	دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد) Canopy temperature (°C)	ماده خشک (گرم بر متر مربع) Dry matter (g.m ⁻²)	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع پوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تیمار Treatment
23 a	56.02 a	840 a	1553 a	6 a	35.8 a	130.2 ab	2.8 a	132.5 ab	سطح ۰ Level 0 ۷ روز 7 days
19 ab	58.87 a	563 cde	985 bc	4 b	37 a	89.2 b	2.5 a	124.7 b	۱۰ روز 10 days
17.6 ab	50.63 a	350 ef	955 bc	4 b	34.6 a	71.1 b	2.4 a	130.6 a	۱۴ روز 14 days
23.9 a	65.17 a	793 a	1234 ab	5 ab	35.8 a	110.2 ab	2.8 a	133.1 a	سطح ۱ Level 1 ۷ روز 7 days
19.7 ab	43.87 a	463 cde	1096 b	5 ab	36.8 a	64.3 b	2.8 a	132 ab	۱۰ روز 10 days
17.4 ab	42.06 b	263 f	593 d	4.3 b	36.8 a	94.8 b	2.8 a	123.9 b	۱۴ روز 14 days
18.6 ab	46.85 a	746 ab	1406 a	5.3 ab	35.5 a	194.3 a	3.6 a	148.9 a	سطح ۲ Level 2 ۷ روز 7 days
19.8 ab	52.17 a	576 bcd	982 bc	4.6 b	36.8 a	127 ab	3.1 a	28.5 ab	۱۰ روز 10 days
13.8 b	52.41 a	410 def	695 c	3 c	36.7 a	82.2 b	2.1 a	144 ab	۱۴ روز 14 days

*برای هر اثر متقابل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.
*For each interaction and in each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different based on DMR test (p ≤ 0.05).

سطح یک سوپرژادب و دور آبیاری ۱۴ روز بود. وجود سوپرژادب تأثیر چشمگیری در افزایش عملکرد دانه ذرت نداشت، با این حال اثر متقابل دو برابر سوپرژادب و دور آبیاری ۱۴ روز نسبت به اثر متقابل عدم مصرف سوپرژادب و دور آبیاری ۱۴ روز، عملکرد دانه را ۱۷ درصد افزایش داد که به نظر می‌رسد سوپرژادب با قابلیت ذخیره‌سازی و نگهداری آب در خاک در شرایط تنش و کم آبی، آب مورد نیاز گیاه را تامین کرد و سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به زمان عدم مصرف سوپرژادب شد. کوهستانی و همکاران (Koohestani et al., 2009) در آزمایشی روی ذرت نشان دادند که با افزایش میزان تنش خشکی، تأثیر هیدروژل‌های سوپرژادب بر افزایش عملکرد دانه بیشتر بود. آنها نتیجه گرفتند که اثر پلیمرهای سوپرژادب در سطوح پایین‌تر رطوبت، محسوس‌تر است.

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی و اثرات متقابل آنها بر شاخص برداشت ذرت بود (جدول ۱)، با این وجود، بیشترین شاخص برداشت در سطح دو برابر سوپرژادب و دور آبیاری هفت روز بود. با توجه به جدول ۳ بیشترین شاخص برداشت در تیمار سطح یک سوپرژادب و دور آبیاری هفت روز حاصل شد. نتایج آزمایشی نشان داد که استفاده از سوپرژادب در گیاه ذرت همراه با دو سطح آبیاری عادی و تحت تنش خشکی بر شاخص برداشت اثری نداشت (Moslemi et al., 2011). استر و همکاران (Setter et al., 2001) گزارش کردند که شاخص برداشت ذرت تحت تأثیر تنش خشکی تقریباً ثابت است، زیرا همان‌طور که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد، وزن خشک کل را نیز کاهش می‌دهد، مگر این که تنش شدید باعث کاهش دانه به میزان زیاد گردد و در نتیجه شاخص برداشت کاهش پیدا کند.

وزن صد دانه

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که وزن صد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرژادب و هم‌چنین اثرات متقابل بین سطوح مختلف سوپرژادب و آبیاری، واقع نشد، در حالی که تفاوت در سطوح مختلف دور آبیاری به‌تنهایی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود (جدول ۱). افزایش مقدار کاربرد سوپرژادب تأثیری بر وزن صد دانه نداشت، ولی با افزایش فواصل آبیاری، وزن صد دانه کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین وزن صد دانه (۲۱/۷۴ گرم) از تیمار با دور آبیاری هفت روز حاصل شد که نسبت به دور آبیاری چهارده روز، وزن صد دانه را ۳۳ درصد افزایش داد. بیشترین وزن صد دانه (۲۳/۹ گرم) در سطح یک سوپرژادب و دور آبیاری هفت روز و کمترین آن (۱۳/۹ گرم) در سطح

جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف سوپرژادب و دور آبیاری (جدول ۳) گویای این مطلب است که بیشترین (۱۹۴/۳ گرم بر متر مربع) و کمترین (۶۴/۳ گرم بر متر مربع) ماده خشک به‌ترتیب مربوط به اثر متقابل دو برابر سوپرژادب و دور آبیاری هفت روز و اثر متقابل سطح ۱ سوپرژادب و دور آبیاری ده روز بود. به‌نظر می‌رسد که سوپرژادب در شرایط تنش برای گیاه مفید واقع شد، اگر چه اختلاف‌ها معنی‌دار نبود.

احتمالاً تنش خشکی سبب کاهش رشد سبزینه‌ای ذرت شد و در تیمار کاربرد سوپرژادب، این ماده به انتشار مقادیر بیشتری از آب و مواد غذایی از خاک به طرف گیاه کمک کرد. آب و مواد غذایی ذخیره شده جهت رشد زیست‌توده گیاه رها شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. سالار و همکاران (Salar et al., 2005) در پژوهشی اثر سوپرژادب بر دور آبیاری در کشت خربزه را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که برهمکنش دور آبیاری و میزان سوپرژادب بر تولید زیست‌توده معنی‌دار شد.

عملکرد اقتصادی

بین سطوح مختلف سوپرژادب و اثرات متقابل سوپرژادب و دور آبیاری از نظر تأثیر بر عملکرد اقتصادی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، در حالی که بین سطوح مختلف دور آبیاری به‌تنهایی تفاوت معنی‌دار ($p \leq 0.05$) وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین بین سطوح مختلف دور آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد اقتصادی (۷۹۳ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری هفت روز و کمترین آن (۳۴۱ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری با دور چهارده روز حاصل شد (جدول ۲). در آزمایشی نشان داده شد که کمبود آب در طی دوره‌ی گل‌دهی ذرت، عملکرد را تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهد (Setter et al., 2001). به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهان در اثر تنش خشکی، دمای زیاد، رطوبت نسبی پایین و در نتیجه زیاد شدن تبخیر و تعرق باشد که خود از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی و عرضه مواد پرورده، سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. العمران و همکاران (Al-Omran et al., 2000) گزارش کردند که با افزایش سطح آبیاری، عملکرد ذرت افزایش یافت. تبریزی (Tabrizi, 2004) در تحقیق خود روی اسفزه (*Plantago ovata* L.) و پسیلیوم (*Plantago psyllium* L.) نتیجه گرفت که عملکرد بذر پسیلیوم با افزایش دور آبیاری کاهش یافت.

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل بین سوپرژادب و دور آبیاری (جدول ۳) نشان داد که بیشترین عملکرد اقتصادی (۸۴۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار عدم کاربرد سوپرژادب و دور آبیاری هفت روز و کمترین مقدار (۲۶۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به

و شاخص سطح برگ به حداقل خود رسید، به‌عبارت دیگر، این نتایج حاکی از آن است که از طریق به‌کارگیری مدیریت‌های زراعی مناسب می‌توان با انجام آبیاری کمتر، محصولی (دانه) برابر با بالاترین میزان آب آبیاری (دور آبیاری هفت روز) برداشت کرد. تفاوت وزن تر بین دو دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز بیشتر از تفاوت عملکرد ماده‌ی خشک بین این دو دور آبیاری بود (شکل ۳)، از سوی دیگر از نظر شاخص برداشت بین این دو سطح آبیاری تفاوت قابل توجهی وجود نداشت، لذا به نظر می‌رسد که دور آبیاری ۱۴ روز اگر چه از مقدار شاخ و برگ گیاه کاست ولی شاخص برداشت آن را تحت تأثیر منفی قرار نداد.

نتیجه‌گیری

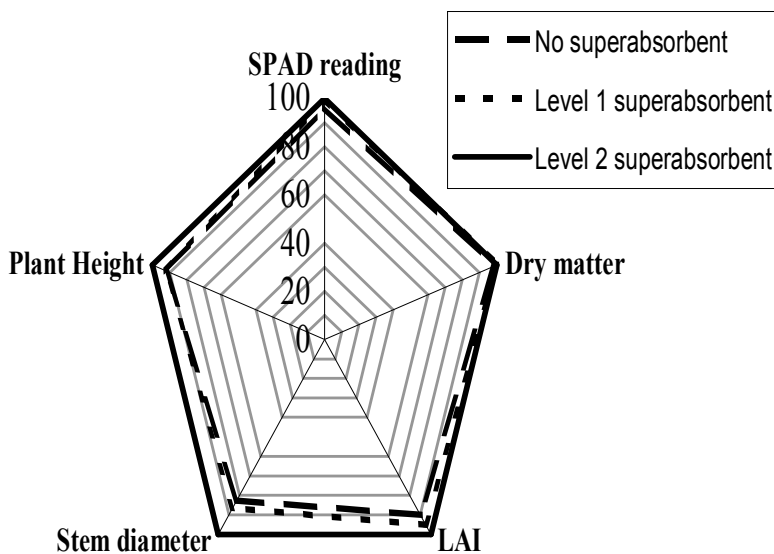
نتایج این پژوهش نشان داد که از نظر تولید ماده‌ی خشک، دمای کانوپی، محتوای رطوبت نسبی، تعداد بلال، وزن تر، شاخص برداشت و وزن صد دانه بین دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز تفاوت معنی‌دار وجود نداشت که این موضوع از نظر صرفه‌جویی در آب مصرفی قابل توجه می‌باشد. از آنجا که شاخص سطح برگ، شاخص برداشت تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند، لذا به‌نظر می‌رسد که بخش عمده‌ی اثرات مثبت تیمارها از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود خواص فیزیکی خاک و نیز کاهش میزان تنش وارده به گیاه مجال بروز پیدا کرده‌اند.

دو برابر سوپر جاذب و دور آبیاری چهارده روز حاصل شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که سطوح بالای سوپر جاذب روی وزن صد دانه تأثیری نداشت، درحالی‌که این صفت به‌میزان بیشتری تحت تأثیر تیمار آبیاری واقع شد. وستایج و بویر (Westage & Boyer, 1998) نیز گزارش کردند که که کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی به‌علت کاهش در وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف بود. به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی از رسیدن آب مورد نیاز و انتقال مواد غذایی به دانه‌ها جلوگیری می‌کند و از طرفی ریزش برگ‌ها و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و کوتاه شدن دوره‌ی تشکیل دانه نیز سبب چروکیده شدن و کاهش وزن صد دانه در ذرت می‌گردد.

اثر ساده‌ی سطوح سوپر جاذب بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود اثر مثبت دو برابر شدن مقدار کاربرد سوپر جاذب بر صفات شاخص سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عدد اسپد، نسبت به تیمار بدون سوپر جاذب و سطح ۱ سوپر جاذب بارز بود. اگرچه، از نظر ماده‌ی خشک این تفاوت به حداقل خود رسید.

اثر ساده‌ی سطوح مختلف دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت

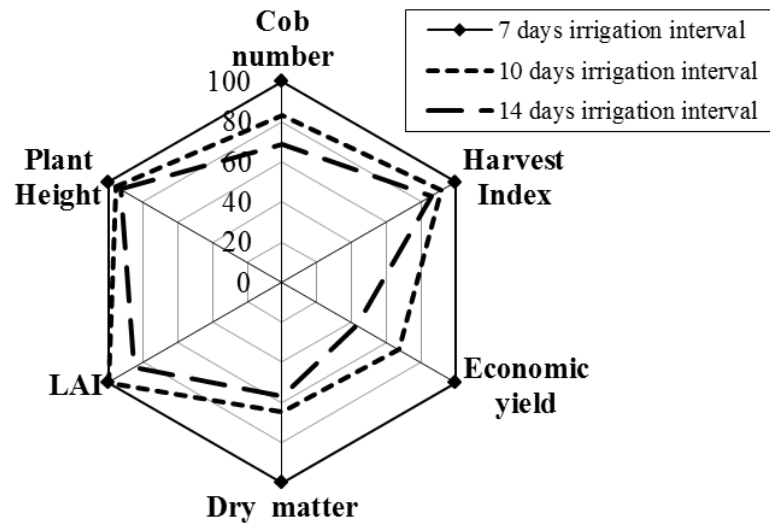
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تفاوت بین سطوح مختلف دور آبیاری بر صفات عدد اسپد، ارتفاع بوته، شاخص برداشت



شکل ۱- مقایسه اثر سطوح مختلف سوپر جاذب بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت

مقایسه بر مبنای سطح ۲ کاربرد سوپر جاذب صورت گرفته است.

Fig. 1- Comparison of the effect super absorbent on some growth characteristics of corn
Comparisons were done based on second level of super absorbent application.



شکل ۲- مقایسه اثر سطوح مختلف دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت
مقایسه بر مبنای دور آبیاری هفت روز صورت گرفته است.

Fig. 2- Comparison of the effect of irrigation interval on some growth characteristics of corn
Comparisons were done based on 7 days irrigation interval.

تنش خشکی در تولید این محصول، کاهش حجم آب آبیاری و حفظ تولید آن در یک سیستم کم‌نهاد را به دنبال داشته باشد که این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون مشهد که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

قدردانی

هزینه‌های انجام این آزمایش توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح پژوهش به شماره ۱۷۷۲۴ مصوب ۹۰/۳/۴ تأمین شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

نتایج مربوط به اثرات متقابل سوپرچادب و دور آبیاری حاکی از آن بود که کلیه صفات مورد بررسی در سطح دو کاربرد سوپرچادب و دور آبیاری ۱۴ روز، تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری ۱۰ روز نداشتند. همین موضوع به جز برای عملکرد اقتصادی و تولید ماده خشک برای دور آبیاری ۷ روز در مقایسه با دور آبیاری ۱۴ روز نیز صادق بود. به عبارت دیگر، با افزایش مقدار کاربرد سوپرچادب، می‌توان فاصله‌ی آبیاری ذرت در منطقه‌ی مشهد را از ۷ به ۱۴ روز افزایش داد، بدون این‌که کاهش معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد آن حاصل شود. به طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش در راستای نتایج دیگر محققان، نشان داد که استفاده از پلیمرهای سوپرچادب و به دنبال آن افزایش فاصله‌ی بین دو آبیاری ذرت می‌تواند ضمن کاهش اثرات

منابع

- Allahdadi, A.B., Ghamsari, M., Akbari, G.A., and Zohourmehr, M. 2005. Study the effect of different levels of super absorbent polymer and irrigation on corn (*Zea mays* L.) growth and yield. 3th Congress on Super Absorbent Hydrogel Application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemical of Iran. (In Persian with English Summary)
- Al-Omran, A.M., Sheta, A.S., Falatan, A.M., and Al-Harb, A.R. 2000. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo* L.) yield and water use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. *Agricultural Water Management* 37: 111-112
- Hong-Bo, S., and Li-ye, C. 2008. Water-deficit stress- induced anatomical changes in higher plants. *Current Research in Biology* 331: 215-225.
- Islam, M.R., Xue, X.Z., Mao, S., Ren, C.Z., Eneji, A.E., and Hu, Y.G. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(4): 680-686.
- Koohestani, S., Asgari, N., and Maghsudi, K. 2009. Study the effect of super absorbent hydrogel on corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress. *Journal of Iran Water Research* 5: 71-78.
- Krank, H., and Genkoglun, C. 2003. Effects of deficit irrigation on the yield and growth of the succeeding corn crop

- under Harran Plain conditions. *Ziraat- Fakultesi-Dergisi, Ataturk Universities* 34(2): 117-123.
7. Lentz, R.D., Sojka, R.E., and Robbins, C.W. 1998. Reducing phosphorus losses from surface-irrigated fields: Emerging polyacrylamide technology. *Journal of Environmental Quality* 27: 305-312.
 8. Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., and Hu, Y. 2011. Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research* 6(17): 4108-4115.
 9. Martin, C.A., Ruter, J.M., Robertson, R.W., and Sharp, W.P. 1993. Element absorption and hydration potential of polyacrylamide gels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24(5-6): 539-548.
 10. Martin, E.T. 1997. *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. Published by the International Fertilizer Industry Association, Paris, France. ISBN 2-9506299-0-3
 11. Mikklensen, R.L. 1994. Using hydrophilic polymer to control nutrient release. *Fertilizer Research* 38: 53-59.
 12. Moazzen Ghamsari, B., Akbari, G., Zohuriyan, A., and Nikniyae, M.G. 2009. Study the yield and growth analysis of forage corn (*Zea mayz* L.) under different level of super absorbent polymer application (super water- A₂₀₀) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 3: 1-8. (In Persian with English Summary)
 13. Moslemi, Z., Hbib, D., Asgharzadeh, A., Ardakani, M.R., Mohammadi, A., and Sakari, A. 2011. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. *African Journal of Agricultural Research* 6(19): 4471-4476.
 14. Nesmith, D.S., and Ritchie, J.T. 1992. Short and long-term responses of corn to a pre- anthesis soil water deficit. *Agronomy Journal* 84: 107-113.
 15. Pandey, R.K., and Maranvill, J.W. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management* 46(1): 15-27.
 16. Salar, N., Farahpour, M., and Bahari, F. 2005. Study the effect of water absorbent polymer on irrigation interval in melon cultivation. 3th Congress on Super Absorbent Hydrogel Application in Agriculture. (In Persian with English Summary)
 17. Samavat, S. 1992. The effect of physical soil amendment on some soil characteristics and plant yield. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Industrial University of Esfahan. (In Persian with English Summary)
 18. Setter, T.L., Brian, A., Lannigan, F., and Melkonian, J. 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid and cytokinins. *Crop Science* 41: 1530-1540.
 19. Tabrizi, L. 2004. The effect of drought stress and manure application on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* and *P. psyllium*. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary)
 20. Teyel, M.Y., EL-Hady, O.A. 1981. Super gel as a soil conditioner. *Acta Horticulturae* 119: 247-250.
 21. Tohidi-Moghadam, H.R., Shirani-Rad, A.H., Nour-Mohammadi, G., Habibi, D., and Mashhadi-Akbar-Boojar, M. 2009. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in Canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *American journal of Agricultural and Biological Sciences* 4(3): 215- 223.
 22. Westage, M.E., and Boyer, J.S. 1998. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26: 951-956.
 23. Yazdani, F., Allahdadi, A., Akbari, A., and Behbahani, M.R. 2007. The effect of different levels of super absorbent polymer (Rarawat A200) and different drought level on yield and yield components of soybean. *Pajouhesh and Sazandegi in Agronomy and Horticulture* 75: 168-174. (In Persian with English Summary)