

## ارزیابی کاربرد اسیدسولفوریک، اسیدهیومیک و محلول پاشی نترات پتاسیم بر عملکرد و برخی

### شاخص های فیزیولوژیک همیشه بهار

پرستو نورالهی، علیرضا ابدالی مشهدی، احمد کوچک زاده<sup>\*</sup>، محمدحسین قرینه

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

✉ koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲۶

#### چکیده

همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی زینتی که به دلیل ترکیبات دارویی و روغن دانه، ارزشمند نیز شناخته می شود. در خاک های آهکی با pH بالا، جذب عناصر غذایی دشوار است. اسیدسولفوریک با کاهش pH خاک، حلالیت عناصر را افزایش می دهد. مواد هیومیک با کلات کردن عناصر و بهبود فتوسنتز، عملکرد گیاه را بالا می برند. پتاسیم نیز با فعال سازی آنزیم ها و کاهش تنش مؤثر است. هدف این مطالعه بررسی تأثیر نترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر شاخص های زایشی و برخی شاخص های فیزیولوژیک همیشه بهار بود. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد: نترات پتاسیم در سه سطح (شاهد، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر)، اسیدسولفوریک در دو سطح (شاهد و ۵ لیتر بر هکتار) و اسیدهیومیک در دو سطح (شاهد و ۱۶ کیلوگرم بر هکتار). نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک بوته (۵۷۴ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۳۴۳ گرم در مترمربع) و عملکرد روغن دانه (۴۹/۹ گرم در مترمربع) با کاربرد ترکیبی ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نترات پتاسیم و ۱۶ کیلوگرم بر هکتار اسیدهیومیک حاصل شد که حاکی از اثر هم افزایی آن ها بر جذب مواد مغذی است. بالاترین شاخص کلروفیل (۳۹/۷) در تیمار ترکیبی اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک مشاهده گردید. برهمکنش سه گانه هر سه فاکتور، وزن تر گیاه را به ۳۷۹۱ گرم بر مترمربع رساند که نقش محوری اسیدهیومیک در افزایش زیست توده را تأیید می کند. به نظر می رسد که کاربرد هم زمان نترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک با بهبود شرایط خاک مانند جذب عناصر و فعالیت میکروبی سبب افزایش صفات رشدی، عملکرد دانه و روغن گل همیشه بهار شد.

**واژه های کلیدی:** بذر، خاک آهکی، شاخص برداشت، pH خاک.

#### مقدمه

همیشه بهار<sup>۱</sup> گیاهی یک ساله تا چند ساله متعلق به تیره کاسنی<sup>۲</sup> بوده و حاوی سسکوئی ترپن گلیکوزیدها<sup>۳</sup>، ساپونین ها<sup>۴</sup>، زانتوفیل ها<sup>۵</sup>، تریول ترین ها<sup>۶</sup>، فلاونوئیدها<sup>۷</sup> و مواد فرار می باشد (Gazim et al., 2008). گل این گیاه دارای مصارف خوراکی

۱- *Calendula officinalis* L. ۲- Asteraceae ۳- Sesquiterpene glycosides ۴- Saponins ۵- Xanthophylls

۶- Triterpene triols ۷- Flavonoids

و صنعتی بوده و در داروسازی برای تهیه انواع کرم‌ها و لوسیون‌ها کاربرد دارد. دانه آن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد روغن دارد که این نوع روغن دارای حدود ۴۵ تا ۶۰ درصد اسید کالندیک<sup>۱</sup> می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که عصاره آلی گل‌های همیشه‌هار دارای فعالیت ضد ویروس ایدز می‌باشد (Kalvatcev *et al.*, 1997). تغذیه صحیح گیاه یکی از عوامل مهم در بهبود کمی و کیفی محصول به‌شمار می‌آید. در آزمایشی کاربرد اسیدسولفوریک در خاک آهکی، غلظت عناصر غذایی در خاک و گیاه را افزایش داد و باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و کلروفیل در سویا گردید (Passandideh *et al.*, 2014). در خاک‌های با pH بالا می‌توان از اصلاح کننده‌های اسیدی برای افزایش حلالیت عناصر غذایی و بهبود عملکرد گیاهان استفاده کرد (Karimizarchi *et al.*, 2014). در این رابطه کاربرد هم زمان کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس و در نتیجه تولید اسیدسولفوریک در مواردی توانست اثر مثبت بیشتری بر عملکرد و تداوم فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در لوبیا داشته باشد (Kheiri styar *et al.*, 2019). در یک پژوهش بیان شد که با مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک، کاهش pH در خاک‌های آهکی اتفاق افتاد و بنابراین غلظت عناصر آهن، روی، مس و فسفر قابل جذب در خاک و گیاه کشت شده در آن افزایش یافت (Seifi & Souri, 2021).

از مزایای مهم اسید هیومیک کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف و در نتیجه رفع کمبود عناصر غذایی است که نتیجه آن افزایش کارایی استفاده از کود و وزن خشک کل گیاه می‌باشد (Muscolo *et al.*, 2013). مواد هیومیک شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که در اثر تغییرات بیولوژیک یا شیمیایی در بقایای گیاهی و حیوانی در خاک حاصل می‌شوند (Canellas *et al.*, 2015) و قادرند با افزایش جذب عناصر غذایی مختلف کمبود آن‌ها را جبران نمایند (Cangi *et al.*, 2006). اسیدهیومیک می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز، رشد، متابولیسم، جذب عناصر، تولید ریشه، آنتی‌اکسیدان‌ها و مقاومت به تنش‌های شوری، خشکی و فلزات سنگین شود (Delfine *et al.*, 2005; Hartwigsen *et al.*, 2000; Shah *et al.*, 2001; Zhang & Ervin, 2013). عنصر پتاسیم، یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه می‌باشد و کارایی زیادی در فرایندهای فیزیولوژیک دارد (Zhao *et al.*, 2013). گزارش‌های متعددی نقش پتاسیم را در تنش‌های محیطی بیان کرده است (Walters & Bingham, 2007; Hasanuzzaman *et al.*, 2018; Mahiwal & Pandey, 2022). در گزارشی بیان شد که کاربرد نیتрат پتاسیم وزن خشک اندام هوایی و کلروفیل کل را در ریحان افزایش داد (Sanei & Razavi, 2018). همچنین پژوهشگران دریافتند که مصرف پتاسیم، عملکردهای دانه و بیولوژیک همیشه‌بهار را زیاد کرد (Sedghi, 2020).

کودهای شیمیایی با تأمین سریع نیازهای غذایی گیاهان، باعث افزایش چشمگیر رشد و عملکرد می‌شوند. در پژوهشی اثر نیترات پتاسیم بر شاخص سطح برگ و همچنین افزایش وزن تر و خشک آفتابگردان و گلرنگ مثبت ارزیابی شد (Jabeen & Ahmad, 2011). با توجه به اهمیت دارویی، بهداشتی و صنعتی گیاه همیشه‌بهار، این مطالعه با هدف بررسی اثر تیمارهای نیترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر صفاتی نظیر وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد دانه در کاپیتول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت دانه، مقدار کلروفیل a, b و عملکرد روغن دانه در گیاه همیشه‌بهار انجام شد.

#### مواد و روش‌ها



این آزمایش در سال ۹۵-۱۳۹۴ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و با ارتفاع ۲۵ متر از سطح دریا اجرا شد. میانگین حداکثر و حداقل دمای منطقه مورد نظر به ترتیب ۳۳ و ۱۴/۶ درجه سلسیوس و دارای آب و هوای گرم و خشک می باشد. ویژگی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه عامل و ۴ تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل اسیدسولفوریک ۹۸ درصد در دو سطح (شاهد و ۵ لیتر در هکتار) و فاکتور اسیدهیومیک در دو سطح (شاهد و ۱۶ کیلوگرم در هکتار) (Farjami, & Nabavi Kalat, 2014) به عنوان فاکتورهای فرعی و فاکتور نیترات پتاسیم در سه سطح (شاهد، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) (Jabeen & Ahmad, 2011) به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. نیترات پتاسیم در دو مرحله از رشد گیاه بر روی گیاه محلول پاشی شد. تیمار اسیدسولفوریک به صورت خاک کاربرد، قبل از کشت به صورت محلول در آب و همچنین گرانول اسیدهیومیک (از منبع سوپر هیومات شرکت زیست فناوری سبز، دارای ۶۷ درصد اسیدهیومیک و ۸ درصد پتاس) دو هفته بعد از کشت، محلول در آب و به صورت خاکی اعمال شدند. در هر واحد آزمایشی با ۳ متر طول و ۲/۵ متر عرض، ۶ ردیف کشت وجود داشت که یک ردیف از هر طرف و نیم متر از بالا و پایین برای حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف ها ۴۰ سانتی متر و فاصله بذرها روی هر ردیف ۲۰ سانتی متر و با تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع بود. بذرها جمع آوری شده از محوطه ی فضای سبز دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در تاریخ پنج آذر کشت گردید. در طی مراحل رشد، کنترل علف های هرز به صورت دستی انجام، و آبیاری به فاصله هر هفت روز و به روش غرقابی انجام شد. در پایان آزمایش صفات وزن تر و خشک بوته، تعداد دانه در کاپیتول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت دانه (نسبت عملکرد اقتصادی دانه به عملکرد زیست توده کل گیاه (Sepehri et al., 2015))، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و b، کاروتنوئید برگ و عملکرد روغن دانه اندازه گیری شد. کلروفیل a و b به روش آرنون (Arnon, 1975) در ۵۰ درصد گلدھی و اندازه گیری عملکرد روغن دانه به روش پوریم (Porim, 1995) پس از رسیدگی کامل دانه ها (برداشت نهایی) اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری وزن خشک بوته ها آن ها را در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار داده و پس از خشک شدن، وزن گردیدند. در پایان تجزیه آماری مربوط به طرح با استفاده از نرم افزار SAS انجام گردید و برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1- Physical and chemical properties of experimental field soil.

| عمق   | هدایت الکتریکی        | مواد آلی       | نیتروژن | فسفر قابل جذب           | پتاسیم قابل جذب        | بافت       |
|-------|-----------------------|----------------|---------|-------------------------|------------------------|------------|
| Depth | EC                    | Organic matter | N       | P <sub>ava</sub>        | K <sub>ava</sub>       | Texture    |
| (cm)  | (dS.m <sup>-1</sup> ) | (%)            | (%)     | (mg. kg <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) |            |
| 0-30  | 3.1                   | 0.89           | 0.05    | 9.3                     | 143                    | Silty clay |

## نتایج و بحث



**وزن تر بوته:** بررسی برهمکنش نیترات پتاسیم، اسید هیومیک و اسید سولفوریک (جدول ۲) نشان داد که بالاترین وزن تر بوته (۳۷۹۱ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار ترکیبی ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات پتاسیم همراه با کاربرد همزمان اسید هیومیک و اسید سولفوریک بود که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت. کمترین میزان وزن تر بوته (۱۵۷۵ گرم در مترمربع) در تیمار شاهد نیترات پتاسیم، شاهد اسید سولفوریک و کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد. در توجیه مکانیسم این نتایج می توان گفت که افزایش وزن تر بوته ناشی از اثر هم افزایی سه ترکیب به کار رفته است. نیترات پتاسیم به عنوان یک عنصر اسمزی تنظیم کننده، فشار تورژسانس سلول ها را افزایش داده و باز و بسته شدن روزنه ها را تنظیم می کند که منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه و در نتیجه افزایش وزن تر می شود (Jabeen & Ahmad, 2011). همچنین نیترات به عنوان منبع نیتروژن، سنتز پروتئین و توسعه سیتوپلاسم را تسهیل می کند. از سوی دیگر، اسید سولفوریک در خاک های آهکی با pH بالا، با کاهش pH ریزوسفر، حلالیت عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و فسفر را افزایش می دهد. این عناصر در فرآیندهای متابولیکی و فتوسنتزی نقش دارند و بهبود جذب آن ها سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه وزن تر می گردد (Passandideh et al., 2014; Seifi & Souri, 2021). اسید هیومیک نیز به دلیل داشتن گروه های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل، قادر به کلاته کردن یون های فلزی است. این عمل ضمن افزایش قابلیت جذب عناصر توسط ریشه، نفوذ پذیری غشای سلول های ریشه را بهبود بخشیده و انتقال مواد غذایی را تسهیل می کند (Li et al., 2019). همچنین اسید هیومیک با تحریک رشد ریشه های موئین، سطح جذب را افزایش داده و در نتیجه وزن تر بوته را بالا می برد (Maccarthy, 2001). در تیمار شاهد (بدون نیترات پتاسیم و اسید سولفوریک) به نظر می رسد اسید هیومیک به تنهایی نتوانسته است نقش مؤثری در افزایش وزن تر ایفا کند، زیرا در غیاب اسید سولفوریک، pH خاک بالا باقی مانده و حلالیت عناصر محدود است؛ همچنین بدون نیترات پتاسیم، تنظیم اسمزی بهینه صورت نمی گیرد. اما در حضور همزمان نیترات پتاسیم و اسید سولفوریک، اسید هیومیک اثرات آن ها را تشدید کرده و شرایط ایده آلی برای جذب آب و عناصر فراهم می آورد. این یافته با گزارش Li و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد هم زمان اسید هیومیک و اصلاح کننده های شیمیایی همسو است.

**وزن خشک بوته:** نتایج مربوط به وزن خشک بوته نشان داد که برهمکنش نیترات پتاسیم و اسید هیومیک معنی دار است (جدول ۳). بر اساس داده های جدول ۴، بیشترین وزن خشک بوته (۵۷۴ گرم در مترمربع) در تیمار ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات پتاسیم همراه با کاربرد اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی داری با تیمار ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات پتاسیم به همراه اسید هیومیک نداشت. کمترین وزن خشک بوته (۳۴۷ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار شاهد نیترات پتاسیم با کاربرد اسید هیومیک بود. در توجیه مکانیسم این اثر می توان گفت نیترات پتاسیم از یک سو با تأمین پتاسیم به عنوان فعال کننده آنزیم های کلیدی در مسیر فتوسنتز و سنتز پروتئین، و از سوی دیگر با تأمین نیتروژن مورد نیاز برای ساخت اسید های آمینه و پروتئین های ساختاری، زمینه افزایش زیست توده را فراهم می کند. اسید هیومیک نیز با داشتن گروه های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل، عناصر کم مصرف مانند آهن و روی را کلاته کرده و جذب آن ها را از طریق ریشه تسهیل می نماید. این عناصر به نوبه خود در تشکیل کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش دارند و افزایش آن ها منجر به تولید مواد آلی خشک بیشتری می شود. همچنین اسید هیومیک با تحریک رشد ریشه های موئین، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب آب و عناصر را بهبود می بخشد که نتیجه نهایی آن افزایش وزن خشک اندام هوایی است (Gulser et al., 2010; Mohammadipour et al., 2012). در تیمار شاهد که



نیتراپتاسیم وجود نداشت، علیرغم حضور اسیدهیومیک، کمبود پتاسیم و نیتروژن سبب محدودیت در سنتز پروتئین و تنظیم اسمزی شده و در نتیجه وزن خشک کاهش یافته است.

همچنین نتایج جدول ۳ نشان داد که برهمکنش اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر وزن خشک بوته نیز معنی دار است. بر اساس مشاهدات جدول ۵، بیشترین وزن خشک بوته (۵۴۰ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد همزمان اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک به دست آمد که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت. کمترین وزن خشک بوته (۳۶۰ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار شاهد اسیدهیومیک با کاربرد اسیدسولفوریک بود که اختلاف معنی داری با حالت عدم کاربرد همزمان نداشت. در تبیین مکانیسم این یافته می توان گفت اسیدسولفوریک در خاک های آهکی با pH بالا، طی واکنش با کربنات کلسیم، pH ریزوسفر را کاهش می دهد. این کاهش pH باعث افزایش حلالیت عناصر کم مصرفی نظیر آهن، روی، مس و فسفر می شود که معمولاً در pH بالا به شکل نامحلول رسوب کرده اند (Seifi & Sour, 2021). از طرفی اسیدهیومیک با ایجاد کمپلکس های پایدار با این یون های فلزی، از رسوب مجدد آن ها جلوگیری کرده و جذب آن ها را توسط ریشه تسهیل می کند. بنابراین کاربرد همزمان اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک یک اثر هم افزایی ایجاد می کند. اسیدسولفوریک حلالیت عناصر را افزایش می دهد و اسیدهیومیک عناصر حل شده را در دسترس ریشه نگه داشته و انتقال آن ها را به اندام هوایی بهبود می بخشد. این امر منجر به افزایش فتوسنتز، رشد رویشی و در نهایت وزن خشک بوته می گردد. در تیماری که اسیدهیومیک مصرف نشده بود، علی رغم کاهش pH توسط اسیدسولفوریک، عدم حضور ماده کلاته کننده باعث شد بخشی از عناصر دوباره تثبیت یا از دسترس گیاه خارج شوند و بنابراین افزایش وزن خشک چشم گیر نبود.

**تعداد دانه در کاپیتول:** با بررسی جدول مقایسه میانگین ها (جدول ۲) مشخص شد بیشترین تعداد دانه در کاپیتول با میانگین ۳۸ عدد در شرایطی به دست آمد که از تیمار نیتراپتاسیم شاهد، اسیدسولفوریک شاهد و کاربرد تیمار اسیدهیومیک، استفاده شد و از نظر آماری اختلاف معنی داری با سایر سطوح داشت. کمترین تعداد دانه در کاپیتول با میانگین عدد ۲۷، با کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیتراپتاسیم، کاربرد اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک شاهد حاصل شد. احتمال دارد در این شرایط کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیتراپتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک اثر یکدیگر را تحت الشعاع قرار دهند. لازم به ذکر است که کلیه تیمارهای محلول پاشی پیش از مرحله گلدهی اعمال شدند، بنابراین احتمال اثر مستقیم بر فرآیند گرده افشانی وجود ندارد. کاهش تعداد دانه در غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیتراپتاسیم به احتمال زیاد ناشی از تنش اسمزی ناحیه ریشه (مشابه شرایط شوری)، عدم تعادل در جذب کلسیم، (که برای تقسیم سلولی اولیه دانه ضروری است) و تغییر نسبت هورمون های رشد رویشی به زایشی می باشد. این یافته با گزارش های قبلی مبنی بر تأثیر منفی غلظت های بالای نمک های شیمیایی بر فرآیندهای فیزیولوژیک غیر از گرده افشانی همسو است. در پژوهشی نشان داده شد که با مصرف اسیدهیومیک، تولید دانه در تربیتکاله افزایش یافت (Mosaad et al., 2025).

**عملکرد دانه:** با مشاهدهی جدول مقایسه میانگین ها برهمکنش نیتراپتاسیم و اسیدهیومیک (جدول ۴) مشخص شد بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیتراپتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک با میانگین ۳۴۳ گرم در مترمربع حاصل گردید. با بررسی داده ها، می توان به اثر هم افزایی تیمارهای نیتراپتاسیم و اسیدهیومیک اشاره کرد. به این صورت که با افزایش غلظت نیتراپتاسیم اثر اسیدهیومیک نیز در افزایش عملکرد دانه بیش تر شد. در آزمایشی نشان داده شد که اسیدهیومیک



سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه ذرت شد (Ghorbani *et al.*, 2010). در مطالعه‌ی دیگری اسیدهیومیک سبب افزایش عملکرد دانه همیشه‌بهار گردید (Abedini *et al.*, 2015). همچنین در گزارشی پتاسیم موجب ازدیاد عملکرد دانه کلزا شد (Zaman Khan *et al.*, 2004). کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۸۳ گرم در مترمربع مربوط به تیمار شاهد اسیدهیومیک و کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نترات پتاسیم بود. هر چند از این نظر اختلاف معنی‌داری با عدم کاربرد تیمار نترات پتاسیم و اسیدهیومیک مشاهده نگردید. استفاده از ترکیبات هیومیک به دلیل ظرفیت آن‌ها در تقویت تشکیل ریشه و افزایش رشد آن، جذب مواد غذایی را تسهیل نموده (Trevisan *et al.*, 2010) که نتیجه آن افزایش عملکرد گیاه می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش نترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر وزن تر بوته و تعداد دانه در کاپیتول همیشه‌بهار.

**Table 2- The interaction of potassium nitrate × humic acid × sulfuric acid on plant fresh weight and number of seeds in the capitulum in marigold.**

| تعداد دانه در کاپیتول<br>Seeds No. in the capitulum | وزن تر بوته<br>Plant Fresh weight<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | اسیدسولفوریک<br>Sulfuric acid<br>(L.ha <sup>-1</sup> ) | اسیدهیومیک<br>Humic acid<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | نترات پتاسیم<br>Potassium nitrate<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 31.0 <sup>c</sup>                                   | 1718 <sup>de</sup>                                        | 0                                                      | 0                                                  | 0                                                          |
| 34.2 <sup>bc</sup>                                  | 1900 <sup>de</sup>                                        | 5                                                      | 0                                                  |                                                            |
| 38.6 <sup>a</sup>                                   | 1575 <sup>c</sup>                                         | 0                                                      | 16                                                 |                                                            |
| 31.9 <sup>bc</sup>                                  | 1852 <sup>de</sup>                                        | 5                                                      | 16                                                 |                                                            |
| 34.8 <sup>ab</sup>                                  | 2626 <sup>bc</sup>                                        | 0                                                      | 0                                                  | 250                                                        |
| 33.0 <sup>bc</sup>                                  | 3023 <sup>b</sup>                                         | 5                                                      | 0                                                  |                                                            |
| 34.2 <sup>bc</sup>                                  | 3027 <sup>b</sup>                                         | 0                                                      | 16                                                 |                                                            |
| 31.6 <sup>bc</sup>                                  | 3159 <sup>b</sup>                                         | 5                                                      | 16                                                 |                                                            |
| 30.5 <sup>cd</sup>                                  | 2179 <sup>cd</sup>                                        | 0                                                      | 0                                                  | 500                                                        |
| 32.6 <sup>bc</sup>                                  | 2032 <sup>cde</sup>                                       | 5                                                      | 0                                                  |                                                            |
| 27.0 <sup>d</sup>                                   | 2281 <sup>cd</sup>                                        | 0                                                      | 16                                                 |                                                            |
| 35.5 <sup>ab</sup>                                  | 3791 <sup>a</sup>                                         | 5                                                      | 16                                                 |                                                            |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each trait are not significantly different (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

**وزن هزار دانه:** وزن دانه از جمله صفاتی است که وابسته به ژنتیک است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، اما شرایط تغذیه‌ای تا حدودی می‌تواند بر روی آن تأثیر گذار باشد. با بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشخص گردید بیشترین وزن هزار دانه (۱۶/۲ گرم) با اختلاف معنی‌داری از سایر سطوح، در ترکیب تیماری شاهد نترات پتاسیم به همراه شاهد اسیدهیومیک به دست آمد. کم و بیش میان تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه رابطه معکوس وجود دارد زیرا با افزایش تعداد دانه در کاپیتول (مقصد) سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی (ارسال شده از منبع) کاهش می‌یابد. روند نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که با کاربرد اسیدهیومیک تعداد دانه در کاپیتول افزایش یافت که در کل، این امر باعث افزایش ظرفیت مقصدها (تعداد دانه‌های درون کاپیتول) گردید. بنابراین احتمال دارد با افزایش تعداد دانه‌ها در کاپیتول، میان آن‌ها برای دریافت فرآورده‌های فتوسنتزی رقابت بیشتری صورت گرفته و در نتیجه سهم هر یک از دانه‌ها از این فرآورده‌ها کاهش یابد که منتج به کاهش وزن دانه‌ها و در نهایت کاهش وزن هزار دانه گردید. در پژوهشی گزارش شد که افزایش معنی‌داری در وزن هزار دانه با کاربرد مواد آلی هوموسی صورت نگرفت (Eghbal & Power, 1999). با این حال پژوهشگران دریافتند که با مصرف



اسیدهیومیک، وزن هزار دانه افزایش یافت (Mosaad et al., 2025). کمترین وزن هزار دانه نیز با میانگین ۱۴/۴ گرم مربوط به تیمار شاهد نیتراپتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک بود.

**شاخص برداشت دانه:** نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد برهمکنش نیتراپتاسیم و اسیدهیومیک بر شاخص برداشت دانه معنی دار بود. با تحلیل داده‌ها (جدول ۴) مشخص گردید بیشترین میزان شاخص برداشت دانه با میانگین ۴۲/۴ درصد با مصرف اسیدهیومیک و بدون حضور نیتراپتاسیم به دست آمد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که کاربرد اسیدهیومیک در گیاه همیشه‌بهار، عملکرد گل و دانه را افزایش داد (Abedini et al., 2015). همچنین در گزارشی عنوان شد که اسیدهیومیک سبب افزایش رشد و تجمع ماده خشک می‌شود (Aya & Gulser, 2005). در این مشاهده کمترین میزان شاخص برداشت بذر با میانگین ۳۶/۹ درصد در صورت عدم کاربرد هم‌زمان نیتراپتاسیم و اسیدهیومیک حاصل گردید و از این نظر اختلاف معنی‌داری با کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتراپتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک نداشت. در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد کاربرد نیتراپتاسیم در غلظت‌های تعیین شده به همراه کاربرد تیمار اسیدسولفوریک و یا کاربرد اسیدهیومیک نتوانست بر شاخص برداشت بذر اثر قابل توجهی را اعمال کند.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد برهمکنش نیتراپتاسیم و اسیدسولفوریک بر شاخص برداشت دانه معنی دار است. با بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) مشخص شد بیشترین میزان شاخص برداشت دانه با میانگین ۴۳/۴ درصد از تیمار شاهد نیتراپتاسیم و کاربرد اسیدسولفوریک حاصل گردید و از این نظر اختلاف معنی‌داری با کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتراپتاسیم و عدم کاربرد اسیدسولفوریک نداشت. با بررسی داده‌ها می‌توان اظهار داشت که عامل اسیدسولفوریک در صورت عدم کاربرد نیتراپتاسیم می‌تواند بر روی شاخص برداشت دانه مؤثر واقع شود. در گزارش‌هایی بر تأثیر مثبت ترکیبات گوگردی در رشد و نمو سلول‌های گیاهی اشاره شده است (Droux, 2004; Boyhan, 2008). کمترین میزان شاخص برداشت بذر با میانگین ۳۶/۰ درصد با عدم کاربرد هم‌زمان نیتراپتاسیم و اسیدسولفوریک به دست آمد و از این نظر اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تیمارها داشت. افزایش شاخص برداشت دانه در تیمار کاربرد اسید سولفوریک (بدون مصرف نیتراپتاسیم) را می‌توان به نقش کلیدی گوگرد در فرآیندهای فیزیولوژیک نسبت داد. گوگرد جزئی از آمینواسیدهای سیستمی و متیونین است که برای سنتز پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه ضروری می‌باشند (Droux, 2004). همچنین گوگرد با تنظیم سطح اکسین و حفظ مرستم ریشه، توسعه سیستم ریشه را بهبود بخشیده و جذب عناصر غذایی را تسهیل می‌کند (Zhao et al., 2014). در شرایط کمبود گوگرد، نسبت نیتروژن به گوگرد در گیاه مختل شده و نیتروژن اضافی به جای انتقال به دانه، صرف رشد رویشی می‌شود. کاربرد اسید سولفوریک با تأمین گوگرد مورد نیاز، تعادل نیتروژن به گوگرد را برقرار نموده و کارایی انتقال مجدد فوسفور به دانه (شاخص برداشت) را افزایش می‌دهد. این یافته با گزارش‌های قبلی مبنی بر افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در پاسخ به مصرف گوگرد همسو بود (Rafiq et al., 2022; Asif et al., 2023).

**شاخص کلروفیل:** نتایج به دست آمده از این پژوهش (جدول ۷) نشان داد شاخص کلروفیل تحت تأثیر برهمکنش اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک قرار گرفت. با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) مشخص شد بیشترین میزان شاخص کلروفیل با میانگین ۳۹/۷ مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک است. رابطه مستقیم بین کمبود آهن برگ و میزان کلروفیل به عنوان شاخص این کمبود اثبات شده است. آهن نقش ضروری در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و





پروتئین دارد. پسندیده و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که اسیدسولفوریک با افزایش قابلیت جذب آهن و روی باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ گردید (Passandideh *et al.*, 2014). کمترین میزان شاخص کلروفیل در اثر کاربرد اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک شاهد با میانگین ۳۷/۷ به دست آمد. نتایج این آزمایش حاکی از آن است که اسیدسولفوریک در صورتی می تواند تأثیر خود را در افزایش شاخص کلروفیل اعمال کند که همراه با کاربرد اسیدهیومیک باشد و نتیجه این مشاهده به معنی تأثیر مثبت استفاده ی همزمان دو تیمار مذکور در افزایش شاخص کلروفیل است.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی همیشه بهار تحت تأثیر نترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک.

**Table 3- ANOVA of marigold evaluation traits under the influence of potassium nitrate, sulfuric acid, and humic acid.**

| میانگین مربعات<br>Mean squares               |                                      |                           |                                                                    |                                     |                                      |                     | منابع تغییرات<br>S.O.V                                                                                |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| شاخص برداشت<br>دانه<br>Seed harvest<br>index | وزن هزار دانه<br>1000-seed<br>weight | عملکرد دانه<br>Seed yield | تعداد دانه در<br>کاپیتول<br>Number of<br>seeds in the<br>capitulum | وزن خشک بوته<br>Plant dry<br>weight | وزن تر بوته<br>Plant fresh<br>weight | درجه<br>آزادی<br>Df |                                                                                                       |
| 3.38 <sup>ns</sup>                           | 0.52 <sup>ns</sup>                   | 5733 <sup>ns</sup>        | 3.47 <sup>ns</sup>                                                 | 1818 <sup>ns</sup>                  | 131447 <sup>ns</sup>                 | 3                   | تکرار<br>Replication                                                                                  |
| 31.4 *                                       | 0.05 <sup>ns</sup>                   | 17482 <sup>ns</sup>       | 19.2 <sup>ns</sup>                                                 | 43108**                             | 3305018**                            | 2                   | نترات پتاسیم<br>Potassium nitrate<br>(KNO <sub>3</sub> )                                              |
| 6.41                                         | 0.37                                 | 6415                      | 6.58                                                               | 931                                 | 131447                               | 6                   | خطای کرت اصلی<br>Main plot error                                                                      |
| 20.0 <sup>ns</sup>                           | 2.49 <sup>ns</sup>                   | 6597 <sup>ns</sup>        | 1.54 <sup>ns</sup>                                                 | 5689 <sup>ns</sup>                  | 224616**                             | 1                   | اسیدسولفوریک<br>Sulfuric acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                                       |
| 13.7 <sup>ns</sup>                           | 1.88 <sup>ns</sup>                   | 37781 **                  | 1.69 <sup>ns</sup>                                                 | 58060**                             | 1164754**                            | 1                   | اسیدهیومیک<br>Humic acid (Ha)                                                                         |
| 83.6 **                                      | 1.25 <sup>ns</sup>                   | 7101 <sup>ns</sup>        | 51.7**                                                             | 1148 <sup>ns</sup>                  | 1026937 <sup>ns</sup>                | 2                   | نترات پتاسیم × اسیدسولفوریک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × KNO <sub>3</sub>                      |
| 41.1 *                                       | 4.54 **                              | 16326 **                  | 10.5 <sup>ns</sup>                                                 | 25815**                             | 175591**                             | 2                   | نترات پتاسیم × اسیدهیومیک<br>KNO <sub>3</sub> × Ha                                                    |
| 5.05 <sup>ns</sup>                           | 1.13 <sup>ns</sup>                   | 17.5 <sup>ns</sup>        | 4.47 <sup>ns</sup>                                                 | 54932**                             | 713051 <sup>ns</sup>                 | 1                   | اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × Ha                                      |
| 12.5 <sup>ns</sup>                           | 0.37 <sup>ns</sup>                   | 1977 <sup>ns</sup>        | 49.0**                                                             | 1349 <sup>ns</sup>                  | 480250**                             | 2                   | نترات پتاسیم × اسیدسولفوریک<br>× اسیدهیومیک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × KNO <sub>3</sub> × Ha |
| 8.92                                         | 0.70                                 | 2255                      | 5.80                                                               | 3380                                | 117356                               | 27                  | خطای کرت فرعی<br>Sub plot error                                                                       |
| 7.51                                         | 5.48                                 | 16.6                      | 7.39                                                               | 13.1                                | 13.7                                 |                     | ضریب تغییرات (%)<br>C.V (%)                                                                           |

<sup>ns</sup>, \*\* و \* به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

<sup>ns</sup>, \*\* and \*: non-significant, significant at  $P \leq 0.01$  and  $P \leq 0.05$ , respectively.





**کلروفیل a و b:** نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد برهمکنش نیترات پتاسیم و اسیدهیومیک بر محتوای کلروفیل a و b معنی دار بود. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۲۰۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کلروفیل b (۱/۲۳۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد نیترات پتاسیم همراه با کاربرد اسیدهیومیک مشاهده شد، اگرچه این مقادیر با تیمار ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیترات پتاسیم بدون اسیدهیومیک اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۴). در مقابل، کمترین مقادیر کلروفیل a (۱/۹۲۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کلروفیل b (۱/۰۷۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد هر دو ماده (عدم کاربرد نیترات پتاسیم و اسیدهیومیک) حاصل گردید. یافته‌های فوق نشان می‌دهد که حضور حداقل یکی از دو عامل (اسیدهیومیک یا غلظت ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیترات پتاسیم) برای حفظ سطح مطلوب کلروفیل در گیاه همیشه‌بهار ضروری است. عدم کاربرد همزمان هر دو منجر به کاهش دسترسی گیاه به نیتروژن و در نتیجه کاهش معنی دار کلروفیل a و b می‌گردد. از سوی دیگر، کاربرد همزمان نیترات پتاسیم در غلظت بالاتر (۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) یا همراهی اسید هیومیک با نیترات، تأثیر افزایشی قابل توجهی فراتر از سطح حاصل از هر یک به تنهایی نداشت که نشان‌دهنده عدم وجود اثر هم‌افزایی قوی بین این دو تیمار بر محتوای کلروفیل است. این مشاهدات با گزارش‌های پیشین مبنی بر نقش مثبت اسیدهیومیک در افزایش غلظت کلروفیل برگ همسو است.

**کاروتنوئید برگ:** در این پژوهش کاروتنوئید برگ تحت تأثیر تیمارهای مورد ارزیابی قرار نگرفت. به‌رغم اثر مثبت کودهای زیستی روی فلفل در جهت افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کاروتنوئید (Berova et al., 2010)، نتایج این آزمایش نشان‌دهنده تأثیر معنادار کود آلی اسیدهیومیک بر میزان کاروتنوئید برگ همیشه‌بهار نبود.

**عملکرد روغن دانه:** نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد برهمکنش نیترات پتاسیم و اسیدهیومیک بر عملکرد روغن دانه معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد افزایش غلظت نیترات پتاسیم به‌همراه کاربرد اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد روغن شد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن با میانگین ۴۹/۹ گرم در مترمربع با کاربرد ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک حاصل گردید که اختلاف معنی داری با سایر سطوح تیمارها دارد. در این پژوهش کمترین عملکرد روغن با میانگین ۱۳/۳ گرم در مترمربع و با اختلاف معنی دار نسبت به سایر سطوح تیمارهای مربوط به عدم کاربرد نیترات پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک بود. به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد روغن با مصرف نیترات پتاسیم و اسیدهیومیک به‌دلیل بهبود جذب عناصر غذایی باشد. گزارش شده است که اسیدهیومیک با کلات کردن عناصر غذایی مختلف، کارایی استفاده از آن‌ها را بهبود می‌بخشد (Muscolo et al., 2013). همچنین نتایج نشان داد برهمکنش نیترات پتاسیم و اسیدسولفوریک بر عملکرد روغن دانه معنی دار بود (جدول ۷). بررسی نتایج نشان داد در سطوح شاهد اسیدسولفوریک با افزایش غلظت نیترات پتاسیم از شاهد تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر، عملکرد روغن در واحد سطح یک روند افزایشی داشت. به‌طوری‌که در غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات پتاسیم و عدم کاربرد اسیدسولفوریک، بیشترین عملکرد روغن با میانگین ۴۸/۹ گرم در مترمربع بود (جدول ۶). کمترین عملکرد روغن با اختلاف معنی دار با سایر سطوح تیمارها و با میانگین ۱۰/۲ گرم در مترمربع مربوط به تیمار عدم کاربرد هم‌زمان نیترات پتاسیم و اسیدسولفوریک بود. مطالعات نشان داد که با مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در خاک، عملکرد روغن دانه کلزا افزایش یافت (Kandil & Gad, 2012).



جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش نترات پتاسیم و اسیدهیومیک بر عملکرد دانه و برخی صفات در همیشه بهار.

**Table 4- The interaction of potassium nitrate × humic acid on seed yield and some traits in marigold.**

| عملکرد روغن دانه                       | کلروفیل b                                | کلروفیل a                                | شاخص برداشت دانه             | وزن هزار دانه              | عملکرد دانه                           | وزن خشک بوته                                | اسیدهیومیک                              | نترات پتاسیم                                  |
|----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Seed oil yield<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | Chlorophyll b<br>(mg.g <sup>-1</sup> fw) | Chlorophyll a<br>(mg.g <sup>-1</sup> fw) | Seed harvest<br>index<br>(%) | 1000-seed<br>weight<br>(g) | Seed<br>yield<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | Plant dry<br>weight<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | Humic<br>acid<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | potassium<br>nitrate<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) |
| 18.1 <sup>cd</sup>                     | 1.071 <sup>b</sup>                       | 1.920 <sup>b</sup>                       | 36.9 <sup>b</sup>            | 16.2 <sup>a</sup>          | 225 <sup>b</sup>                      | 364 <sup>bc</sup>                           | Control                                 | Control                                       |
| 13.3 <sup>d</sup>                      | 1.233 <sup>a</sup>                       | 2.205 <sup>a</sup>                       | 42.4 <sup>a</sup>            | 14.4 <sup>c</sup>          | 232 <sup>b</sup>                      | 347 <sup>c</sup>                            | 16                                      |                                               |
| 27.3 <sup>bc</sup>                     | 1.231 <sup>a</sup>                       | 2.205 <sup>a</sup>                       | 39.0 <sup>ab</sup>           | 15.5 <sup>ab</sup>         | 297 <sup>a</sup>                      | 430 <sup>b</sup>                            | Control                                 | 250                                           |
| 28.9 <sup>b</sup>                      | 1.117 <sup>ab</sup>                      | 2.010 <sup>ab</sup>                      | 37.4 <sup>b</sup>            | 15.0 <sup>bc</sup>         | 339 <sup>a</sup>                      | 524 <sup>a</sup>                            | 16                                      |                                               |
| 35.7 <sup>b</sup>                      | 1.165 <sup>ab</sup>                      | 2.100 <sup>ab</sup>                      | 41.4 <sup>a</sup>            | 14.8 <sup>bc</sup>         | 183 <sup>b</sup>                      | 371 <sup>bc</sup>                           | Control                                 | 500                                           |
| 49.9 <sup>a</sup>                      | 1.087 <sup>b</sup>                       | 1.950 <sup>b</sup>                       | 41.3 <sup>a</sup>            | 15.6 <sup>ab</sup>         | 343 <sup>a</sup>                      | 574 <sup>a</sup>                            | 16                                      |                                               |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each trait are not significantly different (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر وزن خشک بوته و شاخص کلروفیل در همیشه بهار.

**Table 5- The interaction of sulfuric acid × humic acid on dry weight and SPAD in marigold.**

| شاخص کلروفیل             | وزن خشک بوته                             | اسیدهیومیک                           | اسیدسولفوریک                           |
|--------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| Chlorophyll Index (SPAD) | Plant dry weight<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | Humic acid<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | Sulfuric acid<br>(L.ha <sup>-1</sup> ) |
| 39.7 <sup>a</sup>        | 416 <sup>b</sup>                         | Control                              | Control                                |
| 37.7 <sup>b</sup>        | 423 <sup>b</sup>                         | 16                                   |                                        |
| 38.3 <sup>b</sup>        | 360 <sup>b</sup>                         | Control                              | 5                                      |
| 39.7 <sup>a</sup>        | 540 <sup>a</sup>                         | 16                                   |                                        |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each trait are not significantly different (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش نترات پتاسیم و اسیدسولفوریک بر شاخص برداشت و عملکرد روغن دانه در همیشه بهار.

**Table 6- The interaction of sulfuric acid × potassium nitrate on seed harvest index and seed oil yield in marigold.**

| عملکرد روغن دانه                       | شاخص برداشت دانه             | اسیدسولفوریک                           | نترات پتاسیم                               |
|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Seed oil yield<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | Seed harvest<br>index<br>(%) | Sulfuric acid<br>(L.ha <sup>-1</sup> ) | Potassium nitrate<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) |
| 10.2 <sup>d</sup>                      | 36.0 <sup>c</sup>            | Control                                | Control                                    |
| 21.7 <sup>c</sup>                      | 43.4 <sup>a</sup>            | 5                                      |                                            |
| 29.3 <sup>bc</sup>                     | 38.1 <sup>bc</sup>           | Control                                | 250                                        |
| 26.9 <sup>bc</sup>                     | 38.2 <sup>bc</sup>           | 5                                      |                                            |
| 48.9 <sup>a</sup>                      | 42.9 <sup>a</sup>            | Control                                | 500                                        |
| 36.7 <sup>b</sup>                      | 39.9 <sup>ab</sup>           | 5                                      |                                            |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد آزمون دانکن با یکدیگر

ندارند.

Means with similar letters in each trait are not significantly different (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).



جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی همیشه بهار تحت تأثیر نترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک.

**Table 7- ANOVA of marigold evaluation traits under the influence of potassium nitrate, sulfuric acid, and humic acid.**

| میانگین مربعات      |                    |                       |                        |                    | درجه  | منابع تغییرات                                                                                      |
|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mean squares        |                    |                       |                        |                    | آزادی | S.O.V                                                                                              |
| عملکرد روغن دانه    | کاروتنوئید برگ     | کلروفیل b             | کلروفیل a              | شاخص کلروفیل       | Df    |                                                                                                    |
| Seed oil yield      | Leaf carotenoids   | Chlorophyll b         | Chlorophyll a          | Chlorophyll Index  |       |                                                                                                    |
| 0.028*              | 0.63 <sup>ns</sup> | 0.00027 <sup>ns</sup> | 0.00008 <sup>ns</sup>  | 4.90 <sup>ns</sup> | 3     | تکرار<br>Replication                                                                               |
| 0.0003**            | 0.09 <sup>ns</sup> | 0.00012 <sup>ns</sup> | 0.00003 <sup>ns</sup>  | 0.36 <sup>ns</sup> | 2     | نترات پتاسیم<br>Potassium nitrate (KNO <sub>3</sub> )                                              |
| 15.8                | 0.37               | 0.00019               | 0.000058               | 4.26               | 6     | خطای کرت اصلی<br>Main plot error                                                                   |
| 7.34 <sup>ns</sup>  | 0.64 <sup>ns</sup> | 0.00003 <sup>ns</sup> | 0.000010 <sup>ns</sup> | 1.08 <sup>ns</sup> | 1     | اسیدسولفوریک<br>Sulfuric acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                                    |
| 104.8 <sup>ns</sup> | 0.05 <sup>ns</sup> | 0.00002 <sup>ns</sup> | 0.000006 <sup>ns</sup> | 0.82 <sup>ns</sup> | 1     | اسیدهیومیک<br>Humic acid (Ha)                                                                      |
| 365**               | 0.55 <sup>ns</sup> | 0.00004 <sup>ns</sup> | 0.000013 <sup>ns</sup> | 3.64 <sup>ns</sup> | 2     | نترات پتاسیم × اسیدسولفوریک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × KNO <sub>3</sub>                   |
| 227*                | 0.14 <sup>ns</sup> | 0.00128**             | 0.000393**             | 2.99 <sup>ns</sup> | 2     | نترات پتاسیم × اسیدهیومیک<br>KNO <sub>3</sub> × Ha                                                 |
| 225 <sup>ns</sup>   | 0.43 <sup>ns</sup> | 0.00062 <sup>ns</sup> | 0.000191 <sup>ns</sup> | 35.1**             | 1     | اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × Ha                                   |
| 174 <sup>ns</sup>   | 0.85 <sup>ns</sup> | 0.00013 <sup>ns</sup> | 0.000043 <sup>ns</sup> | 5.68 <sup>ns</sup> | 2     | نترات پتاسیم × اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> × KNO <sub>3</sub> × Ha |
| 60.6                | 0.58               | 0.00019               | 0.00006                | 2.30               | 27    | خطای کرت فرعی<br>Sub plot error                                                                    |
| 27.0                | 15.0               | 10.1                  | 10.1                   | 3.90               |       | ضریب تغییرات (%)<br>C.V (%)                                                                        |

<sup>ns</sup>, \*\*, \* به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

<sup>ns</sup>, \*\*, and \*: non-significant, significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively.

### نتیجه گیری

در این آزمایش مشخص شد کاربرد نترات پتاسیم به صورت جداگانه و یا همراه با اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک توانست بر بسیاری از صفات از جمله وزن تر و خشک بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن، شاخص برداشت دانه و محتوای کلروفیل برگ تأثیر گذارد. همچنین کاربرد اسیدسولفوریک به احتمال زیاد با اصلاح وضعیت خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر توانست اثرات مثبت و قابل توجهی به صورت جداگانه و در راستای کاربرد نترات پتاسیم و اسیدهیومیک بر صفاتی از جمله



وزن تر و خشک بوته، تعداد دانه در کاپیتول، شاخص کلروفیل و عملکرد روغن ایجاد کند. کاربرد اسیدسولفوریک برای مناطقی که به علت وجود خاک‌های آهکی با محدودیت کشت و یا کاهش عملکرد روبرو هستند از اهمیت بالاتری برخوردار است. کاربرد اسیدهیومیک به عنوان یک کود آلی احتمالاً ضمن بهبود ساختار و فعالیت ریزموجودات مفید خاک، موجب فراهمی مطلوب آب و عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف گردیده و این مسأله منجر به اثرات قابل توجهی در صفات مورد ارزیابی گل همیشه بهار گردید. کاربرد اسیدهیومیک با اثرات جداگانه و به صورت تلفیقی با سطوح تیمارهای مذکور توانست نقش به سزایی در صفاتی از جمله وزن تر و خشک بوته، عملکرد بذر، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و b ایفا کند.

### سپاس و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد است. نویسندگان مقاله سپاس خود را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به خاطر فراهم آوردن شرایط این پژوهش ابراز می دارند.

### منابع

- Abedini, T., Moradi, P., Hani, A. (2015). Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of pot marigold. *Journal of Novel Applied Sciences*, 4(10), 1100-1103.
- Arnon, D.I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In U.S. Gupta (Ed.), *Physiological Aspects of Dryland Farming* (pp. 3-14). Oxford Press.
- Asif, M., Safdar, M., Akhtar, N. F., Gul, S., Javed, M., Raza, N., Haq, I., Saleem, U., & Aslam, M. N. (2023). Sulfur application improves the yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(3), 912-925.
- Aya, H., Gulser, F. (2005). The Effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach (*Spinach oleracea* var. Spinoza). *Journal of Biological Sciences*, 5(6), 801-804. <https://doi.org/10.3923/jbs.2005.801.804>
- Berova, M., Karanatsidis, G., Sapundzhieva, K., Nikolova, V. (2010). Effect of organic fertilization on growth and yield of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Folia Horticulturae*, 22(1), 3-7. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0143>
- Boyhan, G.E. (2008). Sulfur, its role in onion production and related alliums. In J. Jez (Ed.), *Sulfur: A missing link between soils, crops and nutrition* (pp. 183). *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America*. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr50.c12>
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P., Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Cangi, R., Tarakcioglu, C., Yasar, H. (2006). Effect of humic acid applications on yield, fruit characteristics and nutrient uptake in ercis grape (*Vitis vinifera* L.) cultivar. *Asian Journal of Chemistry*, 18(2), 1493-1499.
- Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of n and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(2), 183-191. <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
- Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: A Survey. *Photosynthesis Research*, 79(3), 331-348. <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000017196.95499.11>
- Eghbal, B., Power, J.F. (1999). Composted and non-composted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal*, 91(5), 819-825. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.915819x>
- Farjami, A.A., Nabavi Kalat, S.M. (2014). Effect of humic acid and phosphorus on the quantity and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.) yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, 28(7), 443-452. <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcep/Article/956739>
- Gazim, Z.C., Rezende, C.M., Fraga, S.R., Dias Filho, B.P., Nakamura, C.V., Garcia Cortez, D.A. (2008). Analysis of the essential oils from *Calendula officinalis* Growing in brazil using three different extraction procedures. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 44(3), 391-395.



- Ghorbani, S., Khazaie, H.R., Kafi, M., Bannayan Aval, M. (2010). Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 2(1), 111-118. <https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7608>
- Gulser, F., Sonmez, F., Boysan, S. (2010). Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 873-876.
- Hartwigsen, J.A., Evans, M.R. (2000). Humic acid seed and substrate treatments promote seedling root development. *Horticultural Science*, 35(7), 1231-1233. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.7.1231>
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- Jabeen, N., Ahmad, A. (2011). Foliar application of potassium nitrate affects the growth and nitrate reductase activity in sunflower and safflower leaves under salinity. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 39(2), 172-178. <https://doi.org/10.15835/nbha3926064>
- Kalvatchev, Z., Walder, R., Garzaro, D. (1997). Anti-HIV activity of extracts from *Calendula officinalis* flowers. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 51(4), 176-180. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(97\)85587-4](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(97)85587-4)
- Kandil, H., Gad, N. (2012). Growth and oil production of canola as affected by different sulphur sources. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(5), 5196-5202.
- Karimizarchi, M., Aminuddin, H., Khanif, M.Y., Radziah, O. (2014). Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize (*zea mays* l.) response in a high ph soil of malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, 18, 75-86.
- Kheiri styar, H., Farahvash, F., Mirshekari, B., Khalilvand behruzyar, E., Tarinejad, A. (2019). The effect of thiobacillus and sulfur application on yield and some physiological traits in common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under water deficit. *Crop Physiology Journal*, 11(42), 17-33. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1398.11.42.2.9>
- Li, J., Liu, J., Zhu, T., Zhao, C., Li, L., Chen, M. (2019). The role of melatonin in salt stress responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 1735-1744. <https://doi.org/10.3390/ijms20071735>
- Maccarthy, P. (2001). The principles of humic substances. *Soil Science*, 166, 738-751.
- Mahiwal, S., Pandey, G.K. (2022). Potassium: a vital nutrient mediating stress tolerance in plants. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 31, 705-719. <https://doi.org/10.1007/s13562-022-00775-4>
- Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N., Zarchini, M. (2012). Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Annals of Biological Research*, 3(11), 5095-5098.
- Mosaad, I.S., Selim, E.M., Gaafar, D.E., Anoos, M.A. (2025). Effects of humic and fulvic acids on forage production and grain quality of triticale under various soil salinity levels. *Cereal Research Communications*, 53, 1811-1829. <https://doi.org/10.1007/s42976-024-00609-0>
- Muscolo, A., Sidari, M., Nardi, S. (2013). Humic substance: relationship between structure and activity. deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, 129, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.012>
- Passandideh, M., Mohajer Milani, P., Azizi Zohan, A.A. (2014). Effect of Sulfurous and Sulfuric Acids on Soil Properties and Growth of soybean. *Journal of Soil Research*, 28(2), 332-339. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2014.120357>
- Porim T.M. (1995). Palm Oil Research Institute of Malaysia (pp. 72-75, 40-42, 92-101, 33-36, 37-39, 64-65). Ministry of Primary Industry, Malaysia.
- Rafiq, J., Ahmad, M., Akhtar, M. F. U., Muhammad, S., Hussain, S., Naeem, M., Ali, M., Waqas, M., Aamer, M. (2022). Bio-diesel production of sunflower through sulphur management in a semi-arid subtropical environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 13268-13278. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16688-z>
- Sanei, S.J., Razavi, S.E. (2018). Effects of potassium nitrate on growth and photosynthetic pigments of basil under *Colletotrichum gloeosporioides* infection. *Horticultural Plants Nutrition*, 1(1), 49-58. <https://doi.org/10.22070/hpn.2018.454>
- Sedghi, M. (2020). Effect of phosphorus and potassium on the growth and yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1), 55-66. <https://doi.org/10.22034/csrar.2020.119142>



- Seifi, S., Souri, B. (2021). Modification of calcareous soil with sulfur to improve tomato yield and nutrition. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 12(3), 87-99. <https://doi.org/20.1001.1.20089082.1400.12.3.7.2>
- Sepehri, A., Mehranrad, T., Karami, A. (2015). Effect of planting date and plant density on yield, harvest index and calendic acid content of two varieties of marigold (*Calendula officinalis* L.) in Arak. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1), 1-12.
- Shah, K., Kumar, R.G., Verma, S., Dubey, R.S. (2001). Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science*, 161(6), 1135-1144. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00517-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00517-9)
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface, from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling and Behavior*, 5, 635-643. <https://dx.doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>
- Walters, D.R., Bingham, I.J. (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*, 151, 307-324.
- Zaman Khan, H., Asghar Malik, M., Farrukh Saleem, M., Aziz, I. (2004). Effect of different potassium fertilization levels on growth, seed yield and oil contents of Canola (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(3), 557-559.
- Zhang, X., Ervin, E.H. (2004). Cytokinin containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Science*, 44(5), 1737-1745. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>
- Zhao, I., Zhao, F., Jian, G., Ye, Y., Zhang, W., Li, J., Qi, F. (2013). Intensified *Alternaria* spot disease under potassium deficiency conditions results in acceleration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 241-248.
- Zhao, Q., Wu, Y., Gao, L., Ma, J., Li, C.Y., Xiang, C.B. (2014) Sulfur nutrient availability regulates root elongation by affecting root Indole-3-acetic acid levels and the stem cell niche. *J Integr Plant Biol.* 56, 1151-1163. [10.1111/jipb.12217](https://doi.org/10.1111/jipb.12217)







## Evaluation of foliar application of sulfuric acid, humic acid, and potassium nitrate on seed yield and some physiological indices of pot marigold (*Calendula officinalis* L.)

Parasto Nourelahi, Alireza Abdali Mashhadi, Ahmad Koochekzadeh\*, Mohamad Hossain Gharineh

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani

✉ [koochekzadeh@asnrukh.ac.ir](mailto:koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)

Received: 2026/04/25, Revised: 2026/05/16, Accepted: 2026/05/16

### Abstract

Marigold (*Calendula officinalis* L.) is an ornamental plant also valued for its medicinal compounds and seed oil. Nutrient uptake is restricted in calcareous soils, which have a high pH. Sulfuric acid increases the solubility of elements by reducing soil pH. Humic substances enhance plant performance by chelating nutrients and improving photosynthesis. Potassium is also effective through enzyme activation and stress mitigation. This study aimed to investigate the effects of potassium nitrate, sulfuric acid, and humic acid on the reproductive and some physiological indices of marigold. The experiment was conducted as a split-plot factorial arranged in a randomized complete block design with three factors and four replications at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. The factors were: potassium nitrate at three levels (control, 250, and 500 mg·kg<sup>-1</sup> soil), sulfuric acid at two levels (control and 5 L·ha<sup>-1</sup>), and humic acid at two levels (control and 16 kg·ha<sup>-1</sup>). The results showed that the highest plant dry weight (574 g·m<sup>-2</sup>), seed yield (343 g·m<sup>-2</sup>), and seed oil yield (49.9 g·m<sup>-2</sup>) were obtained with the combined application of 500 mg·kg<sup>-1</sup> potassium nitrate and 16 kg·ha<sup>-1</sup> humic acid, indicating their synergistic effect on nutrient uptake. The highest SPAD chlorophyll index (39.7) was observed under the combined treatment of sulfuric acid and humic acid. The three-way interaction of all factors increased plant fresh weight to 3791 g·m<sup>-2</sup>, confirming the pivotal role of humic acid in enhancing biomass. It is concluded that the integrated application of potassium nitrate, sulfuric acid, and humic acid improves soil conditions, nutrient uptake, and microbial activity, thereby enhancing the growth traits, seed yield, and oil yield of marigold.

**Keywords:** Calcareous soil, Harvest index, Seed, Soil pH.