نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تعیین مؤلفه‌های اصلی در بهره‌وری مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت در پاسخ به کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت

محسن جهان[1*] و محمد بهزاد امیری[2]

۱*) دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Jahan@um.ac.ir

۲) استادیار گروه تولیدات گیاهی مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۶

چکیده

در راستای بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبت بر کارآیی مصرف آب و به‌منظور تعیین مؤلفه‌های اصلی در کارآیی مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت در پاسخ به کاربرد مقادیر افزایش‌یافته‌ی هیدروژل سوپرجاذب رطوبت، پژوهشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به تفکیک برای سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت انجام شد. سطوح آبیاری (تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه) در کرت‌های اصلی و کاربرد و عدم کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد سوپرجاذب رطوبت کارآیی مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت را به‌ترتیب ۴۶، ۲۹ و ۴۳ درصد نسبت به ش‌اهد افزایش داد، ضمن اینکه در هر سه گیاه مورد مطالعه، بیشترین کارآیی مصرف آب زمانی محقق شد که تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین و همزمان از سوپرجاذب رطوبت استفاده شد. با افزایش ارتفاع بوته، کارآیی مصرف آب در هر سه گیاه مورد مطالعه افزایش یافت. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، متغیرهای اندازه‌گیری شده در هر سه گیاه به دو مؤلفه اصلی تجزیه شدند. در لوبیا، کنجد و ذرت مؤلفه اول به‌ترتیب ۷۳، ۶۰ و ۸۰ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. همبستگی عملکرد دانه با مؤلفه اول در لوبیا، کنجد و ذرت به‌ترتیب ۰/۳۳، ۰/۳۴ و ۰/۳۳ بود. در لوبیا متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و میزان نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک در مؤلفه اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، شوری خاک و کارآیی مصرف آب در مؤلفه دوم قرار گرفتند. در کنجد، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و میزان فسفر و پی‌اچ خاک روی مؤلفه اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، نیتروژن خاک، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی مؤلفه دوم بیشترین بار را داشتند. در ذرت، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن و پی‌اچ خاک روی مؤلفه اول و متغیرهای فسفر خاک، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی مؤلفه دوم دارای بیشترین بار بودند. نتایج نشان داد که میزان آب صرفه‌جویی شده در نتیجه استفاده از سوپرجاذب رطوبت، از ابعاد اقتصادی و اکولوژیکی می‌تواند بسیار قابل توجه باشد.

کلید واژه‌ها: تنش خشکی؛ روش‌های آماری چندمتغیره؛ شوری خاک؛ نهاده بوم‌سازگار

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر ایران می‌باشد و بیش از هر عامل محیطی دیگر باعث محدود شدن رشد گیاهان و کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود (Lal *et al.*, 2013). تنش خشکی توقف رشد ریشه و بخش

هوایی و همچنین کاهش سطح برگ‌ها و در نتیجه کاهش رشد و نمو گیاه را سبب می‌شود. علاوه بر این، تنش خشکی می‌تواند به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی و بروز تنش اکسیداتیو منجر شود (Liu *et al.*, 2010; Zak *et al.*, 2003). در مطالعات متعدد، اثرات منفی تنش خشکی بر فراوانی و نوع ترکیب جمعیت میکروبی خاک که نقش کلیدی در تولید محصولات زراعی به‌ویژه در نظام‌های پایدار دارند، به اثبات رسیده است (Davidson *et al.*, 2012; Manzoni *et al.*, 2011; Moyano *et al.*, 2012). رسیدن به کشاورزی پایدار نیازمند استفاده‌ی بهینه از منابع آب موجود است و یکی از راهکارهای افزایش کارآیی مصرف آب محصولات کشاورزی در این نظام‌ها استفاده از نهاده‌های اکولوژیکی نظیر هیدروژل‌های سوپرجاذب رطوبت می‌باشد (Abedi-Koupai *et al.*, 2008).

در فلفل (*Capsicum annum* L.) اثرات سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) روی صفاتی نظیر تعداد و وزن میوه در بوته، وزن و حجم ریشه، عملکرد میوه و کارآیی مصرف آب بررسی و گزارش شد که بیشترین و کمترین مقدار صفات مورد مطالعه به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی بدست آمد (Mardani *et al.*, 2017). در پژوهشی دیگر، نسبت اندام هوایی به ریشه گونه‌ای آویشن (*Thymus citriodorus* Pers.) تحت‌تأثیر تنش خشکی کاهش یافت، ولی میزان ترکیبات فرار اسانس و همچنین میزان تیمول گیاه در این شرایط افزایش یافت (Tatrai *et al.*, 2016). کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته در شرایط خشکی در هیبریدهای مختلف سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) نیز گزارش شده است (Menezes *et al.*, 2015).

پلیمرهای سوپرجاذب ترکیبات آلی بوده و به‌صورت مصنوعی از پلی‌آکریلات پتاسیم و کوپلیمرهای پلی‌اکریل‌آمید ساخته شده‌اند و می‌توانند آب را به سرعت تا چندین برابر حجم خود جذب و نگهداری کنند و قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش دهند و در نهایت با کاهش اثرات تنش خشکی سبب بهبود رشد گیاه شوند (Abedi-Koupai *et al.*, 2008). این مواد بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی خاک، آب و بافت گیاهی با اسیدیته خنثی می‌باشند و توانایی جذب آب به میزان ۳۰۰ تا ۴۰۰ برابر وزن خود را دارند (Xie *et al.*, 2011). امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آن‌ها در کاهش شدت تنش خشکی و میزان مرگ‌ومیر گیاهان و همچنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است (Abedi-Koupai *et al.*, 2008; Zhong *et al.*, 2012).

در یک پژوهش، اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) بررسی و گزارش شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه‌ی ذرت به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (کریمی و نادری، ۱۳۸۶). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و سطح آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود (جهان و همکاران، ۱۳۹۵). در دو نوع بافت خاک لومی و شنی اثر سوپرجاذب رطوبت بر خصوصیات رشدی گیاه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* L.) در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که سوپرجاذب در هر دو بافت خاک و بویژه در خاک شنی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای منجر به بهبود ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و طول و حجم ریشه در مقایسه با شاهد شد (Rezashateri *et al.*, 2017). کاربرد سوپرجاذب در مزرعه اسفناج (*Ipomoea aquatic* Forsk.)، مانع از افزایش بیش از حد میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک شده و در نتیجه با افزایش میزان جذب آب و مواد غذایی، منجر به بهبود خصوصیات رشدی گیاه شد (Ruqin *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر، میزان نفوذ آب به اعماق در خاک شنی

در شرایط کاربرد سوپرجاذب رطوبت از ۱۲/٤ به ۸٤/۷۵ درصد کاهش یافت (Reddy *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر، ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و دورهای آبیاری بررسی و گزارش شد که در مدار آبیاری ۵ روز، سطوح صفر، ٤۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۳، ۵۰ و ۱۷ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به مدار آبیاری ۱۰ روز شدند (جهان و همکاران، ۱۳۹٤).

امروزه به‌منظور تجزیه و تحلیل صحیح و دقیق پدیده‌ها، از علم آمار و تکنیک‌های آماری در علوم مختلف به وفور استفاده می‌شود. تکنیک آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)[1] روشی آماری است که غالباً برای بررسی گروهی از متغیرهای هم‌بسته به‌کار می‌رود. مهم‌ترین کاربردهای این روش را می‌توان در تجزیه و تحلیل نماگرهای چندگانه، اندازه‌گیری و شناخت ساختارهای پیچیده، شاخص‌سازی و کاهش ابعاد داده‌ها جستجو نمود. در واقع در این روش تعداد کمتری از عوامل به نام مؤلفه‌های اصلی از میان عوامل اولیه گزینش می‌شوند، به‌طوری‌که برخی اطلاعات کم‌اهمیت حذف می‌شوند. اولین مؤلفه‌ی استخراج شده، بیشترین مقدار پراکندگی داده‌ها را از کل مجموعه داده‌ها در نظر می‌گیرد. این امر بدان معنی است که اولین مؤلفه حداقل با تعدادی از متغیرها هم‌بسته است. دومین مؤلفه‌ی استخراج شده دو ویژگی مهم دارد، اول این‌که این مؤلفه بیشترین مجموعه داده‌ها که توسط مؤلفه اول محاسبه نشده است را در نظر می‌گیرد و دوم این‌که با مؤلفه اول همبستگی ندارد. به‌عبارت دیگر، بدون در نظر گرفتن مؤلفه قبلی، با گذر از مؤلفه‌ی ابتدایی به سمت مؤلفه‌ی انتهایی، هر مؤلفه واریانس کمتری را تشریح می‌کند. یعنی، همیشه مؤلفه‌ی اصلی اول، بیشترین مقدار واریانس و مؤلفه‌ی آخر، کمترین واریانس را شرح می‌دهند که در این صورت با حذف مؤلفه‌های انتهایی اطلاعات زیادی از دست نخواهد رفت (منصورفر، ۱۳۹۱).

با توجه به دسترسی ناکافی به آب در اکثر نقاط کشور و اهمیت افزایش کارآیی مصرف آب محصولات مختلف و همچنین وجود اطلاعات اندک زمینه‌ی استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در جهت بررسی دقیق‌تر متغیرهای دخیل در فرآیند مصرف آب، این پژوهش با هدف تعیین مؤلفه‌های اصلی در کارآیی مصرف آب لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ذرت به عنوان سه گونه‌ی مهم زراعی (پروتئینی، روغنی و غله) در پاسخ به کاربرد مقادیر افزایش‌یافته‌ی هیدروژل سوپرجاذب رطوبت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ′۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ′ ۱۵ °۳٦ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت تقریبی ۲۵۰ متر مربع به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به تفکیک برای سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت اجرا شد. دو سطح آبیاری به میزان ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه در کرت‌های اصلی و کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرجاذب رطوبت و عدم کاربرد آن در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ابعاد کرت‌های اصلی ۳×٦ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر درنظر گرفته شد. نقشه طرح آزمایشی و نحوه قراگیری تیمارها در کرت‌های مزرعه در جدول ۱ آورده شده است.

بذور کنجد (توده اسفراین)، ذرت (سینگل کراس ۷۰٤) و لوبیا (درخشان) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ در ردیف‌های به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و به‌ترتیب با تراکم‌های ۵۰، ۷ و ۲۰ بوته در مترمربع در کرت‌های مربوطه کشت و بلافاصله به روش نشتی آبیاری شد. مقدار انتخاب شده‌ی سوپرجاذب رطوبت بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی

[1] Principal Components Analysis

انتخاب شد (جهان و همکاران، ۱۳۹۵؛ جهان و همکاران، ۱۳۹٤؛ جهان و همکاران، ۱۳۹۲).

به‌منظور محاسبه‌ی نیاز آبی کنجد، ذرت و لوبیا در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸٦). با اطلاع از طول فصل رشد لوبیا، کنجد و ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله‌ی آبیاری ۷ روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری برای لوبیا، کنجد و ذرت در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۳۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه و برای ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر مکعب در هکتار تعیین و این مقادیر در کل فصل رشد برای هر گیاه و در هر نوبت آبیاری یکسان در نظر گرفته شد.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲). جهت آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل، تنها عملیات دیسک‌زنی انجام و کلیه‌ی مراحل بعدی توسط کارگر و به کمک بیل‌دستی صورت گرفت. سپس مقادیر سوپرجاذب به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و بلافاصله توسط بیل‌دستی وارد خاک شدند. خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده در آزمایش در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱. نقشه طرح آزمایشی و نحوه قرارگیری تیمارها در کرت‌های مزرعه

B1	M				SE				BE				
	Non WS		WS		Non WS		WS		Non WS		WS		
	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	
B2	SE				BE				M				
	WS		Non WS		WS		Non WS		WS		Non WS		
	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	
B3	BE				M				SE				
	Non WS		WS		Non WS		WS		Non WS		WS		
	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	Non S	S	

M: ذرت، SE: کنجد، BE: لوبیا، WS: تنش آبی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، Non WS: عدم تنش آبی (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، S: کاربرد سوپرجاذب رطوبت، Non S: عدم کاربرد سوپرجاذب رطوبت، B1: بلوک ۱، B2: بلوک ۲، B3: بلوک ۳

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌آزمایشی

بافت خاک	نیتروژن (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	پی‌اچ	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی (٪)	ظرفیت نگهداری آب (٪)	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	هدایت هیدرولیکی اشباع ($mm.day^{-1}$)	نقطه ظرفیت زراعی (٪ حجمی)	نقطه پژمردگی دائم (٪ حجمی)
لومی-سیلت	۰/۱۵	۱۳	٤۱۵	۷/۱	۱/۲	۰/۵۲	۲۲	۱/۵٤	۲۵۰	۳۱	۱۵

جدول ۳. خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده

ظاهر	مقدار رطوبت (٪)	بو و سمیت	چگالی توده‌ای ($g.cm^{-3}$)	پی‌اچ
گرانول (گرید ریزدانه)	کمتر از ۵	۰	۰/۸	۹/۸۱

به‌منظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله‌ی آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله‌ی ٤ برگی عملیات تنک کردن انجام گرفت. بعد از عملیات تنک، آبیاری هر ۷ روز یکبار انجام و مقدار آن بسته به تیمار آزمایشی توسط کنتور ثبت و کنترل می‌شد و با توجه به استفاده از لوله و کنتور و تسطیح مناسب زمین، راندمان آبیاری، مطلوب ارزیابی شد. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی به‌ترتیب ۱۵، ۳۰ و ٤٥ روز پس از کاشت انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره‌ی رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. عمق توسعه ریشه لوبیا، کنجد و ذرت به‌ترتیب ٦٠، ۷۵ و ۸۰ سانتی‌متر بود.

به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)[1] و برخی شاخص‌های رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از مساحت ۰/۲۵ متر مربع هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Lea Area Meter, Delta T, Co. Ltd, UK) استفاده شد. سرعت رشد محصول در طول فصل رشد توسط معادله‌ی ۱ محاسبه شد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۹۱):

$$CGR=\text{Type equation here.}CGR=(1/GA)\frac{W_2-W_1}{t_2-t_1} \quad (1)$$

در این معادله، GA سطح زمین (m2)، W_1 و W_2 به‌ترتیب وزن اولیه و ثانویه (g) و t_1-t_2 فاصله زمانی نمونه‌برداری‌های مختلف (day) می‌باشد.

در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله‌ی رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به‌طور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک متر مربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده‌ی خشک گیاهان مورد مطالعه تعیین شد. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر، EC و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن خاک بر اساس دستورالعمل AOAC Official Method 968.06 (4.2.04) به‌روش کجلدال و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد (Horwitz and Latimer, 2005). میزان فسفر خاک به‌روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. جهت محاسبه بهره‌وری مصرف آب آبیاری (WUE)[2] (kg Seed.m-3 Water) از معادله‌ی ۲ استفاده شد (کوچکی و همکاران، ۱۳۹٦):

$$WUE=\frac{Y_s}{W_I+W_P} \quad (2)$$

که در این معادله، Ys عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)، W_I مقدار آب آبیاری ($m^3.ha^{-1}$) و W_P میزان بارندگی (mm) می‌باشد.

جهت تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مراحل مختلف به شرح زیر انجام می‌گیرد (مقدم و همکاران، ۱۳۸۸):

ابتدا متغیرهای X_1، X_2، ... و X_p استاندارد می‌شوند تا دارای میانگین صفر و واریانس یک باشند. ماتریس کوواریانس C محاسبه می‌شود. اگر مرحله اول انجام شود، ماتریس کوواریانس برابر با ماتریس همبستگی خواهد بود. مقادیر ویژه‌ی λ_1، λ_2، ... و λ_3 و بردارهای ویژه[3] متناظر a_1، a_2، ... و a_3 محاسبه می‌شوند. بنابراین، ضرایب i امین مؤلفه اصلی با ai نمایش داده شده و واریانس آن λi است.

مؤلفه‌هایی که فقط بخش کوچکی از تغییرات داده‌ها را نشان می‌دهند، حذف می‌شوند.

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها (ANOVA)، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4 و Minitab Ver. 17 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

[1]. Crop Growth Rate
[2]. Water Use Efficiency
[3]. Eigenvector

نتایج و بحث

اثر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت بر بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب هر سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت قرار گرفت (جدول ٤). در لوبیا، کنجد و ذرت زمانی که ۵۰ درصد نیاز آبی تأمین شد، بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب ۳۲، ٤۳ و ۲۸ درصد بیشتر از شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۵).

کاربرد سوپرجاذب رطوبت، به‌ترتیب افزایش ٤٦، ۲۹ و ٤۳ درصدی بهره‌وری مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت را سبب شد (جدول ۵). در هر سه گیاه مورد مطالعه، بیشترین بهره‌وری مصرف آب زمانی محقق شد که تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین و همزمان از سوپرجاذب رطوبت استفاده شد (جدول ٦).

سوپرجاذب رطوبت احتمالاً از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Abedi-Koupai *et al.*, 2008)، افزایش بهره‌وری مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (Eneji *et al.*, 2013)، کاهش نیاز آبی گیاه (Xie *et al.*, 2011) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen *et al.*, 2011) منجر به بهبود بهره‌وری مصرف آب محصولات شده است. در پژوهشی، ضمن بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه‌ی ذرت به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (کریمی و نادری، ۱۳۸٦). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و سطح آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود (جهان و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ٤. تجزیه واریانس برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت

		عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	وزن دانه در بوته	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول
لوبیا	بلوک	۱۷۵۳۰ns	۷۱۰۱٤ns	۰/۳۷ns	٤/۷٦ns	۰/۱٦ns	۰/۵۷*
	نیاز آبی	۵۰۹۸۵۸**	٤۰۲۹٦٦*	۷/۹۲**	۱۲۳/۵۲*	۱۵/۲۷*	۰/۰۹ns
	خطای اصلی	٤۱۹۷	۹۲٦۸۹	۰/۳۰	۱۱/۹۰	۲/٦۸	۰/۱۱
	سوپرجاذب رطوبت	۲۲۸۵۱۳۰**	۱۲٦۷۹۳۵۲**	۳۹/۸٦**	۲۲۹۳/۵٦**	۳۱/٤۲**	۲۲/٤۵**
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۲۰۰۸۸۰*	۱۷٤۹٦٦*	٦/۰٦*	۱٦/۵٦ns	۱/۰۲ns	۰/۹۹*
	خطای فرعی	۱۵٦٤۱	۱۲٦۹	۲/۲۹	٦٤/۰۵	۰/۰۳	۱/۲۲
	خطای کل	٤۳٤۳	٤۸۸۲	۰/۰۷	٦/۷۵	۰/۱٦	۰/۰۳
کنجد	بلوک	۳٤۲/۵۸ns	۱۷۷۰۱ns	۱/٦۹ns	۰/۹۲ns	۰/۰۷ns	۰/۰۹ns
	نیاز آبی	۳۳٤۳۳٤**	۲۰٤٤۳۵۰*	۵/۸۵*	٤۷۳/۵۱ns	۳۱/۳۳**	٦/۹۸**
	خطای اصلی	۲۳۵۰	۸۳٤٦۲	۰/۳۳	۲٤/۸۲	۰/۰۲	۰/۱٤
	سوپرجاذب رطوبت	۹۵۸۲٤۰**	٦۹٦۳۱۵٦**	۲۹۲/٤٤**	۲۹۳۳/٤۳*	٤۹/٤۱**	۳۱/۱۸**
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۱۰۹۸۰**	٦۰۷۹۵۰*	٦٤/۸٦**	۷٦/۹۱ns	۲/۵٦**	۱/۳۵*
	خطای فرعی	۲۷۷٦	۳۲۹۷۰	۰/۱۹	۱۵/۲۰	۰/۱۳	۰/۰۹
	خطای کل	۷٦/۷۵	۳۳۳۱۵	۰/۳٦	٤٦/۸۳	۰/۰۲	۰/۰۱

	بلوک	۱۱٤٤٤٥ns	۱٤۲٤۳٥۸ns	۳۰۳	۱۱ns	۰/۰۷*	۰/۲٦ns
	نیاز آبی	۹۱۱۳٥٤۰۸**	۱٥۲٦٤٦۲۰۰**	۱۷۱۷٦**	۲٤٦٤*	۷/۰۸**	٦/٥٥**
	خطای اصلی	۸٤٥۸٥۳	۱٦۱۲۳۳۹	۱۳۱	۸۸	۰/۲۱	۰/۰۲
۱۰ تن	سوپرجاذب رطوبت	۳٥۰٦۳۳۱٦۳**	٦۸۲۷۱٦۹۳۰**	۷۹۰٥٦**	۲۳۰٤٤**	۲۲/٦۸**	٥۲/۸۷**
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۲۰۰٤۱۰۱ns	٥۱٦۷۹٦۸*	۳٤۰۰*	۳۳۹ns	۰/۰۰۰۸ns	۰/٦۲*
	خطای فرعی	۷۲٥٥٦	۲۰۷۳۰۷۰	۱۱۲	۸۷	۰/۰۳	۰/۰۸
	خطای کل	۳۲۰٦۸٤	۱۹۹٦۳۱	۹٥	٥۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار

ادامه جدول ٤. تجزیه واریانس برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت

		نیتروژن خاک	فسفر خاک	شوری خاک	پی‌اچ خاک	بهره‌وری مصرف آب
	بلوک	۰/۰۰۰۰٤ns	۰/۰۰۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۲	۰/۰۲ns	۰/۰۰٥ns
	نیاز آبی	۰/۰۰۰٥ns	۰/۰۰۰۰۰۱ns	۰/۳٤**	۰/۲۰ns	۰/۲۱**
	خطای اصلی	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۲
۴ تن	سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۲*	۰/۰٤**	۸/٤۱**	۰/٤٦**
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۰۰۰۹*	۰/۰۰٤ns	۱/۹٦*	۰/۰۰۰۷ns
	خطای فرعی	۰/۰۰۰٥	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۱٦	۰/۰۰۳
	خطای کل	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰٦	۰/۰۰۰۸
	بلوک	۰/۰۰۰۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ns	۰/۰٥*	۰/۱۲ns	۰/۰۰۸ns
	نیاز آبی	۰/۰۰٦**	۰/۰۰۰۰۰۷*	۰/۲۳**	۰/۰٦ns	۰/۳۹**
	خطای اصلی	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰٤
۲ تن	سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰۰٦*	۰/۰۰۰۳**	۰/۱۰*	۱۲/۱۲**	۰/۱٤*
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰۰۹ns	۰/۰۰۰۰۰۰٤ns	۰/۰۱ns	۰/٦۷*	۰/۰۰۷ns
	خطای فرعی	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۰۰۲
	خطای کل	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۲
	بلوک	۰/۰۰۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۰۰٤ns
	نیاز آبی	۰/۰۰۰٦**	۰/۰۰۰۰۰٦*	۰/٤۳**	٤/٥٦**	۰/۰۷**
	خطای اصلی	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۰۹
۱۰ تن	سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰٥**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۱ns	۲۳/۳٥**	۰/٥۱**
	نیاز آبی× سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰٤ns	۰/۱۲**	۰/۳۰ns	۰/۰۸**
	خطای فرعی	۰/۰۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰٤	۰/۰٤	۰/۰۰۰۱
	خطای کل	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰۰٤

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

		عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد ماده خشک ($kg.ha^{-1}$)	وزن دانه در بوته (g)	ارتفاع بوته (cm)	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول ($g.m^{-2}.day^{-1}$)
لوبیا	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۱۲۱۳b	۳۳۱٤b	٦/۷۳b	۷۵/۸a	۵/۸۱b	٦/۵۱a
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۱٦۲۵a	۳٦۸۱a	۸/۳٦a	۸۲/۲a	۸/۰٦a	٦/٦۹a
	کاربرد سوپرجاذب	۱۸۵٦a	٤۵۲۵a	۹/۳۷a	۹۲/۸a	۸/۵۵a	۷/۹۷a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۹۸۳b	۲٤۷۰b	۵/۷۲b	٦۵/۲b	۵/۳۲b	۵/۲٤b
کنجد	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۱۱۷۳b	۲۲۵۱b	۱۹/۵٦a	۷۷/۹a	۸/۱۳a	٤/٦۳b
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۱۵۰۷a	۳۰۷۷a	۲۰/۹٦a	٦۵/٤a	٤/۹۰b	٦/۱٦a
	کاربرد سوپرجاذب	۱٦۲۳a	۳٤۲٦a	۲۵/۲۰a	۸۷/۳a	۸/۵٤a	۷/۰۰a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۱۰۵۷b	۱۹۰۲b	۱۵/۳۲b	۵٦/۰b	٤/٤۸b	۳/۷۸b
ذرت	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۱۲۰۱۳b	۲٤۱٦۹b	۱۵۸/۳۳b	۱۲۷b	۵/۲۰b	۵/٦۳b
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۱۷۵۲۵a	۳۱۳۰۳a	۲۳٤/۰۰a	۱۵٦a	٦/۷۳a	۷/۱۱a
	کاربرد سوپرجاذب	۲۰۱۷٤a	۳۵۲۷۹a	۲۷۷/۳۳a	۱۸۵a	۷/۳٤a	۸/٤۷a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۹۳٦۳b	۲۰۱۹۳b	۱۱۵/۰۰b	۹۷b	٤/۵۹b	٤/۲۷b

* در هر ستون، برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

ادامه جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

		نیتروژن خاک (٪)	فسفر خاک (٪)	شوری خاک ($dS.m^{-1}$)	پی‌اچ خاک	بهره‌وری مصرف آب ($kg\ seed.m^{-3}\ water$)
لوبیا	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۰/۰۹a	۰/۰۰٦۳a	۰/۷۵a	۸/٦۹a	۰/۸۰a
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۰/۱۱a	۰/۰۰۵۷a	۰/٤۱b	۸/٤۳a	۰/۵٤b
	کاربرد سوپرجاذب	۰/۱۳a	۰/۰۰۷۵a	۰/۵۲b	۹/٤۰a	۰/۸۷a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۰/۰۷b	۰/۰۰٤۵b	۰/٦٤a	۷/۷۳b	۰/٤۷b
کنجد	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۰/۰۹a	۰/۰۰٤۹b	۰/۸۳a	۸/۵۵a	۰/۸۳a
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۰/۰٤b	۰/۰۰٦٤a	۰/۵۵b	۸/٤۰a	۰/٤۷b
	کاربرد سوپرجاذب	۰/۰۷a	۰/۰۰۷۲a	۰/٦۰b	۹/٤۸a	۰/۷٦a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۰/۰٦b	۰/۰۰٤۱b	۰/۷۹a	۷/٤۷b	۰/۵٤b
ذرت	تأمین ۵۰ درصد نیازآبی	۰/۰٦b	۰/۰۰۷۳a	۰/۸۱a	۷/۲۳b	۰/٦۰a
	تأمین ۱۰۰ درصد نیازآبی	۰/۰۷a	۰/۰۰۵۷b	۰/٤۳b	۸/٤۷a	۰/٤۳b
	کاربرد سوپرجاذب	۰/۰۸a	۰/۰۰۸۱a	۰/٦۳a	۹/۲۵a	۰/۷۲a
	عدم‌کاربرد سوپرجاذب	۰/۰٤b	۰/۰۰٤۹b	۰/٦۱a	٦/٤٦b	۰/۳۱b

* در هر ستون، برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ٦. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد ماده خشک ($kg.ha^{-1}$)	وزن دانه در بوته (g)	ارتفاع بوته (cm)	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول ($g.m^{-2}.day^{-1}$)
			لوبیا			
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۱۵۲۰b	٤٤٦٣a	۷/۸٤b	۸۸a	۷/۷۲b	۷/۵۹a
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۹۰٦c	۲۱٦٦c	۵/٦۲c	٦۳b	۳/۹۰c	۵/٤۳b
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۲۱۹۱a	٤۵۸۸a	۱۰/۸۹a	۹۷a	۹/۳۹a	۸/۳۵a
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۱۰۵۹c	۲۷۷٤b	۵/۸۲c	٦۷b	٦/۷٤b	۵/۰٤b
			کنجد			
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۱٤۸٦b	۳۲۳۸a	۲۲/۱۷b	۹۱a	۹/۷۰a	٦/۵۸b
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۸٦۰d	۱۲٦۵c	۱٦/۹۵c	٦٤b	٦/۵٦c	۲/٦۸d
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۱۷۵۹a	۳٦۱٤a	۲۸/۲۲a	۸۳a	۷/۳۹b	۷/٤۳a
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۱۲۵۵c	۲۵٤۰b	۱۳/۷۰d	٤۷c	۲/٤۱d	٤/۸۸c
			ذرت			
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۱۷۸۲۷b	۳۱۰۵٦b	۲۲۲b	۱۷٦b	٦/۵۸b	۷/۵۰b
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	٦۱۹۹d	۱۷۲۸۳d	۹٤d	۷۸d	۳/۸۱d	۳/۷٦d
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۲۲۵۲۲a	۳۹۵۰۲a	۳۳۲a	۱۹٤a	۸/۱۰a	۹/٤۳a
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۱۲۵۲۸c	۲۳۱۰٤c	۱۳٦c	۱۱۷c	۵/۳۷c	٤/۷۸c

* در هر تون، برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

ادامه جدول ٦. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

	نیتروژن خاک (٪)	فسفر خاک (٪)	شوری خاک ($dS.m^{-1}$)	پی‌اچ خاک	بهره‌وری مصرف آب ($kg\ seed.m^{-3}\ water$)
			لوبیا		
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۱۰۰b	۰/۰۰٦۹ab	۰/٦۷b	۹/۱۳b	۱/۰۱a
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۹۲bc	۰/۰۰۵۷b	۰/۸۳a	۸/۲٦c	۰/٦۰c
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۱٦۳a	۰/۰۰۸۲a	۰/۳۷d	۹/٦۸a	۰/۷۳b
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۵٦c	۰/۰۰۳۳c	۰/٤۵c	۷/۱۹d	۰/۳۵d
			کنجد		
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۱۰۱a	۰/۰۰٦۳b	۰/۷۷a	۹/۳۲a	۰/۹٦a
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۸۱b	۰/۰۰۳۵d	۰/۹۰a	۷/۷۸b	۰/۷۰b
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۰٤۸c	۰/۰۰۸۲a	۰/٤۳b	۹/٦۵a	۰/۵۵c
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰٤۰d	۰/۰۰٤۷c	۰/٦۸ab	۷/۱٦c	۰/۳۸d
			ذرت		
۵۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۸۱b	۰/۰۰۸۸a	۰/۷۲b	۸/۷۹b	۰/۸۹a
۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۳۸d	۰/۰۰۵۷c	۰/۹۱a	۵/٦۸d	۰/۳۰c
۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۹۵a	۰/۰۰۷٤b	۰/۵٤c	۹/۷۰a	۰/۵٦b
۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپرجاذب رطوبت	۰/۰۵۲c	۰/۰۰٤۱d	۰/۳۲d	۷/۲۳c	۰/۳۱c

* در هر ستون، برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، عملکرد دانه‌ی لوبیا با عملکرد ماده‌ی خشک (r= ۰/۸٦**)، وزن دانه در بوته (r= ۰/۹۵**)، ارتفاع بوته (r= ۰/۹۳**)، شاخص سطح برگ (r= ۰/۸۲**) و سرعت رشد محصول (r= ۰/۸٦**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. از طرفی با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه با میزان نیتروژن (r= ۰/۸۰**) و فسفر خاک (r= ۰/۷۷**) (جدول ۷)، به‌نظر می‌رسد که بهبود عملکرد دانه در شرایط استفاده از نهاده‌هایی که میزان یا فراهمی این عناصر در خاک را افزایش دهد، دور از ذهن نباشد. همبستگی مثبت عملکرد ماده‌ی خشک با صفاتی نظیر ارتفاع بوته (r= ۰/۹۲**)، شاخص سطح برگ (r= ۰/۸۵**) و سرعت رشد محصول (r= ۰/۸٦**) حاکی از نقش مؤثر صفات مذکور در بهبود عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۷). با توجه به نتایج آزمایش، افزایش ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و همچنین میزان فسفر خاک در بهبود بهره‌وری مصرف آب لوبیا مؤثر بود (جدول ۷).

عملکرد دانه و ماده‌ی خشک در کنجد از همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، میزان فسفر و پی‌اچ خاک برخوردار بود (جدول ۷)، به‌عبارت دیگر، برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و ماده‌ی خشک می‌توان نهاده‌هایی به کار برد که در بهبود صفات مذکور مؤثر باشند. همبستگی مثبت بهره‌وری مصرف آب با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ با

میزان نیتروژن خاک، به اهمیت و نقش این صفات در افزایش بهره‌وری آب اشاره دارد (جدول ۷).

در ذرت، محتوای نیتروژن و فسفر خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان عملکرد دانه و ماده‌ی خشک ایفا کرد (جدول ۷)، ضمن این‌که به‌نظر می‌رسد با انجام عملیات به‌زراعی از جمله استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار نظیر هیدروژل سوپرجاذب رطوبت و نقش این نهاده‌ها در افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بتوان از تولید بهینه بهره‌مند شد (جدول ۷). بهره‌وری مصرف آب در هر سه گیاه مورد مطالعه با افزایش ارتفاع بوته بهبود یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد با افزایش ارتفاع بوته، میزان سایه‌اندازی بوته‌ها روی زمین بیشتر شده و در نتیجه از میزان هدررفت آب جلوگیری شده است. در لوبیا و ذرت، افزایش سرعت رشد محصول منجر به بهبود بهره‌وری مصرف آب شد، همچنین در کنجد و ذرت، عوامل افزایش‌دهنده شاخص سطح برگ سبب شدند بهره‌وری مصرف آب در این گیاهان با افزایش همراه باشد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد گیاهان مورد مطالعه زمانی که از سطح برگ بیشتری برخوردار هستند، امکان ارسال مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه دارند که این امر احتمالاً رشد و توسعه ریشه آنها را به همراه داشته و در نتیجه بهره‌وری مصرف آب افزایش یافته است. همبستگی مثبت و معنی‌دار میزان عناصرغذایی نیتروژن و فسفر خاک با بهره‌وری مصرف آب گیاهان مورد مطالعه (جدول ۷) نیز حاکی از اهمیت بسیار زیاد این عناصر به‌ویژه در شرایط وجود محدودیت‌های آبی می‌باشد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین مؤلفه مؤثر بر بهره‌وری مصرف آب

مقادیر ویژه[1] و واریانس متناظر[2] مؤلفه‌های اصلی در بهره‌وری مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت در پاسخ به کاربرد مقادیر افزایش‌یافته‌ی سوپرجاذب رطوبت در جدول‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. بر این اساس، متغیرها در هر سه گیاه به دو مؤلفه تجزیه شدند.

در لوبیا، کنجد و ذرت مؤلفه اول به‌ترتیب ۷۳، ٦۰ و ۸۰ درصد از واریانس موجود در متغیرها را تبیین کرد. واریانس تجمعی مؤلفه دوم برای لوبیا، کنجد و ذرت، به‌ترتیب ۸۹، ۹۱ و ۹۵ درصد از واریانس کل بود (جدول ۸ و ۹).

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در لوبیا متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک روی مؤلفه اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، شوری خاک و بهره‌وری مصرف آب روی مؤلفه دوم قرار گرفتند. رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای[3] (شکل ۲) نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را تا حد زیادی تأیید کرد.

در کنجد، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و فسفر و پی‌اچ خاک روی مؤلفه اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، نیتروژن خاک، شوری خاک و بهره‌وری مصرف آب روی مؤلفه دوم بیشترین بار را داشتند (شکل ۳). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ٤) نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را تأیید کرد.

در ذرت، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی منجر به این شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نیتروژن و پی‌اچ خاک روی مؤلفه اول و متغیرهای فسفر خاک، شوری خاک و بهره‌وری مصرف آب روی مؤلفه دوم بیشترین بار را داشتند (شکل ۵). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ٦) نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را تأیید کرد

[1]. Eigenvalue
[2]. Corresponding variance
[3]. Cluster Analysis

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لوبیا، کنجد و ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت

		۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
لوبیا	عملکرد دانه (۱)	۱**										
	عملکرد ماده خشک (۲)	۰/۸٦**	۱**									
	وزن دانه در بوته (۳)	۰/۹٥**	۰/۷۹**	۱**								
	ارتفاع بوته (٤)	۰/۹۳**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۱**							
	شاخص سطح برگ (٥)	۰/۸۲**	۰/۸٥**	۰/۷۷**	۰/۸۳**	۱**						
	سرعت رشد محصول (٦)	۰/۸٦**	۰/۸۸**	۰/۸۲**	۰/۹۱**	۰/٦۹*	۱**					
	نیتروژن خاک (۷)	۰/۸۰**	۰/٦۳*	۰/۷۹**	۰/۷۱**	۰/٦۳*	۰/٦۸*	۱**				
	فسفر خاک (۸)	۰/۷۷**	۰/۷۰*	۰/۷٦**	۰/۷۸**	۰/٥۰	۰/۷۷**	۰/۸۸**	۱**			
	شوری خاک (۹)	-۰/٦۲*	-۰/٤۷	-۰/٥۸*	-۰/٤۸	-۰/۷٤**	-۰/۲۹	-۰/۲۹	-۰/۰٦	۱**		
	پی‌اچ خاک (۱۰)	۰/۸۱**	۰/۷٦**	۰/۸۲**	۰/۸۱**	۰/٥٥*	۰/۸۱**	۰/۸۸**	۰/۹٦**	-۰/۱۱	۱**	
	بهره‌وری مصرف آب (۱۱)	۰/٤۹	۰/٦۸*	۰/٤٦	۰/٦٥*	۰/۳۰	۰/۷۰*	۰/٤۲	۰/۷٤**	۰/۲٥	۰/۷۷**	۱**
کنجد	عملکرد دانه (۱)	۱**										
	عملکرد ماده خشک (۲)	۰/۹٦**	۱**									
	وزن دانه در بوته (۳)	۰/۷۸**	۰/۷۰*	۱**								
	ارتفاع بوته (٤)	۰/٥٦*	۰/٥٤	۰/۸۰**	۱**							
	شاخص سطح برگ (٥)	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/٦۸*	۰/۹۳**	۱**						
	سرعت رشد محصول (٦)	۰/۹۸**	۰/۹٦**	۰/۷٥**	۰/٦۲*	۰/۳۹	۱**					
	نیتروژن خاک (۷)	-۰/۲۱	-۰/۱٤	۰/۰۹	۰/٥٦*	۰/۷۷**	-۰/۱۱	۱**				
	فسفر خاک (۸)	۰/۹٦**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/٦٦*	۰/٤۲	۰/۹٤**	-۰/۱۷	۱**			
	شوری خاک (۹)	-۰/٦۸*	-۰/۱٤	-۰/٤۸	-۰/۱٦	۰/۰٤	-۰/٦۳*	۰/٥۳	-۰/٦۷*	۱**		
	پی‌اچ خاک (۱۰)	۰/۷٤**	۰/۷۰*	۰/۹۲**	۰/۸۹**	۰/۷۹**	۰/۷٥**	۰/۳۰	۰/۸۳**	-۰/٤۷	۱**	
	بهره‌وری مصرف آب (۱۱)	۰/۰۱	۰/۰٥	۰/۳۰	۰/۷۳**	۰/۸٥**	۰/۱۲	۰/۹۳**	۰/۰٥	۰/۳٤	۰/٥۱	۱**
ذرت	عملکرد دانه (۱)	۱**										
	عملکرد ماده خشک (۲)	۰/۹۸**	۱**									
	وزن دانه در بوته (۳)	۰/۹٥**	۰/۹۸**	۱**								
	ارتفاع بوته (٤)	۰/۹۷**	۰/۹٥**	۰/۹۳**	۱**							
	شاخص سطح برگ (٥)	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹٤**	۱**						
	سرعت رشد محصول (٦)	۰/۹٦**	۰/۹۸**	۰/۹۸**	۰/۹٥**	۰/۹٦**	۱**					
	نیتروژن خاک (۷)	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹٦**	۰/۹۸**	۰/۹٥**	۰/۹۷**	۱**				
	فسفر خاک (۸)	۰/٥۹*	۰/٦۲*	۰/٦۰*	۰/٦۹*	۰/٥٤	۰/٦۸*	۰/۷۰**	۱**			
	شوری خاک (۹)	-۰/۹۹**	-۰/۲۹	-۰/۲۲	۰/۹۸**	۰/۹٦**	۰/۹٦**	-۰/۲٤	۰/٤۱	۱**		
	پی‌اچ خاک (۱۰)	۰/٦٤*	۰/٦۱*	۰/۹٤**	۰/۷٥**	۰/٥۸*	۰/٦٦*	۰/۹۷**	۰/٦۰*	-۰/۳٥	۱**	
	بهره‌وری مصرف آب (۱۱)	۰/٦٤*	۰/٦۱*	۰/٥٦*	۰/۷٥**	۰/٥۸*	۰/٦٦*	۰/۷۱**	۰/۹۰**	۰/۱۷	۰/٦۹*	۱**

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

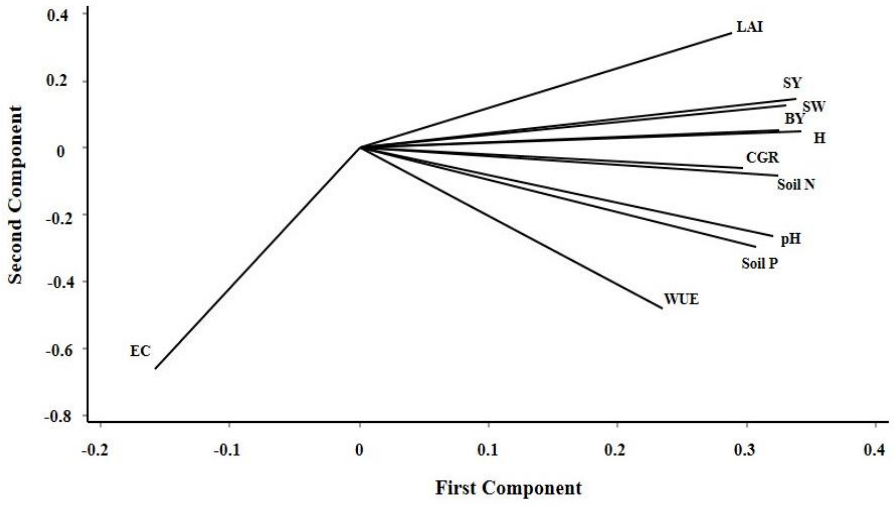
جدول ۸. مقادیر ویژه و واریانس متناظر مؤلفه‌های حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بهره‌وری مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت

	مؤلفه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
لوبیا	ویژه مقدار	۸/۰٤	۱/۷٦	۰/٦۷	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰٤	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
	نسبت از کل	۰/۷۳	۰/۱٦	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰٤	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تجمعی	۰/۷۳	۰/۸۹	۰/۹٥	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
کنجد	ویژه مقدار	٦/۷۰	۳/۳٥	۰/٤۸	۰/۲۸	۰/۰٦	۰/۰٥	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰٥	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
	نسبت از کل	۰/٦۰	۰/۳۰	۰/۰٤	۰/۰۲	۰/۰۰٦	۰/۰۰٥	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تجمعی	۰/٦۰	۰/۹۱	۰/۹٥	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

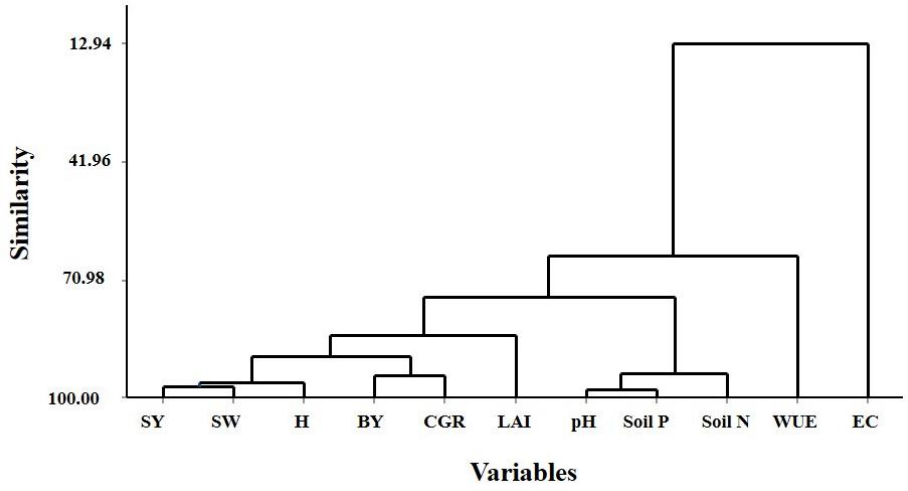
	ویژه مقدار	۸/۸۱	۱/٦٦	۰/٤۰	۰/۰٤	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰
تجمعی	نسبت از کل	۰/۸۰	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۰٤	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تجمعی	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

جدول ۹. بار هر یک از متغیرها (بر اساس پارامتر ضریب حساسیت) بر روی دو مؤلفه‌ی اصلی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بهره‌وری مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت

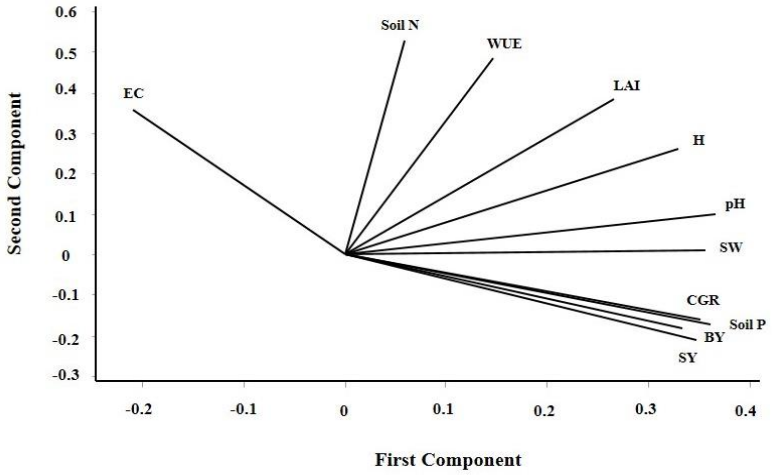
	مؤلفه اصلی در لوبیا		مؤلفه اصلی در کنجد		مؤلفه اصلی در ذرت	
متغیر	**۱**	**۲**	**۱**	**۲**	**۱**	**۲**
عملکرد دانه (SY)	۰/۳۳	۰/۱٤	۰/۳٤	−۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۱۲
عملکرد ماده خشک (BY)	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۳۳	−۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۰۸
وزن دانه دربوته (SW)	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۰۰۸	۰/۳۲	۰/۰٦
ارتفاع بوته (H)	۰/۳٤	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۲٦	۰/۳۳	۰/۰۱
شاخص سطح برگ (LAI)	۰/۲۸	۰/۳٤	۰/۲٦	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۱۵
سرعت رشد محصول (CGR)	۰/۳۲	−۰/۰۸	۰/۳۵	−۰/۱٦	۰/۳۳	۰/۰۰۵
نیتروژن خاک (Soil N)	۰/۲۹	−۰/۰٦	۰/۰۵	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۰۰٤
فسفر خاک (Soil P)	۰/۳۰	−۰/۲۹	۰/۳٦	−۰/۱۷	۰/۲٤	−۰/۵۲
شوری خاک (EC)	−۰/۱۵	−۰/٦٦	−۰/۲۱	۰/۳۵	−۰/۰۸	−۰/۷۰
پی‌اچ خاک (pH)	۰/۳۲	−۰/۲٦	۰/۳٦	۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۰۸
بهره‌وری مصرف آب (WUE)	۰/۲۳	−۰/٤۸	۰/۱٤	۰/٤۸	۰/۲٤	−۰/٤۱



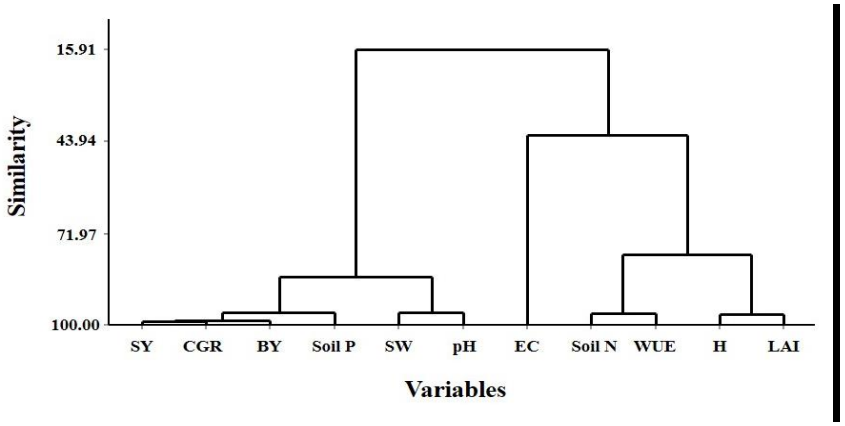
شکل ۱. مختصات متغیرهای اندازه‌گیری شده از لحاظ دو مؤلفه اصلی اول در لوبیا تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب



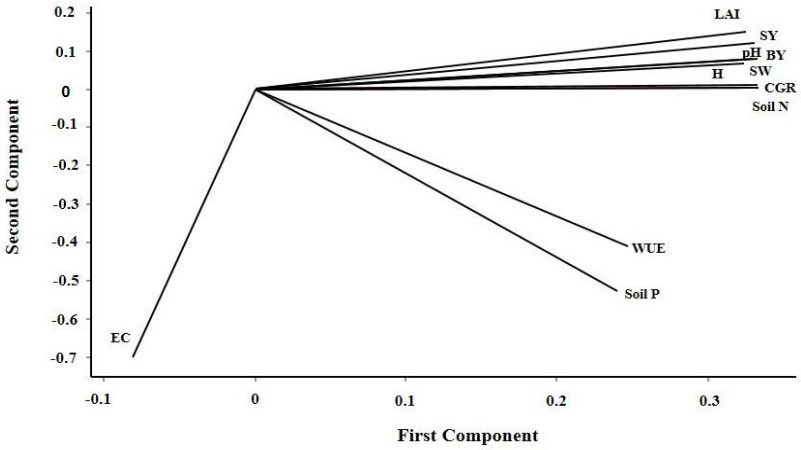
شکل ۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در لوبیا تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب



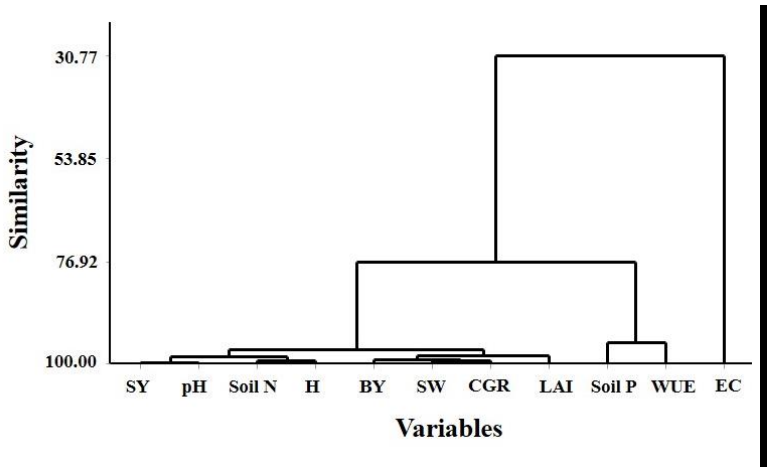
شکل ۳. مختصات متغیرهای اندازه‌گیری شده از لحاظ دو مؤلفه اصلی اول در کنجد تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب



شکل ٤. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در کنجد تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب



شکل ۵. مختصات متغیرهای اندازه‌گیری شده از لحاظ دو مؤلفه اصلی اول در ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب



شکل ٦. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب

مقایسه واریانس مؤلفه‌های اصلی (ویژه مقدارها) با واریانس متغیرهای اولیه، اهمیت نسبی مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد. بعد از استاندارد کردن متغیرهای اولیه، میانگین و واریانس آن‌ها به‌ترتیب صفر و یک می‌شود، بنابراین، واریانس اولین مؤلفه اصلی در لوبیا، ۸/۰٤ برابر متغیرهای اولیه است.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در داده‌های مربوط به لوبیا حاکی از آن است که ۷۳ درصد از کل واریانس تبیین شده توسط مؤلفه‌ها، مربوط به مؤلفه اول است (جدول ۸). از آنجایی که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک، روی مؤلفه‌ی اول بیشترین بار را داشتند (شکل ۱ و جدول ۹)، همچنین، توجه به این نکته که متغیرهای قرار گرفته در هر مؤلفه از همبستگی بالایی با یکدیگر برخوردار هستند (مقدم و همکاران ۱۳۸۸)، به‌نظر می‌رسد که مدیریت زراعی در جهت بهبود صفات مذکور، منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. با توجه به اصول و مبانی اکوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی، می‌توان مؤلفه اول که منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته روی این مؤلفه) را مؤلفه آرایش فضایی و مؤلفه دوم را که نشان‌دهنده خوصیات مربوط به بهره‌وری مصرف آب (بار زیاد متغیر بهره‌وری مصرف آب روی این مؤلفه) را مؤلفه بهره‌وری مصرف آب نامید.

همبستگی عملکرد دانه با مؤلفه اول در کنجد و ذرت به‌ترتیب ۰/۳٤ و ۰/۳۳ بود (جدول ۸ و ۹). متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و فسفر و پی‌اچ خاک در کنجد روی مؤلفه اول بیشترین بار را داشتند (جدول ۹)، بنابراین، این مؤلفه می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد. نیتروژن خاک و شوری خاک بیشترین وزن را روی مؤلفه دوم داشتند، بنابراین، به‌نظر می‌رسد که این مؤلفه توصیف‌کننده شرایط خاک است.

در ذرت، متغیرهای فسفر خاک، شوری خاک، شاخص سطح برگ و بهره‌وری مصرف آب بیشترین وزن‌ها را با علامت منفی روی مؤلفه دوم داشتند (جدول ۹). همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، متغیرهای درون هر مؤلفه از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند، بنابراین، به‌نظر می‌رسد که هر گونه تغییر در میزان فسفر خاک، شوری خاک و شاخص سطح برگ، سبب تغییر در بهره‌وری مصرف آب خواهد شد. در مؤلفه اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک و نیتروژن خاک بیشترین وزن‌ها را داشتند (جدول ۹)، بنابراین، به‌نظر می‌رسد که این مؤلفه می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد. در مقابل، مؤلفه دوم با توجه به متغیرهایی که روی آن بار بیشتری نسبت به مؤلفه اول دارند (فسفر و شوری خاک)، می‌تواند منعکس‌کننده ویژگی‌هایی از خاک باشد.

مقایسه ویژه‌بردارهای مربوط به مؤلفه‌های اول لوبیا، کنجد و ذرت، (معادله‌های ۳، ٤ و ۵) آشکار ساخت که ضرایب متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، میزان فسفر خاک، میزان نیتروژن خاک (در لوبیا و ذرت) و سرعت رشد محصول مثبت و از مقدار قابل توجهی برخوردار بودند. بنابراین، هرگونه مدیریتی در جهت بهبود عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، میزان فسفر و نیتروژن خاک و سرعت رشد محصول، بهبود در عملکرد دانه و در نهایت بهبود بهره‌وری مصرف آب را به‌دنبال خواهد داشت.

$$PC1Bean=0.33(SY)+0.32(BY)+0.33(SW)+0.34(H)+0.28(LAI)+0.32(CGR)+0.29(Soil\ N)+0.30(Soil\ P)-0.15(EC)+0.32(pH)+0.23(WUE) \quad (۳)$$

$$PC1Sesame=0.34(SY)+0.33(BY)+0.35(SW)+0.33(H)+0.26(LAI)+0.35(CGR)+0.05(Soil\ N)+0.36(Soil\ P)-0.21(EC)+0.36(pH)+0.14(WUE) \quad (٤)$$

$$PC1Corn=0.33(SY)+0.33(BY)+0.32(SW)+0.33(H)+0.32(LAI)+0.33(CGR)+0.33(Soil\ N)+0.24(Soil\ P)-0.08(EC)+0.33(pH)+0.24(WUE) \quad (۵)$$

سطح معنی‌داری برای هر یک از معادلات ۵ درصد لحاظ شد.

در پژوهشی، عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از ویژگی‌های خاک به کمک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیش‌بینی و گزارش شد که قسمت عمده‌ی تغییرپذیری در مزرعه توسط فاکتورهای حاصلخیزی ایجاد شده و در مجموع مدل‌های رگرسیونی حاصله ۵۷ درصد تغییرپذیری عملکرد کل را تبیین کردند (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهشی دیگر، صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در تعدادی از ژنوتیپ‌های خلر (*Lathyrus sativus*) به مؤلفه‌های اصلی تجزیه و گزارش شد که مؤلفه‌های اول و دوم ٦۹/۱ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه نمودند (دانش‌گیلوایی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شناسایی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) برای تحمل به خشکی حاکی از آن بود که متغیرهای مورد بررسی به دو مؤلفه اصلی توان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تجزیه و ارقام لیکورد (LiKord) و اوکاپی (Okapi) به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی شناسایی شدند (مجیدی، ۱۳۹۱).

ثابت شده است که تنش خشکی به‌ویژه در سه مرحله پیدایش و تشکیل گل، گرده‌افشانی و لقاح و تشکیل دانه

اثرات منفی شدیدی بر جای می‌گذارد. تنش خشکی از ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند. تنش در مرحله گرده‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌ها را به علت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌دهد و پژمردگی کلاله ناشی از تنش، مانع رشد لوله گرده می‌شود. در مرحله‌ی پر شدن دانه، گیاهان تحت تنش به جای اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه، مواد غذایی را صرف مقابله با تنش می‌کنند و در نتیجه وزن دانه و به دنبال آن عملکرد دانه تحت‌تأثیر اثرات منفی تنش خشکی قرار می‌گیرد. بنابراین، عملکرد بیشتر گیاهان مورد مطالعه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی منطقی به‌نظر می‌رسد. نتایج تحقیقات Pandey و Maranvill (2000) در خصوص اعمال تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت نشان داد که اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، کاهش قطر ساقه و کاهش ارتفاع گیاه شد.

سوپرجاذب‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Abedi-Koupai *et al.*, 2008)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (Eneji *et al.*, 2013)، کاهش نیاز آبی گیاه (Xie *et al.*, 2011) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen *et al.*, 2011) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. این مواد بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی خاک، آب و بافت گیاه می‌باشند، ضمن این که کاملاً سالم و غیرسمی هستند و درنهایت در خاک به دی‌اکسید کربن، آب، آمونیاک و یون پتاسیم تجزیه می‌شوند (Nazarli *et al.*, 2010). در پژوهشی، ضمن بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه‌ی ذرت به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (کریمی و نادری، ۱۳۸٦). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و سطح آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود (جهان و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین گزارش شد که کاربرد سوپرجاذب ضمن کاهش تنش خشکی در ذرت، منجر به افزایش ۱٦ درصدی عملکرد این گیاه گردید (خادم و همکاران، ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در بهبود بهره‌وری مصرف آب هر سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت مؤثر بود، ولی از این نظر بیشترین تأثیر در گیاه ذرت مشاهده شد. به نظر می‌رسد با توجه به اینکه از نظر ریخت‌شناسی، جثه بوته‌های ذرت نسبت به بوته‌های لوبیا و کنجد بیشتر است، موضوع استفاده بهینه از منابع آب و توسعه ریشه و حفظ رطوبت در محیط ریشه در این گیاه از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در هر سه گونه گیاهی مورد مطالعه، متغیرهای شوری خاک و بهره‌وری مصرف آب در مؤلفه دوم قرار گرفتند و از آنجایی که متغیرهای درون هر مؤلفه از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند، به‌نظر می‌رسد توجه به عوامل مؤثر در کاهش شوری خاک، افزایش بهره‌وری مصرف آب را در پی داشته باشد. در هر سه گونه زراعی، قرارگیری عملکرد دانه، با متغیرهایی نظیر ارتفاع بوته و سرعت رشد محصول در یک مؤلفه، حاکی از آن است که برای دستیابی به حداکثر تولید، می‌توان از نهاده‌های دوست‌دار محیط زیست نظیر سوپرجاذب رطوبت که افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، فراهمی فسفر خاک، سرعت رشد محصول و در نهایت افزایش بهره‌وری مصرف آب را به دنبال دارند، بهره برد. میانگین حجم آب صرفه‌جویی شده در نتیجه مصرف سوپرجاذب در شرایط تأمین فقط ۵۰ درصد نیاز آبی برای هر سه گونه زراعی، ٤۵۰ متر مکعب در هکتار در هر مرتبه آبیاری است.

اگر طول دوره رشد برای هر سه گونه زراعی، ۹۰ روز و فاصله آبیاری‌ها، ۷ روز در نظر گرفته شود، حجم کل آب صرفه‌جویی شده ۵۸۵۰ متر مکعب در یک هکتار خواهد بود که با در نظر گرفتن سطح زیر کشت گیاهان زراعی و شرایط فعلیِ کمبود فزاینده آب، میزان آب صرفه‌جویی شده می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. طراحی و اجرای پژوهش‌هایی با محوریت برآورد و مقایسه مزیت‌های اقتصادی و اکولوژیکی حاصل از کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب در نتیجه کاربرد سوپرجاذب می‌تواند هزینه نسبتاً بالای این نهاده بوم‌سازگار را توجیه کرده و زمینه را برای به‌کارگیری گسترده آن توسط کشاورزان و تولیدکنندگان بخش زراعت و باغبانی فراهم آورد.

فهرست منابع

ایوبی، ش.، محمدزمانی، س. و خرمالی، ف. ۱۳۸۸. پیش‌بینی عملکرد گندم از طریق خصوصیات خاک با استفاده از تجزیه به مؤلفه اصلی. تحقیقات آب و خاک ایران، ٤۹: ۵۷-۵۱.

جهان، م.، امیری، م.ب. و نوربخش، ف. ۱۳۹۵. بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت به روش سطح پاسخ. پژوهشهای زراعی ایران، ١٤(٤): ٧٤٦-٧٦٤.

جهان، م.، قلعه‌نویی، ش.، خاموشی، ا. و امیری، م.ب. ۱۳۹٤. بررسی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ریحان تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و دروهای آبیاری. علوم باغبانی مشهد، ۲۹(۲): ۲٤۰-۲۵٤.

جهان، م.، کمایستانی، ن. و رنجبر، ف. ۱۳۹۲. امکان‌سنجی استفاده از سوپرجاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت در یک نظام زراعی کم‌نهاده در شرایط مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۳): ۲۷۲-۲۸۱.

خادم، س.ع.، رمرودی، م.، گلوی، م. و روستا، م.ج. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی و کاربرد نسبت‌های مختلف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. علوم گیاهان زراعی ایران، ٤۲(۱): ۱۱۵-۱۲۳.

دانش‌گیلوایی، م.، کریم‌زاده، ق. و آقاعلیخانی، م. ۱۳۹۰. بررسی تنوع ژنتیکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در تعدادی از ژنوتیپ‌های خلر (*Lathyrus sativus* L.). علوم گیاهان زراعی ایران، ٤۲(۲): ۲۵٤-۲٤۳.

علیزاده، ا.، کمالی، غ.ع.، کشاورز، ع. و دهقانی، م. ۱۳۸٦. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، تهران. ۲۲۸ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ.ح. ۱۳۹۱. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ٤۰۰ صفحه.

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، فلاح‌پور، ف. و امیری، م.ب. ۱۳۹٦. بهینه‌سازی کود نیتروژن و آبی در زراعت گندم از طریق طرح مرکب مرکزی. بوم‌شناسی کشاورزی، در نوبت چاپ.

کریمی، ا. و نادری، م. ۱۳۸٦. بررسی اثرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در خاک‌های با بافت مختلف. پژوهش کشاورزی، ۷(۳): ۱۸۷-۱۹۸.

مجیدی، م.م. ۱۳۹۱. شناسایی ارقام کلزا برای تحمل به خشکی از طریق شاخص‌های مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بر اساس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۲(٤): ٤۱-۵۲.

مقدم، م.، محمدی، س.ا. و آقایی سربرزه، م. ۱۳۸۸. آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره. انتشارات پریور تبریز. ۲۸۰ صفحه.

منصورفر، ک. ۱۳۹۱. روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری. انتشارات دانشگاه تهران. ٤۵۹ صفحه.

Abedi-Koupai, J., Sohrab, J. and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition, 31: 317-331.

Davidson, E.A., Samanta, S., Caramori, S.S. and Savage, K. 2012. The dual arrhenius and michaelismenten kinetics model for decomposition of soil organic matter at hourly to seasonal timescales. Global Change Biology, 18: 371-384.

Eneji, A.E., Islam, R., An, P. and Amalu, U.C. 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production, 52: 474-480.

Horwitz, W. and Latimer, G.W. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.

Lal, S., Bagdi, D.L., Kakralya, B.L., Jat, M.L. and Sharma, P.C. 2013. Role of brassinolide in alleviating the adverse effect of drought stress on physiology, growth and yield of green gram genotypes. Journal of Legume Research, 36: 359-363.

Liu, Z.F., Fu, B.J. and Zheng, X.X. 2010. Plant biomass, soil water content and soil N:P ratio regulating soil microbial functional diversity in a temperate steppe: a regional scale study. Soil Biology and Biochemistry, 42: 445-450.

Manzoni, S., Schimel, J.P. and Porporato, A. 2011. Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. Ecology, 93: 930-938.

Mardani, S., Tabatabaei, S.H., Pessarakli, M. and Zareabyaneh, H. 2017. Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. Journal of Plant Nutrition. 40(10): 1453-1464.

Menezes, C.B., Saldanha, D.C., Santos, C.V., Mingote Julio, M.P., Portugal, A.F. and Tardin, F.D. 2015. Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. Genetics and Molecular Research, 14(4): 12675-12683.

Moyano, F.E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, J., Caraine, J., Curiel, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Katterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A., Ruamps, L., Subke, J.A., Thomsen, I.K. and Chenu, C. 2012. The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. Biogeosciences, 9: 1173-1182.

Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. and Najafi, S. 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. Not Science Biology, 2: 53-58.

Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G. and Ruokolainen, J. 2011. Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter, 7: 4414-4424.

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: 15-27.

Reddy, K.S., Maruthi, V. and Umesha, B. 2015. Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of alfisols in semi-arid region. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development, 30(2): 11-16.

Rezashateri, M., Khajeddin, S.J., Abedi-Koupai, J., Majidi, M.M. and Matinkhah, H. 2017. Growth characteristics of Artemisia sieberi influenced by super absorbent polymers in textureally different soils under water stress condition. Archives of Agronomy and Soil Science, 63(7): 984-997.

Ruqin, F., Jia, L., Shaohua, Y., Yunlai, Z. and Zhenhua, Z. 2015. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. Pedosphere, 25(5): 737-748.

Tatrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G. 2016. Morphological and Physiological plant responses to drought stress in Thymus citriodorus. International Journal of Agronomy, 2016: 1-8.

Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X. and Wang, Y. 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. Chemical Engineering Journal, 167: 342-348.

Zak, D.R., Holmes, W.E. and White, D.C. 2003. Plant diversity, microbial communities, and ecosystem function: are there and links. Ecology, 84: 2042-2050.

Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T. and Jiang, G.B. 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers, 90, 820-826.

ISSN 2251-7480

Principal components analysis for water use efficiency of common bean, sesame and maize in response of application of water super absorbent hydrogel

Mohsen Jahan[1*] and Mohammad Behzad Amiri[2]

1[*]) Associate Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[*]Corresponding author email: Jahan@um.ac.ir
2) Assistant Professor, Department of Plant Production, University of Gonabad, Gonabad, Iran.

Received: 10-02-2018 Accepted: 15-05-2020

Abstract

In order to evaluate effect of deficit irrigation and application of water superabsorbent and determining principal components in water use efficiency of common bean, sesame and maize a split plots experiment based on RCBD design with three replications was conducted during 2015-2016 growing season, in Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Irrigation levels (50 and 100% of water requirement) and application and non-application of water superabsorbent assigned to main and sub plots, respectively. The result showed that application of water superabsorbent increased WUE in bean, sesame and corn 46, 29 and 43%, respectively. In three studied plants, the highest WUE obtained in 50% of water requirement+water superabsorbent treatment. Principal components analysis for three plant species resulted in two principle components with the most considerable variances. The first component explained 73, 60 and 80% of variables variance in bean, sesame and corn, respectively. The correlation of Seed yield and first component was 0.33, 0.34 and 0.33 in bean, sesame and corn, respectively. In bean, variables of seed yield, biological yield, seed weight, plant height, crop growth rate and soil nitrogen, phosphorous content and pH were assigned to the first component and leaf area index, EC and water use efficiency were assigned to the second component. In sesame, variables of seed yield, biological yield, seed weight, plant height, crop growth rate and soil phosphorous and pH had the highest load on the first component and variables of leaf area index, soil nitrogen content, EC and water use efficiency had the highest load on the second component. In corn, variables of seed yield, biological yield, seed weight, plant height, leaf area index, crop growth rate and soil nitrogen and pH were in the first component and variables of soil phosphorous and EC and water use efficiency in the second component had the highest load. The results revealed the amount of saved water resulted from superabsorbent applying would be high considerable from economic and ecological points of view.

Keywords: Drought stress; Eco-Friendly Input; Multivariate statistical methods; Soil EC