

## بررسی تأثیر کم آبیاری و پلیمر سوپر جاذب بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)

منصور فاضلی رستم پور<sup>۱\*</sup>، سید محمد محبیان<sup>۲</sup>

۱. مربی، مرکز آموزش علمی کاربردی شهید خیابانیان، زاهدان؛ ۲. دانش آموخته دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند.

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۵

### چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است. کاربرد برخی مواد، نظیر پلیمرهای سوپر جاذب در خاک، باعث کاهش آبشویی کودها، افزایش نگهداری آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب می‌شوند. این آزمایش بر روی ذرت (*Zea mays* L.) در منطقه دشتک زاهدان در فصل زراعی ۱۳۹۰ انجام شد. طرح آزمایشی به کار برده شده کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی شامل تیمار آبیاری با سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی ذرت (ETc) به عنوان عامل اصلی و مقادیر سوپر جاذب با چهار سطح صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل فرعی با ۳ تکرار بود. نتایج نشان داد که رژیم آبیاری، سوپر جاذب و اثرات متقابل آن‌ها بر همه ویژگی‌های ذرت اثر معنی‌دار داشت. مدل‌های رگرسیون برآورد شده نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط ۱۰۰٪ آبیاری بر روی محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل، میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، سهم انتقال مجدد و عملکرد دانه بی‌اثر بود، اما سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی تمام خصوصیات ذرت را بهبود داد. نتایج نشان داد که کاربرد ۶۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار آب مورد نیاز ذرت را به میزان ۲۰ درصد کاهش داده و باعث عملکرد دانه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی مشابه تیمار ۱۰۰ آبیاری شد.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، پلیمر سوپر جاذب، خصوصیات فیزیولوژیک ذرت

### مقدمه

گیاه، حدوداً ۳۰ درصد کاهش می‌دهد (Monneveux et al., 2007). پلیمرها باعث کاهش اثرات سوء خشکی بر ذرت شده و عملکرد آن را افزایش داده و به این طریق باعث کاهش آب مورد نیاز برای تولید ماده خشک ذرت شوند (Islam et al., 2011).

پلیمرهای سوپر جاذب (ابر جاذب و فرا جاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب، نگهداری و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود (Lentz and Sojka, 1994) و به این ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Widiastuti et al., 2008). مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمول شیمیایی پلیمر، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود در آب تا ۴۰۰ برابر وزن پلیمر متغیر است (Monnig, 2005).

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد در نواحی خشک و نیمه خشک از جمله ایران است. اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته به منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، از جمله اقدامات موثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب کشور می‌باشد. دستیابی به این اهداف با انجام اقداماتی نظیر استفاده از کودهای سبز و آلی، مالچ گیاهی و مصنوعی، ایجاد پوشش گیاهی و یا استفاده از مواد اصلاح کننده نظیر تورب، پرلیت و پلیمرها میسر می‌باشد (Tolk et al., 1999). ذرت یک گیاه چهار کرنبه است که برای تولید یک گرم ماده خشک نیاز به ۳۶۸ لیتر آب دارد (House, 1985). وقوع تنش خشکی در مناطق گرمسیری دنیا و در مرحله رشد رویشی عملکرد ذرت را حدود ۱۷ درصد و در مرحله گلدهی و دانه بستن

مواد ذخیره شده در ساقه و برگ‌ها استفاده می‌نماید و به همین دلیل میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار آبیاری مطلوب به دلیل بالا بودن فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه، نسبت به تنش متوسط و شدید کمتر است. در مرحله پر شدن دانه افزایش نسبت اسیدآبسیزیک به سیتوکینین در برگ‌ها، کاهش دوام سطح برگ، افزایش مرگ بافت‌های گیاهی، ریزش برگ‌های پایینی بوته، افزایش میزان تنفس به علت سایه اندازی و زوال نوری، کاهش تجمع ماده خشک و افزایش انتقال مجدد در ذرت گزارش شده است (Murchie, 2002). گزارش شده که میزان انتقال مجدد ماده خشک (RPM)<sup>۲</sup> و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه (PRSY)<sup>۳</sup> به طور معنی داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و بیشترین میزان آن با میانگین ۱۶۴/۴۲ گرم در مترمربع در تیمار تنش متوسط خشکی دیده شده است (Lak et al., 2007). هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر رژیم آبیاری و سوپر جاذب A200 بر محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل، میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و سهم آن در عملکرد دانه بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در منطقه دشتک واقع در جنوب شرقی ایران (۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی) با میانگین بارندگی ۱۲۰ میلی‌متر و آب و هوای گرم و خشک انجام شد. طرح آزمایشی مورد استفاده کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمار آبیاری با سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی گیاه (ETc) به عنوان عامل اصلی و مقادیر سوپر جاذب با چهار سطح صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. طول هر کرت ۶/۵ متر، تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۶ خط، فاصله خطوط ۷۰ سانتی‌متر، فاصله بر روی ردیف ۱۲ سانتی‌متر و تراکم کاشت تقریباً ۷ بوته در متر مربع بود. قبل از کاشت بذر، سوپر جاذب A200 در تیمارهای مورد نظر در کنار پشته، و در عمق ۲۰-۱۵ (حداکثر تراکم ریشه) سانتی متری زیر بذر قرار گرفت. بعضی از خصوصیات سوپر جاذب A200

پلیمرهای سوپر جاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک شده و میزان آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Nazarli et al., 2010). با توجه به موارد ذکر شده، اهمیت این مواد در مناطق خشک در حال گسترش است. پلیمرها از نظر زیست محیطی، سالم و بدون اثر سمی و نامطلوب در خاک هستند و سرانجام به دی اکسیدکربن، آب و یون‌های آمونیوم و پتاسیم تجزیه می‌شوند (Mikkelsen, 1994). سوپر جاذب‌ها می‌توانند خصوصیات فیزیکی خاک را بهبود بخشیده، از فرسایش خاک و آبشویی عناصر غذایی جلوگیری نموده و کیفیت آب ثقلی را افزایش دهند (Shainberg et al., 1990).

از جمله اثرات فیزیولوژیک تنش آب، می‌توان به کاهش محتوی نسبی آب برگ<sup>۱</sup> (RWC)، افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش فتوسنتز اشاره کرد (Lawlor, 2002). با کاهش پتانسیل آب خاک و در نتیجه RWC، هدایت روزنه‌ای کاهش یافته، دی اکسیدکربن در دسترس گیاه محدود شده و در نتیجه میزان فتوسنتز ذرت کاهش می‌یابد (Martinez et al., 2007). بین توسعه سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ همبستگی مثبت وجود دارد (Nesmith and Ritchie, 1992)، به طوری که تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد (Chandra Babu et al., 2004) و کاهش سطح برگ، کاهش میزان فتوسنتز گیاه را در پی خواهد داشت (Moseki and Dintwe, 2011). از طرف دیگر کمبود آب باعث کاهش محتوی کلروفیل، پیری برگ و در نتیجه کاهش دوام سطح برگ و افزایش انتقال ازت از برگ‌ها می‌شود. این عوامل دست به دست هم داده و کاهش فتوسنتز را باعث خواهد شد (Brevadan and Egli, 2003).

ذرت این توانایی را دارد که در صورت مواجه شدن با تنش کم آبی از طریق افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره شده به دانه از کاهش شدید عملکرد جلوگیری نماید. پتانسیل این انتقال مجدد که یک شاخص مطلوب فیزیولوژیکی محسوب می‌شود، به عوامل مختلف از جمله ژنوتیپ، تراکم و شدت تنش کمبود آب وابسته است (Lak et al., 2007). در تنش خشکی فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه کاهش یافته و گیاه جهت تامین نیاز دانه‌ها، از

<sup>2</sup> Remobilization of photosynthetic matters

<sup>3</sup> Portion of remobilization to seed

<sup>1</sup> Relative water content

رویشی به ترتیب در مرحله رسیدگی و کاکل دهی (گرم بر متر مربع) می‌باشند.

$$PRSY\# = \frac{RPM}{GY} \times 100 \quad [5]$$

GY عملکرد دانه (گرم بر متر مربع) و PRSY سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه هستند.

اندازه گیری محتوی نسبی آب برگ: محتوی نسبی آب برگ در مرحله گلدهی و روز قبل از آبیاری بین ساعت هشت تا نه صبح در برگ بلال و در سه بوته از هر کرت اندازه گیری شد و پس از وزن کردن آن‌ها (وزن تازه، FW)، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شده و وزن (وزن تورژسانس، TW) شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار گرفته و سپس وزن شد (وزن خشک، DW). محتوی نسبی آب برگ با استفاده از معادله (۶) محاسبه شد (Schlemmer et al., 2005).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad [6]$$

اندازه گیری شاخص کلروفیل: شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-502 ساخت (KONICA MINOLTA) در سه قسمت برگ بلال شامل، ابتدا، وسط و انتها و در سه بوته از هر کرت اندازه گیری شد و سپس یک عدد به عنوان میانگین هر کرت در محاسبات استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹.۲ انجام شد. تجزیه واریانس برای هر متغیر با استفاده از رویه GLM انجام شده و سطوح احتمال (P) مربوط به اثرات ساده، خطی، درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و اثر متقابل تیمارها در قالب جدول تجزیه واریانس نشان داده شد. مدل‌های رگرسیون خطی، درجه ۲ و درجه ۳ برای هر سطح آبیاری با استفاده از رویه REG و روش backward در شرایطی که سوپر جاذب به عنوان یک متغیر مستقل وارد مدل شده بود، مورد آزمون قرار گرفت. تنها پارامترهایی در مدل‌های رگرسیونی وارد شد که در سطح  $P \leq 0.01$  معنی دار بود. شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Sigma plot رسم شد.

جدول (۱) آورده شده است (Abedi- Koupai and Asadkazemi, 2006).

از زمان کاشت بذر، به مدت ۲۷ روز آبیاری در تمام تیمارها یکسان بود. سه آبیاری اول جهت سبز شدن یکنواخت هر چهار روز یک بار انجام شد، و پس از رسیدن به مرحله دو 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 ( $ET_c$ ) از روش FAO<sup>1</sup> 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 کنتور انجام شد.

$$Et_c = K_c \times ET_o \quad [1]$$

ضریب گیاهی ( $K_c$ ) از معادله (۲) به دست آمد:

$$K_c = \frac{ET_a}{ET_p} \quad [2]$$

که در آن  $ET_a$  و  $ET_p$  به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و بحرانی می‌باشند (Howell et al., 2008).

تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_o$ ) با استفاده از معادله (۳) به دست آمد:

$$ET_o = K_{pan} \times E_p \quad [3]$$

که در آن  $K_{pan}$  و  $E_p$  به ترتیب ضریب تشتک تبخیر و تبخیر از تشتک هستند. ضریب تشتک معادل ۰/۶۶ در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2007).

جهت تعیین عملکرد در پایان فصل رشد، یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت شده و 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.

میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و سهم آن در عملکرد دانه با استفاده از معادله‌های (۴) و (۵) محاسبه شد (Lak et al., 2007).

$$RPM = VDW_{silking} - VDW_{maturity} \quad [4]$$

که در آن RPM میزان انتقال مجدد (گرم بر متر مربع)، و  $VDW_{silking}$  و  $VDW_{maturity}$  وزن خشک اندام‌های

<sup>1</sup> Food and Agricultural Organization

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های ماده سوپر جاذب A200

Table 1. The properties of Superab A200 material		White granule
Appearance	شکل ظاهری	
Grain size (mm)	اندازه ذرات (میلی متر)	0.5-1.5
Water content (%)	مقدار رطوبت (درصد)	3-5
Density (g cm <sup>-3</sup> )	چگالی (گرم/سانتی متر)	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 شهر	190
The actual capacity of absorbing distilled water	ظرفیت عملی جذب آب مقطر	220
Maximum durability (year)	حداکثر دوام	7

## نتایج

### محتوای نسبی آب برگ

تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌دار داشته و پاسخ محتوای نسبی آب برگ به آبیاری خطی و به سوپر جاذب خطی و درجه دو بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود ( $P \leq 0.001$ ). معادله رگرسیون محاسبه شده برای هر سطح آبیاری نشان داد که:

۱- پاسخ محتوای نسبی آب برگ به سوپر جاذب در تیمار ۶۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۹۷٪ تغییرات محتوای نسبی آب برگ را توجیه می‌کرد. براین اساس با کاربرد صفر و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۶۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۴۹/۶ درصد) و بیشترین (۶۳/۱ درصد) میزان محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (جدول ۳).

۲- پاسخ محتوای نسبی آب برگ به سوپر جاذب در تیمار ۸۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۹۸٪ تغییرات محتوای نسبی آب برگ را توجیه می‌کرد. براین اساس با کاربرد صفر و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۸۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۵۷/۵ درصد) و بیشترین (۶۴/۷ درصد) میزان محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (جدول ۳).

۳- پاسخ محتوای نسبی آب برگ به سوپر جاذب در تیمار ۱۰۰٪ تبخیر از تشتک معنی‌دار نبود و نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط آبیاری مطلوب کارایی نداشت (جدول ۳). با کاهش میزان آبیاری، محتوای نسبی

آب برگ کاهش یافت و با افزایش میزان سوپر جاذب در خاک میزان محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (شکل ۱). گیرما و کریگ (Girma and Krieg, 1992) گزارش کردند که با کاهش میزان آبیاری، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. مانو و همکاران (Mao et al., 2011) بیان داشتند که با افزایش میزان سوپر جاذب در خاک میزان محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد.

### شاخص کلروفیل

تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر شاخص کلروفیل اثر معنی‌دار داشته و پاسخ شاخص کلروفیل به تیمار آبیاری و سوپر جاذب خطی بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود ( $P \leq 0.005$ ). معادله رگرسیون محاسبه شده برای هر سطح آبیاری نشان داد که:

۱- پاسخ شاخص کلروفیل به سوپر جاذب در تیمار ۶۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع درجه دو پیروی کرده که این تابع ۹۸٪ تغییرات شاخص کلروفیل را توجیه می‌کرد. براین اساس با کاربرد صفر و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۶۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۱۹/۴) و بیشترین (۲۵/۰۷) میزان شاخص کلروفیل مشاهده شد (جدول ۳).

۲- پاسخ شاخص کلروفیل به سوپر جاذب در تیمار ۸۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۹۹٪ تغییرات شاخص کلروفیل را توجیه می‌کرد. براین اساس با کاربرد صفر و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و

خاک میزان شاخص کلروفیل افزایش یافت (شکل ۲). مختار و حیاتو (Mukhtar and Hayatu, 2010) بیان داشتند که در تنش متوسط و شدید خشکی میزان شاخص کلروفیل ۱۰٪ کاهش یافت. همچنین دیده شده است که شاخص کلروفیل با افزایش مقدار سوپر جاذب در خاک افزایش معنی داری نشان می‌دهد (Khadem et al., 2010).

در شرایط ۸۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۲۳/۳) و بیشترین (۲۹/۶) میزان شاخص کلروفیل مشاهده شد (جدول ۳).

۳- پاسخ شاخص کلروفیل به سوپر جاذب در تیمار ۱۰٪ تبخیر از تشتک معنی دار نبود و نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط آبیاری مطلوب کارایی نداشت (جدول ۳). با کاهش میزان آبیاری، شاخص کلروفیل کاهش یافت و با افزایش میزان سوپر جاذب در

جدول ۲. سطوح احتمال و درجات آزادی برای اثرات رژیم آبیاری و سوپر جاذب بر محتوی نسبی آب برگ (RWC)، شاخص کلروفیل (SPAD)، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی (RPM)، سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه (PRSY) و عملکرد دانه (SY) در ذرت.

Table 2. Probability level and degree of freedom for the effects of irrigation regime and superabsorbent A200 polymer on relative water content, chlorophyll index (CI), remobilization of photosynthetic matters (RPM), (RWC), portion of remobilization in seed yield (PRSY) and seed yield in corn

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	level Probability				
			محتوی نسبی آب برگ (%)	شاخص کلروفیل	انتقال مجدد مواد فتوسنتزی (گرم بر متر مربع)	سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع)
		df	RWC (%)	SPAD	RPM (g. m <sup>2</sup> )	PRSY	SY (g. m <sup>2</sup> )
Block	بلوک	2	0.5	0.4	0.9	0.9	0.6
Irrigation	آبیاری	2	0.01	0.03	0.0004	0.0004	0.0002
Linear (L)	خطی	1	0.004	0.02	0.006	0.0003	0.0001
Quadratic (Q)	درجه ۲	1	0.4	4	0.0002	0.002	0.02
Polymer	پلیمر	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Linear (L)	خطی	1	0.0001	0.005	0.0001	0.0001	0.0001
Quadratic (Q)	درجه ۲	1	0.8	0.98	0.7	0.66	0.41
Cubic (C)	درجه ۳	1	0.81	0.4	0.8	0.7	0.1
Irrigation × Polymer	آبیاری × پلیمر	6	0.001	0.005	0.0001	0.0001	0.0001
CV%			6.4	8.8	9.7	6.05	10.3

کرده که این تابع ۹۹٪ تغییرات انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را توجیه می‌کند. براین اساس با کاربرد ۰ و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۶۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب بیشترین (۱۲۷/۴ گرم بر مترمربع) و کم‌ترین (۱۰۳/۱ گرم بر مترمربع) میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی مشاهده شد (جدول ۳).

۲- پاسخ انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سوپر جاذب در تیمار ۸۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع درجه دو پیروی کرده که این تابع ۹۹٪ تغییرات انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را توجیه می‌کند. براین اساس با کاربرد صفر و

#### میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی اثر معنی دار داشته و پاسخ انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به آبیاری خطی و درجه دو و به سوپر جاذب خطی بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی معنی دار بود ( $P \leq 0.0001$ ). معادله رگرسیون محاسبه شده برای هر سطح آبیاری نشان داد که:

۱- پاسخ انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سوپر جاذب

در تیمار ۶۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی

در عملکرد دانه به آبیاری خطی و درجه دو و به سوپر جاذب خطی بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه معنی دار بود ( $P \leq 0.0001$ ). معادله رگرسیون محاسبه شده برای هر سطح آبیاری نشان داد که:

۱- پاسخ سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۰.۶٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۰.۹۹٪ تغییرات سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه را توجیه می‌کند. براین اساس با کاربرد ۰ و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۰.۶٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب بیشترین (۳۴/۳ درصد) و کم‌ترین (۲۴/۴ درصد) میزان سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴).

۲- پاسخ سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۰.۸٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۰.۹۹٪ تغییرات سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه را توجیه می‌کند. براین اساس با کاربرد ۰ و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۰.۸٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب بیشترین (۳۴/۰۶ درصد) و کم‌ترین (۱۸/۷۶ درصد) میزان سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴).

۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۰.۸٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب بیشترین (۱۶۷/۴ گرم بر مترمربع) و کم‌ترین (۱۳۷/۷ گرم بر مترمربع) میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی مشاهده شد (جدول ۳).

۳- پاسخ انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سوپر جاذب در تیمار ۰.۱۰٪ تبخیر از تشتک معنی دار نبود و نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط آبیاری مطلوب کارایی نداشت (جدول ۳). با کاهش میزان آبیاری، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی افزایش یافت و با افزایش میزان سوپر جاذب در خاک میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی کاهش یافت (شکل ۳). احتمالاً با توجه به این موضوع که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص سطح برگ و CGR می‌گردد، لذا فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه کاهش یافته و گیاه جهت تامین نیاز دانه‌ها از مواد ذخیره شده در ساقه و برگ‌ها استفاده می‌نماید (Lak et al., 2007). در شرایط آبیاری مطلوب و فراهم بودن عناصر غذایی از طریق کاهش پیری برگ‌ها موجب افزایش فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی می‌شود (Yang et al., 2001).

#### سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه

تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه اثر معنی دار داشته و پاسخ سهم انتقال مجدد

جدول ۳. معادلات رگرسیون برای پاسخ محتوی نسبی آب برگ (RWC)، شاخص کلروفیل (SPAD) و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سوپر جاذب (RPM) برای هر سطح آبیاری بر اساس نیاز آبی ذرت (I).

**Table 3. Regression equations for the response of relative water content (RWC), chlorophyll index (SPAD) and remobilization of photosynthetic matters (RPM) to superabsorbent A200 polymer (SAP) for each irrigation level base on ETc (I).**

سطح نیاز آبی I (ETc)	سوپر جاذب SAP (kg ha <sup>-1</sup> )	محتوی نسبی آب برگ (%) RWC (%)	شاخص کلروفیل SPAD	انتقال مجدد مواد فتوسنتزی (گرم بر متر مربع) RPM (g m <sup>-2</sup> )
100	0	Model not significant	Model not significant	Model not significant
	30			
	60			
	90			
80	0	RWC=57.5+0.08SAP	SPAD=23.3+0.07SAP	PMR=167.4-0.33SAP
	30			
	60			
	90			
60	0	RWC=49.6+0.15SAP	SPAD =19.4+0.0007SAP <sup>2</sup>	PMR=127.4-0.003SAP <sup>2</sup>
	30			
	60			
	90			

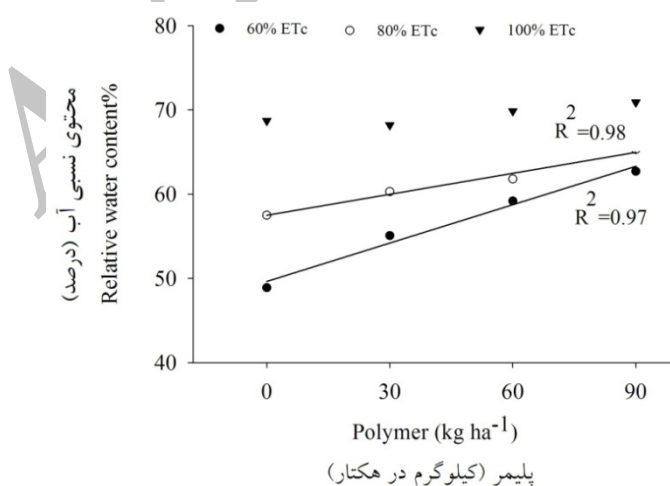
(Yang et al., 2001). با توجه به این که انتقال ماده خشک هم از برگ و هم از ساقه صورت می‌گیرد، لذا تحت تنش خشکی انتقال مجدد از برگ‌ها افزایش یافته و باعث کاهش دوام سطح برگ و افزایش سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به دلیل کاهش میزان فتوسنتز در مرحله پر شدن دانه می‌شود (Yang et al., 2000). همچنین به نظر می‌رسد سوپر جاذب با تأثیر مثبت و معنی‌دار بر میزان ماده خشک ساقه و فتوسنتز جاری گیاه، می‌تواند باعث کاهش سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه شود.

۳- پاسخ سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۱۰۰٪ تبخیر از تشتک معنی‌دار نبود و نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط آبیاری مطلوب کارایی نداشت (جدول ۴). با کاهش میزان آبیاری، سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه افزایش یافت و با افزایش میزان سوپر جاذب در خاک میزان سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش یافت (شکل ۴). انتقال مجدد مواد فتوسنتزی نشان دهنده نسبت ماده خشک منتقل شده به ذخیره شده می‌باشد که تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد

جدول ۴. معادلات رگرسیون برای پاسخ سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه (PRSY) و عملکرد دانه (SY) به سوپر جاذب (PMR) برای هر سطح آبیاری بر اساس نیاز آبی ذرت (I).

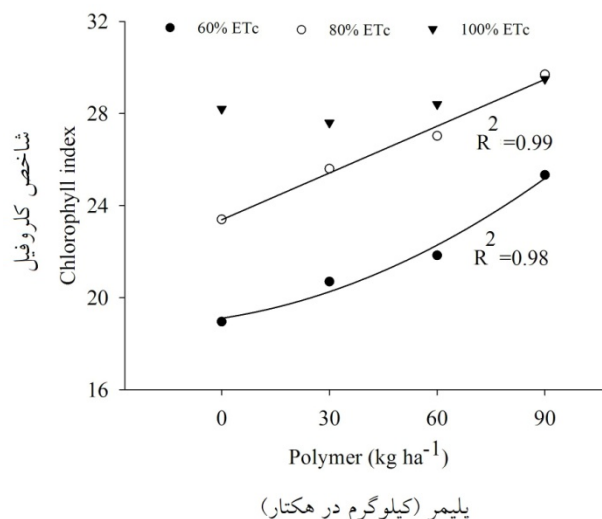
Table 4. Regression equations for the response of portion of remobilization in seed yield (PRSY) and seed yield (SY) to Superabsorbent A200 polymer (SAP) for each irrigation level base on ETC (I).

سطح نیاز آبی I% (ETc)	سوپر جاذب SAP (kg ha <sup>-1</sup> )	سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه (%) PRSY	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع) SY (g m <sup>-2</sup> )
100	0	Model not significant	Model not significant
	30		
	60		
	90		
80	0	PRSY=34.06-0.17SAP	SY=489.3+2.6SAP
	30		
	60		
	90		
60	0	PRSY=34.30-1.1SAP	SY=378.7+0.51SAP
	30		
	60		
	90		



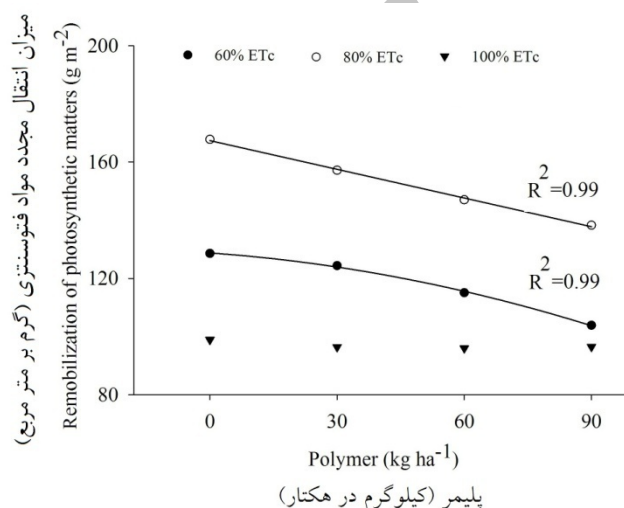
شکل ۱. خطوط رگرسیون پیش بینی شده برای پاسخ محتوی نسبی آب برگ به پلیمر سوپر جاذب براساس ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک.

Figure 1. Predicted regression lines for relative water content (%) at 60 and 80% ETc with different SAP levels.



شکل ۲. خطوط رگرسیون پیش بینی شده برای پاسخ شاخص کلروفیل به پلیمر سوپر جاذب براساس ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک.

Figure 2. Predicted regression lines for chlorophyll index at 60 and 80 % ETc with different SAP levels



شکل ۳. خطوط رگرسیون پیش بینی شده برای پاسخ میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به پلیمر سوپر جاذب براساس ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک.

Figure 3. Predicted regression lines for remobilization of photosynthetic matters at 60 and 80 % ETc with different SAP levels.

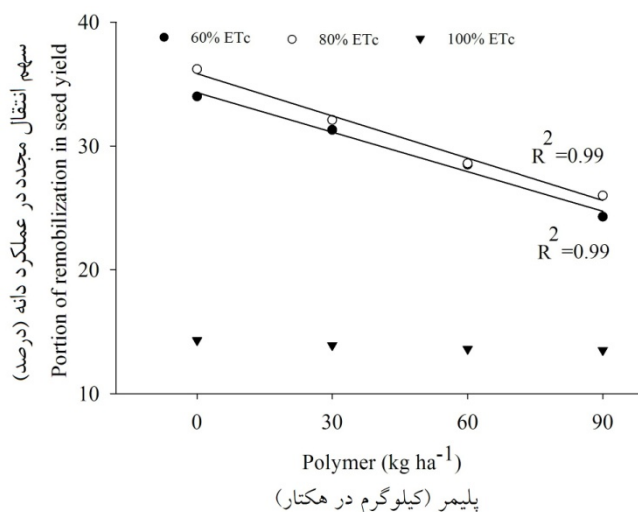
عملکرد دانه  
 تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشته و پاسخ عملکرد دانه به آبیاری خطی و درجه دو و به سوپر جاذب خطی بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.0001$ ). معادله رگرسیون محاسبه شده برای هر سطح آبیاری نشان داد که:  
 ۱- پاسخ عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۶۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع ۹۵٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کند. بر این اساس با کاربرد ۰ و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در

عملکرد دانه  
 تیمار آبیاری و سوپر جاذب بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشته و پاسخ عملکرد دانه به آبیاری خطی و درجه دو و به سوپر جاذب خطی بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل آبیاری و سوپر جاذب بر عملکرد دانه معنی‌دار بود



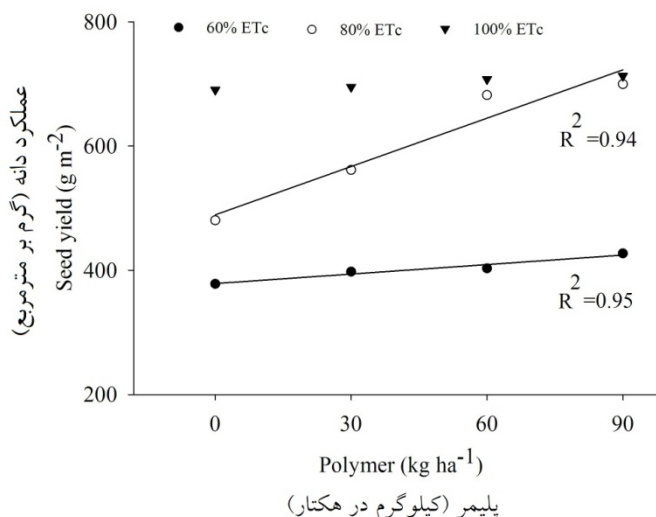
۹۴٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کرد. براین اساس با کاربرد ۰ و ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و در شرایط ۸۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۴۸۹/۳) گرم بر مترمربع) و بیشترین (۷۲۳/۳) گرم بر مترمربع) میزان عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴).

شرایط ۶۰٪ تبخیر از تشتک، به ترتیب کم‌ترین (۳۷۸/۷) گرم بر مترمربع) و بیشترین (۴۲۴/۶) گرم بر مترمربع) میزان عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴).  
۲- پاسخ عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۸۰٪ تبخیر از تشتک از یک تابع خطی پیروی کرده که این تابع



شکل ۴. خطوط رگرسیون پیش بینی شده برای پاسخ سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه به پلیمر سوپر جاذب براساس ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک.

Figure 4. Predicted regression lines for portion of remobilization in seed yield at 60 and 80 % ETc with different SAP levels.



شکل ۵. خطوط رگرسیون پیش بینی شده برای پاسخ عملکرد دانه به پلیمر سوپر جاذب براساس ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک.

Figure 5. Predicted regression lines for seed yield at 60 and 80 % ETc with different SAP levels.

## بحث

تنش خشکی باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه شد. کاهش محتوی نسبی آب برگ باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش دی اکسید کربن در دسترس گیاه شده و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. پایین آمدن میزان فتوسنتز، باعث عدم توسعه مطلوب سطح برگ و کاهش تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ می‌گردد. مجموع این عوامل منجر به کاهش دوام سطح برگ و میزان فتوسنتز خالص در مراحل بحرانی پر شدن دانه و در نتیجه افزایش میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در مرحله پر شدن دانه می‌شود. در این آزمایش سوپر جاذب با تأثیر مثبت بر محتوی نسبی آب برگ و شاخص کلروفیل باعث تجمع بیشتر مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی و در نتیجه کاهش میزان و سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه شد. معادلات رگرسیون برازش داده شده برای عملکرد دانه نشان داد که کاربرد ۹۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار باعث افزایش ۱۱ و ۶۷/۶ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در تیمار ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک شد و کاربرد ۶۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار باعث افزایش ۸ و ۷۰/۴ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در تیمار ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشتک شد و می‌توان بیان داشت با کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و کاهش ۲۰٪ از میزان آبیاری، عملکردی مشابه تیمار آبیاری مطلوب داشت.

۳- پاسخ عملکرد دانه به سوپر جاذب در تیمار ۱۰۰٪ تبخیر از تشتک معنی‌دار نبود و نشان داد که کاربرد سوپر جاذب در شرایط آبیاری مطلوب کارایی نداشت (جدول ۴). با کاهش میزان آبیاری، عملکرد دانه کاهش یافت و با افزایش میزان سوپر جاذب در خاک میزان عملکرد دانه افزایش یافت (شکل ۵). تنش خشکی در خلال دوره پر شدن دانه می‌تواند موجب افزایش مرگ زودرس برگ‌ها به دلیل انتقال مواد غذایی از برگ‌ها شود (Yang et al., 2001). دوام سطح برگ و تجمع ماده خشک پس از مرحله گلدهی همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دانه دارد و با افزایش فعالیت فتوسنتزی در این مراحل تجمع ماده خشک و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Fazeli Rostampour et al., 2010). سوپر جاذب می‌تواند از طریق تامین آب و عناصر غذایی (Islam et al., 2011) باعث کاهش تخریب کلروفیل (Fazeli et al., 2012) و در نتیجه افزایش مدت زمان استفاده از نور و فتوسنتز گیاه شود. افزایش فتوسنتز گیاه در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش انتقال مجدد از برگ‌ها و افزایش دوام سطح فتوسنتز کننده می‌شود که منجر به عملکرد دانه بالاتر می‌شود (Sadras et al., 2000). در شرایط تنش خشکی افزایش انتقال ازت از برگ‌ها منجر به کاهش محتوی کلروفیل می‌گردد (Brevedan and Egli, 2003).

## 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. J.* 15 (9), 715- 725.
- Alizadeh, A., Kamali, G., 2007. *Water Requirements of Plants in Iran*. Imam Reza University of Mashhad Publication. 227p. [In Persian].
- Lak, S., Naderi, A., Siadat, S.A., Ayneband, A., Noormohammadi, Gh., 2007. Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid KSC 704 at different nitrogen rates and plant population. *Iranian J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14(2), 63- 76. [In Persian with English Summary].
- 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.
- Chandra Babu, R., Zhang, J., Blumc, A., Hod, T.H.D., Wue, R., Nguyenf, H.T., 2004. HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection. *Plant Sci.* 166, 855-862.

- Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M., Farokhzadeh Khoei, R., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, G.R., 2012. Effect of superab A200 and drought stress on dry matter yield in forage sorghum. *American-Eurasian J. Agri. Environ. Sci.* 12 (2), 231-236.
- Fazeli Rostampour, M., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, G.R., 2010. Studying the effect of Superabsorbent and drought stress on the relative water content and leaf Chlorophyll index and relationship between them with seed yield in corn (*Zea mays* L.). *J. Islamic Azad University of Ahvaz.* 2(1), 19-31. [In Persian with English Summary].
- 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.
- Hayatu, M., Mukhtar, F.B., 2010. Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* (L.) WALP) to water stress. *Bayero J. Pure App. Sci.* 3(2), 69 – 75.
- Howell, T.A., Evett, S.R., Tolck, J.A., Copeland, K.S., Colaizzi, P.D., Gowda, P.H., 2008. Evapotranspiration of corn and forage sorghum for silage. *World Environmental and Water Resources Congress.* 10(1), 886-889.
- House, L.R., 1985. *A Guide to Sorghum Breeding.* International Crops Res. Institute for Semiarid Tropics. Patancheru, India, pp. 344-502.
- Islam, M.R., Xue, X., Mao, S., Zhao, X., Eneji, A.E., Hu, Y., 2011. Superabsorbent polymers (SAP) enhance efficient and eco-friendly production of corn (*Zea mays* L.) in drought affected areas of northern China. *Afri. J. Biotech.* 10(24), 4887-4894.
- Khadem, S.A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S.R., Rousta, R.J., Rezvani-Moghadam, P., 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Aust. J. Crop Sci.* 4(8), 642-647.
- Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and role of ATP. *Ann. Bot.* 89, 871-885.
- Lentz, R.D., Sojka, R.E., 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Sci.* 158, 274-282.
- 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. *Afri. 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.
- Mikkelsen, R.L., 1994. Using hydrophilic polymers control nutrient release. *Fertilizer Res.* 38, 53-59.
- Monnig, S., 2005. Water saturated super- absorbent polymers used in high strength concrete. *Otto. Graf. J.* 3(16), 193-202.
- Moseki, B., Dintwe, K., 2011. Effect of water stress on photosynthetic characteristics of two sorghum cultivars. *Afri. J. Biotech.* 5 (Special Issue 1), 89-91.

- Murchie, E., Yang, H.J., Hubbart, S., Horton, P., Peng, S., 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *J. Exp. Bot.* 53(378), 2217-2224.
- 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.
- 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. *Notulae Sci. Biology.* 2(4), 53-58.
- Nesmith, D.S., Ritchie, J.T., 1992. Short and long term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84,107-113.
- Sadras, V.O., Echarte, L., Andrade, F.H., 2000. Profiles of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Ann. Bot.* 85, 187- 195.
- Schussler, J.R., Westgate, M.E., 1991. Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Sci.* 31, 1189-1195.
- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J. F., Schepers, J.S., 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agron. J.* 97, 106–112.
- Shainberg, I., Warrington, D.N., Rengasamy, P., 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Sci.* 149, 301-307.
- 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 Till. Res.* 50 (2), 137-147.
- Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M., Zhang, D.k., 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. *Desalination.* 218, 271- 280.
- Yang, J., Zhang, J., Huang, Z., Zhu, Q., Wang, L., 2000. Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Sci.* 40, 1645–1655.
- Yang, J., Jianhua, Z., Zhiqing, W., Qingsen, Z., Wei, W., 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. *Field Crops Res.* 71, 47-55.
- Yang, Y., Watanabe, M., Zhang, X., Zhang, J., Wang, Q., Hayashi, S., 2006. Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the Taihang Mountains in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 82, 25–44.