

عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب در کنجد، ذرت و لوبیا در پاسخ به کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط کم آبیاری

محسن جهان^{۱*}، محمد بهزاد امیری^۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۴

۱- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی گناباد

*مسئول مکاتبه: E-mail: Jahan@um.ac.ir

چکیده

به منظور تعیین مؤلفه‌های اصلی در کارآیی مصرف آب کنجد (*Sesamum indicum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolous vulgaris* L.)، و بررسی اثر مقادیر مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های رشدی این سه گونه گیاهی، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دانشگاه فردوسی مشهد به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی به تفکیک برای سه گیاه کنجد، ذرت و لوبیا با سه تکرار انجام شد. سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه) در کرت‌های اصلی و کاربرد (یک میلی‌مولار) و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که در کنجد و ذرت، بیشترین عملکرد دانه در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بدست آمد. متغیرها در کنجد به سه عامل، و در ذرت و لوبیا به دو عامل تجزیه شدند. در کنجد، ذرت و لوبیا عامل اول به ترتیب ۴۴، ۶۲ و ۶۲ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. در کنجد متغیرهای عملکرد ماده‌ی خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، فسفر خاک روی عامل اول و متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول و کارآیی مصرف آب روی عامل دوم و هدایت الکتریکی خاک، نیتروژن خاک و اسیدپته خاک بیشترین بار را روی عامل سوم داشتند. در ذرت، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارآیی مصرف آب روی عامل اول و متغیرهای نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی، اسیدپته و فسفر خاک روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند. در لوبیا، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر و هدایت الکتریکی خاک و کارآیی مصرف آب روی عامل اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و اسیدپته خاک روی عامل دوم قرار گرفتند. به طور کلی، قرار گرفتن کارآیی مصرف آب در کنار متغیرهای شکل دهنده‌ی عملکرد در یک عامل برای هر سه گیاه، حاکی از آن است که هر گونه تغییر در متغیرهای نامبرده، تغییر مستقیم در کارآیی مصرف آب را به دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: اسید آلی، آنالیز رشد، عملکرد ماده خشک، نیاز آبی، هدایت الکتریکی خاک

Effective Factors on Water Use Efficiency in Sesame, Maize and Common Bean in Response to Salicylic Acid under Deficit Irrigation Condition

Mohsen Jahan^{1*}, Mohammad-Behzad Amiri²

Received: June 7, 2017 Accepted: February 13, 2018

1-Assoc. Prof., Dept. of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2-Assist. Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonabad University, Iran.

*Corresponding Author: E-mail: Jahan@um.ac.ir

Abstract

In order to evaluate different irrigation amounts and salicylic acid spraying and determination of principal components in water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.), maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), a split plots experiment based on RCBD design with three replications was conducted in 2014-2015 growing seasons, in Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Irrigation levels (50 and 100% of water requirement) and application and non-application of salicylic acid assigned to main and sub plots, respectively. The result showed that in sesame and maize, the highest seed yield obtained in conditions of salicylic acid application. Variables analyzed to 3 factors in sesame and 2 factors in maize and bean. In sesame, first factor included variables of dry matter yield, plant height, leaf area index and soil phosphorous, variables of seed yield, seed weight per plant, crop growth rate and water use efficiency were in second factor and variables of EC, soil nitrogen and pH had the highest load in third factor. In maize, variables of seed yield, dry matter yield, seed weight per plant, plant height, crop growth rate, leaf area index and water use efficiency were on first factor and variables of soil nitrogen, EC, pH and soil phosphorous had the highest load in second factor. In bean, variables of seed yield, dry matter yield, seed weight per plant, crop growth rate, soil nitrogen and phosphorous, EC and water use efficiency were in first factor and second factor included variables of leaf area index, plant height and soil pH. In general, in all three plants, water use efficiency and effective variables in seed yield were in same factor, therefore it seems that any change in these variables will result in a direct change in water use efficiency.

Keywords: Dry Matter Yield, EC, Growth Analysis, Organic Acid, Water Requirement

مقدمه

که در این مناطق نه تنها مقدار کل نزولات جوی کم است، بلکه توزیع آن در طول فصل رشد نیز غیریکنواخت بوده و بر نیاز آبی محصول منطبق نیست (ایسلام و همکاران ۲۰۱۲). برای روشن شدن اهمیت آبیاری در

اساسی ترین مشکل کشاورزی به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک، کمبود منابع آب است، چرا

اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) بررسی و گزارش شد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق آب آبیاری دارای اثر بهتری نسبت به سایر روش‌های استفاده از این کود بود و تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته در تیمارهای محلول‌پاشی شده با اسید سالیسیلیک بیشتر از شاهد بود (فراهانی و همکاران ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر، اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد (مهربان‌مقدم و همکاران ۲۰۱۱).

نظر به کاهش فزاینده‌ی منابع آب در بخش کشاورزی و جستجو برای راهکارهای افزایش کارایی مصرف آن بویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، این تحقیق با هدف تعیین عامل‌های اصلی در کارایی مصرف آب کنجد، ذرت و لوبیا در پاسخ به کاربرد مقادیر افزایش یافته‌ی اسید سالیسیلیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵° ۳۶' 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 به تفکیک برای ۳ گیاه کنجد، ذرت و لوبیا با سه تکرار اجرا شد. کاربرد (یک میلی‌مولار) و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در کرت‌های اصلی و سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ابعاد کرت‌های اصلی ۶×۳ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. به‌منظور محاسبه‌ی نیاز آبی کنجد، ذرت و

کشت و کار گیاهان، گزارش شده است که تنها یک‌بار آبیاری گندم بلافاصله بعد از کاشت، منجر به افزایش عملکرد به میزان ۱۳۲ درصد نسبت به شرایط دیم گردید و همچنین یک‌بار آبیاری در مرحله‌ی تشکیل تورم غلاف برگ پرچم، افزایش ۲۳ درصدی عملکرد دانه را سبب شد (کالیاندرو و بوآری ۱۹۹۲). نتایج تحقیقات پندی و مارانویل (۲۰۰۰) در خصوص اعمال تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت (*Zea mays* L.) 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.

دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه-خشک، افزایش کارایی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. تنش آب از یک‌سو، خصوصیات کمی و کیفی گیاه را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر به دلیل بالا بودن قیمت آب، خرید آب برای کشاورزان را به یک معضل بزرگ تبدیل کرده است (روزالس و همکاران ۲۰۱۲). از این‌رو، در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است، که در این راستا، آبیاری زمین تنها به میزان مورد نیاز گیاه و بهره‌گیری از نهاده‌های بوم‌سازگاری نظیر اسید سالیسیلیک به‌عنوان دو راهکار اساسی جهت صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه‌ی آب مدنظر قرار گرفته‌اند (ایسلام و همکاران ۲۰۱۲). اسید سالیسیلیک یا اورتو‌هیدروکسی بنزوئیک اسید متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که به‌طور وسیعی در گیاهان وجود دارد و امروزه به‌عنوان ماده‌ی شبه‌هورمونی به‌شمار می‌رود (کانگ و وانگ ۲۰۰۳). این اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، جذب یون‌ها، جلوگیری از بیوسنتز اتیلن، کاهش تنفس و افزایش مقاومت به تنش، نقش ایفا می‌کند (التایب ۲۰۰۵). در پژوهشی، اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد

تراکم‌های ۵۰، ۷ و ۲۰ بوته در مترمربع در کرت‌های مربوطه کشت و بلافاصله آبیاری شد. 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 مرحله-ی ۴ برگ‌ی عملیات تنک کردن انجام گرفت. سطوح آبیاری بعد از عملیات تنک، هر ۷ روز یکبار توسط کنتور اعمال شد. اعمال سطوح مختلف اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مرحله‌ی ۶ تا ۷ برگ‌ی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت. نام آیوپاک (IUPAC Name) اسید سالیسیلیک، ۲-هیدروکسی بنزونیکیک اسید است که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

لوبیا در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (علیزاده و کمالی ۲۰۰۸). با اطلاع از طول فصل رشد کنجد، ذرت و لوبیا، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله‌ی آبیاری ۷ روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری برای کنجد، ذرت و لوبیا در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۲۰۰، ۴۰۰ و ۳۰۰ متر مکعب در هکتار و برای ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰ متر مکعب در هکتار محاسبه شد. جهت آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل، تنها عملیات دیسک‌زنی انجام و کلیه‌ی مراحل بعدی توسط کارگر و با بیل دستی صورت گرفت. بذور کنجد (توده اسفراین)، ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) و لوبیا (درخشان) در تاریخ ۲۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ در ردیف‌های به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و به‌ترتیب با

جدول ۱- خصوصیات اسید سالیسیلیک مورد استفاده.

اسیدیته	انحلال‌پذیری در آب (g.l ⁻¹) (25 °C)	دمای جوش (°C)	دمای ذوب (°C)	چگالی (g.cm ⁻³)	جرم مولی (g.mol ⁻¹)	فرمول شیمیایی
۲/۱	۲/۴	۲۰۰	۱۵۸	۱/۴	۱۳۸	C ₇ H ₆ O ₃

از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یکبار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از ۵ بوته در هر کرت آزمایشی انجام شد 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 ۲۰۰۶):

$$\text{CGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{معادله (۱)}$$

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی به‌ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت انجام شد. مهم‌ترین علف‌های هرز موجود در مزرعه، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.) و خاکشیر تلخ (*Sisymbrium officinale* L.) بودند. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره‌ی رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) و برخی شاخص‌های رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی

اساس تعیین نیتروژن به روش کجلال و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد (هورویتز و لاتیمر ۲۰۰۵). فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. جهت محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری (WUE) (Water Use Efficiency) (kg Seed.m⁻³ Water) از معادله ۲ استفاده شد (کوچکی و همکاران ۲۰۱۶):

$$WUE = \frac{Y_s}{W_I + W_P} \quad \text{معادله (۲)}$$

با اعمال ۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلولپاشی اسید سالیسیلیک محقق شد (جدول ۲). در ذرت، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه (۲۳۸۳۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ماده‌ی خشک (۳۶۰۱۶ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۳۳۰ گرم در بوته)، ارتفاع بوته (۱۹۲ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۷/۹۹)، سرعت رشد محصول (۸/۶۱ گرم در مترمربع در روز)، فسفر خاک (۰/۰۰۵۴ درصد) و کارایی مصرف آب (۰/۵۹ کیلوگرم دانه به ازای مترمکعب آب) شد (جدول ۲). در لوبیا، محلولپاشی اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، نیتروژن و فسفر خاک و کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۲).

تنش خشکی با اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ و ریزش گل و میوه موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (دوپیس و همکاران ۲۰۱۳). در پژوهشی گزارش شد که کاهش مقدار آب مورد نیاز ارزن (*Panicum miliaceum* L.) در طول دروه‌ی رشد، منجر به کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گردید (آبراهام و همکاران ۲۰۰۸). نتایج

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 به‌روش AOAC Official Method 968.06 (4.2.04)

که در این معادله، Ys عملکرد دانه (kg.ha⁻¹), WI مقدار آب آبیاری (m³.ha⁻¹) و WP میزان بارندگی (mm) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها (ANOVA) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای Ver. 9.4 SAS, SPSS Ver. 23 و Minitab Ver. 17 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل سطوح آبیاری و اسید سالیسیلیک بر

صفات مورد بررسی

اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و محلولپاشی اسید سالیسیلیک بر اکثر صفات مورد مطالعه در هر سه گیاه معنی‌دار بود. در کنجد، بیشترین عملکرد دانه (۱۶۸۶ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۲۴ گرم در بوته)، نیتروژن (۰/۱۴ درصد) و فسفر خاک (۰/۰۰۶۲ درصد) و کارایی مصرف آب (۰/۸۴ کیلوگرم دانه به ازای مترمکعب آب) با اعمال ۵۰ درصد نیاز آبی و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و بیشترین عملکرد ماده‌ی خشک (۲۳۸۲ کیلوگرم در هکتار)، ارتفاع بوته (۸۵ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۷/۰۲) و سرعت رشد محصول (۶/۸۹ گرم در مترمربع در روز)

طور معنی‌داری با شاخص سطح برگ ($r=0/89^{**}$)، سرعت رشد محصول ($r=0/81^{**}$) و میزان فسفر خاک ($r=0/78^{**}$) همبستگی داشت، به طوری که افزایش صفات فوق‌الذکر منجر به بهبود ارتفاع بوته گردید (جدول ۳). شاخص سطح برگ کنگد تحت تأثیر همبستگی مثبت و معنی‌دار صفات سرعت رشد محصول ($r=0/78^{**}$) و فسفر خاک ($r=0/62^*$) قرار گرفت، ضمن اینکه افزایش میزان فسفر خاک منجر به بهبود کارایی مصرف آب کنگد شد (جدول ۳).

عملکرد دانه و ماده‌ی خشک در ذرت از همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول برخوردار بودند (جدول ۳). افزایش فسفر خاک منجر به بهبود شاخص سطح برگ ($r=0/60^*$) و سرعت رشد محصول ($r=0/73^{**}$) ذرت شد (جدول ۳). با توجه به نتایج جدول ۳، از جمله صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه لوبیا می‌توان به عملکرد ماده‌ی خشک ($r=0/91^{**}$)، وزن دانه در بوته ($r=0/87^{**}$)، سرعت رشد محصول ($r=0/84^{**}$) و میزان نیتروژن خاک ($r=0/88^{**}$) اشاره کرد، به عبارت دیگر، بهبود صفات مذکور می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه شود. افزایش میزان نیتروژن خاک در لوبیا، بهبود عملکرد ماده‌ی خشک ($r=0/79^{**}$)، ارتفاع بوته ($r=0/72^{**}$) و سرعت رشد محصول ($r=0/64^{**}$) را سبب شد (جدول ۵).

تجزیه‌ی عاملی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب

مقادیر ویژه (Eigenvalue) و واریانس متناظر (Corresponding variance) عامل‌های اصلی در کارایی مصرف آب کنگد، ذرت و لوبیا در پاسخ به کاربرد مقادیر افزایش‌یافته‌ی اسید سالیسیلیک در به ترتیب در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. بر این اساس، متغیرها در گیاه کنگد به سه عامل، و در ذرت و لوبیا به دو عامل تجزیه شدند. در کنگد، ذرت و لوبیا

تحقیقات پندی و مارانویل (۲۰۰۰) 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.

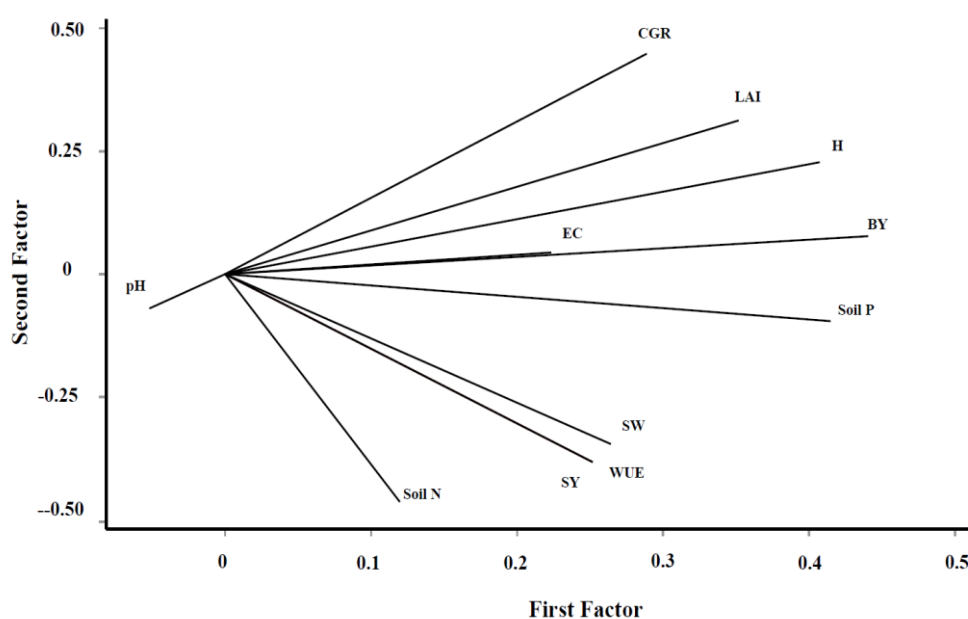
به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک احتمالاً از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین، گلیسین و بتائین توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده (التایب ۲۰۰۵ و هورویتز و لاتیمر ۲۰۰۵) و در نهایت منجر به افزایش اکثر صفات مورد بررسی کنگد، ذرت و لوبیا شود. در پژوهشی، اثر کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز بررسی و گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه در نتیجه‌ی کاربرد غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بدست آمد (فراهانی و همکاران ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر، بیشترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده‌ی خشک کل ذرت در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شد (بیات و همکاران ۲۰۱۰). برخی محققین (مهراییان‌مقدم و همکاران ۲۰۱۱) 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

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، همبستگی عملکرد ماده‌ی خشک کنگد با وزن دانه در بوته ($r=0/58^{**}$)، ارتفاع بوته ($r=0/94^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r=0/84^{**}$)، سرعت رشد محصول ($r=0/71^{**}$) و میزان فسفر خاک ($r=0/84^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود و وزن دانه در بوته با میزان نیتروژن ($r=0/87^{**}$) و فسفر خاک ($r=0/55^*$) همبستگی مثبت داشت، به طوری که افزایش نیتروژن و فسفر خاک منجر به بهبود وزن دانه در بوته شد. ارتفاع بوته در کنگد به-

ماده‌ی خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، فسفر خاک روی عامل اول و متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول و کارایی مصرف آب روی عامل دوم و هدایت الکتریکی خاک، نیتروژن خاک و اسیدیته خاک بیشترین بار (Load) یا وزن را روی عامل سوم داشتند.

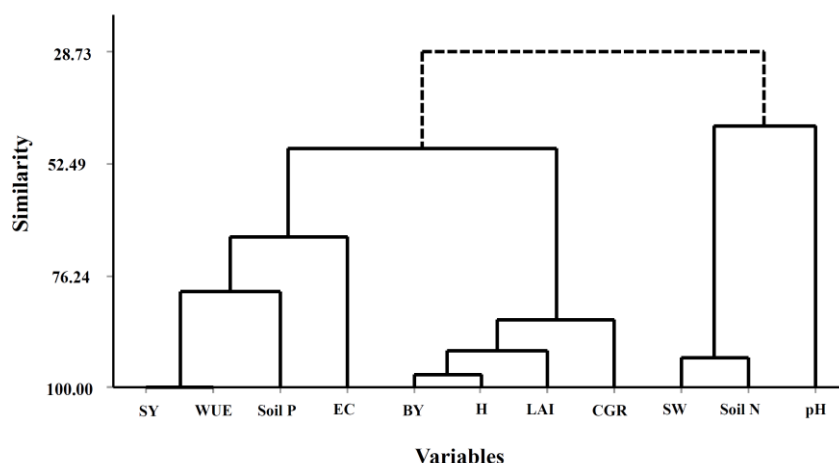
عامل اول به ترتیب ۴۴، ۶۲ و ۶۲ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کردند. با در نظر گرفتن واریانس تجمعی عامل دوم و سوم برای کنگد، و دوم برای ذرت و لوبیا این مقادیر به ترتیب ۸۳، ۷۸ و ۸۳ درصد از واریانس کل را شامل شدند (جدول ۷). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در کنگد متغیرهای عملکرد



شکل ۱- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در کنگد تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

روی عامل اول و متغیرهای نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی خاک، اسیدیته خاک و فسفر خاک روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند (شکل ۳). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۴) نتایج تجزیه به عامل‌ها را تأیید کرد.

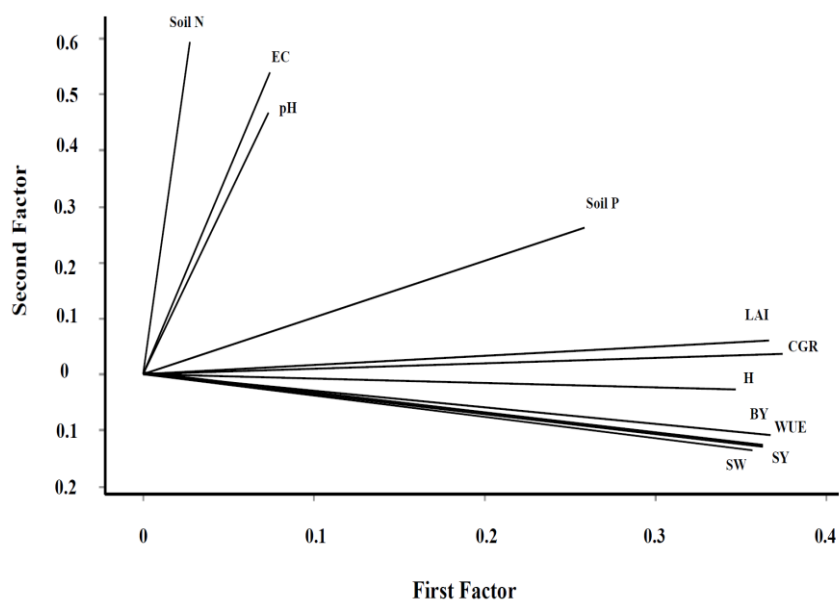
رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (Cluster Analysis) (شکل ۲) نتایج تجزیه به عامل‌ها را تأیید کرد. در ذرت، متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف آب



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای مورد مطالعه در کنگد تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

اول و متغیرهای شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و اسیدیته خاک روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند (شکل ۵). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۶) نتایج تجزیه به عامل‌ها را تأیید کرد.

در لوبیا، تجزیه به عامل‌ها منجر به این شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر و هدایت الکتریکی خاک و کارآیی مصرف آب روی عامل



شکل ۳- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در ذرت تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنگد، لوبیا و ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک

	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)	نیترژن خاک (%)	فسفر خاک (%)	هدایت الکتریکی خاک (ds.m ⁻¹)	اسیدیته خاک	کارایی مصرف آب (kg seed.m ⁻³ water)
کنجد											
۵۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۱۶۸۶ ^a	۲۰۸۳ ^b	۲۴/۰ ^a	۶۵/۰ ^b	۴/۲ ^b	۳/۶ ^c	۰/۱۴ ^a	۰/۰۰۶۲ ^a	۰/۸۹ ^a	۷/۴۸ ^a	۰/۸۴ ^a
۵۰ درصد نیاز آبی ×عدم اسید سالیسیلیک	۱۰۸۱ ^c	۱۲۴۰ ^d	۱۹/۶۹ ^b	۴۴/۰۹ ^d	۲/۷ ^c	۲/۳ ^d	۰/۱۲ ^b	۰/۰۰۴۰ ^b	۰/۷۵ ^a	۷/۴۴ ^a	۰/۵۴ ^c
۱۰۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۱۲۳۶ ^c	۲۳۸۲ ^a	۲۱/۶۵ ^b	۸۵/۱۹ ^a	۷/۰ ^a	۶/۸ ^a	۰/۱۱ ^c	۰/۰۰۵۹ ^a	۰/۸۹ ^a	۷/۴۲ ^a	۰/۶۱ ^c
۱۰۰ درصد نیاز آبی × عدم اسید سالیسیلیک	۱۴۰۵ ^b	۱۵۵۰ ^c	۱۵/۴۵ ^c	۵۴/۴۷ ^c	۳/۹ ^c	۴/۹ ^b	۰/۰۸ ^d	۰/۰۰۴۸ ^b	۰/۹۳ ^a	۷/۵۰ ^a	۰/۷۰ ^b
ذرت											
۵۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۱۹۸۵۵ ^b	۳۳۸۷۳ ^a	۲۹۸ ^b	۱۷۵ ^b	۶/۱ ^b	۶/۲ ^b	۰/۱۰۳۸ ^a	۰/۰۰۴۲ ^b	۰/۹۹ ^a	۷/۴۷ ^a	۰/۴۹ ^b
۵۰ درصد نیاز آبی ×عدم اسید سالیسیلیک	۴۸۳۳ ^c	۱۷۷۵۷ ^c	۷۴ ^d	۱۳۴ ^c	۴/۳ ^d	۲/۳ ^d	۰/۱۰۰۵ ^a	۰/۰۰۴۱ ^b	۱/۰۱ ^a	۷/۴۶ ^a	۰/۱۳ ^c
۱۰۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۲۳۸۳۳ ^a	۳۶۰۱۶ ^a	۳۳۰ ^a	۱۹۲ ^a	۷/۹ ^a	۸/۶ ^a	۰/۱۰۸۵ ^a	۰/۰۰۵۴ ^a	۱/۰۷ ^a	۷/۵۱ ^a	۰/۵۹ ^a
۱۰۰ درصد نیاز آبی × عدم اسید سالیسیلیک	۱۷۴۴۵ ^b	۲۷۶۶۷ ^b	۲۶۳ ^c	۱۳۹ ^c	۵/۱ ^c	۴/۱ ^c	۰/۱۰۹۹ ^a	۰/۰۰۴۴ ^b	۰/۹۳ ^a	۷/۴۸ ^a	۰/۴۳ ^b
لوبیا											
۵۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۲۸۳۸ ^a	۴۶۴۳ ^a	۹/۹ ^a	۱۰۶ ^b	۳/۹ ^c	۸/۸ ^a	۰/۲۵ ^a	۰/۰۰۷۶ ^a	۲/۱۹ ^a	۵/۹۷ ^b	۰/۹۴ ^a
۵۰ درصد نیاز آبی × عدم اسید سالیسیلیک	۱۰۶۹ ^c	۲۶۲۳ ^b	۵/۳ ^c	۸۵ ^c	۴/۹ ^b	۵/۰ ^c	۰/۱۷ ^b	۰/۰۰۷۰ ^a	۱/۶۶ ^b	۷/۳۶ ^a	۰/۳۵ ^c
۱۰۰ درصد نیاز آبی × اسید سالیسیلیک	۱۳۳۷ ^b	۲۷۷۸ ^b	۸/۳ ^b	۱۴۲ ^a	۶/۸ ^a	۴/۹ ^c	۰/۱۳ ^c	۰/۰۰۶۹ ^a	۱/۲۳ ^c	۵/۹۷ ^b	۰/۴۴ ^b
۱۰۰ درصد نیاز آبی × عدم اسید سالیسیلیک	۹۷۵ ^c	۲۷۴۶ ^b	۴/۸ ^c	۱۱۸ ^b	۵/۵ ^b	۶/۳ ^b	۰/۰۸ ^d	۰/۰۰۷۱ ^a	۰/۸۸ ^d	۷/۴۸ ^a	۰/۳۳ ^c

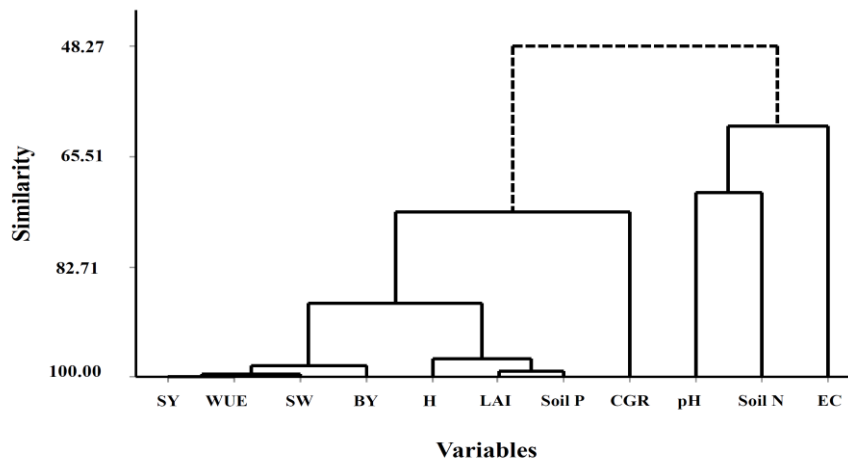
* در هر ستون و برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در کنجد، نرت و لوبیا تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول پاشی اسید

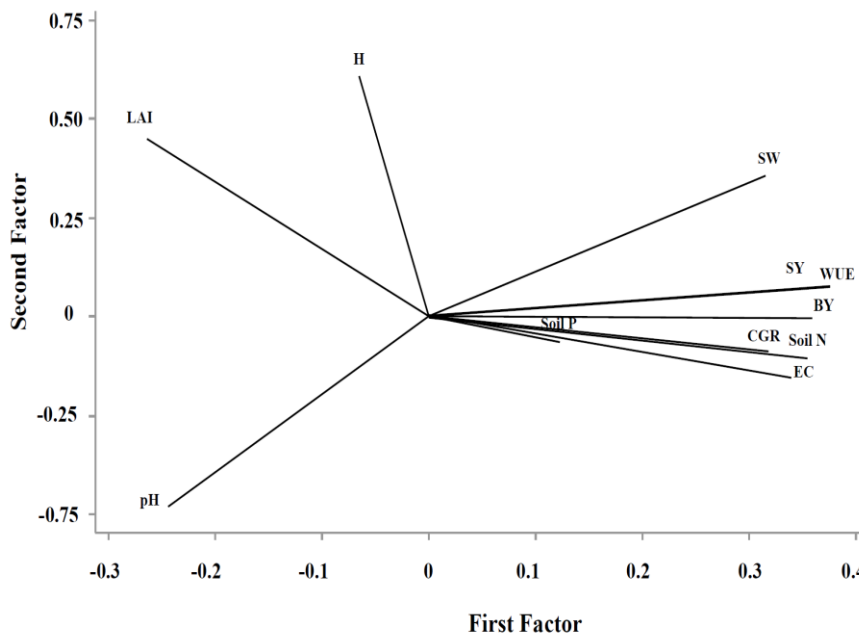
سالیسیلیک

	عملکرد دانه (۱)	عملکرد ماده خشک (۲)	وزن دانه در بوته (۳)	ارتفاع بوته (۴)	شاخص سطح برگ (۵)	سرعت رشد محصول (۶)	نیترژن خاک (۷)	فسفر خاک (۸)	هدایت الکتریکی خاک (۹)	اسیدیته خاک (۱۰)	کارآیی مصرف آب (۱۱)
نرت	۱	۱									
	۲	-۰/۴۰	۱								
	۳	-۰/۳۵	-۰/۵۸*	۱							
	۴	-۰/۱۷	-۰/۹۴**	-۰/۴۲	۱						
	۵	-۰/۰۵	-۰/۸۴**	-۰/۲۴	-۰/۸۹**	۱					
	۶	-۰/۰۱	-۰/۷۱**	-۰/۰۶	-۰/۸۱**	-۰/۷۸**	۱				
	۷	-۰/۲۶	-۰/۲۴	-۰/۸۷**	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۴۲	۱			
	۸	-۰/۵۹	-۰/۸۴**	-۰/۵۵*	-۰/۷۸**	-۰/۶۲*	-۰/۴۶	-۰/۳۶	۱		
	۹	-۰/۴۳	-۰/۴۰	-۰/۱۰	-۰/۳۵	-۰/۲۱	-۰/۴۰	-۰/۲۷	-۰/۳۵	۱	
	۱۰	-۰/۰۶	-۰/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۱۵	-۰/۲۸	-۰/۰۱	-۰/۱۰	-۰/۰۸	-۰/۱۶	۱
	۱۱	۱**	-۰/۴۰	-۰/۳۵	-۰/۱۷	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۲۶	-۰/۵۹*	-۰/۴۳	-۰/۰۶
لوبیا	۱	۱									
	۲	-۰/۹۶**	۱								
	۳	-۰/۹۹**	-۰/۹۶**	۱							
	۴	-۰/۷۸**	-۰/۸۷**	-۰/۷۶**	۱						
	۵	-۰/۸۵**	-۰/۸۹**	-۰/۸۳**	-۰/۹۴**	۱					
	۶	-۰/۸۹**	-۰/۹۳**	-۰/۸۷**	-۰/۹۵**	-۰/۹۸**	۱				
	۷	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۰۳	-۰/۱۰	-۰/۰۶	۱			
	۸	-۰/۵۳	-۰/۵۰	-۰/۴۸	-۰/۶۰*	-۰/۷۳**	-۰/۶۷*	-۰/۲۰	۱		
	۹	-۰/۰۲	-۰/۱۰	-۰/۰۰۳	-۰/۱۷	-۰/۲۵	-۰/۲۵	-۰/۳۵	-۰/۳۸	۱	
	۱۰	-۰/۱۵	-۰/۰۷	-۰/۱۳	-۰/۰۹	-۰/۱۶	-۰/۲۰	-۰/۴۲	-۰/۱۶	-۰/۲۱	۱
	۱۱	۱**	-۰/۹۶**	-۰/۹۹**	-۰/۷۸**	-۰/۸۵**	-۰/۸۹**	-۰/۰۳	-۰/۵۳	-۰/۰۲	-۰/۱۵
کنجد	۱	۱									
	۲	-۰/۹۱**	۱								
	۳	-۰/۸۷**	-۰/۷۳**	۱							
	۴	-۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۳۱	۱						
	۵	-۰/۶۱	-۰/۶۹	-۰/۱۸	-۰/۶۹**	۱					
	۶	-۰/۸۴**	-۰/۸۶**	-۰/۵۵	-۰/۱۷	-۰/۷۱	۱				
	۷	-۰/۸۸**	-۰/۷۹**	-۰/۷۳**	-۰/۳۸	-۰/۷۱	-۰/۶۴**	۱			
	۸	-۰/۲۴	-۰/۴۱	-۰/۱۳	-۰/۰۲	-۰/۲۸	-۰/۳۰	-۰/۲۱	۱		
	۹	-۰/۸۱**	-۰/۷۶**	-۰/۶۴**	-۰/۴۷	-۰/۷۴	-۰/۵۸*	-۰/۹۷**	-۰/۲۳	۱	
	۱۰	-۰/۷۰	-۰/۵۵	-۰/۹۵**	-۰/۴۹	-۰/۰۹	-۰/۳۴	-۰/۵۴	-۰/۰۶	-۰/۴۷	۱
	۱۱	۱**	-۰/۹۱**	-۰/۷۰*	-۰/۰۵	-۰/۶۱	-۰/۸۴**	-۰/۸۸**	-۰/۲۴	-۰/۸۱**	-۰/۷۰*

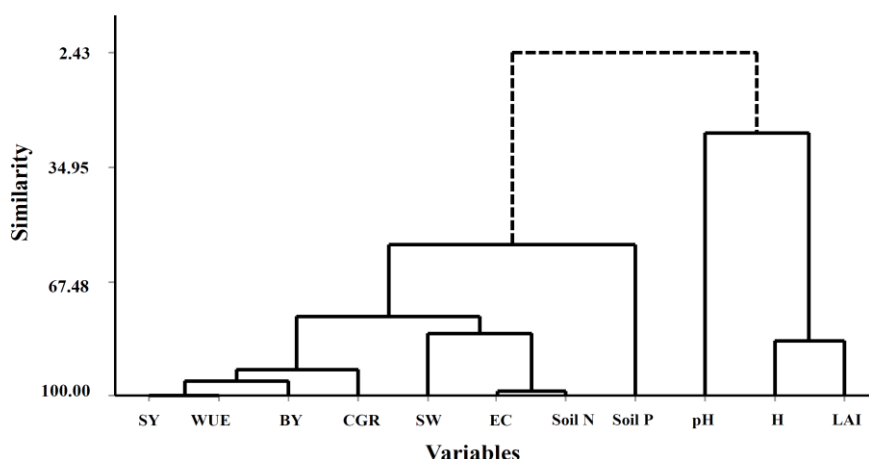
* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.



شکل ۴- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای مورد مطالعه در ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک



شکل ۵- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در لوبیا تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک



شکل ۶- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای مورد مطالعه در لوبیا تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک

عملکرد دانه خواهد شد. با توجه به اصول و مبانی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، می‌توان عامل اول که منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ روی این عامل) را عامل آرایش فضایی، عامل دوم را که نشان‌دهنده خصوصیات مربوط به کارایی مصرف آب (بار زیاد متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول و کارایی مصرف آب روی این عامل) را عامل کارایی مصرف آب و در نهایت عامل سوم که منعکس‌کننده برخی خصوصیات خاک (بار زیاد اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی خاک و نیتروژن خاک روی این عامل)، را عامل خاکی نامید.

همبستگی عملکرد دانه با عامل اول در ذرت و لوبیا به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۳۷ بود (جدول ۵، ۶ و ۷). متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف آب در ذرت روی عامل اول بیشترین بار را داشتند (جدول ۷)، بنابراین، این عامل می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد. اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی خاک، نیتروژن خاک و فسفر خاک، بیشترین وزن را روی عامل دوم داشتند،

برای اینکه عامل‌ها بیشترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کنند، لازم است چرخش داده شوند. جدول ۷، بارهای عاملی و میزان اشتراک مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کارایی مصرف آب لوبیا، کنجد و ذرت در پاسخ به مقادیر مختلف آبیاری و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای را قبل و بعد از چرخش عامل‌ها نشان می‌دهد. مقایسه واریانس عامل‌های اصلی (ویژه مقدارها) با واریانس متغیرهای اولیه، اهمیت نسبی عامل‌های اصلی را نشان می‌دهد. بعد از استاندارد کردن متغیرهای اولیه، کلیه آن‌ها دارای واریانس یک هستند. بنابراین، واریانس اولین عامل اصلی در کنجد، ۴/۹۱ برابر متغیرهای اولیه است.

تجزیه به عامل‌ها در داده‌های مربوط به کنجد حاکی از آن است که ۴۴ درصد از کل واریانس تبیین شده توسط عامل‌ها، مربوط به عامل اول است (جدول ۴). از آنجایی که متغیرهای عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، و فسفر خاک، نیز روی همین عامل بیشترین بار را داشتند (شکل ۱ و جدول ۷)، همچنین، توجه به این نکته که متغیرهای قرار گرفته در هر عامل از همبستگی بالایی با یکدیگر برخوردار هستند (مقدم و همکاران ۲۰۰۹) به نظر می‌رسد که مدیریت زراعی در جهت بهبود صفات مذکور، منجر به افزایش

بنابراین، به نظر می‌رسد که این عامل توصیف‌کننده شرایط خاک است.

در لوبیا متغیرهای ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن دانه در بوته، هر سه بیشترین وزن‌ها را با علامت مثبت روی عامل دوم داشتند، در همین عامل، اسیدیته خاک از وزن بالا و منفی (۰/۴۸۴-) برخوردار بود (جدول ۷). همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، متغیرهای درون هر عامل از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند، بنابراین، به نظر می‌رسد که هر گونه تغییر در اسیدیته خاک، سبب تغییر در شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و در نهایت وزن دانه در بوته لوبیا، در جهت عکس خواهد شد. در عامل اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک و نیتروژن خاک بیشترین وزن‌ها را داشتند (جدول ۷)، بنابراین، به نظر می‌رسد که این عامل می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد. در مقابل، عامل دوم با توجه به متغیرهایی که روی آن بار بیشتری نسبت به عامل اول دارند (شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته)، می‌تواند منعکس‌کننده ویژگی‌هایی از آرشیتکت یا آرایش فضایی بوته‌های لوبیا باشد.

مقایسه ویژه‌بردارهای مربوط به عامل‌های اول کنگد، ذرت و لوبیا آشکار ساخت که ضرایب متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن دانه در بوته و کارایی مصرف آب مثبت و از مقدار قابل توجهی برخوردار بودند. بنابراین، هرگونه مدیریتی در جهت بهبود عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن دانه در بوته، بهبود در کارایی مصرف آب را به دنبال خواهد داشت.

در پژوهشی، صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در تعدادی از ژنوتیپ‌های خلر (*Lathyrus sativus*) به عامل‌های اصلی تجزیه و گزارش شد که عامل‌های اول و دوم ۶۹/۱ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه

نمودند (دانش و همکاران ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر، عملکرد گندم با استفاده از ویژگی‌های خاک به کمک تجزیه به عامل‌های 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 ۲۰۰۹). نتایج تجزیه به عامل‌های اصلی در شناسایی ارقام کلزا (*Brassica napus L.*) برای تحمل به خشکی نشان داد که متغیرهای مورد بررسی به دو عامل توان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تجزیه شده و ارقام لیکورد (LiKord) و اوکاپی (Okapi) به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی شناسایی شدند (مجیدی ۲۰۱۲). تجزیه به عامل‌های 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 (طوسی مجردی و همکاران ۲۰۰۵). در پژوهشی دیگر، تجزیه به عامل‌ها و علیت در ژنوتیپ‌های مختلف برنج (*Oriza 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 نظیر تعداد پنجه بارور، وزن بوته و تعداد دانه پر قرار گرفتند که همبستگی بین این خصوصیات معنی‌دار بود (اله‌قلی‌پور و محمدصالحی ۲۰۰۳). در پژوهشی نتیجه تجزیه عاملی روی ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای 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 (زینالی و همکاران ۲۰۰۵).

جدول ۴- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در کارآیی مصرف آب کنگد در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری و

کاربرد مقادیر افزایش یافته‌ی اسید سالیسیلیک

عامل	مقادیر ویژه اولیه			مجموع مربعات بارهای اولیه			مجموع مربعات بارهای چرخش یافته		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۴/۹۱	۴۴/۶۳	۴۴/۶۳	۴/۹۱	۴۴/۶۳	۴۴/۶۳	۴/۱۹	۳۸/۱۰	۳۸/۱۰
۲	۲/۵۳	۲۳/۰۷	۶۷/۷۱	۲/۵۳	۲۳/۰۷	۶۷/۷۱	۲/۵۷	۲۳/۴۱	۶۱/۵۲
۳	۱/۷۷	۱۶/۱۵	۸۳/۸۶	۱/۷۷	۱۶/۱۵	۸۳/۸۶	۲/۴۵	۲۲/۳۴	۸۳/۸۶
۴	۰/۹۵	۸/۶۵	۹۲/۵۲						
۵	۰/۵۱	۴/۷۱	۹۷/۲۳						
۶	۰/۱۶	۱/۴۵	۹۸/۶۹						
۷	۰/۱۰	۰/۹۴	۹۹/۶۳						
۸	۰/۰۳	۰/۲۷	۹۹/۹۰						
۹	۰/۰۰۸	۰/۰۷۱	۹۹/۹۷						
۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۱۰۰/۰۰						
۱۱	-۴/۷۵	-۴/۳۲	۱۰۰/۰۰						

جدول ۵- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری و

کاربرد مقادیر افزایش یافته‌ی اسید سالیسیلیک

عامل	مقادیر ویژه اولیه			مجموع مربعات بارهای اولیه			مجموع مربعات بارهای چرخش یافته		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۶/۹۰	۶۲/۷۸	۶۲/۷۸	۶/۹۰	۶۲/۷۸	۶۲/۷۸	۶/۷۷	۶۱/۵۸	۶۱/۵۸
۲	۱/۷۶	۱۶/۰۷	۷۸/۸۵	۱/۷۶	۱۶/۰۷	۷۸/۸۵	۱/۹۰	۱۷/۲۷	۷۸/۸۵
۳	۰/۹۵	۸/۶۹	۸۷/۵۵						
۴	۰/۵۴	۴/۹۳	۹۲/۴۸						
۵	۰/۴۶	۴/۲۳	۹۶/۷۲						
۶	۰/۳۲	۲/۹۱	۹۹/۶۳						
۷	۰/۰۲	۰/۲۵	۹۹/۸۸						
۸	۰/۰۰۸	۰/۰۷	۹۹/۹۶						
۹	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۹۹/۹۹						
۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۱۰۰/۰۰						
۱۱	-۳/۰۱	-۲/۷۴	۱۰۰/۰۰						

جدول ۶- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در در کارایی مصرف آب لوبیا در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری و کاربرد مقادیر افزایش‌یافته‌ی اسید سالیسیلیک

عامل	مقادیر ویژه اولیه			مجموع مربعات بارهای اولیه			مجموع مربعات بارهای چرخش‌یافته		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۶/۸۸	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶	۶/۸۸	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶	۶/۲۲	۵۶/۶۰	۵۶/۶۰
۲	۲/۲۹	۲۰/۸۲	۸۳/۳۹	۲/۲۹	۲۰/۸۲	۸۳/۳۹	۲/۵۷	۲۳/۴۲	۸۰/۰۳
۳	۱/۰۲	۹/۴۰	۹۲/۷۹	۱/۰۲	۹/۴۰	۹۲/۷۹	۱/۴۰	۱۲/۷۶	۹۲/۷۹
۴	۰/۵۹	۵/۳۹	۹۸/۱۸						
۵	۰/۰۹	۰/۹۰	۹۹/۰۸						
۶	۰/۰۶	۰/۶۱	۹۹/۷۰						
۷	۰/۰۱	۰/۱۵	۹۹/۸۵						
۸	۰/۰۱	۰/۰۹	۹۹/۹۴						
۹	۰/۰۰۵	۰/۰۴	۹۹/۹۸						
۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۱۰۰/۰۰						
۱۱	-۹/۰۷	-۸/۲۵	۱۰۰/۰۰						

جدول ۷- بارهای عاملی و میزان اشتراک عامل‌های مؤثر در کارایی مصرف آب کنجد، ذرت و لوبیا در پاسخ به کاربرد اسید سالیسیلیک قبل (قسمت بالا) و بعد (قسمت پایین) از چرخش

اشتراک	لوبیا		ذرت		کنجد		فاکتور اول	فاکتور دوم	اشتراک
	فاکتور دوم	فاکتور اول	اشتراک	فاکتور دوم	فاکتور اول	اشتراک			
۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۹۴	-۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۶۸	-۰/۶۰	۰/۵۵	عملکرد دانه
۰/۸۹	-۰/۰۰۸	۰/۹۴	۰/۹۵	-۰/۱۴	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۹۷	عملکرد ماده خشک
۰/۹۷	۰/۵۴	۰/۸۲	۰/۹۱	-۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۶۴	-۰/۵۵	۰/۵۸	وزن دانه در بوته
۰/۸۸	۰/۹۲	-۰/۱۷	۰/۸۳	-۰/۰۳	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۳۶	۰/۹۰	ارتفاع بوته
۰/۹۵	۰/۶۸	-۰/۶۹	۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۴۹	۰/۷۷	شاخص سطح برگ
۰/۷۱	-۰/۱۳	۰/۸۳	۰/۹۳	۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۶۳	سرعت رشد محصول
۰/۸۸	-۰/۱۵	۰/۹۳	۰/۶۳	۰/۷۹	۰/۰۷	۰/۶۱	-۰/۷۳	۰/۲۶	نیترژن خاک
۰/۱۱	-۰/۰۹	۰/۳۲	۰/۵۸	۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۸۶	-۰/۱۵	۰/۹۱	فسفر خاک
۰/۸۴	-۰/۲۴	۰/۸۸	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۴۹	هدایت الکتریکی خاک
۰/۹۴	-۰/۷۳	-۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۶۲	۰/۱۹	۰/۰۲	-۰/۱۰	-۰/۱۱	اسیدیته خاک
۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۹۴	-۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۶۸	-۰/۶۰	۰/۵۵	کارایی مصرف آب
۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۹۳	۰/۹۴	-۰/۰۱	۰/۹۷	۰/۶۸	-۰/۸۱	۰/۱۰	عملکرد دانه
۰/۸۹	۰/۱۸	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۰۰۹	۰/۹۷	۰/۹۶	-۰/۴۵	۰/۸۷	عملکرد ماده خشک
۰/۹۷	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۹۱	-۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۶۴	-۰/۷۸	۰/۱۶	وزن دانه در بوته
۰/۸۸	۰/۸۶	-۰/۳۶	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۹۰	۰/۹۴	-۰/۲۱	۰/۹۴	ارتفاع بوته
۰/۹۵	۰/۵۲	-۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۲۳	۰/۹۳	۰/۸۵	-۰/۰۳	۰/۹۲	شاخص سطح برگ
۰/۷۱	۰/۰۴	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۲۰	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۲۲	۰/۹۳	سرعت رشد محصول
۰/۸۸	۰/۰۴	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۷۹	-۰/۰۵	۰/۶۱	-۰/۷۵	-۰/۲۰	نیترژن خاک
۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۶۱	۰/۸۶	-۰/۶۵	۰/۶۶	فسفر خاک
۰/۸۴	-۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۵۵	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۲۴	-۰/۲۲	۰/۴۴	هدایت الکتریکی خاک
۰/۹۴	-۰/۸۵	-۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۶۴	۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۵	اسیدیته خاک
۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۹۳	۰/۹۴	-۰/۰۱	۰/۹۷	۰/۶۸	-۰/۸۱	۰/۱۰	کارایی مصرف آب

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی، نتایج آزمایش نشان داد که در شرایطی که فقط ۵۰ درصد از نیاز آبی کنجد تأمین شد، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تمامی صفات مورد مطالعه به جز هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک را نسبت به شاهد بهبود بخشید، به‌عنوان مثال محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه و ماده‌ی خشک را به‌ترتیب ۳۶ و ۴۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. عملکرد دانه و ماده‌ی خشک ذرت در هر دو شرایط کاربرد و عدم‌کاربرد اسید سالیسیلیک با افزایش مقدار آب از ۵۰ به ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت. در لوبیا، بیشترین عملکرد دانه و ماده‌ی خشک در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک حاصل شد. عملکرد دانه‌ی ذرت و لوبیا از همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت رشد محصول برخوردار بود، لذا به‌نظر می‌رسد که با کمک به بهبود سرعت رشد محصول بتوان به عملکرد دانه‌ی بیشتری در این گیاهان دست یافت. نتایج تجزیه به عامل‌های اصلی نشان داد که در کنجد متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول و کارآیی مصرف آب روی عامل دوم و متغیرهای اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی خاک و نیتروژن خاک بیشترین بار را روی عامل سوم داشتند، بنابراین، هرگونه بهبود نسبی در صفات یاد شده، افزایش کارآیی

مصرف آب را به‌دنبال خواهد داشت. در ذرت، عملکرد دانه با متغیرهای عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارآیی مصرف آب، و در لوبیا، با متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر و هدایت الکتریکی خاک و کارآیی مصرف آب بیشترین بار را روی یک عامل داشتند (جدول‌های ۶، ۷ و ۸). شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در هر عامل و نامگذاری منطقی آن با توجه به دانش اکوفیزیولوژیکی گیاه زراعی مربوطه (همانند عامل آرایش فضایی بوته در لوبیا) می‌تواند در شناخت ابعاد پنهان متغیرها و مدیریت مستقیم متغیرهای مؤثر بر آن عامل (برای مثال، شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته) مؤثر باشد. به‌طورکلی، قرار گرفتن کارآیی مصرف آب در کنار متغیرهای شکل دهنده‌ی عملکرد در یک عامل برای هر سه گیاه (در کنجد عامل دوم و در ذرت و لوبیا، عامل اول)، حاکی از آن است که هر گونه تغییر در متغیرهای نامبرده، تغییر مستقیم در کارآیی مصرف آب را به‌دنبال خواهد داشت. این موضوع می‌تواند زمینه‌ساز اعمال مدیریت‌های زراعی مربوط در جهت دستیابی به عملکرد مطلوب در کنار افزایش کارآیی مصرف آب، در شرایط نیمه‌خشک مشهد و نواحی مشابه باشد.

منابع مورد استفاده

- Abraham SS, Abdul Jaleel C, Chang-Xing Z, Somasundaram R, Azooz MM and Panneerselvam R. 2008. Regulation of growth and metabolism by paclobutrazol and ABA in *Sesamum indicum* L. under drought condition. *Global Journal of Molecular Sciences*, 3: 57-66.
- Alah Gholipour M and Mohammad Salehi MS. 2003. Factor and path analysis in different rice genotypes. *Journal of Seed and Plant Production*, 19: 76-87. (In Persian).
- Alizadeh A and Kamali Gh. 2008. Water requirement of plants in Iran. Emam Reza University Press. (In Persian).
- Ayoubi Sh, Mohammad Zamni S and Khormali F. 2009. Forecast of wheat yield through soil characteristics by using principal components analysis. *Journal of Water and Soil Researches of Iran*, 49: 51-57. (In Persian).

- Bayat S, Sepehri Zare A, Abyaneh H. and Abdollahi MR. 2010. Effect of salicylic acid and paclobutrazol on some growth characteristics and yield of maize in conditions of drought stress. *Journal of Crops Ecophysiology*, 2: 34-41. (In Persian).
- Caliandro A and Boari F. 1992. Supplementary irrigation in arid and semi-arid regions. In: International Conference on Supplementary Irrigation and Drought Water Management. Sep 27- Oct 2. 1992. Italy.
- Danesh Gilvae M, Karimzadeh Gh and Agha Alikhani M. 2011. Evaluation of genetic diversity and principal component analysis for morphological and phenological characteristics in some genotypes of *Lathyrus sativus*. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42: 243-254. (In Persian).
- Doupis G, Bertaki M, Psarras G, Kasapakis I and Chartzoulakis K. 2013. Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. *Scientia Horticulturae*, 153: 150-156.
- El-Tayeb MA. 2005. Response of barley to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45: 215-225.
- Farahani MA, 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. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8: 69-77. (In Persian).
- Horwitz W and Latimer GW. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
- 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 Sciece*, 163: 1129-1135.
- Islam MR, Garcia SC and Horadagoda A. 2012. Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and in vitro gas production characteristics of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 172: 125-135.
- Kang C and Wang Ch. 2003. Salicylic acid changes activities of H₂O₂ metabolizing enzymes and increase the chilling tolerance of banana seedlings. *Environment and Experimental Botany*, 9-15.
- Koocheki A and Sarmadnia Gh. 2006. *Crop Physiology*. Jahad, Mashhad University Press. PP: 254-255. (In Persian).
- Koocheki A, Nasiri Mahallati M, Fallahpoor F and Amiri MB. 2016. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. *Journal of Agroecology*, In Press. (In Persian).
- Majidi MM. 2012. Identify rapeseed varieties for drought tolerance through indicators of germination stage and seedling growth based on principal components analysis method. *Journal of Crop Production and Processing*, 2: 41- 52. (In Persian).
- Mansourfar K. 2012. Advanced statistical methods using applied software. University of Tehran Press, pp: 253-364.
- Mehrabian Moghaddam N, Arvin MJ, 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. *Journal of Seed and Plant Production*, 27: 41-55. (In Persian).
- Moghaddam M, Mohammadi A and Aghae S. 2009. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. (Translated to Farsi). 280 pp. Parivar Publications, Tabriz, Iran. ISBN: 978-964-5714-47-3.
- Pandy RK and Maranvill JW. 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.

- Rosales MA, Ocampo E, Rodriguez-Valentin R, Olvera-Carrillo Y, Acosta-Gallegos J and Covarrubias AA. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56: 24-34.
- Tousi Mojarrad M, Ghannadha MR, Khodarahmi M and Shahabi S. 2005. Factor analysis for seed yield and some wheat characteristics. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 66: 9-16. (In Persian).
- Zeinali H, Nasrabadi A, Hoseinzadeh H, Chougan R and Sabokdast M. 2005. Factor analysis of hybrid varieties of maize. *Journal of Iran Agricultural Science*, 36: 895-902. (In Persian).