علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیستم، شماره دو، تابستان ۹۷

تأثیر سیلیکا ایروژل نانو ساختار بر کارایی مصرف آب گیاه ذرت تحت شرایط کم آبیاری

حمیده اسودی[۱]

فیاض آقایاری[۲*]

Aghayari_ir@yahoo.com

لیلا سمیعی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۰ **تاریخ پذیرش:۹۵/۸/۴**

چکیده

زمینه و هدف: به منظور بررسی اثر سیلیکا ایروژل نانو ساختار به عنوان یک جاذب رطوبت خاک بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت و مقایسه آن با سوپرجاذب، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام گرفت.

روش بررسی: کم‌آبیاری در سه سطح شامل آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و مواد جاذب رطوبت در سه سطح شامل عدم مصرف ماده جاذب رطوبت، مصرف سوپرجاذب به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف سیلیکا ایروژل به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

یافته‌ها: بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه (۱۲۶۸۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف سیلیکا ایروژل به دست آمد. با مصرف سوپرجاذب و سیلیکا ایروژل عملکرد دانه افزایش یافت به نحوی که کاربرد سیلیکا ایروژل نسبت به سوپرجاذب برای افزایش عملکرد دانه، در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای برتری نسبی معنی‌داری بود اما در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در یک گروه آماری قرار گرفت. کاربرد سوپرجاذب و سیلیکا ایروژل به ترتیب منجر به افزایش ۱۱۶/۲ و ۱۵۴/۱ درصدی کارایی آب برای عملکرد دانه و افزایش ۳۸/۴ و ۸۵/۹ درصدی کارایی آب برای عملکرد بیولوژیک شد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، کاربرد سیلیکا ایروژل نانو ساختار، برای افزایش بهره وری آب و عملکرد ذرت پیشنهاد می‌گردد.

واژه های کلیدی: بهره وری، خشکی، سوپرجاذب، مدیریت مصرف آب

۱- کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

۲- استادیار رشته مهندسی آب، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار پژوهشکده توسعه و بهینه سازی فناوری‌های انرژی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

J.Env. Sci. Tech., Vol 20, No.2, Summer, 2018

Nanostructured Silica Aerogel on Water Use Efficiency of Corn under Deficit Irrigation Conditions

Hamideh Asvadi[1]
Fayaz Aghayari[2]*
Aghayari_ir@yahoo.com
Leyla Samiee[3]

Admission Date:October 25, 2016 Date Received: April 29, 2016

Abstract

Background and Objective: To study the effect of nanostructured silica aerogel as a soil moisture absorbent on yield and water use efficiency of corn and comparison with superabsorbent, a field of experiment was carried out in factorial split plot arrangement using randomized complete block design with four replications at Research Farm of Islamic Azad University, Karaj, Iran, in 2013-2014 growing year.

Method: Deficit irrigation with three levels including irrigation with 100, 75 and 50 percent crop water requirement which were located in the main plots and moisture absorbent materials with three levels including non-use absorbent material, used of superabsorbent (30 kg/ha) and used of silica aerogel (5 kg/ha) that were located in the sub plots.

Findings: The results showed that the highest grain yield (12684 kg/ha) was achieved in condition of irrigation with 100% crop water requirement and used of silica aerogel. The use of superabsorbent and silica aerogel increased grain yield. While in condition of irrigation with 100% crop water requirement silica aerogel consumption as compared to superabsorbent to increase grain yield was a significant advantage but in condition of irrigation with 75 and 50% crop water requirement silica aerogel and superabsorbent were in a statistical group. The use of superabsorbent and silica aerogel increased water use efficiency for grain yield (116.2 and 154.1 percent, respectively) and water use efficiency for biologic yield (38.4 and 85.9 percent, respectively) as compared with non-use.

Discussion and Conclusion: Therefore, application of nanostructured silica aerogel is recommended for increasing of yield and water use efficiency of corn.

Key words: Drought, management of water consumption, productivity, superabsorbent.

1-M.Sc., Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2-Assistant Professor, Water Engineering, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran*(Corresponding author)
3-Assistant Professor, Development and Optimization Energy Technology Research Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

مقدمه

از نقطه نظر کشاورزی، خشکی عبارت از ناکافی بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکنش آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (۱). کم آبیاری یک راهبرد بهینه‌سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می‌شود با دریافت آب کم‌تر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند (۲). پلیمرهای سوپرجاذب از جنس هیدروکربن هستند، این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند که در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (۳). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش راندمان آب در خاک گشته و مقدار آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (۴). سوپرجاذب با افزایش جذب و نگهداری آب در خاک، ذخیره عناصر نیتروژن، فسفر، گوگرد و کاتیون‌های تبادلی و همچنین افزایش تهویه از طریق بهبود ساختمان خاک سبب افزایش ریشه و عملکرد گیاهان می‌شود (۴). تأثیر هیدروژل بر عملکرد گیاهان، احتمالاً تحت تأثیر میزان مصرف هیدروژل‌ها، نوع محصول و ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد (۵ و ۶). بر اساس مطالعات Moslemi و همکاران (۲۰۱۲)، مصرف سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیست توده در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل گردید. نتایج پژوهش‌های Robiul Islam و همکاران (۲۰۱۱) بیان‌گر افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و شاخص برداشت با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب بود.

هدف از ارایه مفهوم بهره‌وری آب آن است که پشتیبان نتایج آزمایش‌های زراعی مرتبط با آب و تمهیدات مدیریت آبیاری بوده و همچنین فرصت‌ها برای صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب به همراه پشتیبانی فرایندهای تصمیم‌سازی برای تخصیص آب را مشخص سازد (۹). بهره‌وری آب گیاه که در منابع علمی اساساً به آن کارایی مصرف آب (WUE) اطلاق می‌گردد به صورت نسبت مقدار محصول به حجم آب مصرفی نشان داده می‌شود (۱۰). اخیراً در مورد کاربرد مواد نانو در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی توجه بیش‌تری شده است. نانو مواد نسبت فوق العاده زیاد سطح به حجم دارند. هرچه ابعاد ذرات کوچک‌تر شود نسبت سطح به حجم آن‌ها افزایش خواهد یافت. یکی از این مواد نانو ساختار، سیلیکا ایروژل می باشد. ایروژل، ماده‌ای بی‌نهایت سبک و دارای مقاومت گرمایی بالایی بوده و به عنوان یک عایق حرارتی به شمار می‌رود. اولین ایروژل توسط استیون کیستلر (Steven Kistler) در سال ۱۹۳۱ در دانشگاه Pacific کالیفرنیا ساخته شد. ایروژل‌ها شفاف‌ترین وکم‌چگال‌ترین جامد شناخته شده در جهان هستند. ۹۹ درصد ایروژل از هوا تشکیل شده است. اما با این وجود توانایی تحمل ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ برابر وزن خود را داراست. این ماده می‌تواند مساحتی از ۵۰ تا ۳۰۰۰ متر مربع در هر گرم داشته باشد (۱۱). سیلیکا ایروژل حاوی ذراتی به قطر ۵-۲ نانو متر هستند. این ترکیبات دارای نسبت سطح به حجم بسیار بالا (۱-۲×۱۰۹ m)، مساحت سطح ویژه بالا (۹۰۰ g/cm^3) و هدایت حرارتی پایین (۰/۰۴ W/mK) است. نانو ذرات‌ها از جمله سیلیکا ایروژل‌ها پتانسیل زیادی جهت استفاده در زمینه‌های مختلف را دارا می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده، سیلیکا ایروژل از لحاظ محیط زیستی آسیبی به محیط زیست نیز وارد نخواهد کرد (۱۱). مطالعه زیادی در مورد کاربرد سیلیکا ایروژل در زمینه کشاورزی انجام نشده است. تنها یک مورد تحقیق توسط اسودی و همکاران (۱۳۹۳) بر تأثیر کاربرد سیلیکا ایروژل نانو ساختار بر حفظ و نگهداشت رطوبت خاک انجام شد. آن‌ها تأثیر ۵ تیمار مختلف سیلیکا ایروژل شامل عدم مصرف، مصرف ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم سیلیکا ایروژل بر کیلوگرم خاک را بر نگهداشت رطوبت خاک در شرایط گل‌خانه بررسی کردند نتایج نشان داد استفاده از سیلیکا ایروژل نانو ساختار تأثیر معنی‌داری بر نگهداشت رطوبت خاک در سطح احتمال یک درصد داشت. به طوری که با افزایش مصرف نانو ذرات سیلیکا ایروژل، میزان نگهداشت رطوبت خاک بیش‌تر گردید. با توجه به اینکه سیلیکا ایروژل موجب حفظ و نگهداشت رطوبت خاک

شده است این ماده به عنوان یک ماده جاذب رطوبت خاک معرفی گردید.

مهم‌ترین ویژگی و کاربرد ایروژل عایق حرارتی بودن آن است. ایروژل‌ها کم‌ترین مقدار هدایت گرمایی را نسبت به دیگر عایق ها دارد (۱۳). با توجه به اینکه سیلیکا ایروژل به عنوان یک عایق حرارتی عمل می‌کند کاربرد آن در خاک می‌تواند باعث کاهش تبخیر از خاک شده و منجر به نگهداشت بهتر رطوبت خاک شود. ناگفته نماند یکی دیگر از خصوصیات سیلیکا ایروژل این است که باعث جذب آب خاک می‌شود. یعنی آب دوست بوده و می‌تواند به حفظ و نگهداری آب خاک کمک نماید. بنابراین با توجه به خصوصیات ذکر شده و مطالعات اولیه در مورد سیلیکا ایروژل، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر استفاده از سیلیکا ایروژل نانو ساختار بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ و مقایسه آن با پلیمر سوپرجاذب در شرایط کم آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج واقع در ماهدشت کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و ۱۳۱۳ متر ارتفاع از سطح دریا با متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۱ میلی‌متر، اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل کم‌آبیاری در سه سطح شامل آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I۱۰۰، آبیاری کامل به عنوان شاهد)، آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (I۷۵، تنش متوسط) و آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (I۵۰، تنش شدید) در کرت‌های اصلی و عامل مواد جاذب رطوبت در سه سطح شامل عدم مصرف مواد جاذب رطوبت (A_1)، مصرف پلیمر سوپرجاذب استاکوزورب (A_2) به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف سیلیکا ایروژل نانو ساختار (A_3) به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار، در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

در هر کرت به طول ۵ متر و عرض ۳/۶ متر، پنج خط کاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. برای جلوگیری از نشت آب از کرتی به کرت دیگر بین کرت‌های فرعی یک پشته و بین کرت-های اصلی دو پشته به عنوان نکاشت در نظر گرفته شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی، به میزان ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار استفاده شد. تمام کود فسفردار و یک سوم کود نیتروژن دار قبل از کاشت و مابقی آن در مراحل ساقه‌رفتن و گرده افشانی به صورت سرک به خاک اضافه شد.

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1. Physical and chemical characteristics of the studied soil

عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس در متر)	اسیدیته	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	ظرفیت زراعی (٪جرمی)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت
۰-۳۰	۳/۵۱	۷/۸۱	۰/۸۳	۰/۰۹	۱۸/۷۵	۴۶۰	۱۸/۵	۱/۴	۶۸/۲	۲۱/۸	۱۰	لومی شنی
۳۰-۶۰	۲/۱۲	۷/۸۶	۰/۸۰	۰/۰۸	۹/۵۸	۳۶۲	۱۸/۷	۱/۴	۷۰/۶	۱۹/۴	۱۰	لومی شنی

بذر ذرت مورد استفاده، رقم سینگل کراس ۷۰۳ بود که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. تعداد ۲ تا ۳ بذر برروی پشته به فواصل ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۵ سانتی‌متر کشت گردید. بعد از استقرار گیاه بوته‌های اضافی تنک شده و به یک بوته در هر ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۸۰۰۰۰ بوته) کاهش یافت. تیمارهای کم‌آبیاری بعد از استقرار کامل گیاه و ۴۵ روز بعد از کاشت (مرحله ۶ برگی) اعمال گردید و قبل از آن همه تیمارها به صورت کامل آبیاری شدند.

معیار تعیین زمان آبیاری با توجه به تجربه کشاورزان منطقه و نظر مسوولین مزرعه بر اساس تبخیر ۵۰ میلی‌متر از تشت در نظر گرفته شد. عمق آب آبیاری ازطریق رابطه زیرتعیین گردید.

$$d = \frac{(\theta_{FC} - \theta_W) \times \rho_b \times D}{100} \quad (1)$$

که در آن، d: عمق آب آبیاری (سانتی‌متر)، θ_{FC}: رطوبت جرمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ_w: رطوبت جرمی خاک در زمان آبیاری (درصد)، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) و D: عمق موثر ریشه می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار رطوبت خاک از طریق نمونه برداری بعد از ۲۴ ساعت مشخص می گردد (نیاز به خشک شدن نمونه در آون)، برای تعیین رطوبت خاک در زمان آبیاری، روند تغییرات رطوبت خاک در روزهای قبل از آبیاری تعیین شده سپس از مقدار رطوبت خاک در روز قبل از آبیاری، متوسط تغییرات رطوبت به ازای یک روز از آن کسر شده تا معادل رطوبت خاک در زمان آبیاری به دست آید.

با توجه به عمق آب آبیاری مورد نظر برای هر تیمار و مساحت مربوط به آن (۱۸ مترمربع)، حجم آب آبیاری برای هر تیمار مشخص گردید. حجم آب آبیاری مورد نظر برای هر تیمار به کمک یک کنتور حجمی و از طریق سیستم لوله کشی به داخل هر کرت انتقال گردید. حجم آب مصرفی برای هر تیمار در کل طول فصل رشد به کمک رابطه زیر به دست آمد.

$$V = (E_1 \times F_1) + (E_2 \times F_2) \quad (2)$$

که در آن: F_1: تعداد دفعات آبیاری قبل از اعمال کم‌آبیاری، E_1: حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری برای هر تیمار قبل از اعمال کم‌آبیاری (برای هر کرت به مساحت ۱۸ مترمربع در تیمارهای فاقد مواد جاذب رطوبت (A_1)، ۵۴۰ لیتر، در تیمارهای دارای سوپرجاذب (A_2)، ۴۴۷ لیتر و در تیمارهای دارای سیلیکا ایروژل (A_3)، ۴۱۲ لیتر می‌باشد)، F_2: تعداد دفعات آبیاری پس از اعمال کم آبیاری، E_2: حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری برای هرتیمار بعد از اعمال کم‌آبیاری و V: حجم آب آبیاری برای هر تیمار در کل فصل رشد می‌باشد.

برای اعمال تیمارهای دارای سیلیکا ایروژل، ابتدا مقدار سیلیکا ایروژل مربوط به هر کرت (۹ گرم) با حدود ۲ کیلوگرم خاک مخلوط شد. سپس ترکیب به دست آمده در سطح کرت پخش و به کمک شن کش یکنواخت گردید. در ادامه به منظور جلوگیری از تماس مستقیم نور خورشید با سیلیکا ایروژل، سطح کرت با خاک مزرعه مورد مطالعه به ضخامت تقریبی ۴ سانتی‌متر پوشانده شد. سوپر جاذب استفاده شده در این تحقیق استاکوزورب می‌باشد. برای کاربرد آن ابتدا دانه‌های خشک (گرانول) در داخل آب قرار داده شد و پس از آبگیری و افزایش حجم، هیدروژل به دست آمده به صورت دستی و با ایجاد شیار در زیر ردیف‌های کاشت در عمق تقریبی ۱۰ سانتی‌متری قرار داده شد.

تیمارهایی که دارای سوپرجاذب و سیلیکا ایروژل بودند به علت حفظ و نگهداشت بهتر رطوبت خاک، مقدار آب آبیاری کم‌تری (با توجه به نوع تیمار آبیاری و مطابق جدول ۲) نسبت به تیمارهای فاقد مواد جاذب رطوبت مصرف داشتند. حجم آب آبیاری هر تیمار و درصد کاهش مصرف نسبت به حالت نرمال در جدول ۲ ارایه شده است. به منظور مقایسه عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف، در مرحله رسیدگی محدوده‌ای به طول دو متر از وسط دو ردیف میانی (مساحت ۲/۴ مترمربع) برداشت گردید. میزان عملکرد دانه بر اساس وزن دانه در مساحت معین، عملکرد بیولوژیک با اندازه گیری وزن کل اندام هوایی در مساحت معین، شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) به عملکرد زیستی (عملکرد بیولوژیک)، بهره وری آب از تقسیم عملکرد دانه یا عملکرد بیولوژیک بر حجم آب مصرفی به دست آمد.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۳ تجزیه و تحلیل آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم گردیدند.

جدول ۲- حجم آب آبیاری و درصد کاهش مصرف آب برای هر تیماردر گیاه ذرت

Table 2. Volume of irrigation water and reduction of water consumption in treatments of corn

تیمارها	تعداد آبیاری قبل از اعمال کم آبیاری	حجم آبیاری در هرکرت قبل از اعمال کم آبیاری (لیتر)	تعداد آبیاری بعد از اعمال کم آبیاری	حجم آبیاری در هرکرت بعد از اعمال کم آبیاری (لیتر)	حجم کل آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	درصد کاهش مصرف آب
$I_{100}A_1$	۷	۵۴۰	۲۰	۵۴۰	۸۱۰۰	۰
$I_{100}A_2$	۷	۴۴۷	۲۰	۴۴۷	۶۷۰۵	۱۷/۲۲
$I_{100}A_3$	۷	۴۱۲	۲۰	۴۱۲	۶۱۸۰	۲۳/۷۰
$I_{75}A_1$	۷	۵۴۰	۲۰	۴۰۵	۶۶۰۰	۱۸/۵۲
$I_{75}A_2$	۷	۴۴۷	۲۰	۳۳۵/۲۵	۵۴۶۳	۳۲/۵۵
$I_{75}A_3$	۷	۴۱۲	۲۰	۳۰۹	۵۰۳۵	۳۷/۸۳
$I_{50}A_1$	۷	۵۴۰	۲۰	۲۷۰	۵۱۰۰	۳۷/۰۳
$I_{50}A_2$	۷	۴۴۷	۲۰	۲۲۳/۵	۴۲۲۱	۴۷/۸۹
$I_{50}A_3$	۷	۴۱۲	۲۰	۲۰۶	۳۸۹۱	۵۱/۹۷

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس نشان داد اثر کم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر مواد جاذب رطوبت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار و بر هم‌کنش آن‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک نشان داد با افزایش شدت کم آبیاری، عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد به طوری که مقدار عملکرد بیولوژیک در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی ۱۰/۶ درصد و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی ۱۸/۵ درصد نسبت سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت (نمودار ۱). کاهش وزن اندام‌های هوایی و تولید فرآورده های فتوسنتزی در نتیجه محدودیت آب توسط محققین مختلفی گزارش شده است (۱۴ و ۱۵).

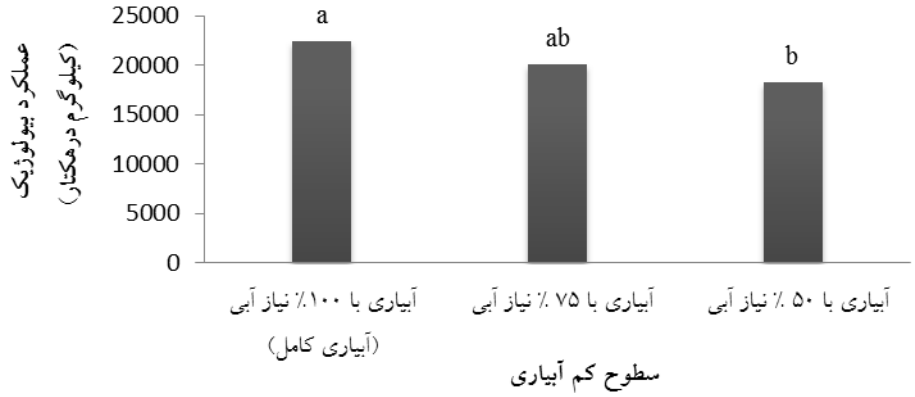
استفاده از مواد جاذب رطوبت به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در شرایط مصرف سیلیکا ایروژل به مقدار ۲۴۲۱۱ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در شرایط عدم مصرف مواد جاذب رطوبت به مقدار ۱۷۰۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. مقدار عملکرد بیولوژیک در اثر مصرف سوپر جاذب ۱۳/۸ درصد و در اثر مصرف سیلیکا ایروژل ۴۱/۹ درصد نسبت به حالت عدم مصرف مواد جاذب رطوبت افزایش یافت که نشان دهنده برتری نسبی سیلیکا ایروژل نسبت به سوپرجاذب در ارتباط با افزایش عملکرد بیولوژیک بود (نمودار۲). نتایج پژوهش‌های یزدانی و همکاران (۱۳۸۶)، بیان‌گر افزایش عملکرد ماده خشک بر اثر کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب بود. نتایج تحقیق کوهستانی و همکاران (۱۳۸۸)، موذن زاده قمصری و همکاران (۱۳۸۸) بر روی عملکرد بیولوژیک گیاه نیز نشان دهنده این است که استفاده از سوپرجاذب، باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه شده است. نتایج تحقیقات Reminson و Lucas (۱۹۸۲) نشان داد که افزایش عملکرد بیولوژیکی می‌تواند ناشی از افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت رشد محصول باشد.

جدول ۳-تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری، مواد جاذب رطوبت و برهم‌کنش آن‌ها بر صفات مورد مطالعه ذرت

Table 3. Analysis of variance of the effect of deficit irrigation, moisture absorbent materials and their interactions on studied traits of corn

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	کارایی اقتصادی آب	کارایی بیولوژیک آب
بلوک	۳	۱۲۹۳۶۱۱۱/۹^{ns}	۱۳۰۸۳۸۳۷/۲**	۰/۰۳۴۰۷*	۰/۰۹۶۷۴^{ns}	۰/۳۵۳۳۴^{ns}
کم آبیاری (A)	۲	۵۱۸۵۵۱۶/۵*	۴۰۲۲۱۵۸۴/۶**	۰/۰۳۷۴۰*	۰/۸۰۵۳۳**	۲/۹۲۲۷۶**
خطای الف	۶	۸۵۰۶۳۷۵/۲	۶۴۰۳۱۰۷/۱	۰/۰۱۱۱	۰/۲۰۸۱	۰/۳۸۸۷
مواد جاذب رطوبت (B)	۲	۱۵۹۱۳۳۹۶۲/۶**	۶۸۰۳۳۲۸۳/۶**	۰/۰۹۱۴۱**	۴/۲۵۱۰۸**	۱۵/۳۹۵۵۷**
A × B	۴	۱۹۱۹۶۹/۵^{ns}	۹۰۱۸۷۱۰/۴*	۰/۰۲۲۶۰^{ns}	۰/۰۲۶۶۱^{ns}	۰/۰۹۵۲۷^{ns}
خطای ب	۱۸	۹۳۹۶۷۰۳/۳	۲۴۰۴۴۳۱/۰	۰/۰۰۸۴	۰/۰۷۵۶	۰/۲۷۵۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۵/۱	۲۰/۱	۲۴/۴۷	۱۴/۱	۱۴/۱

** ، *: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصدو ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

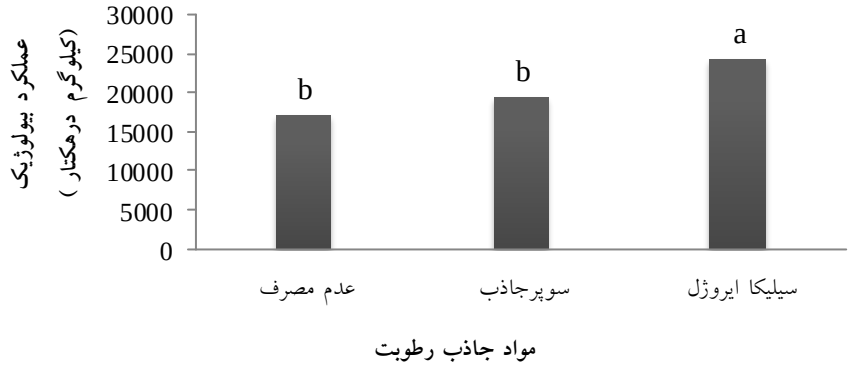


نمودار ۱- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Diagram 1. Mean comparison of effect of deficit irrigation on biologic yield of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر عملکرد بیولوژیک ذرت

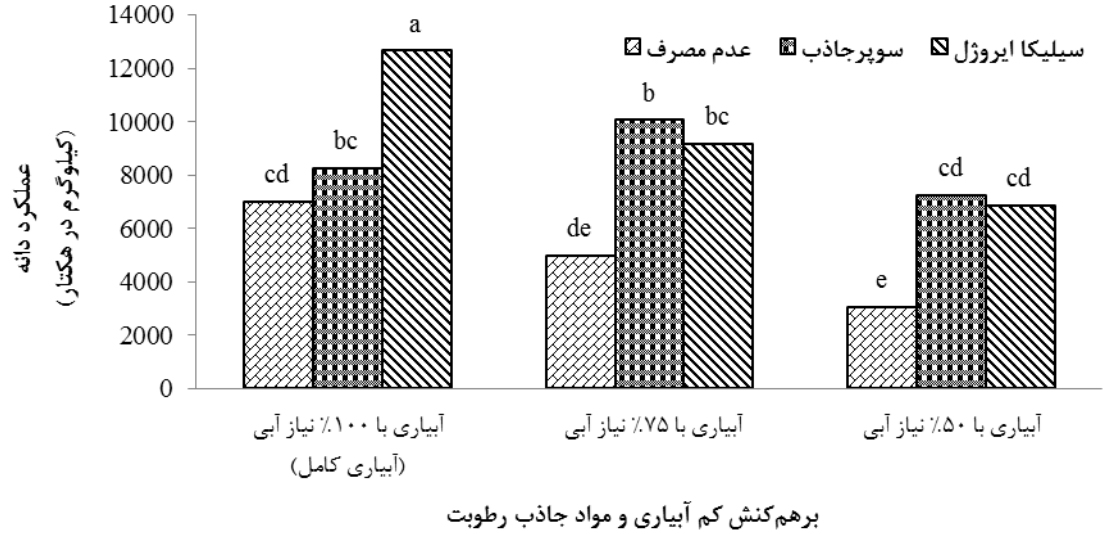
Diagram 2. Mean comparison of effect of moisture absorbent materials on biologic yield of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.

عملکرد دانه

اثر کم آبیاری و مواد جاذب رطوبت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش کم‌آبیاری و مواد جاذب رطوبت بر عملکرد دانه در نمودار ۳ ارایه شده است. به طور کلی با اعمال کم آبیاری و افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش یافت. با توجه به نتایج تحقیق Debaeke و همکاران (۲۰۰۴)، کاهش عملکرد دانه ذرت در اثر کم آبیاری در مراحل زایشی به کاهش کارایی فتوسنتز و کوتاه شدن طول دوره رشد نسبت داده شد. در تمامی سطوح آبیاری، استفاده از مواد جاذب رطوبت منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. با مصرف سوپرجاذب مقدار عملکرد دانه نسبت به حالت عدم مصرف مواد جاذب رطوبت در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱۷/۵، ۱۰۲/۱ و ۱۳۵/۶ درصد افزایش داشت. بر اساس مطالعات کوهستانی و همکاران (۱۳۸۸)، معلوم شد با افزایش میزان تنش خشکی، تأثیر هیدروژل‌های سوپرجاذب بر افزایش عملکرد دانه بیش‌تر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری کامل و استفاده از سیلیکا ایروژل (۱۲۶۸۴ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم استفاده از مواد جاذب رطوبت (۳۰۷۲ کیلوگرم در هکتار) بود. در شرایط آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، استفاده از سوپرجاذب و سیلیکا ایروژل به ترتیب منجر به افزایش ۱۷/۵ و ۸۰/۱ درصدی عملکرد دانه نسبت حالت عدم مصرف مواد جاذب رطوبت شد به نحوی که مقدار عملکرد دانه در شرایط مصرف سیلیکا ایروژل نسبت به عدم مصرف مواد جاذب رطوبت افزایش معنی‌داری داشت. مقدار عملکرد دانه در حالت مصرف سیلیکا ایروژل نسبت به مصرف سوپرجاذب در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری نداشت در حالی که مطابق جدول ۲ مقدار آب آبیاری در صورت مصرف سیلیکا ایروژل نسبت به سوپرجاذب در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، ۸ درصد کاهش یافت. در تحقیقات مختلفی افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف سوپرجاذب گزارش شده است (۱۷، ۲۱ و ۲۲).



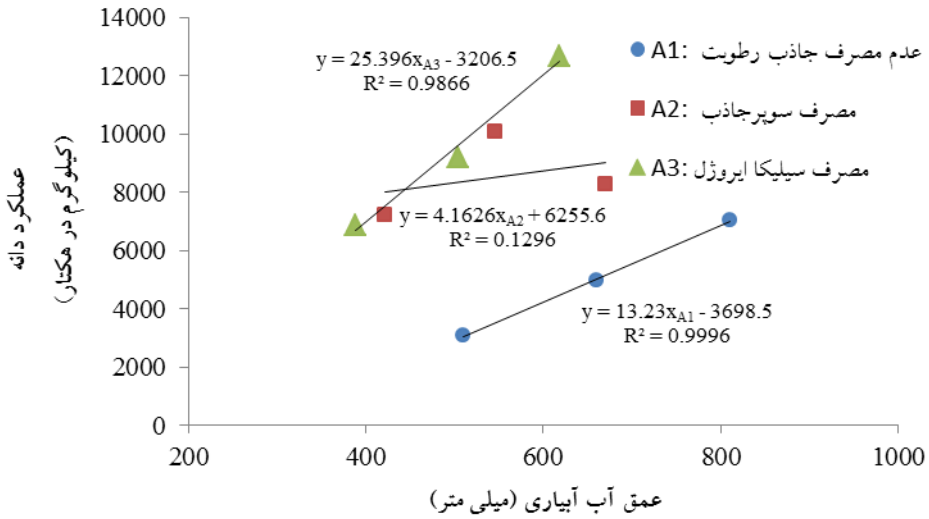
نمودار۳- برهم‌کنش کم آبیاری و مواد جاذب رطوبت بر عملکرد دانه ذرت

Diagram 3. The comparison interaction of effect of deficit irrigation and moisture absorbent materials on grain yield of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.

بر اساس نتایج به دست آمده تابع تولید ذرت برای شرایط مختلف مواد جاذب رطوبت که بیان‌گر چگونگی ارتباط بین آب مصرفی ذرت و تولید متناظر با آن می‌باشد، مطابق نمودار ۴ استخراج گردید که حاکی از وجود رابطه خطی با مجذور ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹) برای شرایط عدم مصرف مواد جاذب رطوبت و مصرف سیلیکا ایروژل و مجذور ضریب همبستگی پایین (۰/۱۳) برای شرایط مصرف سوپرجاذب می‌باشد. همچنین Yazar و همکاران (۲۰۰۹) و Boz (۲۰۰۱)، رابطه خطی بین آب مصرفی و عملکرد محصول را بیان نمودند. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد موقعیت تابع تولید سیلیکا ایروژل در دستگاه مختصات بالاتر از توابع مربوط به شرایط عدم استفاده از مواد جاذب رطوبت و مصرف سوپرجاذب می‌باشد و همچنین شیب معادله مربوط به سیلیکا ایروژل به مراتب بیش-تر از دو مورد دیگر است که نشان دهنده تولید عملکرد بالاتر به ازای آب مصرفی در شرایط مصرف سیلیکا ایروژل نسبت به شرایط عدم مصرف مواد جاذب رطوبت و حتی مصرف سوپرجاذب می‌باشد.



نمودار۴- رابطه میزان مصرف آب آبیاری و عملکرد دانه ذرت در شرایط مختلف مواد جاذب رطوبت

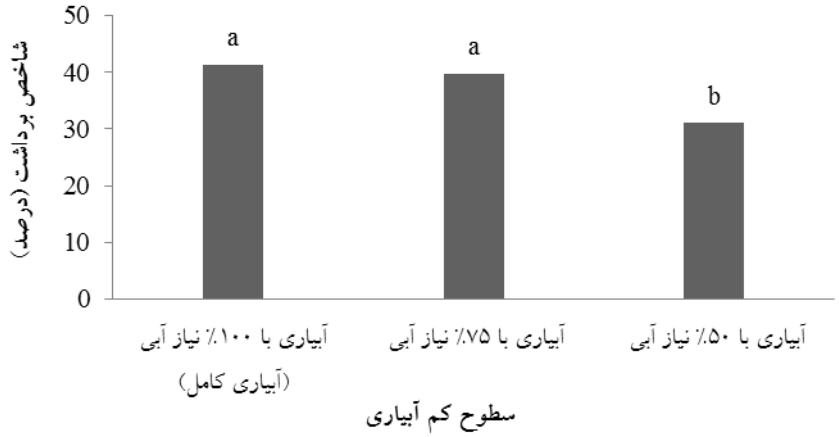
Diagram 4. Relationship between irrigation water consumption and grain yield of corn in deferent moisture absorbent materials conditions

شاخص برداشت

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر کم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر مواد جاذب رطوبت در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار شد اما اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرکم آبیاری بر شاخص برداشت نشان داد با افزایش شدت کم آبیاری شاخص برداشت کاهش یافته به طوری که در شرایط آبیاری با۵۰ درصد نیاز آبی، شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری با شرایط آبیاری کامل پیدا کرد (نمودار ۵). در واقع میزان عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در شرایط اعمال کم آبیاری بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش یافته است. بر اساس تحقیق Panday و همکاران (۲۰۰۰)، دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی به حساسیت بیش‌تر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی نسبت داده شد. بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۴۱/۴ درصد و کم‌ترین آن در شرایط آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی به میزان ۳۱/۱ درصد به دست آمد. به طور کلی شاخص برداشت ارقامی که عملکرد بالایی دارند بین ۳۸ تا ۵۰ درصد است (۲۵). استفاده از مواد جاذب رطوبت منجر به افزایش معنی‌دار شاخص برداشت گردید به طوری که استفاده از

سوپرجاذب و سیلیکا ایروژل به ترتیب ۶۱/۱ و ۴۰ درصد شاخص برداشت را نسبت به حالت عدم مصرف مواد جاذب رطوبت افزایش داد (نمودار ۶).

محققان Denmead و Shaw (۱۹۶۰) و Setter و همکاران (۱۹۹۰) اظهار داشتند که کمبود آب از جمله عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدارت‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود.

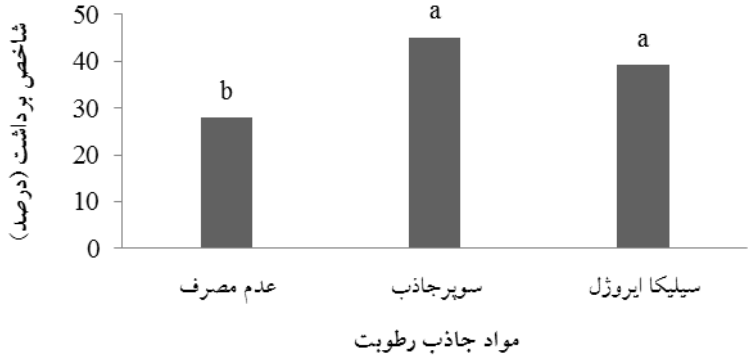


نمودار ۵- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر شاخص برداشت ذرت

Diagram 5. Mean comparison of effect of deficit irrigation on harvest index of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.



نمودار ۶- مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر شاخص برداشت ذرت

Diagram 6. Mean comparison of effect of moisture absorbent materials on harvest index of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.

کارایی اقتصادی آب

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر کم آبیاری و مواد جاذب رطوبت بر کارایی اقتصادی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر کارایی اقتصادی آب در نمودار ۷ نشان داده شده است. بیش‌ترین کارایی اقتصادی آب در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی (۱/۴۷ کیلوگرم در متر مکعب) و کم‌ترین آن در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (۱/۳۶ کیلوگرم در متر مکعب) به

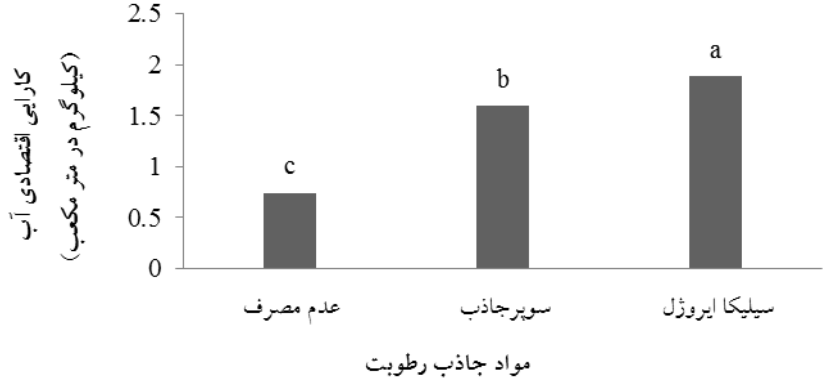
دست آمد در حالی که کارایی اقتصادی آب در بین سطوح مختلف آبیاری تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. بر اساس تحقیقات ساجدی و ساجدی (۱۳۸۸) مقدار کارایی مصرف آب در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱/۰۷، ۱/۲۵ و ۱/۲۹ کیلوگرم دانه ذرت در متر مکعب آب به دست آمد به طوری که مقدار کارایی مصرف آب در بین تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر کارایی اقتصادی آب در نمودار ۸ نشان داده شده است. بالاترین کارایی اقتصادی آب در اثر کاربرد سیلیکا ایروژل (۱/۸۸ کیلوگرم در متر مکعب) و کم‌ترین مقدار آن در شرایط عدم مصرف مواد جاذب رطوبت (۰/۷۴ کیلوگرم در متر مکعب) به دست آمد. مصرف مواد جاذب رطوبت به طور معنی‌داری منجر به افزایش کارایی اقتصادی آب گردید به نحوی که استفاده از سیلیکا ایروژل و سوپرجاذب به ترتیب ۱۵۴/۱ و ۱۱۶/۲ درصد کارایی اقتصادی آب را نسبت به حالت عدم مصرف مواد جاذب رطوبت افزایش داد. مطابق نتایج به دست آمده، به منظور افزایش کارایی اقتصادی آب کاربرد سیلیکا ایروژل نسبت به سوپرجاذب برتری نسبی دارد. یکی از خصوصیات بارز سیلیکا ایروژل استفاده شده در این تحقیق، عایق حرارتی می باشد. لذا افزایش قابل توجه کارایی اقتصادی آب بر اثر مصرف سیلیکا ایروژل را می توان به کاهش تبخیر خاک در تیمارهای دارای سیلیکا ایروژل مرتبط دانست.

نمودار ۷- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر کارایی اقتصادی آب در گیاه ذرت

Diagram 7.Mean comparison of effect of deficit irrigation on water economic efficiency of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.



نمودار ۸- مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر کارایی اقتصادی آب در گیاه ذرت

Diagram 8. Mean comparison of effect of moisture absorbent materials on water economic efficiency of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.

افزایش کارایی اقتصادی آب بر اثر کاربرد سوپرجاذب می‌تواند به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی برای مدت طولانی در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر در خاک باشد(۲۹). بر اساس تحقیق منتظر(۱۳۸۷)، معلوم شد استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب در آبیاری جویچه‌ای شرایط را برای بهبود کمی و کیفی عملکرد فراهم می‌آورد و باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. مصرف سوپرجاذب باعث حفظ و نگهداشت آب خاک می‌شود لذا مقدار آب مصرفی در تیمارهای دارای سوپرجاذب، کم‌تر می‌باشد و به سبب آن بهره وری آب افزایش می‌یابد. این نتایج منطبق با نتایج به دست آمده توسط El-hady و Wanas (۲۰۰۶) می‌باشد.

کارایی بیولوژیک آب

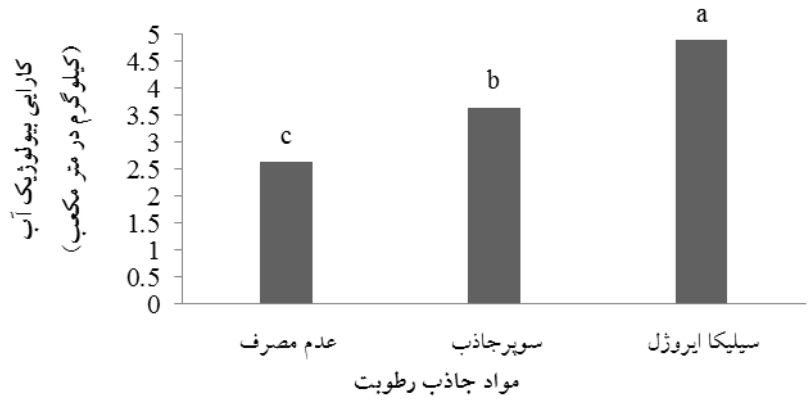
با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر کم آبیاری و مواد جاذب رطوبت بر کارایی بیولوژیک آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر کارایی بیولوژیک آب نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر کارایی بیولوژیک آب نشان داد با افزایش تنش خشکی، کارایی بیولوژیک آب بیش‌تر شده است که دلیل آن را می‌توان به کم‌تر شدن آب مصرفی در شرایط تنش ربط داد (نمودار ۹). این نتیجه با یافته های Zhang و همکاران (۲۰۰۴) هم‌خوانی دارد. بالاترین کارایی بیولوژیک آب در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به میزان ۴/۲۶ کیلوگرم ماده خشک در متر مکعب آب مصرفی و پایین‌ترین آن در شرایط آبیاری کامل به میزان ۳/۲۹ کیلوگرم در متر مکعب به دست آمد. مقدار کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد بیولوژیک در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۹/۷ و ۲۹/۵ درصد نسبت به حالت آبیاری کامل (آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی) افزایش یافت. این افزایش به نحوی بود که مقدار کارایی بیولوژیک آب در سطح آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل داشت. بر اساس تحقیقات کریمی و همکاران (۱۳۸۸) شاخص بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس به ترتیب ۶/۰۳، ۶/۰۸ و ۱۰/۶۹ کیلوگرم ماده خشک ذرت در متر مکعب آب آبیاری به دست آمد. مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر کارایی بیولوژیک آب نشان داد استفاده از مواد جاذب رطوبت به طور معنی‌داری منجر به افزایش کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک شده است. همچنین استفاده از سیلیکا ایروژل نسبت به سوپرجاذب برای افزایش کارایی بیولوژیک آب، برتری نسبی معنی‌داری داشت (نمودار ۱۰). بیش‌ترین کارایی بیولوژیک آب در شرایط مصرف سیلیکا ایروژل (۴/۸۹ کیلوگرم در متر مکعب) به دست آمد که نسبت به عدم مصرف مواد جاذب رطوبت و سوپرجاذب به ترتیب ۴۷/۵ و ۳۴/۳ درصد افزایش داشت. نتایج تحقیقات کریمی و همکاران (۱۳۸۸) بر روی کارایی مصرف آب، در صورت استفاده از پلیمر سوپرجاذب، نشان داد میزان کارایی سوپرجاذب در خاک های شنی لومی، بیش‌تر از خاک-های لوم و رسی است و با افزایش مصرف آن، کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک نیز افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد سوپرجاذب به دلیل کاهش آب مصرفی، سبب افزایش کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک شده است. این نتیجه منطبق بر نتایج به دست آمده توسط Hady و همکاران (۲۰۰۶) است.

نمودار ۹- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر کارایی بیولوژیک آب در گیاه ذرت

Diagram 9.Mean comparison of effect of deficit irrigation on water biologic efficiency of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.



نمودار ۱۰- مقایسه میانگین اثر مواد جاذب رطوبت بر کارایی بیولوژیک آب در گیاه ذرت

Diagram 10. Mean comparison of effect of moisture absorbent materials on water biologic efficiency of corn

میانگین‌ها دارای حداقل یک حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean a minimum of a joint letter, the 5 percent level, differences are not significant.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از ماده سیلیکا ایروژل نانو ساختار می‌تواند باعث افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب به منظور تولید عملکرد دانه و ماده خشک گردد. همچنین سیلیکا ایروژل نسبت به پلیمر سوپرجاذب دارای برتری نسبی بود. لذا به نظر می‌رسد استفاده از این ماده (سیلیکا ایروژل) به عنوان یک ماده جاذب رطوبت و کاهش دهنده میزان تبخیر خاک به لحاظ عایق حرارتی بودن آن، می‌تواند موجب استفاده بهینه از آب آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب گردد.

Reference

1. Ober, E.S., Bloa, M., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, K.D., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in Sugar beet. Field Crops Res. 91,231-249.
2. English, M.J., Musick, I.J., Murty, V.V., 1990. Deficit irrigation, Journal of farm irrigation system, ASAE, 12(3),222-230.

3. Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M., Zhang, D.K., 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. Desalination. 218,271-280.
4. 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.
5. Yazdani, F., Allahdadi, I., Akbari, G.A., Behbahani, M.R., 2007. Effect of different rates of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on soybean yield and yield components (Glycine max L.). Pajouhesh & Sazandegi. 75,167-174. (In Persian)
6. Al-harbi, A.R., Al-omran, A.M., Shalaby, A.A., Choudhary, M.I., 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. Hort. Sci. 34,223-224.
7. Moslemi, Z., Habibi, D., Asgharzadeh, H., Ardakani, M.R., Mohammadi, A., Sakari, A., 2012. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 12,358-364.
8. Robiul Islam, M.R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A.E., Xue, X., 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and Lipid peroxidation in corn (zea max L.) under drought stress. J. Sci. Food Agric. 91,813-819.
9. Bessembinder, J.J.E., Leffelaar, P.A., Dhindwal, A.S. Ponsioen, T.C., 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water Productivity. Agricultural Water Management. 73(2),113-130.
10. Seckler, D., Molden, D., Barker, R., 1999. Water Scarcity in the Twenty first century. Water Brief 1. IWMI. Colombo Sri Lanka.
11. Sajadi, S.S., 2014. Aerogel and their various applications. First Edition, Tehran, Research Institute of Petroleum Industry, pp.370. (In Persian)
12. Asvadi, H., Aghayari, F., Samiei, L., 2014. The effect of nanostructured silica aerogel on soil water retention. First national congress on Iran's Irrigation & Drainage. Firdausi-Mashhad University. (In Persian)
13. Hafez Khiyabani, N., Sahba Yaghmaei, M., Shokri, B., Rahimipour, M.R., 2008. Silica aerogel, nanometer porosity and its applications in petrochemical industry. First Iranian petrochemical conference. (In Persian)
14. Yazar, A., Gokcel, F. Sezen, M.S., 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant and soil environ. 55 (11),494–503.
15. Hosseini, N.M., Palta, J.A., Berger, J.D. Siddique, K.H., 2009. Sowing soil water content effects on chickpea (*Cicer arietinum* L.): Seedling emergence and early growth interaction with genotype and seed size. Agric. Water Manage. 96,1732-1736.
16. Yazdani, F., Allahdadi, I., Akbari, G.A., Shorafa, M., 2005. The Effect of application of Super-Adsorbent hydrogels to reduce drought stress in

Soybean. Tehran, The 9th Iranian Soil Science Congress. (In Persian)

17. Kohestani, SH., Asgari, N., Maghsodi, K., 2009. The effect of superabsorbent hydrogels on corn yield under drought stress conditions. Iranian Journal of Water Researches. 3(5), 71-78. (In Persian)
18. Moazen Ghamsari, B., Akbari, G.A., Zohoriyan, M.J., Nik Niyaei, A.B., 2009. Evaluation of yield and growth indexes of forage corn under the influence of application of different amounts of superabsorbent polymer under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Science. 40(3),1-8. (In Persian)
19. Reminson, S.U., Lucas, E.O., 1982. Effects of planting density on leaf area and Productivity of two maize cultivars in Nigeria. Exp. Agric. 18,93-100.
20. Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004. Adaptation of Crop management to water-limited environment. European Journal of Agronomy 21,433-4460
21. Karimi, A., 2005. Driving water-nitrogen production function in irrigation fertilizer system. PhD thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, pp. 170. (In Persian)
22. Rahimiyan, M.H., Hoseini Rad, A., 2007. Effects of application of two types of superabsorbent polymers in soil on irrigation water consumption and tomato yield. The 9th National Seminar on Irrigation and Reduction of Evaporation. Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
23. Boz, B., 2001. Validation of the Ceres-Maize Growth Model under Cukurova region conditions, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Institute of Natural and Applied Sciences, Cukurova University, MSc Thesis, 59, Adana.
24. Pandey, R. K., Marienmille, J.W., Adum, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. I. Grain yield components. agric. water Manag. 46,1-13.
25. Gifford, R.M., Evans, L.T., 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. Annu. Rev. Plant physiol. 32,485-509.
26. Denmead, O. T., Shaw, R.H., 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J. 52, 272-274.
27. Setter, T.L., 1990. Transport / harvest index: Photosynthetic Partitioning in stressed plants. PP. 17-36. Stress Responses in plant: Adaptation and Accumulaion Mechanism Wiley- Liss Inc., New York.
28. Sajedi, N.A., Sajedi, A., 2009. Effect of drought stress, mycorrhiza and zinc rates on agro-physiologic characteristics of maize cv. KSC704. Iranian Journal of Crop Sciences. 11 (3), 202-222. (In Persian)
29. Montazer, A.A., 2008. Study the effect of stockosorb super absorption polymer on the flow advance time and infiltration parameters in furrow irrigation. Journal of Soil and Water. 22(2),341-356. (In Persian)
30. El-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.

31. Zhang, Y.E., Kendy, Y., Qiang. L., Changmin, S., Hongyong, S., 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration crop yield and water use efficiency in the north china plain. Agric. water manag. 64(2),107-122.
32. Karimi, M., Esfahani, M., Beigloei, M.H., Rabiei, B., Kafi Ghasemi, A., 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. Journal of Crop Production, 2(2),91-110. (In Persian)
33. 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.