



دانشگاه گیلان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹

۱۹-۳۹

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2020.14585.2309

تجزیه عاملی کار آبی مصرف آب و برخی صفات کمی و عملکرد در کنجد (*Sesamum indicum* L.)

تحت تأثیر کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در شرایط تنش خشکی

محسن جهان^۱، *محمد بهزاد امیری^۲، نگار ناصری^۳ و میلاد صالح آبادی^۴

^۱دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران،

^۳دانشجوی کارشناسی مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارآبی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. از این‌رو، در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است که در این مسیر، بهره‌گیری از سوپرچاذب‌ها و محلول‌پاشی نهاده‌های بوم‌سازگاری مانند اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک جهت صرفه‌جویی و استفاده بهینه آب مدنظر قرار گرفته‌اند، بنابراین این پژوهش با هدف استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در تعیین عوامل مؤثر بر کارآبی مصرف آب کنجد در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای شامل ۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرچاذب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرچاذب رطوبت به‌علاوه توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۳- کاربرد توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص ۴- کاربرد توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرچاذب رطوبت و ۵- شاهد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۶۷۲ کیلوگرم در هکتار) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرچاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به‌دست آمد. نقش اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه بسیار محسوس بود، به‌طوری‌که عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کارآبی مصرف آب به‌ترتیب ۲۲، ۳۱، ۳۰ و ۲۱ درصد در تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بیش‌تر از تیمارهای بدون این دو نهاده بود. بر اساس نتایج تحلیل عاملی، متغیرها به دو عامل تجزیه شده و عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. عامل اول شامل متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن و فسفر خاک و کارآبی مصرف آب و عامل دوم به متغیرهای عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و pH خاک تعلق گرفت.

* مسئول مکاتبه: amiri@gonabad.ac.ir

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارایی مصرف آب را بهبود بخشد. هم‌چنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، بیانگر آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارایی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارایی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، سوپر جاذب رطوبت، شاخص سطح برگ، کم‌آبیاری، نهاده بوم‌سازگار

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و میزان بارندگی در بیش از ۷۵ درصد مناطق کشور کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است، در نتیجه، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تولید محصولات کشاورزی در کشور کمبود آب است. در گذشته، تغییر روش آبیاری مزارع به‌عنوان کلیدی‌ترین راه‌حل مشکل کم‌آبی مدنظر بود ولی، امروزه با افزایش جمعیت میزان نیاز مردم به آب بیش‌تر شده و استفاده از روش‌های آبیاری مکانیزه نمی‌تواند تمام مشکل را حل کند (۱۵). در این شرایط به‌نظر می‌رسد استفاده از نهاده‌های بوم‌شناختی مانند سوپر جاذب‌ها و اسیدهای آلی هیومیک و سالیسیلیک که بتواند کارایی مصرف آب محصولات را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد، ضروری باشد.

در کشاورزی پایدار، نوع و نحوه تغذیه گیاه از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار است و نهاده‌هایی بیش‌تر مدنظر هستند که آلودگی زیست‌محیطی نداشته و در عین حال منجر به افزایش تولیدات گیاهی شوند. بر این اساس، استفاده از مقدار کمی اسیدهای آلی مانند اسید هیومیک کمیت و کیفیت محصولات را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. اسید هیومیک نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ایفا می‌کند. این اسید حاوی مقدار زیادی

عناصر غذایی شامل ۵۸-۴۴ درصد کربن، ۴۶-۴۲ درصد اکسیژن، ۸-۶ درصد هیدروژن و ۵-۴ درصد نیتروژن و سایر عناصری است که رشد گیاه را افزایش می‌دهند (۳۴). اسید هیومیک از طریق بهبود رشد اندام‌های قسمت‌های مختلف گیاه به‌ویژه ریشه عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش‌های محیطی می‌شود. در یک پژوهش اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* L.) بررسی و گزارش شد که کاربرد ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک منجر به تولید بیش‌ترین تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و میزان روغن و پروتئین دانه شد (۳۴). در پژوهشی دیگر، اسید هیومیک ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) را به‌ترتیب ۳۴، ۵۱ و ۳۳ درصد نسبت به کود شیمیایی و به‌ترتیب ۲۶، ۷۰ و ۵۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (۱۸). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در جذب عناصر غذایی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را افزایش داد (۳۰).

اسید سالیسیلیک یکی از هورمون‌های گیاهی است که منشأ فنولی داشته و در گیاهان نقش بسیار مهمی در زمینه کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده ایفا می‌کند. این اسید عمدتاً از طریق تأثیر بر جوانه‌زنی بذر،

۲۸° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵° ۳۶' شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت حدود ۱۰۰۰ مترمربع به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل آبیاری (عامل اصلی) در دو سطح شامل ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عامل تغذیه‌ای (عامل فرعی) شامل ۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرچادب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرچادب رطوبت به‌علاوه کاربرد توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۳- کاربرد توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص ۴- کاربرد توأم ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرچادب رطوبت و ۵- شاهد بود. مقادیر هر یک از نهاده‌های مورد استفاده بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی نگارندگان (۱۲، ۱۳ و ۱۴) و بررسی منابع انجام شده (۴، ۵، ۱۰ و ۲۰) انتخاب شد. ابعاد کرت‌های اصلی ۶×۳ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. جهت اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد و حدود نیم متر بین کرت‌های فرعی فاصله مدنظر قرار گرفت.

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 ۱).

استقرار گیاهچه، رشد سلولی، تنفس سلولی، بستن روزنه‌ها، گره‌زایی بقولات و افزایش عملکرد اندام اقتصادی، مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (۳۲). در یک پژوهش اثر اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز گیاه، خصوصیات رشدی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست-شیمیایی مؤثر در تنش‌های زنده و غیرزنده مثبت ارزیابی شد، به‌طوری‌که استفاده از آن منجر به کاهش سمیت فلزات سنگین و ریزمغذی‌ها، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و تحمل گیاه به تنش شوری شد (۳۷). در پژوهشی دیگر، بیش‌ترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده‌ی خشک کل ذرت در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شد (۶). برخی پژوهشگران (۱۹) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و ضرورت استفاده‌ی بهینه از آب و مطالعات اندکی که در زمینه نقش نهاده‌های بوم‌سازگار در افزایش کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری خاص وجود دارد، این پژوهش با هدف تجزیه‌ی عاملی کارایی مصرف آب گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی

جدول ۱ - خصوصیات خاک، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مورد استفاده.
Table 1. Characteristics of used soil, superabsorbent, humic acid and salicylic acid.

خصوصیات اسید سالیسیلیک مورد استفاده Characteristics of used salicylic acid		خصوصیات اسید هیومیک مورد استفاده Characteristics of used humic acid		خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده Characteristics of used polymer super absorbent		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک Physicochemical characteristics of soil	
شماره	فرمول شیمیایی Chemical formula	پوره موس ۸۵ درصد WGS 85%	نام تجاری Trade name	پودر سفید رنگ White powder	ظاهر Appearance	لوم سیلی Silty loam	بافت خاک Soil texture
138	جرم مولی Molar mass	85	اسید هیومیک (درصد) Humic acid (%)	Less than 5	مقدار رطوبت (درصد) Moisture content	0.076	نیترژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
1.4	چگالی Density	12	اکسید پتاسیم (درصد) Potassium oxid (%)	0	بوی و سمیت Odor and toxicity	11.9	فسفر قابل دسترس (ppm) Available phosphorus (ppm)
158	دمای ذوب Melting teperature	1	آهن (درصد) Fe (%)	0.8	چگالی توده‌ای (g.cm ⁻³) Mass density (g.cm ⁻³)	472	پتاسیم قابل دسترس (ppm) Available potassium (ppm)
200	دمای جوش Boiling temperature	0.8	نیترژن آلی (درصد) Organic nitrogen (%)	9.81	پH pH	2.3	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹) Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)
2.4	انحلال‌پذیری در آب Solubility in water	9-10	پH pH			0.58	کربن آلی خاک (درصد) Soil organic carbon (%)
2.1	پH pH					7.26	پH pH

زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. به‌منظور محاسبه تجزیه و تحلیل‌های رشد و خصوصیات رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از مساحت نیم مترمربع در هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی چون سطح‌برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ استفاده شد. به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)^۲ در طول فصل رشد از رابطه ۱ استفاده شد (۱۷):

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

که در آن، GA سطح زمین (مترمربع)، W_1 وزن خشک اولیه گیاه (گرم در مترمربع)، t_1 زمان نمونه‌گیری اول (روز پس از سبز شدن)، W_2 وزن خشک گیاه در نوبت دوم نمونه‌گیری (گرم در مترمربع) و t_2 زمان نمونه‌گیری دوم (روز پس از سبز شدن) است. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به‌طور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک گیاهان مورد بررسی تعیین شد. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد که مقدار هر یک از این صفات در تیمارهای مختلف متفاوت بود و نتایج آن در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) آمده است. به‌منظور تعیین مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه خاک (منهای نیتروژن نیتراتی)، ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور، عمل هضم نمونه انجام

به‌منظور محاسبه نیاز آبی کنجد در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (۳). با اطلاع از طول فصل رشد لویا، کنجد و ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله‌ی آبیاری ۷ روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲۰۰ مترمکعب در هکتار و برای ۵۰ درصد نیاز آبی ۱۰۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل انجام شد. به این صورت که زمین فقط دیسک‌زده شد و پس از آن همه عملیات آماده‌سازی زمین توسط کارگر و با بیل دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین، مقدار سوپرچادب برای هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های موردنظر پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کاملاً با خاک مخلوط شدند. خصوصیات نهاده‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. نیاز کودی کنجد برای نیتروژن از منبع شیمیایی (کود اوره)، به‌طور متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار تعیین شد که نیمی از این مقدار در زمان کاشت و نیم دیگر آن بعد از انجام عملیات تنک‌کردن برای کمک به استقرار و رشد سریع‌تر بوته‌ها به خاک کرت‌های مربوطه اضافه گردید. بذره‌های کنجد (توده اسفراین) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ روی ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع کشت شد. پس از کشت، آبیاری زمین انجام شد و سطوح آبیاری، هر ۷ روز یک‌بار توسط کتور اعمال شد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله ۴ برگی عملیات تنک کردن انجام گرفت. اعمال سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در دو نوبت به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل ۶ تا ۷ برگی و قبل از گلدهی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت.

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی (۲، ۴ و ۶ هفته پس از کاشت) انجام شد. در

1- Leaf Area Meter, Delta T, Co. Ltd, Uk

2- Crop Growth Rate

سالیسیلیک عملکرد دانه را به ترتیب ۱۵، ۲۶ و ۳۲ درصد در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و به ترتیب ۱۴، ۴۳ و ۴۰ درصد در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳).

اضافه شدن نیتروژن به سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب افزایش و کاهش وزن خشک اندام هوایی را در پی داشت (جدول ۳). اگرچه همه تیمارهای تغذیه‌ای منجر به بهبود خصوصیات رشدی و ویژگی‌های مرتبط با خاک شدند (جدول ۲)، ولی بیش‌ترین وزن دانه در بوته (۲۱/۲۹ گرم)، ارتفاع بوته (۱۶۶ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۷/۷۸)، سرعت رشد محصول (۷/۷۴ گرم در مترمربع در روز) و فسفر (۰/۱۶۴ درصد) و پی‌اچ (۱۰/۱۹) خاک در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (جدول ۳). دستیابی به بیش‌ترین میزان نیتروژن خاک زمانی محقق شد که نیتروژن، سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به‌طور هم‌زمان استفاده و تنها نیمی از نیاز آبی گیاه تأمین شد (جدول ۳).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در هر دو شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، همه تیمارهای تغذیه‌ای افزایش کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد در پی داشتند، ولی به‌نظر می‌رسد در تمامی تیمارها انجام آبیاری سبک (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) منجر به افزایش کارایی مصرف آب شد، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرچادب، کاربرد هم‌زمان سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۲۳، ۳۹، ۳۸ و ۴۳ درصد بیش‌تر از کاربرد این نهاده‌ها در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۳).

و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کج‌دال (۷) و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد. به‌منظور تعیین مقدار فسفر قابل‌جذب در خاک، ابتدا از نمونه خاک مطابق روش اولسن و سامرز عصاره تهیه شد و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به روش مورفی و رایلی (۲۲) اندازه‌گیری شد.

کارایی مصرف آب آبیاری (WUE)^۱ (kg Seed.m³ Water⁻¹) در تیمارهای مختلف توسط رابطه ۲ محاسبه شد (۲۵):

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

که در آن، Y_s عملکرد دانه ($kg \cdot ha^{-1}$)، W_I مقدار آب آبیاری ($m^3 \cdot ha^{-1}$) و W_P میزان بارندگی (mm) است. تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل داده‌ها، تجزیه عاملی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، SPSS Ver. 23 و Minitab Ver. 17 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای بر صفات مورد بررسی: همه تیمارهای تغذیه‌ای مورد مطالعه، در بهبود عملکرد دانه نسبت به شاهد مؤثر بودند (جدول ۲)، ولی بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۶۷۲ کیلوگرم در هکتار) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرچادب، کاربرد هم‌زمان سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید

1- Water Use Efficiency

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مرهمات) خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کبجد تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) for soil characteristics and growth criteria and yield of sesame affected by interaction effects of irrigation levels and nutritional treatments.

کارایی مصرف آب	اسیدیته خاک	فسفر خاک	نیترژن خاک	سرعت رشد محصول	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	وزن دانه در بوته	عملکرد ماده خشک	عملکرد دانه	درجه آزادی
WUE	pH	Soil P	Soil N	CGR	LAI	H	SW	BY	SY	df
0.0008**	0.14**	0.000001*	0.001**	0.29*	0.34**	381**	0.86ns	21564ns	6175**	2
0.36**	16.75**	0.000004**	0.001**	8.99**	30.28**	9633**	22.53**	2044674**	381940**	-
0.0001	0.02	0.0000001	0.0000007	0.02	0.04	49	0.19	11367	3.03	2
0.05**	2.01**	0.000009**	0.09**	13.34**	13.00**	11404**	52.89**	460791**	448222**	4
0.002**	1.49**	0.000004**	0.006**	0.50**	3.04**	846**	0.92*	870685**	38844**	4
0.00001	0.04	0.0000001	0.0001	0.04	0.05	39	0.29	8576	76	8
0.00001	0.01	0.0000003	0.00001	0.03	0.03	23	0.24	7859	77	8

*، ** and ^{ns} are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively. SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency. ^{ns} و ^{**} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی دار.

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کبجد تحت تأثیر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای.

Table 3. Mean comparisons of some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of sesame affected by interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments.

کارایی مصرف آب WUE (kg seed.m ³ water)	pH خاک	فسفر خاک Soil P (%)	نیروزن خاک Soil N (%)	سرعت رشد محصول CGR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته H (cm)	وزن دانه در بوته SW (g)	اندام هوایی BY (kg.ha ⁻¹)	وزن خشک	عملکرد دانه SY (kg.ha ⁻¹)
0.48 ^d	7.79 ^f	0.0063 ^{ef}	0.10 ^g	3.98 ^g	3.63 ^{ef}	39 ^g	12.88 ^{fg}	2339 ^{fg}	970 ^h	کاربرد همزمان نیروزن و سوپر جاذب Simultaneous application of N and S
0.56 ^c	9.27 ^c	0.0118 ^c	0.16 ^f	5.02 ^e	3.36 ^f	86 ^d	17.31 ^c	1265 ^h	1126 ^f	کاربرد همزمان سوپر جاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of S, HA and SA
0.60 ^b	8.44 ^e	0.0148 ^{ab}	0.20 ^e	5.77 ^d	5.25 ^d	67 ^e	15.36 ^d	2613 ^{de}	1215 ^e	کاربرد همزمان نیروزن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, HA and SA
0.68 ^a	7.16 ^g	0.0134 ^{bc}	0.40 ^a	6.31 ^c	7.08 ^b	107 ^c	18.54 ^b	2923 ^b	1370 ^d	کاربرد همزمان نیروزن، سوپر جاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, S, HA and SA
0.41 ^e	7.16 ^g	0.0065 ^c	0.06 ^{hi}	3.25 ^h	2.61 ^g	30 ^g	11.93 ^g	2198 ^g	828 ^j	شاهد Control
0.25 ^h	8.85 ^d	0.0085 ^d	0.08 ^{gh}	4.47 ^f	6.56 ^e	52 ^f	13.69 ^{ef}	2752 ^{bed}	1035 ^g	کاربرد همزمان نیروزن و سوپر جاذب and S Simultaneous application of N and S
0.39 ^g	9.57 ^{bc}	0.0151 ^{ab}	0.25 ^d	6.82 ^b	7.39 ^{ab}	145 ^b	18.76 ^b	3113 ^a	1563 ^b	کاربرد همزمان سوپر جاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of S, HA and SA
0.36 ^g	9.84 ^b	0.0047 ^{fg}	0.28 ^c	7.03 ^b	6.22 ^c	105 ^c	16.69 ^c	2738 ^{cd}	1476 ^c	کاربرد همزمان نیروزن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, HA and SA
0.41 ^e	10.19 ^a	0.0164 ^a	0.34 ^b	7.74 ^a	7.78 ^a	166 ^a	21.29 ^a	2866 ^{bc}	1672 ^a	کاربرد همزمان نیروزن، سوپر جاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, S, HA and SA
0.22 ⁱ	8.85 ^d	0.0043 ^g	0.04 ⁱ	3.76 ^g	4.02 ^f	40 ^g	14.25 ^e	2479 ^{ef}	891 ⁱ	شاهد Control
0.01	0.34	0.001	0.02	0.43	0.46	14.05	0.96	169.19	44.39	حدائق تفاوت معنی دار LSD

* در هر ستون، برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. HA, S, N به ترتیب نیروزن، سوپر جاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌باشند. * In each column, for each factor, means followed by the same letters are not significantly different (P≤0.05), at 5% probability level. N, S, HA and SA are Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid, respectively. SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

در تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بیش تر از تیمارهای بدون این دو نهاده بود (جدول ۵). امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب به طور گسترده ای در کشاورزی استفاده می شود و نقش آن ها در کاهش شدت تنش خشکی و میزان مرگ و میر گیاهان و همچنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است (۱ و ۴۰). سوپرجاذب ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (۱)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه زنی و سبز شدن بذر (۹)، کاهش نیاز آبی گیاه (۳۸) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (۲۴) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می شوند. این مواد بی بو، بی رنگ و بدون خاصیت آلاینده گیاهی می باشند، ضمن این که کاملاً سالم و غیرسمی هستند و در نهایت در خاک به دی اکسید کربن، آب، آمونیاک و یون پتاسیم تجزیه می شوند (۲۳). در یک پژوهش پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم آبیاری در ذرت گزارش شد که بیش ترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، ۸ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در طول فصل رشد بود (۱۲). در پژوهشی دیگر، ویژگی های زراعی - بوم شناختی ریحان (*Ocimum basilicum L.*) تحت تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و دوره های آبیاری بررسی و گزارش شد که در مدار آبیاری ۵ روز، سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به ترتیب منجر به افزایش ۱۳، ۵۰ و ۱۷ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به مدار آبیاری ۱۰ روز شدند (۱۳). ضیائی و همکاران (۲۰۱۶) بیش ترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) را در تیمار آبیاری به میزان صد درصد ظرفیت زراعی به همراه کاربرد سوپرجاذب گزارش کردند (۴۱).

مقایسات گروهی تیمارها در شرایط تنش خشکی:
 نتایج تجزیه واریانس مقایسات گروهی تیمارهای آزمایشی در شرایط تنش خشکی در جدول ۴ آورده شده است. بر این اساس، همه صفات مورد مطالعه تحت تأثیر تیمارهای تغذیه ای نسبت به شاهد افزایش یافت و هر یک از صفات عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر و اسیدپتیکه خاک و کارایی مصرف آب در شرایط استفاده از تیمارهای تغذیه ای به ترتیب ۲۹، ۴، ۲۶، ۶۰، ۴۶، ۳۸، ۷۱، ۴۵، ۱۲ و ۲۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت (جدول ۵).

مقایسات گروهی تیمارهای دارای نیتروژن و تیمارهای بدون نیتروژن نشان داد که کاربرد همزمان نیتروژن و سایر تیمارهای تغذیه ای به ترتیب منجر به افزایش ۵، ۵۲، ۳۷، ۶، ۳۰ و ۵ درصدی عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن خاک و کارایی مصرف آب نسبت به زمانی شد که از نیتروژن در تیمارهای تغذیه ای استفاده نگردید (جدول ۵).

علی رغم اثرات مثبت سوپرجاذب رطوبت در بهبود بیش تر صفات مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد، ولی کاربرد همزمان این نهاده با نهاده های نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک دارای اثر منفی بر صفاتی مانند عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان فسفر و اسیدپتیکه خاک و کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار کاربرد همزمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بود (جدول ۵).

نقش اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود بیش تر صفات مورد مطالعه بسیار محسوس بود (جدول ۴)، به طوری که عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن، فسفر و اسیدپتیکه خاک و کارایی مصرف آب به ترتیب ۲۲، ۲۵، ۵۵، ۳۱، ۳۰، ۶۰، ۵۴، ۶ و ۲۱ درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 4. Analysis of variance (mean of squares) for soil characteristics and growth criteria and yield of sesame in group comparisons of nutritional treatments.

شماره مقایسه Comparison number	عنوان مقایسه Comparison title	عملکرد SY	عملکرد BY	وزن دانه SW	ارتفاع H	شاخص LAI	سرعت CGR	نیتروژن Soil N	فسفر Soil P	اسیدیته pH	کارایی WUE
1	مقایسه تیمارهای تغذیه‌ای با تیمار شاهد Comparison of nutritional treatments with control	281672**	18061*	40.27**	4806**	11.82**	9.84**	0.05**	0.00006**	2.42**	0.07**
2	مقایسه تیمارهای دارای نیتروژن با تیمار بدون نیتروژن Comparison of treatments with nitrogen and non nitrogen treatment	7950**	4162280**	6.58**	542**	8.68**	0.24*	0.01**	0.000002 ^{ns}	4.86**	0.001**
3	مقایسه تیمارهای دارای سوپراکسورب با تیمار بدون سوپراکسورب Comparison of treatments with superabsorbent and non superabsorbent treatment	8010**	430117**	1.76**	252*	0.71**	1.00**	0.0007*	0.00004**	0.29**	0.002**
4	مقایسه تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک با تیمار بدون اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Comparison of treatments with humic acid and salicylic acid and non humic acid and salicylic acid treatment	160400**	11628*	39.43**	5055**	5.79**	6.67**	0.05**	0.0001**	0.56**	0.04**

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی دار.
*، ** and ^{ns} are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively. SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

پرولین، گلیسین و بتائین توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده (۸ و ۱۱) و در نهایت منجر به افزایش بیش‌تر صفات مورد بررسی کنجد، ذرت و لوبیا شود. در پژوهشی، اثر کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز بررسی و گزارش شد که بیش‌ترین عملکرد دانه در نتیجه کاربرد غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (۱۰). در پژوهشی دیگر، بیش‌ترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک کل ذرت در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شد (۶). برخی پژوهشگران (۱۹) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه: افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بهبود عملکرد دانه (به‌ترتیب $r=0/84^{**}$ و $r=0/98^{**}$)، وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب $r=0/77^{**}$ و $r=0/50^{**}$)، وزن دانه در بوته ($r=0/71^{**}$ و $r=0/88^{**}$) و ارتفاع بوته ($r=0/78^{**}$ و $r=0/92^{**}$) را سبب شد (جدول ۶). همبستگی مثبت کارایی مصرف آب با نیتروژن ($r=0/53^{**}$) و فسفر ($r=0/52^{**}$) و همبستگی منفی آن با پی‌اچ خاک ($r=-0/59^{**}$) بیانگر آن بود که با کاربرد نهاده‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک و هم‌چنین کاشت گیاه در خاک‌های اسیدی‌تر، می‌توان کارایی مصرف آب در کنجد را بهبود بخشید (جدول ۶).

اسید هیومیک به احتمال زیاد با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و هم‌چنین فعال کردن چرخه تنفس، فتوسنتز و تولید آمینواسید و آدنوزین‌تری فسفات، باعث افزایش رشد گیاهان مورد مطالعه شده است (۳۳). هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک سبب افزایش طول و وزن ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی و هم‌چنین افزایش جریان شیره گیاهی از آوندها شده و یا این‌که اثر خود را از طریق آماده‌سازی مواد معدنی، گسترش جمعیت ریزجانداران مفید، انتقال عناصر غذایی و مواد تنظیم‌کننده رشد اعمال کرده است. در برخی از مطالعات به کاهش اثرات تنش ناشی از عوامل محیطی و طبیعی روی گیاه تحت‌تأثیر مواد هیومیکی اشاره شده است (۳۱). در یک پژوهش، در شرایط استفاده از اسید هیومیک، عملکرد علوفه ذرت ۳۱ درصد بیش‌تر از شاهد بود (۲۹). در پژوهشی دیگر، کاربرد ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک منجر به افزایش طول و قطر ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه فلفل (*Capsicum frutescens*) شد (۳۶). خزائی و بنایان (۲۰۱۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک، زیست‌توده اندام هوایی و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) را به‌میزان قابل‌توجهی نسبت به شاهد افزایش داد (۱۶).

به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به احتمال زیاد از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در کبجد تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای.

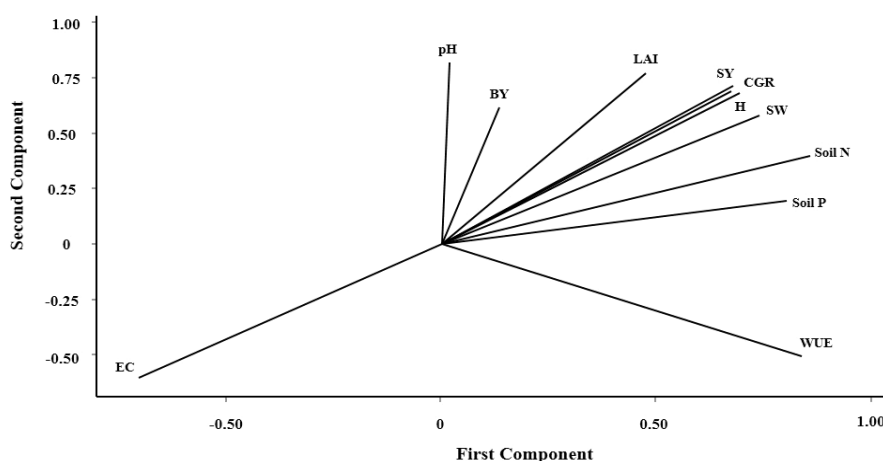
Table 6. Correlation coefficients between studied traits in sesame affected by different irrigation levels and Nutritional treatments.

کارایی مصرف آب WUE (10)	پH خاک pH (9)	فسفر خاک Soil P (8)	نیترژن خاک Soil N (7)	سرعت رشد محصول CGR (6)	شاخص سطح برگ LAI (5)	ارتفاع بوته H (4)	وزن دانه در بوته SW (3)	وزن خشک اندام هوایی BY (2)	عملکرد دانه SY (1)
1									1
	-0.59**								0.53**
		0.22						1	0.90**
			0.62**					0.30	0.96**
				1		1	0.94**	0.42*	0.84**
					1	0.78**	0.72**	0.77**	0.84**
						0.92**	0.88**	0.50**	0.98**
						0.83**	0.84**	0.45*	0.88**
		1				0.69**	0.73**	0.23	0.64**
			0.24			0.62**	0.57**	0.12	0.61**
				0.25		0.18	0.29	0.35	0.21
		0.52**	0.53**		0.008				

* and ** are significant at 5 and 1% probability level, respectively. SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.
* و ** بدترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر خاک و کارایی مصرف آب در عامل اول و متغیرهای وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و پی‌اچ خاک در عامل دوم قرار گرفتند (شکل ۱). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۲) نتایج تجزیه عاملی را تا حد زیادی تأیید کرد.

تجزیه عاملی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب: مقادیر ویژه^۱ و واریانس متناظر^۲ عامل‌ها در تعیین عوامل مؤثر در کارایی مصرف آب در پاسخ به کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در جدول ۷ نشان داده شده است. بر این اساس، متغیرها (۸۲ درصد واریانس تجمعی) به دو عامل تجزیه شدند (جدول ۷). عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد (جدول ۷). متغیرهای عملکرد دانه،



شکل ۱- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در کنجد تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرچاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک). SY: عملکرد دانه، BY: وزن خشک اندام هوایی، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil P: فسفر خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارایی مصرف آب می‌باشند.

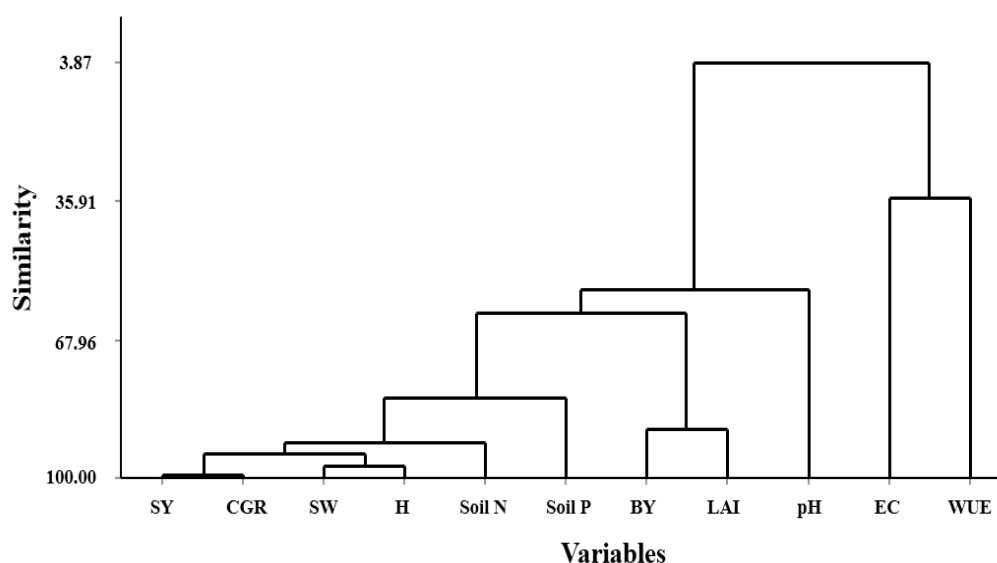
Fig. 1. Loading plot of measured variables on two extracted factor in sesame affected by different irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid). SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

- 1- Eigenvalue
- 2- Corresponding variance

جدول ۷- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در تعیین عامل‌های مؤثر در کارایی مصرف آب کنگد در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیترژن، سوپرچاذب، اسید هومیک و اسید سالیسیلیک).

Table 7. Eigenvalues and corresponding variance of factors in determining of effecting factors in water use efficiency of sesame in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid).

مؤلفه Component	مجموع مربعات بارهای چرخش یافته Rotation Sums of Squared Loadings		مجموع مربعات بارهای اولیه Extraction Sums of Squared Loadings		مقادیر ویژه اولیه Initial Eigenvalues	
	درصد تجمعی Cumulative %	درصد واریانس % of Variance	کل Total	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance
1	59.10	59.10	6.50	68.78	7.56	66.97
2	82.69	23.59	2.59	13.91	1.53	15.37
3						9.83
4						4.01
5						1.51
6						1.13
7						0.50
8						0.32
9						0.06
10						0.04
						100.00
						0.007
						0.005



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای مورد مطالعه در کنجد تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیترژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک). SY: عملکرد دانه، BY: وزن خشک اندام هوایی، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیترژن خاک، Soil P: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارایی مصرف آب می‌باشند.

Fig. 2. Cluster analysis dendrogram of measured variables in sesame affected by irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid). SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

این دسته خواهد شد. با توجه به قرار گرفتن متغیر کارایی مصرف آب در گروه متغیرهایی مانند نیترژن و فسفر خاک، به نظر می‌رسد برای بهبود کارایی مصرف آب این گیاه باید بر متغیرهای مربوط به خاک متمرکز شد (جدول ۸). قرارگیری متغیرهای مهمی مانند عملکرد دانه و وزن دانه در بوته روی عامل اول بیانگر آن است که این عامل می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد و عامل دوم که منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ روی این عامل) است به‌عنوان عامل آرایش فضایی مدنظر قرار گیرد.

برای این‌که عامل‌ها بیش‌ترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کنند، لازم است چرخش داده شوند. جدول ۶، بارهای عاملی و میزان اشتراک مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کارایی مصرف آب در پاسخ به مقادیر مختلف آبیاری و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای را قبل و بعد از چرخش عامل‌ها نشان می‌دهد.

عامل اول ۹۷ درصد از واریانس مربوط به عملکرد دانه را تبیین کرد (جدول ۸). عامل اول شامل متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیترژن و فسفر خاک و کارایی مصرف آب بود (شکل ۱)، بدین معنا که افزایش هر یک از صفات مذکور منجر به افزایش سایر صفات

جدول ۸- بارهای عاملی و میزان اشتراک عامل‌های مؤثر در کارایی مصرف آب کنبجد در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیترژن، سوپرچاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) قبل (قسمت بالا) و بعد (قسمت پایین) از چرخش.

Table 8. Factor loading and communalities of effecting factor in water use efficiency of sesame in response to nutritional treatments nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid) before (top part) and after (down part) rotation.

اشتراک Communality	عامل دوم Second factor	عامل اول First factor	
0.97	0.07	0.98	عملکرد دانه Seed Yield
0.40	0.36	0.51	وزن خشک اندام هوایی Biological Yield
0.88	-0.07	0.93	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
0.93	0.05	0.96	ارتفاع بوته Plant hieght
0.82	0.24	0.87	شاخص سطح برگ LAI
0.95	0.03	0.97	سرعت رشد محصول CGR
0.90	-0.28	0.90	نیترژن خاک Soil nitrogen
0.68	-0.40	0.72	فسفر خاک Soil phosphorous
0.67	0.59	0.57	اسیدیته خاک pH
0.96	-0.94	0.27	کارایی مصرف آب WUE
0.97	0.71	0.68	عملکرد دانه Seed Yield
0.40	0.62	0.13	وزن خشک اندام هوایی Biological Yield
0.88	0.57	0.74	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
0.93	0.69	0.67	ارتفاع بوته Plant hieght
0.82	0.77	0.47	شاخص سطح برگ LAI
0.95	0.68	0.69	سرعت رشد محصول CGR
0.90	0.39	0.86	نیترژن خاک Soil nitrogen
0.68	0.19	0.80	فسفر خاک Soil phosphorous
0.67	0.82	0.02	بی‌اچ خاک pH
0.96	-0.51	0.83	کارایی مصرف آب WUE

اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک کارایی مصرف آب را به ترتیب ۱۵، ۲۷، ۳۲ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. نتایج مقایسات گروهی نشان داد که هم نیتروژن و هم اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در کاربرد هم‌زمان با سایر تیمارهای تغذیه‌ای نقش مؤثرتری در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه نسبت به تیمارهای بدون استفاده از این نهاده‌ها ایفا کرد. بر اساس نتایج تجزیه عاملی و با توجه به متغیرهای متعلق به هر عامل، به‌نظر می‌رسد عامل اول شاخصی از عملکرد محصول و عامل دوم منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ روی این عامل) بود. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارایی مصرف آب را بهبود بخشد. هم‌چنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، بیانگر آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارایی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارایی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای عملکرد دانه و سایر خصوصیات گندم نشان داد که ۵ عامل در مجموع ۶۷/۷ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند و نتایج حاصل از بررسی ضرایب عاملی، نشانگر اهمیت طول پدانکل، طول بیرون آمدگی پدانکل و ارتفاع بوته در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط خشکی بود (۳۵). در پژوهشی دیگر، تجزیه به عامل‌ها و علیت در ژنوتیپ‌های مختلف برنج (*Oryza sativa* L.) انجام گرفت و گزارش شد که ۶ عامل اصلی و مستقل، ۸۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و در عامل عملکرد و اجزای آن صفات مهمی مانند تعداد پنجه بارور، وزن بوته و تعداد دانه بر قرار گرفتند که همبستگی بین این خصوصیات معنی‌دار بود (۲). در پژوهشی روی ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای نیز نتایج تجزیه عاملی نشان داد که صفاتی نظیر برگ بلال، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف، شاخص‌هایی مهم برای گزینش هیبریدهای ذرت با عملکرد بالا بودند (۳۹).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرچادب، کاربرد هم‌زمان سوپرچادب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و

منابع

1. Abedi-Koupai, J., Sohrab, J. and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *J. Plant. Nutr.* 31: 317-331.
2. Alah Gholipour, M. and Mohammad Salehi, M.S. 2003. Factor and path analysis in different rice genotypes. *J. Seed Plant Prod.* 19: 76-87. (In Persian)
3. Alizadeh, A. and Kamali, Gh. 2008. Water requirement of plants in Iran. Emam Reza University Press. 228p. (In Persian)
4. Bagheri, R., Akbari, Gh.R., Kianmehr, M.H. and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2011. The effect of slow releasing nitrogen from pellet fertilizer of nitrogen and manure on grain yield and some physiological characteristics of corn. *Elec. J. Crop Prod.* 4: 1. 97-113. (In Persian)

5. Bahrani, M.J. and Babaei, G.H. 2007. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on grain yield and its components and some quality traits in two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian. J. Crops. Sci. 9: 3. 237-245. (In Persian)
6. Bayat, S., Sepehri Zare, A., Abyaneh, H. and Abdollahi, M.R. 2010. Effect of salicylic acid and paclobutrazol on some growth characteristics and yield of maize in conditions of drought stress. J. Crops. Ecoph. 2: 34-41. (In Persian)
7. Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agron. Series, 9: 595-622.
8. El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant. Grogwh. Reg. 45: 215-225.
9. 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. J. Clea. Prod. 52: 474-480.
10. Farahani, M.A., Paknejad, F., Bakhtiari Moghaddam, M., Alavi, S. and Hasibi, A. 2012. Effect and different methods of salicylic acid application on yield and yield components of *Cuminum cyminum* L. J. Agron. Plant. Breed. 8: 69-77. (In Persian)
11. Horvath, E., Janda, T., Szalai, G. and Paldi, E. 2002. In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant. Sci. 163: 1129-1135.
12. Jahan, M., Amiri, B. and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian. J. Field. Crops. Res. 14: 4. 766-784. (In Persian)
13. Jahan, M., Ghalenoee, Sh., Khamooshi, A. and Amiri, MB. 2015. Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in a low input cropping system. J. Hort. Sci. 29: 2. 240-254. (In Persian)
14. Jahan, M., Kamayestani, N. and Ranjbar, F. 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Agroecol. 5: 3. 272-281. (In Persian)
15. Keykha, H., Ganjali, H.R. and Naroui Rad, M.R. 2014. Effect of water stress and applications of superabsorbent on grain yield, harvest index, biological yield and plant height in sunflower. Int. J. Biosci. 5: 3. 44-49.
16. Khazaee, H.R. and Banayan, M. 2011. Application of use time and amount of humic acid on biomass and oil content of *Hyssopus officinalis*. Iranian. J. Med. Aro. Plants. 5: 25-35. (In Persian)
17. Koocheki, A. and Sarmadnia, Gh. 2006. Crop Physiology. Mashhad Daneshgahi Jihad Press. Pp: 254-255. (In Persian)
18. Maji, D., Misra, P., Singh, S. and Kalra, A. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. Appl. Soil. Ecol. 110: 97-108.
19. Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajueenejad, Gh. and Maghsudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on growth and seed and forage yield of maize in conditions of drought stress in farm. J. Seed. Plant. Prod. 27: 41-55. (In Persian)
20. Mohammadzadeh, A., Majnoon Hosseini, N., Moghaddam, H. and Akbari, M. 2012. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer levels on physiological characteristics of two red kidney bean genotypes. Iranian. J. Crop. Sci. 14: 3. 294-308. (In Persian)

21. Montesano, F.F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. and Serio, F. 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agri. Sci.* 4: 451-458.
22. Morphy, J. and Riley, J.P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: *Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. Pp: 413-427.
23. 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. Sci. Biol.* 2: 53-58.
24. Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G. and Ruokolainen, J. 2011. Dual-responsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. *Soft. Matter.* 7: 4414-4424.
25. Payeroa, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J.L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agric. Water. Manage.* 96: 10. 1387-1397.
26. Reddy, K.S., Maruthi, V. and Umesha, B. 2015. Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of alfisols in semi-arid region. *Indian. J. Dryland. Agric. Res. Develop.* 30: 2. 11-16.
27. 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. Agron. Soil. Sci.* 63: 7. 984-997.
28. 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.
29. Rezazadeh, H., Khrasani, S.K. and Haghghi, R.S.A. 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC704 (*Zea mays* L.). *Australian. J. Agri. Eng.* 3: 34-38.
30. Shaaban, S.H.A. 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface irrigated wheat. *J. Agri. Sci.* 5: 207-210.
31. Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A. and Hassanpanah, D. 2008. In vitro effect of potassium humate on terminal drought tolerant bread wheat. *Proceedings of the 14th meeting of International Humic Substances Society.*
32. Shuqaev, A.G., Butsanets, P.A., Andreev, I.M. and Shugaeva, N.A. 2014. Effect of salicylic acid on the metabolic activity of plant mitochondria. *Russian. J. Plant. Physiol.* 61: 4. 555-564.
33. Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V. and Nardi, S. 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 71: 75-85.
34. Tadayyon, A., Beheshti, S. and Pessarakli, M. 2017. Effects of sprayed humic acid, iron and zinc on quantitative and qualitative characteristics of Niger plant (*Guizotia abyssinica* L.). *J. Plant. Nutr.* 40: 1644-1650.
35. Tousi Mojarrad, M., Ghannadha, M.R., Khodarahmi, M. and Shahabi, S. 2005. Factor analysis for seed yield and some wheat characteristics. *J. Pajhohesh Sazandegi.* 66: 9-16. (In Persian)
36. Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S. and Dursun, A. 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *J. Biol. Sci.* 5: 565-574.
37. Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N. 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. *Environ. Chem. Lett.* 15: 101-123.
38. 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 attapulgit. *J. Chem. Engineering.* 167: 342-348.

39. Zeinali, H., Nasrabadi, A., Hoseinzadeh, H., Chougan, R. and Sabokdast, M. 2005. Factor analysis of hybrid varieties of maize. J. Iran. Agri. Sci. 36: 895-902. (In Persian)
40. 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.
41. Ziaei, A., Moghaddam, M. and Kashefi, B. 2016. The effect of superabsorbent polymers on morphological traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress. J. Sci. Technol. Greenhouse. Culture. Soiless. Culture. Res. Center. 7: 2. 99-111. (In Persian)

