گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۲): ۴۱۱-۴۲۴ (نسخه پیش انتشار)
مقاله پژوهشی

ارزیابی کاربرد اسیدسولفوریک، اسیدهیومیک و محلول‌پاشی نیترات‌پتاسیم بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل همیشه‌بهار

پرستو نورالهی، علیرضا ابدالی مشهدی، احمد کوچک‌زاده* و محمدحسین قرینه

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

koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

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

چکیده

گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی زینتی که به دلیل ترکیبات دارویی است و روغن دانه ارزشمند نیز شناخته می‌شود. در خاک‌های آهکی با pH بالا، جذب عناصر غذایی دشوار است. اسیدسولفوریک با کاهش pH خاک، حلالیت عناصر را افزایش می‌دهد. مواد هیومیک با کلات کردن عناصر و بهبود فتوسنتز، عملکرد گیاه را بالا می‌برند. پتاسیم نیز با فعال‌سازی آنزیم‌ها و کاهش تنش مؤثر است. هدف این مطالعه بررسی تأثیر نیترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر شاخص‌های زایشی و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک همیشه‌بهار بود. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد: نیترات پتاسیم در سه سطح (شاهد، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم 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 میلی‌گرم نیترات پتاسیم و ۱۶ کیلوگرم اسیدهیومیک حاصل شد که حاکی از اثر هم‌افزایی آن‌ها بر جذب مواد مغذی است. بالاترین شاخص کلروفیل (۳۹/۷) در تیمار ترکیبی اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک مشاهده گردید. برهمکنش سه‌گانه هر سه فاکتور، وزن تر گیاه را به ۳۷۹۱ گرم بر مترمربع رساند که نقش محوری اسیدهیومیک در افزایش زیست‌توده را تأیید می‌کند. به‌نظر می‌رسد که کاربرد توأم نیترات پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک با بهبود شرایط خاک مانند جذب عناصر و فعالیت میکروبی سبب افزایش صفات رشدی، عملکرد دانه و روغن گل همیشه‌بهار شد.

واژه‌های کلیدی: بذر، خاک آهکی، شاخص برداشت، pH خاک.

مقدمه

همیشه‌بهار[۱] گیاهی یک‌ساله تا چند ساله متعلق به خانواده کاسنی[۲] بوده و حاوی سسکوئی‌ترپن‌گلیکوزیدها[۳]، ساپونین‌ها[۴]، زانتوفیل‌ها[۵]، تریول‌تری‌ترپن‌ها[۶]، فلاونوئیدها[۷] و مواد فرار می‌باشد (Gazim *et al.*, 2008). گل این گیاه دارای مصارف خوراکی و صنعتی بوده و در داروسازی برای تهیه انواع کرم‌ها و لوسیون‌ها کاربرد دارد. دانه آن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد روغن دارد که

۱- *Calendula officinalis* L. ۲- Asteraceae ۳- Sesquiterpene glycosides ۴- Saponins ۵- Xanthophylls
۶- Triterpene triols ۷- Flavonoids

این نوع روغن دارای حدود ۴۵ تا ۶۰ درصد اسید کالندیک[۱] می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که عصاره آلی گل‌های همیشه‌هار دارای فعالیت ضد ویروس ایدز می‌باشد (Kalvatchev *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 توأم 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 کارآیی 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 نیترات پتاسیم وزن خشک اندام هوایی و کلروفیل کل را در ریحان افزایش داد (Sanei & Razavi, 2018). همچنین پژوهشگران دریافتند که مصرف پتاسیم، عملکرد 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

۱- Calendic acid

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 به‌ترتیب ۳۳ و ۱۴/۶ درجه سلسیوس و دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. ویژگی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ 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) به‌عنوان فاکتورهای فرعی و فاکتور نیترات‌پتاسیم در سه سطح (شاهد، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) (Jabeen & Ahmad, 2011) به‌عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. نیترات‌پتاسیم در دو مرحله از رشد گیاه بر روی گیاه محلول‌پاشی شد. تیمار اسیدسولفوریک به‌صورت خاک‌کاربرد قبل از کشت به‌صورت محلول در آب و همچنین گرانول اسیدهیومیک (از منبع سوپر هیومات شرکت زیست فناور 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 ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع بود. بذرهای جمع‌آوری شده از محوطه‌ی فضای سبز دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در تاریخ پنج آذر کشت گردید. در طی مراحل رشد کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام، و آبیاری به فاصله هر هفت روز و به‌روش 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 زیست‌توده کل گیاه (Sepehri *et al.*, 2015))، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و b، کاروتنوئید برگ و عملکرد روغن دانه اندازه‌گیری شد. کلروفیل a و b به روش آرنون (Arnon, 1975) در ۵۰ درصد گلدهی و اندازه‌گیری عملکرد روغن دانه به روش پوریم (Porim, 1995) پس از رسیدگی کامل دانه‌ها (برداشت نهایی) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته‌ها آن‌ها را در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده و پس از خشک شدن، وزن گردیدند. در پایان تجزیه آماری مربوط به طرح با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of experimental farm soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	مواد آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (%)	فسفر قابل جذب $P_{ava.}$ ($mg.\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب $K_{ava.}$ ($mg.kg^{-1}$)	بافت Texture
0-30	3.1	7.9	o.89	0.05	9.3	143	Silty clay

نتایج و بحث

وزن تر بوته: بررسی برهمکنش نیترات‌پتاسیم، اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک (جدول ۲) نشان داد که بالاترین وزن تر بوته (۳۷۹۱ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار ترکیبی ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم همراه با کاربرد همزمان اسیدهیومیک و

اسیدسولفوریک بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین میزان وزن تر بوته (۱۵۷۵ گرم در مترمربع) در تیمار شاهد نیترات‌پتاسیم، شاهد اسیدسولفوریک و کاربرد اسیدهیومیک مشاهده شد. در توجیه مکانیسم این نتایج می‌توان گفت که افزایش وزن تر بوته ناشی از اثر هم‌افزایی سه ترکیب به کاررفته است. نیترات‌پتاسیم به‌عنوان یک عنصر اسمزی تنظیم‌کننده، فشار تورژسانس سلول‌ها را افزایش داده و باز و بسته شدن روزنه‌ها را تنظیم می‌کند که منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه و در نتیجه افزایش وزن تر می‌شود (Jabeen & Ahmad, 2011). همچنین نیترات به عنوان منبع نیتروژن، سنتز پروتئین و توسعه سیتوپلاسم را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، اسیدسولفوریک در خاک‌های آهکی با pH بالا، با کاهش pH ریزوسفر، حلالیت عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس و فسفر را افزایش می‌دهد. این عناصر در فرآیندهای متابولیکی و فتوسنتزی نقش دارند و بهبود جذب آن‌ها سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه وزن تر می‌گردد (Passandideh *et al*., 2014; Seifi & Souri, 2021). اسیدهیومیک نیز به دلیل داشتن گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل، قادر به کلاته کردن یون‌های فلزی است. این عمل ضمن افزایش قابلیت جذب عناصر توسط ریشه، نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه را بهبود بخشیده و انتقال مواد غذایی را تسهیل می‌کند (Li *et al*., 2019). همچنین اسیدهیومیک با تحریک رشد ریشه‌های مویین، سطح جذب را افزایش داده و در نتیجه وزن تر بوته را بالا می‌برد (Maccarthy, 2001). در تیمار شاهد (بدون نیترات پتاسیم و اسیدسولفوریک) به نظر می‌رسد اسیدهیومیک به تنهایی نتوانسته است نقش مؤثری در افزایش وزن تر ایفا کند، زیرا در غیاب اسیدسولفوریک، pH خاک بالا باقی مانده و حلالیت عناصر محدود است؛ همچنین بدون نیترات پتاسیم، تنظیم اسمزی بهینه صورت نمی‌گیرد. اما در حضور همزمان نیترات پتاسیم و اسیدسولفوریک، اسیدهیومیک اثرات آن‌ها را تشدید کرده و شرایط ایده‌آلی برای جذب آب و عناصر فراهم می‌آورد. این یافته با گزارش Li و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد توأم اسیدهیومیک و اصلاح‌کننده‌های شیمیایی همسو است.

وزن خشک بوته: نتایج مربوط به وزن خشک بوته نشان داد که برهمکنش نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک معنی‌دار است (جدول ۳). بر اساس داده‌های جدول ۴، بیشترین وزن خشک بوته (۵۷۴ گرم در مترمربع) در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم همراه با کاربرد اسیدهیومیک حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم به همراه اسیدهیومیک نداشت. کمترین وزن خشک بوته (۳۴۷ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار شاهد نیترات‌پتاسیم با کاربرد اسیدهیومیک بود. در توجیه مکانیسم این اثر می‌توان گفت نیترات‌پتاسیم از یک سو با تأمین پتاسیم به عنوان فعال‌کننده آنزیم‌های کلیدی در مسیر فتوسنتز و سنتز پروتئین، و از سوی دیگر با تأمین نیتروژن مورد نیاز برای ساخت اسیدهای آمینه و پروتئین‌های ساختاری، زمینه افزایش زیست‌توده را فراهم می‌کند. اسیدهیومیک نیز با داشتن گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل، عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی را کلاته کرده و جذب آن‌ها را از طریق ریشه تسهیل می‌نماید. این عناصر به نوبه خود در تشکیل کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش دارند و افزایش آن‌ها منجر به تولید مواد آلی خشک بیشتری می‌شود. همچنین اسیدهیومیک با تحریک رشد ریشه‌های مویین، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب آب و عناصر را بهبود می‌بخشد که نتیجه نهایی آن افزایش وزن خشک اندام هوایی است (Gulser *et al*., 2010; Mohammadipour *et al*., 2012). در تیمار شاهد که نیترات‌پتاسیم 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 معنی‌دار است. بر اساس مشاهدات جدول ۵، بیشترین وزن خشک بوته (۵۴۰ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد همزمان اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین وزن خشک بوته (۳۶۰ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار شاهد اسیدهیومیک با کاربرد اسیدسولفوریک بود که اختلاف معنی‌داری با حالت عدم کاربرد همزمان نداشت. در تبیین مکانیسم این یافته می‌توان گفت اسیدسولفوریک در خاک‌های آهکی با pH بالا، طی واکنش با کربنات کلسیم، pH ریزوسفر را کاهش می‌دهد. این کاهش pH باعث افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرفی نظیر آهن، روی، مس و فسفر می‌شود که معمولاً در pH بالا به شکل نامحلول رسوب کرده‌اند (Seifi & Souri, 2021). از طرفی اسیدهیومیک با ایجاد کمپلکس‌های پایدار با این یون‌های فلزی، از رسوب مجدد آن‌ها جلوگیری کرده و جذب آن‌ها را توسط ریشه تسهیل می‌کند. بنابراین کاربرد همزمان اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک یک اثر هم‌افزایی ایجاد می‌کند. اسیدسولفوریک حلالیت عناصر را افزایش می‌دهد و اسیدهیومیک عناصر حل‌شده را در دسترس ریشه نگه داشته و انتقال آن‌ها را به اندام هوایی بهبود می‌بخشد. این امر منجر به افزایش فتوسنتز، رشد رویشی و در نهایت وزن خشک بوته می‌گردد. در تیماری که اسیدهیومیک مصرف نشده بود، علی‌رغم کاهش pH توسط اسیدسولفوریک، عدم حضور ماده کلاته‌کننده باعث شد بخشی از عناصر دوباره تثبیت یا از دسترس گیاه خارج شوند و بنابراین افزایش وزن خشک چشم‌گیر نبود.

تعداد دانه در کاپیتول: با بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) مشخص شد بیشترین تعداد دانه در کاپیتول با میانگین ۳۸ در شرایطی به‌دست آمد که از تیمار نیترات‌پتاسیم شاهد، اسیدسولفوریک شاهد و کاربرد تیمار اسیدهیومیک، استفاده شد و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح داشت. کمترین تعداد دانه در کاپیتول با میانگین ۲۷، با کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم، کاربرد اسیدهیومیک و اسیدسولفوریک شاهد حاصل شد. احتمال دارد در این شرایط کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک اثر یکدیگر را تحت الشعاع قرار دهند. لازم به ذکر است که کلیه تیمارهای محلول‌پاشی پیش از مرحله گلدهی اعمال شدند، بنابراین احتمال اثر مستقیم بر فرآیند گرده‌افشانی وجود ندارد. کاهش تعداد دانه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم 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 هورمون‌های رشد رویشی به زایشی می‌باشد. این یافته با گزارش‌های قبلی مبنی بر تأثیر منفی غلظت‌های بالای نمک‌های شیمیایی بر فرآیندهای فیزیولوژیک غیر از گرده‌افشانی همسو است. در پژوهشی نشان داده شد که با مصرف اسیدهیومیک، تولید دانه در تریتیکاله افزایش یافت (Mosaad *et al*., 2025).

عملکرد دانه: با مشاهده‌ی جدول مقایسه میانگین‌ها برهمکنش نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک (جدول ۴) مشخص شد بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک با میانگین ۳۴۳ گرم در مترمربع حاصل گردید. با بررسی داده‌ها، می‌توان به اثر هم‌افزایی تیمارهای نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک اشاره کرد. به این صورت که با افزایش غلظت نیترات‌پتاسیم اثر اسیدهیومیک نیز در افزایش عملکرد دانه بیش‌تر 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 غلظت۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم بود. هر چند از این نظر اختلاف معنی‌داری با عدم کاربرد تیمار نیترات‌پتاسیم 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 نیترات‌پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر وزن تر بوته و تعداد دانه در کاپیتول گل همیشه‌بهار

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

تعداد دانه در کاپیتول Seeds No. in the capitol	وزن تر بوته Plant Fresh weight ($g.m^{-2}$)	اسیدسولفوریک Sulfuric acid ($L.ha^{-1}$)	اسیدهیومیک Humic acid ($kg.ha^{-1}$)	نیترات‌پتاسیم Potassium nitrate ($mg.L^{-1}$)
31.0^{c}	1718de	Control	Control	Control
34.2^{bc}	1900de	5		
38.6^{a}	1575^{e}	Control	16	
31.9^{bc}	1852de	5		
34.8^{ab}	2626^{bc}	Control	Control	250
33.0^{bc}	3023^{b}	5		
34.2^{bc}	3027^{b}	Control	16	
31.6^{bc}	3159^{b}	5		
30.5^{cd}	2179^{cd}	Control	Control	500
32.6^{bc}	2032^{cde}	5		
27.0^{d}	2281^{cd}	Control	16	
35.5^{ab}	3791^{a}	5		

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

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

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 نیترات‌پتاسیم به‌همراه شاهد اسیدهیومیک به‌دست 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 نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک بود.

شاخص برداشت دانه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد برهمکنش نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک بر شاخص برداشت دانه معنی‌دار بود. با تحلیل داده‌ها (جدول ۴) مشخص گردید بیشترین میزان شاخص برداشت دانه با میانگین ۴۲/۴ درصد با مصرف اسیدهیویک و بدون حضور نیترات‌پتاسیم به‌دست 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک حاصل گردید و از این نظر اختلاف معنی‌داری با کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک نداشت. در مجموع نتایج به‌دست آمده نشان داد کاربرد نیترات‌پتاسیم 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک بر شاخص برداشت دانه معنی‌دار است. با بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) مشخص شد بیشترین میزان شاخص برداشت دانه با میانگین ۴۳/۴ درصد از تیمار شاهد نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدسولفوریک حاصل گردید و از این نظر اختلاف معنی‌داری با کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و عدم کاربرد اسیدسولفوریک نداشت. با بررسی داده‌ها می‌توان اظهار داشت که عامل اسیدسولفوریک در صورت عدم کاربرد نیترات‌پتاسیم 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک به‌دست آمد و از این نظر اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تیمارها داشت. افزایش شاخص برداشت دانه در تیمار کاربرد اسید سولفوریک (بدون مصرف نیترات‌پتاسیم) را می‌توان به نقش کلیدی گوگرد در فرآیندهای فیزیولوژیک نسبت داد. گوگرد جزئی از آمینواسیدهای سیستئین و متیونین است که برای سنتز پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه ضروری می‌باشند (Droux, 2004). همچنین گوگرد با تنظیم سطح اکسین و حفظ مریستم 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 مواد فتوسنتزی به دانه (شاخص برداشت) را افزایش می‌دهد. این یافته با گزارش‌های قبلی مبنی بر افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در پاسخ به مصرف گوگرد همسو است (Rafiq *et al*., 2022; Asif *et al*., 2023).

شاخص کلروفیل: نتایج به‌دست 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 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 به‌دست آمد. نتایج این آزمایش حاکی از آن است که اسیدسولفوریک در صورتی می‌تواند تأثیر خود را در افزایش شاخص کلروفیل اعمال کند که همراه با کاربرد اسیدهیومیک باشد و نتیجه این مشاهده به معنی تأثیر مثبت استفاده‌ی هم‌زمان دو تیمار مذکور در افزایش شاخص کلروفیل است.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گل همیشه‌بهار تحت تأثیر نیترات‌پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک

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

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares					
		وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد دانه در کاپیتول Number of seeds in the capitol	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight	شاخص برداشت دانه Seed harvest index
تکرار Replication	3	131447 ns	1818 ns	3.47ns	5733 ns	0.52 ns	3.38 ns
نیترات‌پتاسیم Potassium nitrate (KNO_3)	2	3305018**	43108**	19.2 ns	17482 ns	0.05ns	31.4 *
خطای کرت اصلی Main plot error	6	131447	931	6.58	6415	0.37	6.41
اسیدسولفوریک Sulfuric acid (H_2SO_4)	1	224616**	5689 ns	1.54 ns	6597 ns	2.49 ns	20.0 ns
اسیدهیومیک Humic acid (Ha)	1	1164754**	58060**	1.69 ns	37781 **	1.88 ns	13.7 ns
نیترات‌پتاسیم × اسیدسولفوریک $H_2SO_4 \times KNO_3$	2	1026937 ns	1148 ns	51.7**	7101 ns	1.25 ns	83.6 **
نیترات‌پتاسیم × اسیدهیومیک $KNO_3 \times Ha$	2	175591**	25815**	10.5 ns	16326 **	4.54 **	41.1 *
اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک $H_2SO_4 \times Ha$	1	713051 ns	54932**	4.47 ns	17.5 ns	1.13 ns	5.05 ns
نیترات‌پتاسیم × اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک $H_2SO_4 \times KNO_3 \times Ha$	2	480250**	1349 ns	49.0**	1977 ns	0.37 ns	12.5 ns
خطای کرت فرعی Sub plot error	27	117356	3380	5.80	2255	0.70	8.92
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		13.7	13.1	7.39	16.6	5.48	7.51

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک بر محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۲۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کلروفیل b (۱/۲۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد نیترات‌پتاسیم همراه با کاربرد اسیدهیومیک مشاهده شد، اگرچه این مقادیر با تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات‌پتاسیم بدون اسیدهیومیک اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در مقابل، کمترین مقادیر کلروفیل a (۱/۹۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کلروفیل b (۱/۰۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد هر دو ماده (عدم کاربرد نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک) حاصل گردید. یافته‌های فوق نشان می‌دهد که حضور حداقل یکی از دو عامل (اسیدهیومیک یا غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات‌پتاسیم) 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 معنی‌دار کلروفیل a و b می‌گردد. از سوی دیگر، کاربرد همزمان نیترات‌پتاسیم در غلظت بالاتر (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یا همراهی اسید هیومیک با نیترات، تأثیر افزایشی قابل توجهی فراتر از سطح حاصل از هر یک به‌تنهایی 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 نشان‌دهنده‌ی تأثیر معنادار کود آلی اسیدهیومیک بر میزان کاروتنوئید برگ همیشه‌بهار نبود.

عملکرد روغن دانه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد برهمکنش نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد افزایش غلظت نیترات‌پتاسیم به‌همراه کاربرد اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد روغن شد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن با میانگین ۴۹/۹ گرم در مترمربع با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک حاصل گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تیمارها دارد. در این پژوهش کمترین عملکرد روغن با میانگین ۱۳/۳ گرم در مترمربع و با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر سطوح تیمارهای مربوط به عدم کاربرد نیترات‌پتاسیم و کاربرد اسیدهیومیک بود. به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد روغن با مصرف نیترات‌پتاسیم 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۷). بررسی نتایج نشان داد در سطوح شاهد اسیدسولفوریک با افزایش غلظت نیترات‌پتاسیم از شاهد تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، عملکرد روغن در واحد سطح یک روند افزایشی داشت. به‌طوری‌که در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات‌پتاسیم و عدم کاربرد اسیدسولفوریک، بیشترین عملکرد روغن با میانگین ۴۸/۹ گرم در مترمربع بود (جدول ۶). کمترین عملکرد روغن با اختلاف معنی‌دار با سایر سطوح تیمارها و با میانگین ۱۰/۲ گرم در مترمربع مربوط به تیمار عدم کاربرد هم‌زمان نیترات‌پتاسیم 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 نیترات‌پتاسیم و اسیدهیومیک بر عملکرد دانه و برخی صفات در گل همیشه‌بهار

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

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

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

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

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک بر وزن خشک بوته و شاخص کلروفیل در گل همیشه‌بهار

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

اسیدسولفوریک Sulfuric acid ($L.ha^{-1}$)	اسیدهیومیک Humic acid ($kg.ha^{-1}$)	وزن خشک بوته Plant dry weight ($g.m^{-2}$)	شاخص کلروفیل Chlorophyll Index (SPAD)
Control	Control	416^{b}	39.7^{a}
	16	423^{b}	37.7^{b}
5	Control	360^{b}	38.3^{b}
	16	540^{a}	39.7^{a}

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

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

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش نیترات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک بر شاخص برداشت و عملکرد روغن دانه در گل همیشه‌بهار

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

نیترات‌پتاسیم Potassium nitrate ($mg.L^{-1}$)	اسیدسولفوریک Sulfuric acid ($L.ha^{-1}$)	شاخص برداشت دانه Seed harvest index (%)	عملکرد روغن دانه Seed oil yield ($g.m^{-2}$)
Control	Control	36.0^{c}	10.2^{d}
	5	43.4^{a}	21.7^{c}
250	Control	38.1^{bc}	29.3^{bc}
	5	38.2^{bc}	26.9^{bc}
500	Control	42.9^{a}	48.9^{a}
	5	39.9^{ab}	36.7^{b}

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

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

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گل همیشه‌بهار تحت تأثیر نیترات‌پتاسیم، اسیدسولفوریک و اسیدهیومیک

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

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares				
		شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید برگ Leaf carotenoids	عملکرد روغن دانه Seed oil yield
تکرار Replication	3	4.90 ns	0.00008 ns	0.00027 ns	0.63 ns	0.028*
نیترات‌پتاسیم Potassium nitrate (KNO_3)	2	0.36 ns	0.00003 ns	0.00012 ns	0.09 ns	0.0003**
خطای کرت اصلی Main plot error	6	4.26	0.000058	0.00019	0.37	15.8
اسیدسولفوریک Sulfuric acid (H_2SO_4)	1	1.08 ns	0.000010 ns	0.00003 ns	0.64 ns	7.34 ns
اسیدهیومیک Humic acid (Ha)	1	0.82 ns	0.000006 ns	0.00002 ns	0.05 ns	104.8 ns
نیترات‌پتاسیم × اسیدسولفوریک $H_2SO_4 \times KNO_3$	2	3.64 ns	0.000013 ns	0.00004 ns	0.55 ns	365**
نیترات‌پتاسیم × اسیدهیومیک $KNO_3 \times Ha$	2	2.99 ns	0.000393**	0.00128**	0.14 ns	227*
اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک $H_2SO_4 \times Ha$	1	35.1**	0.000191 ns	0.00062 ns	0.43 ns	225 ns
نیترات‌پتاسیم × اسیدسولفوریک × اسیدهیومیک $H_2SO_4 \times KNO_3 \times Ha$	2	5.68 ns	0.000043 ns	0.00013 ns	0.85 ns	174 ns
خطای کرت فرعی Sub plot error	27	2.30	0.00006	0.00019	0.58	60.6
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		3.90	10.1	10.1	15.0	27.0

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش مشخص شد کاربرد نیترات‌پتاسیم به‌صورت 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 به‌صورت جداگانه و در راستای کاربرد نیترات‌پتاسیم 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 به‌عنوان یک کود آلی احتمالاً ضمن بهبود ساختار و فعالیت ریزموجودات مفید خاک، موجب فراهمی مطلوب آب و عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف گردیده و این مسأله منجر به اثرات قابل توجهی در صفات مورد ارزیابی گل همیشه‌بهار گردید. کاربرد اسیدهیومیک با اثرات جداگانه و به‌صورت تلفیقی با سطوح تیمارهای مذکور توانست نقش به‌سزایی در صفاتی از جمله وزن تر و خشک بوته، عملکرد بذر، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و b ایفا کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. نویسندگان مقاله تشکر خود را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به خاطر فراهم آوردن شرایط این پژوهش ابراز می‌دارند.

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 Dry land 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

Bamshad, R., Sirousmehr, A.R., Mahmoodi, A., Heydarisadegh, N. (2022). Effect of Spraying Various Levels of Humic Acid on Some Morphophysiological and Biochemical Properties of Purslane (*Portulaca oleracea*) Affected by Drought Stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(3), 669-680. https://doi.org/10.22077/escs.2021.3977.1947

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., Desiberio, 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

Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: a survey. *Photosynthesis Research*, *79*(3), 331–348.

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.

Haghighi, B., Karimi, Moradi, H. (2023). Investigating the effect of humic acid on the morphological and physiological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, *12*(57), 285-298. https://doi.org/10.22034/12.57.285

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

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 of 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

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

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(2): 411-424 (In Press)
Research article

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, Iran
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. In calcareous soils with high pH, nutrient uptake is restricted. 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 $mg \cdot kg^{-1}$ soil), sulfuric acid at two levels (control and 5 $L \cdot ha^{-1}$), and humic acid at two levels (control and 16 $kg \cdot ha^{-1}$). The results showed that the highest plant dry weight (574 $g \cdot m^{-2}$), seed yield (343 $g \cdot m^{-2}$), and seed oil yield (49.9 $g \cdot m^{-2}$) were obtained with the combined application of 500 $mg \cdot kg^{-1}$ potassium nitrate and 16 $kg \cdot ha^{-1}$ 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 $g \cdot m^{-2}$, 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