نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷٤، مهر و آبان ۱٤۰۵ صفحه: ۲۰۱-۲۱٤
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.201

مقاله پژوهشی

بررسی اثر اسید هیومیک بر برخی خصوصیات رشدی و فعالیت آنزیمی یاس کریسا (*Carissa macrocarpa*) تحت‌تنش شوری

شهره صفاپور[۱]، علیرضا لادن مقدم[۲]، مهناز کریمی[۳*] و مهدی مهام[٤]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی‌آباد کتول، ا علی‌آباد کتول، یران
[۲] گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، گرمسار، ایران
[۳] گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
٤ گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی‌آباد کتول، علی‌آباد کتول، ایران

چکیده

تنش شوری یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود و می‌تواند تأثیرات منفی عمده‌ای بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان داشته باشد. در میان درختچه‌های زینتی یاس کریسا، یکی از محبوب‌ترین گیاهان در معماری منظر محسوب می‌شود. در این پژوهش، تأثیر سطوح مختلف شوری (صفر، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) و کاربرد اسید هیومیک (صفر، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر) بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیک گیاه یاس کریسا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری تا ۱۲۰ میلی‌مولار، صفات رشدی شامل ارتفاع و تعداد برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، که با افزایش شدید نشت یونی (بیش از سه برابر نسبت به شاهد) و تجمع سدیم همراه بود. کاربرد اسید هیومیک به‌ویژه در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر با بهبود تعادل یونی (کاهش تجمع سدیم و حفظ پتاسیم) و حفظ محتوای کلروفیل، نقش مؤثری در کاهش اثرات مخرب شوری ایفا نمود. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) با افزایش شدت شوری مختل شد، اما کاربرد اسید هیومیک با تقویت این آنزیم‌ها (از جمله افزایش ۱۱/۲۰ درصدی فعالیت SOD در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار)، پایداری غشاء سلولی و رشد گیاه را بهبود بخشید. در مجموع، کاربرد اسید هیومیک به‌عنوان یک راهکار مدیریتی جهت افزایش تحمل یاس کریسا در شرایط تنش شوری قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پتانسیل اسمزی، رشد گیاه، کلروفیل، نشت یونی

مقدمه

در میان درختچه‌های زینتی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، گیاه یاس کریسا (*Carissa macrocarpa*)، به‌دلیل دارابودن

دریافت مقاله: ۱٤۰۵/۰۳/۱۲، بازنگری: ۱٤۰۵/۰٤/۱۳، پذیرش: ۱٤۰۵/۰٤/۳۰، اولین انتشار: ۱٤۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: karimi@sanru.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱٤۰۳ ©
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

ویژگی‌های بصری منحصربه‌فرد، یکی از محبوب‌ترین گزینه‌ها در معماری منظر مدرن محسوب می‌شود. این گیاه همیشه‌سبز با برگ‌های متراکم، چرمی و براق به رنگ سبز تیره، تضاد رنگی بسیار جذابی را با گل‌های سفید ستاره‌ای شکل و معطر خود ایجاد می‌کند (Moodley *et al*., 2015). عطر دل‌انگیز گل‌های این گیاه، در کنار دوره گلدهی طولانی، ارزش اکولوژیک و تفرجی آن را در فضاهای سبز شهری دوچندان کرده است (Souilem *et al*., 2019).

شوری خاک و آب به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست‌ویکم، امنیت غذایی جهانی و کشاورزی پایدار را به‌شدت تهدید می‌کند. برآوردهای اخیر نشان می‌دهد که بیش از ۲۰ درصد از کل اراضی زیر کشت و نزدیک به ۳۳ درصد از زمین‌های آبی جهان تحت‌تأثیر شوری قرار دارند؛ پدیده‌ای که به‌دلیل تغییرات اقلیمی، بالا آمدن سطح آب‌های آزاد و شیوه‌های ناپایدار آبیاری تشدید شده است (Hassani *et al*., 2021). اثرات بازدارنده تنش شوری بر گیاهان در دو فاز متمایز رخ می‌دهد: فاز اسمزی (سریع) و فاز سمیت یونی (کندتر اما مخرب‌تر) در ابتدا، غلظت بالای نمک‌ها به‌ویژه کلرید سدیم (NaCl) در محلول خاک، پتانسیل اسمزی را کاهش داده و توانایی ریشه برای جذب آب را مختل می‌کند. این خشکی فیزیولوژیک منجر به کاهش فوری گسترش سلولی و هدایت روزنه‌ای می‌گردد (Munns and Gilliham, 2022). در مرحله بعد، انباشت بیش از حد یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی باعث ایجاد سمیت یونی شده که فرآیندهای متابولیک ضروری را مختل کرده، منجر به پیری زودرس برگ‌ها شده و در جذب عناصر غذایی حیاتی مانند پتاسیم و کلسیم اختلال ایجاد می‌کند (Parihar *et al*., 2022; Zhao *et al*., 2020). در پژوهشی روی گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*) تنش شوری به‌طور قابل توجهی رشد مورفولوژیک، عملکرد فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه را کاهش داد (Karimi *et al*., 2026).

به‌منظور مقابله با این اثرات سوء، استفاده از محرک‌های زیستی آلی، به‌ویژه اسید هیومیک به‌عنوان یک راهکار پایدار در مدیریت خاک‌های متأثر از شوری مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد خارجی اسید هیومیک از طریق بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تسهیل کلاته‌سازی عناصر ریزمغذی، تحمل گیاه به شوری را افزایش می‌دهد (Canellas *et al*., 2020). علاوه‌براین، اسید هیومیک با حفظ تعادل یونی و نسبت مطلوب و همچنین تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، از دستگاه فتوسنتزی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری محافظت می‌کند (Nardi *et al*., 2021). در پژوهشی روی گیاه دایکوندرا (*Dichondra repens*) محتوای کلروفیل در شرایط غیرشور به ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک واکنش مثبت نشان داد. این ماده در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نشت الکترولیت را در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داد (Bazaz *et al*., 2026).

با توجه به اهمیت زینتی گیاه یاس کریسا در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با چالش شوری خاک مواجه هستند، این امر نیازمند مدیریت تنش شوری دقیق در این گیاه است. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی یاس کریسا در شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شوری و اسید هیومیک در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای روزانه ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد انجام شد. بذرهای یاس کریسا از نهالستان مانا گیاه واقع در شهر ساری، استان مازندران تهیه شدند. بذرها ابتدا در سینی‌های نشاء حاوی پیت‌ماس و پرلیت (نسبت ۲:۱) کاشته شدند. پس از سه ماه، هنگامی که گیاهان تقریباً به ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر رسیدند و شش تا هشت برگ واقعی داشتند، مستقیماً به گلدان‌های با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر منتقل شدند. برای جلوگیری از شوک ناشی از جابجایی، گلدان‌ها به‌مدت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

یک هفته بدون هیچ گونه تیماری در گلخانه نگهداری شدند. محیط کشت شامل مخلوطی از خاک لوم، کمپوست و سبوس برنج با نسبت حجمی ۲:۱:۱ (لوم: کمپوست: سبوس برنج) بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه بستر کشت (قبل از اعمال تیمار شوری) شامل بافت لومی، رسانایی الکتریکی (EC) کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر متر، با اسیدیته۷ تا ۷/۵ (خنثی تا کمی قلیایی) و میزان ماده آلی تقریباً ۳ تا ٤ درصد بود. اسید هیومیک در سطوح صفر، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر در نظر گرفته شد.

اولین مرحله تیمار اسید هیومیک دو هفته قبل از شروع تنش شوری به روش کود آبیاری پای بوته اعمال گردید. کاربرد اسید هیومیک مطابق با برنامه زمان‌بندی در طول دوره آزمایش به‌صورت دو هفته یکبار تداوم یافت. تنش شوری در چهار سطح صفر (شاهد)، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با استفاده از نمک کلرید سدیم (NaCl) چهار بار و با فواصل هفت روز اعمال شد. جهت جلوگیری از شوک اسمزی، تمامی تیمار شوری ابتدا با غلظت ٤۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم اعمال شد. پس از پایان دوره اعمال تیمارها اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انجام شد. جهت انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، نمونه‌برداری از برگ‌های توسعه‌یافته و جوان (سومین یا چهارمین برگ از انتهای شاخه) انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری‌شده گیاه شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، کلروفیل کل، فعالیت آنزیم کاتالاز و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، نشت یونی، عناصر سدیم و پتاسیم بود. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش و تعداد برگ با شمارش محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری کلروفیل نیم گرم برگ تازه گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ سائیده و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ ٦۰۰۰ دور در دقیقه، به‌وسیله اسپکتروفتومتر WPA biowaveII (UV-Vis spectrophotometer (Cambridge, UK) در طول موج‌های ٦٤٥، ٤۷۰ و ٦٦۳ نانومتر خوانده شد (Arnon, 1994). برای تهیه عصاره آنزیمی مقدار ۰/۱ گرم برگ پودر شده در ازت مایع با مقدار ۱۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (pH ۷/۵) همگن شد سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه با نیروی g ۱۲۰۰۰ در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس عصاره تهیه‌شده برای تعیین میزان پروتئین و فعالیت آنزیمی استفاده گردید (Mishra and Shukla, 2020). مقدار ٤۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۹٦۰ میکرولیتر معرف بردفورد ترکیب و پس از ۲۰ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۵ نانومتر ثبت شد. منحنی استاندارد با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) رسم گردید. از این پارامتر جهت تصحیح میزان فعالیت آنزیمی استفاده گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ثبت کاهش جذب در ۲٤۰ نانومتر بررسی شد (Aebi, 1984). اساس برآورد آنزیم SOD میزان مهار واکنش رادیکال سوپراکسید با نیتروبلوتترازولیوم (NBT) به‌واسطه فعالیت آنزیم بود (Beauchamp and Fridovich, 1971).

نشت یونی با استفاده از روش Zhang و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه شد. پس از تهیه نمونه‌های برگ از هر تیمار و شستشو با آب‌مقطر، نمونه‌ها به‌همراه ۲۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس مقدار نشت یونی توسط دستگاه هدایت‌سنج دیجیتال مدل GLP 31 ساخت شرکت کریسون (Crison Instruments)، اسپانیا خوانده گردید. در ابتدا عدد (EC1)خوانده شد سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه به حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از خنک‌شدن مجدداً نشت یونی ثبت شد (EC2) و براساس رابطه زیر محاسبه گردید.

نشت یونی = (EC1 / EC2)×100

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سدیم و پتاسیم، نمونه‌های برگ در دمای ۸۰ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت خشک گردیده و به‌صورت پودر درآمدند. پس از تهیه عصاره، پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (BWB کشور انگلستان) بررسی گردید (Wahing *et al.*, 1989). تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر متقابل شوری و اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد، نشت یونی در سطح احتمال پنج درصد و کلروفیل کل تحت‌تأثیر اثر ساده شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل 1A)، با افزایش سطوح تنش شوری، روند کاهشی مشخصی در ارتفاع گیاه یاس کریسا مشاهده شد. بیشترین میزان ارتفاع گیاه به مقدار ۵۲/۳ سانتی‌متر با افزایش ۱۱/۲۷ درصدی نسبت به شاهد در شرایط مصرف ۱۰ گرم بر لیتر اسید هیومیک بدون شوری به‌دست آمد. در مقابل، کمترین ارتفاع گیاه با میانگین ۲۸/۰۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم مصرف اسید هیومیک بود.

کاهش ارتفاع گیاه یاس کریسا در پاسخ به افزایش غلظت کلرید سدیم، نشان‌دهنده حساسیت فرآیندهای توسعه سلولی این گیاه به پتانسیل‌های اسمزی پایین و سمیت یونی است. در فاز اولیه تنش شوری (فاز اسمزی)، کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه منجر به کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های مریستمی شده که نتیجه آن توقف طویل‌شدن سلول و در نهایت کاهش رشد طولی ساقه است. در شرایط شور رشد، تقسیم و انبساط سلولی گیاه به‌دلیل کاهش جذب آب مختل می‌گردد (Smolen, 2020). علاوه‌براین، انباشت بیش از حد یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های جوان گیاه می‌تواند با اختلال در سنتز سیتوکینین و افزایش غلظت اسید آبسیزیک، تعادل هورمونی لازم برای رشد را برهم زده و منجر به کوتاه ماندن میان‌گره‌ها شود (Hasanuzzaman *et al*., 2021). Haghighi و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند یکی از دلایل کاهش ارتفاع بوته رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در شرایط شور می‌تواند به‌دلیل سمیت کلر باشد که از جذب نیترات جلوگیری می‌کند. زیرا هر دو یون به وسیله یک نوع حمل‌کننده از عرض غشا پلاسمایی انتقال می‌یابند و نیترات هم در رشد رویشی گیاهان نقش مهمی دارد. نیترات یکی از مهم‌ترین فرم‌های قابل جذب نیتروژن برای گیاهان است. نیتروژن عنصر اصلی در ساخت آمینواسیدها، پروتئین‌ها، کلروفیل، آنزیم‌ها و اسیدهای نوکلئیک است؛ بنابراین مستقیماً روی رشد برگ، ساقه، شاخه‌زایی و تولید زیست‌توده اثر می‌گذارد. در پژوهش ایشان شوری در کاهش طول شاخه اصلی و فرعی اثر داشت. بیشترین طول شاخه اصلی و طول شاخه فرعی در تیمار اسید هیومیک به‌دست آمد. اسید هیومیک با بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی در محیط ریشه و کلاته‌کردن عناصر ریزمغذی، دسترسی گیاه به عناصر مغذی را افزایش داده و از سوی دیگر با ممانعت از جذب غیرفعال سدیم، نسبت پتاسیم به سدیم را در بافت‌های گیاهی بهبود می‌بخشد (Tahir *et al*., 2021).

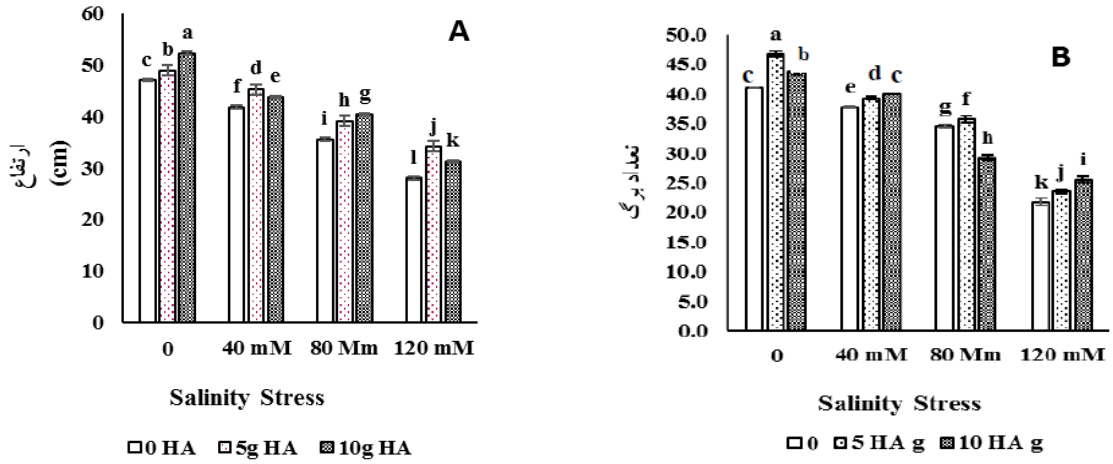
با توجه به نتایج بیشترین تعداد برگ (٤٦/۷۵ عدد) با افزایش ۲۲/۲۷ درصدی نسبت به شاهد در شرایط عدم تنش (شاهد) و با کاربرد ۵ گرم بر لیتر اسید هیومیک مشاهده شد. در مقابل، کمترین تعداد برگ (۲۱/۷۵ عدد) مربوط به تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار بدون مصرف اسید هیومیک بود (شکل 1B). در شوری ۸۰ میلی‌مولار کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تعداد برگ کمتر در مقایسه با شاهد همان سطح شوری نشان داد. احتمالاً در این سطح شوربی، گیاه هنوز توانایی تنظیم اسمزی طبیعی دارد. افزودن اسید هیومیک زیاد (۱۰ گرم) ممکن است تعادل یونی را بر هم بزند و جذب آب را مختل کند. در چنین شرایطی، کاربرد غلظت بالای اسید هیومیک (۱۰ گرم) احتمالاً نه‌تنها موجب بهبود بیشتر پاسخ گیاه نشده، بلکه با ایجاد تغییر در تعادل یونی ناحیه ریشه و الگوی جذب عناصر، سبب اختلال در هموستازی یونی و کاهش کارایی جذب آب شده است. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که در شرایط شوری متوسط، مصرف بیش از حد اسید هیومیک ممکن است از محدوده بهینه اثر خود خارج شده و به‌جای کاهش تنش، نوعی فشار اضافی بر سیستم ریشه و فرایندهای فیزیولوژیک گیاه وارد کند. در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، گیاه در آستانه فروپاشی اسمزی است. در این شرایط، اسید هیومیک غلیظ می‌تواند به‌عنوان ماده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری و اسید هیومیک بر برخی صفات مورد بررسی در گیاه کریسا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع	تعداد برگ	کلروفیل کل	نشت یونی
شوری (A)	۳	۷۲٤/٤۲**	۹۱۰/۷٤**	۲/٤۸**	۰/۸۸**
اسید هیومیک (B)	۲	۷۷/۲۹**	۲۷/۱٤**	۲/٤۷**	۰/۰۰۰۸ ns
A×B	٦	۹/۱٤**	۲٤/۲۸**	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۱٤*
خطا	۳٦	۰/۲٦	۰/٦۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (٪)		۱/۲۷	۲/۲۵	۳/۱۳	۸/۹٤

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



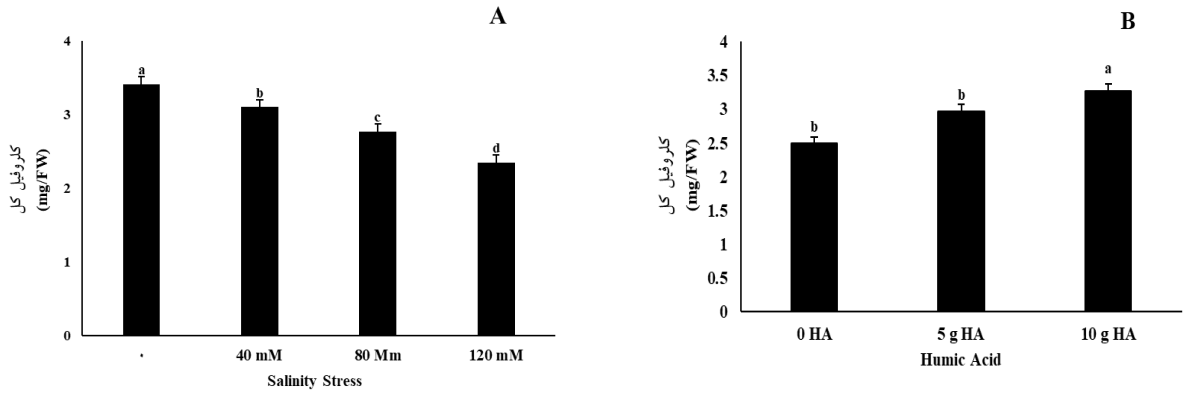
شکل ۱- برهمکنش شوری و غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر ارتفاع (A) و تعداد برگ (B) گیاه کریسا

محافظ اسمولیت عمل کند، نشت الکترولیت را کاهش دهد و سنتز پرولین و قندهای محافظ را تحریک کند.

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و تجمع یون‌های سمی، منجر به کاهش معنی‌دار تعداد برگ در گیاه یاس کریسا می‌شود. براساس یافته‌های پژوهشگران، تنش شوری با به‌هم زدن تعادل هورمونی از طریق افزایش سطح اسید آبسیزیک و کاهش میزان سیتوکینین، منجر به القای تنش اکسیداتیو و تسریع فرآیند پیری برگ‌ها می‌گردد (Sadeghi *et al*., 2022). همچنین، محققان گزارش کرده‌اند که در شرایط تنش شدید، گیاه برای حفظ پتانسیل آب، سطح تبخیر و تعرق خود را با کاهش تعداد و مساحت برگ‌ها محدود می‌کند که این یک مکانیسم سازگاری برای بقا است (Munns and Gilliham, 2022). در پژوهش حاضر، کاربرد اسید هیومیک، اثرات منفی شوری بر تعداد برگ را تعدیل نمود. این یافته با نتایج Fallahi و همکاران (۲۰۲۱) هماهنگی دارد. اسید هیومیک با بهبود فراهمی عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن و آهن) و تحریک فعالیت پمپ‌های پروتونی در غشای سلولی، سرعت تقسیم سلولی در مریستم‌های برگی را افزایش می‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی (مانند آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز)، رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش را بهتر مهار کرده و از این طریق مانع از زوال سلولی و ریزش برگ‌ها شده است (Hasanuzzaman *et al*., 2021).

طبق شکل ۲A با افزایش سطوح شوری از صفر به ۱۲۰ میلی‌مولار، روند کاهشی کاملاً مشخص و پله‌ای در میزان کلروفیل کل مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]



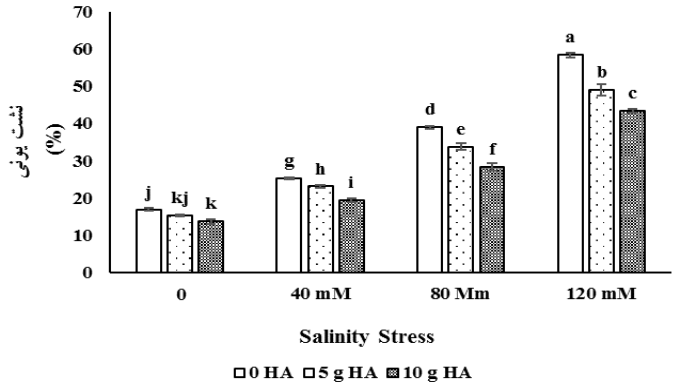
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف اسید هیومیک (A) و شوری (B) بر محتوای کلروفیل کل در گیاه کریسا

شاهد (عدم تنش) ثبت گردید. با اعمال تنش ٤٠ میلی‌مولار، میزان کلروفیل کاهش یافت. در سطوح شدیدتر تنش، یعنی ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار، محتوای کلروفیل به‌ترتیب به ۲/۷۷ و ۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. کمترین میزان کلروفیل در تنش ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد که نسبت به شاهد، کاهشی معادل ۳۱/۰۸ درصد را نشان می‌دهد. این نتایج گویای حساسیت بالای دستگاه فتوسنتزی کریسا به افزایش غلظت نمک در محیط ریشه است. کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در اثر تنش شوری احتمالاً به‌علت تخریب کلروپلاست و کاهش تعداد آن‌ها است. در شرایط تنش شوری به‌علت اکسیداسیون نوری کلروفیل توسط گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت کلروفیلاز محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد (Sharma *et al*., 2019).

نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسید هیومیک از صفر به ۱۰ گرم بر لیتر، یک روند صعودی و معنی‌دار در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی مشاهده شد (شکل 2B). کاربرد بالاترین غلظت اسید هیومیک منجر به افزایشی معادل ۳۱/۳۲ درصد در محتوای کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شده است که این امر نقش کلیدی این ماده را در تقویت دستگاه فتوسنتزی گیاه کریسا تأیید می‌کند. هیومیک دارای گروه‌های عاملی فعال مانند COOH– و OH– است که به‌عنوان کلاته‌کننده‌های طبیعی عمل می‌کنند. این ماده با تشکیل کمپلکس با آهن و منیزیم پایداری این عناصر را در محلول خاک افزایش داده و از رسوب آن‌ها جلوگیری می‌کند. از آنجا که منیزیم هسته مرکزی مولکول کلروفیل است و آهن نقش حیاتی در مسیر سنتز پیش‌سازهای کلروفیل (مانند پروتوکلروفیلید) دارد (Seven and Akinsi, 2025). افزایش جذب این عناصر مستقیماً منجر به افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌های یاس کریسا شده است. مواد هیومیکی باعث تحریک پمپ‌های پروتونی (H^+ATPase) در غشای پلاسما می‌شوند. این فرآیند نه تنها جذب مواد مغذی را تسهیل می‌کند، بلکه پیامرسان‌های هورمونی مشابه اکسین و سیتوکینین را در گیاه فعال می‌سازد. سیتوکینین‌ها با مهار آنزیم کلروفیلاز و جلوگیری از تجزیه پروتئین‌های متصل به کلروفیل، پیری برگ را به تأخیر انداخته و پایداری دستگاه فتوسنتزی را تضمین می‌کنند. اسید هیومیک با تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی (مانند افزایش فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز)، از اکسیداسیون رنگیزه‌های فتوسنتزی جلوگیری می‌کند (Amerian *et al*., 2024).

براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳)، کمترین میزان نشت یونی ۱۳/٦۷ درصد در شوری صفر و ۱۰ گرم بر لیتر اسید هیومیک مشاهده شد. با افزایش سطوح شوری، میزان نشت یونی در تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) بدون کاربرد اسید هیومیک، نشت یونی به بیشترین مقدار رسید که نشان‌دهنده افزایش بیش از سه برابری نسبت به شرایط غیرتنش است. با این حال، کاربرد هیومیک توانست اثرات مخرب شوری را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، استفاده از ۱۰ گرم بر لیتر اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]



شکل ۳- برهمکنش شوری و غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر نشت یونی در گیاه کریسا

هیومیک، نشت یونی را از ۵۸/۳۹ درصد به ٤۳/۳۷ درصد تقلیل داد. همچنین در تمامی سطوح شوری (٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار)، غلظت ۱۰ گرم هیومیک کارایی بهتری نسبت به غلظت ۵ گرم در حفظ پایداری غشاهای سلولی نشان داد.

در شرایط تنش شوری، جایگزینی یون‌های کلسیم توسط سدیم در نقاط اتصال غشایی، باعث کاهش سیالیت و پایداری غشا می‌شود که نتیجه آن خروج غیرقابل کنترل الکترولیت‌ها از سیتوپلاسم است (Munns and Gilliham, 2022). یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که شوری با القای تنش اکسیداتیو شدید، منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع غشا می‌گردد که این فرآیند مکانیسم اصلی افزایش نشت یونی در درختچه‌های زینتی است (Kaya *et al*., 2023). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد اسید هیومیک، به‌ویژه در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر، به‌طور معنی‌داری از افزایش نشت یونی جلوگیری کرد. مکانیسم این اثر محافظتی را می‌توان به توانایی اسید هیومیک در تقویت سد دفاعی آنتی‌اکسیدانی نسبت داد. اسید هیومیک با دارابودن گروه‌های عاملی فنولیک و کربوکسیل، نه‌تنها به‌عنوان یک پاک‌کننده مستقیم رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند، بلکه باعث تحریک بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های SOD و APX می‌شود که نتیجه آن کاهش آسیب به غشا است (Zamanian *et al*., 2024). امری که در نتایج ما با کاهش نشت یونی در تیمار ۱۰ گرم اسد هیومیک مشهود است. همچنین، توانایی کلات‌کنندگی اسید هیومیک باعث می‌شود یون‌های سمی سدیم در محیط ریشه تثبیت شده و فشار اسمزی کمتری به غشاهای سلول برگ وارد شود (Ali *et al*., 2023).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شوری و هیومیک اسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال پنج درصد، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و عنصر پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و عنصر سدیم تحت تأثیر اثر ساده تیمارها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲).

فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شوری ۱۲۰ میزان کمتری را نشان می‌دهد. با افزایش سطح شوری تا مرز ٤۰ میلی‌مولار، فعالیت این آنزیم در تمامی سطوح اسید هیومیک روند صعودی داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت CAT در تیمار ترکیبی شوری ٤۰ میلی‌مولار + ۱۰ گرم اسید هیومیک به‌دست آمد. با این حال، در سطوح شدید شوری (۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار)، فعالیت کاتالاز روند کاهشی به خود گرفت. در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار)، نه تنها اثر مثبت هیومیک خنثی شد، بلکه فعالیت آنزیم به کمترین مقدار خود تنزل یافت (شکل ٤A). این نتایج نشان می‌دهد که اسید هیومیک در شوری‌های ملایم تا متوسط باعث تقویت سیستم دفاعی می‌شود، اما در شوری بسیار بالا، شدت تنش بر اثرات اصلاحی هیومیک غلبه کرده است.

فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان یک نشانگر کلیدی در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاهان شناخته می‌شود. در مطالعه حاضر، افزایش فعالیت CAT در سطوح ملایم شوری (٤۰ میلی‌مولار)، بازتابی از پاسخ فوری و فعال گیاه برای مدیریت تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نظیر پراکسید هیدروژن است.

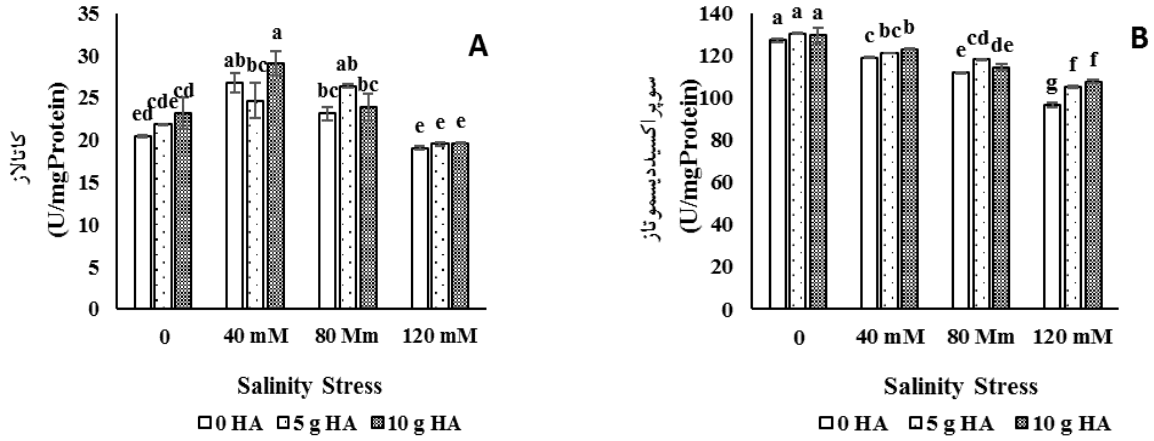
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و اسید هیومیک بر برخی صفات مورد بررسی در گیاه کریسا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	سدیم	پتاسیم
شوری (A)	۳	۱۳۰/۵٤**	۱٤۲۷/۲۲**	۱/٤۵**	۰/۲۷**
اسید هیومیک (B)	۲	٦/۲۰^{ns}	۱۳۲/۳۱**	۰/۱۱**	۰/۰۳**
A×B	٦	۹/۳٦*	۲۱/۲۲**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰٦**
خطا	۳٦	٤/۸۰	٦/۲۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۹/٤۲	۲/۱٤	۰/۷۲	۰/٤۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ٤- برهمکنش شوری و غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز (A) و سوپراکسید دیسموتاز (B) در گیاه کریسا

تحقیقات نشان داده است که تحت شرایط تنش نمکی، تجمع یون‌های سدیم در آپوپلاست و سیتوسول موجب اختلال در زنجیره انتقال الکترون و تولید متعاقب ROS می‌شود. پژوهشگران در پژوهش‌های خود بیان داشته‌اند که گیاهانِ مقاوم یا نیمه‌مقاوم، با افزایش بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های کاتالاز، سعی در حفظ ثبات اکسیداتیو دارند تا از آسیب به ساختارهای سلولی جلوگیری کنند (El-Esawi *et al*., 2022). کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت‌های بالای شوری (۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) در نتایج این تحقیق، می‌تواند ناشی از «اشباع ظرفیت آنتی‌اکسیدانی» باشد؛ به‌طوری‌که در سطوح شدید تنش، آسیب‌های ساختاری به پروتئین‌های آنزیمی و یا کاهش سنتز پروتئین‌های جدید، مانع از تداوم فعالیت کاتالیزوری آنزیم می‌گردد. کاربرد اسید هیومیک به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده، نقش مؤثری در حفظ پایداری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش ایفا می‌کند. یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که مواد هیومیکی با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و جذب بهینه عناصری نظیر آهن و منگنز، که کوفاکتورهای ضروری برای عملکرد کاتالاز هستند، به حفظ ساختار فعال این آنزیم کمک می‌کنند (Yildirim *et al*., 2021). در پژوهش حاضر، برتری عملکرد غلظت ۱۰ گرم بر لیتر اسید هیومیک نشان می‌دهد که این غلظت قادر است به‌عنوان یک «بافر بیوشیمیایی» عمل کرده و تعادل ردوکس (Redox homeostasis) را از طریق پاکسازی موثرتر پراکسید هیدروژن تقویت کند. همان‌طور که Ghasemzadeh و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعات فیزیولوژیک خود ذکر کرده‌اند، مواد هیومیکی باعث تقویت غشای تیلاکوئید و کاهش نشتی الکترون‌ها می‌شوند که این امر به‌طور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

غیرمستقیم تولید ROS اولیه را کاهش داده و فشار کمتری بر سیستم آنزیمی وارد می‌سازد. در نهایت، افت کارایی هیومیک اسید در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مؤید این نکته است که اثرات حفاظتی محرک‌های زیستی، به شدتِ تنش وابستگی مستقیم دارد و در تنش‌های فوق بحرانی، اثرات اسمزی شوری بر اثرات بهبوددهنده اسید هیومیک غلبه می‌یابد.

براساس مقایسه میانگین‌ها (شکل ٤B) بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار بدون شوری همراه با مصرف ۵ گرم بر لیتر اسید هیومیک مشاهده شد. با افزایش غلظت نمک، فعالیت آنزیم SOD روند کاهشی معنی‌داری را نشان داد؛ به‌طوری‌که کمترین میزان فعالیت در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) و عدم مصرف اسید هیومیک ثبت گردید. با این حال، کاربرد هیومیک در تمامی سطوح شوری توانست بخشی از کاهش فعالیت این آنزیم را جبران کند. برای مثال، در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، استفاده از ۱۰ گرم بر لیتر اسید هیومیک باعث افزایش ۱۱/۲۰ درصدی فعالیت SOD نسبت به تیمار بدون هیومیک در همان سطح شوری شد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است که وظیفه تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به اکسیژن و پراکسید هیدروژن را بر عهده دارد. کاهش فعالیت SOD در گیاه یاس کریسا با افزایش شدت شوری (به‌ویژه در ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) نشان‌دهنده اختلال در سیستم دفاعی گیاه تحت فشار شدید یونی است.

Ahmad و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که در تنش‌های شدید، انباشت یون‌های سدیم و کلر منجر به تخریب ساختار پروتئین‌ها و مهار بیان ژن‌های مرتبط با ایزوفرم‌های SOD می‌شود. در واقع، افت فعالیت SOD در غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار در این پژوهش می‌تواند ناشی از سمیت مستقیم یون‌ها و یا آسیب اکسیداتیو به خود آنزیم باشد که منجر به تجمع رادیکال‌های سوپراکسید و متعاقباً تخریب غشاهای سلولی می‌گردد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که کاربرد هیومیک، به‌ویژه در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر، توانسته است فعالیت SOD را در تمامی سطوح شوری بهبود بخشد. مکانیسم این اثر را می‌توان به توانایی هیومیک اسید در القای پیام‌رسان‌های مولکولی برای بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد. مواد هیومیکی با افزایش دسترسی به عناصر کم‌مصرف مانند روی، مس و منگنز که به‌عنوان کوفاکتورهای اصلی در ساختار آنزیم SOD عمل می‌کنند موجب پایداری و کارایی بیشتر این آنزیم در شرایط تنش می‌شوند (Sun *et al*., 2024). مواد هیومیکی پتانسیل غشای ریشه را تنظیم کرده و مانع از ورود بیش از حد یون‌های سمی به برگ می‌شوند که این امر به‌طور غیرمستقیم از غیرفعال‌شدن آنزیم SOD جلوگیری می‌کند (Seven and Akinsi, 2025).

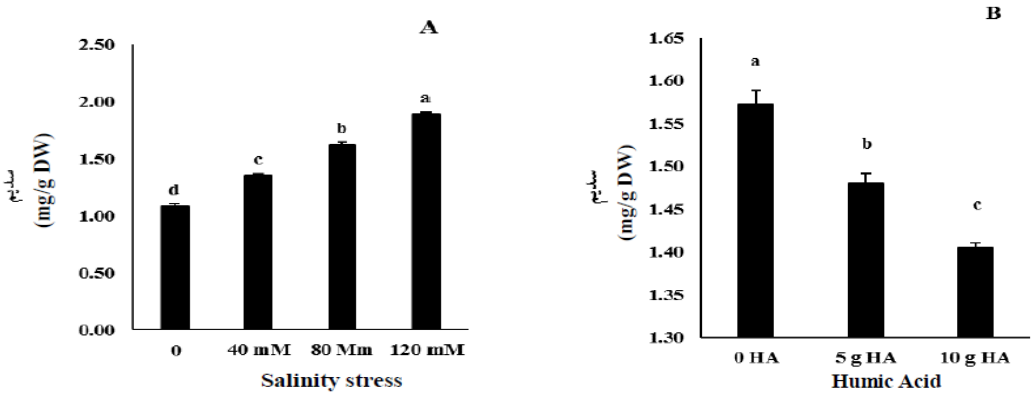
طبق نتایج با افزایش غلظت نمک در محیط ریشه، تجمع سدیم در برگ‌ها روند صعودی شدیدی داشت. بیشترین میزان سدیم در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۷۵ درصدی نشان داد. کاربرد هیومیک اثر معکوس و معنی‌داری بر تجمع سدیم در برگ‌ها داشت (شکل ۵A). با افزایش غلظت اسید هیومیک، میزان سدیم به‌طور خطی کاهش یافت. کمترین غلظت سدیم (۱/٤۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۱۰ گرم بر لیتر اسید هیومیک ثبت شد که نشان‌دهنده کاهش تجمع این یون سمی نسبت به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک است (شکل ۵B).

عنصر پتاسیم: با افزایش تنش شوری از ۰ تا ۱۲۰ میلی‌مولار، مقدار پتاسیم در گیاه به‌طورکلی کاهش می‌یابد. در هر سطح شوری، اسید هیومیک باعث افزایش و حفظ پتاسیم نسبت به شاهد شده است. بیشترین میزان پتاسیم مربوط به شوری صفر همراه با بالاترین سطح هیومیک است و کمترین مقدار در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار بدون هیومیک مشاهده می‌شود (شکل ٦).

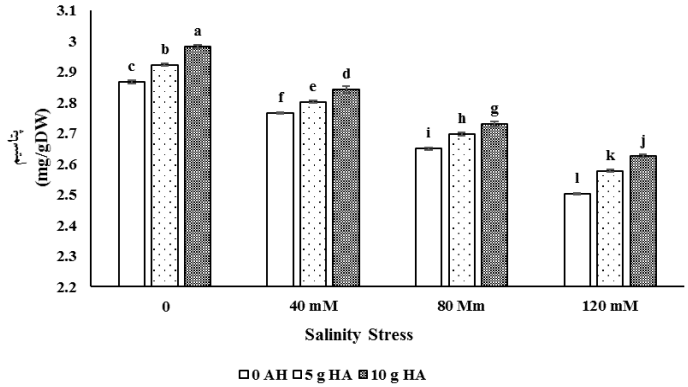
تنش شوری باعث تجمع شدید سدیم و کاهش پتاسیم در گیاهان می‌شود که منجر به اختلال در تعادل یونی و سمیت می‌گردد. یافته‌های حاضر نشان داد که شوری بالا، غلظت سدیم را به‌طور معنی‌داری افزایش و پتاسیم را کاهش داد. کاربرد اسید هیومیک این روند را تعدیل کرد؛ با کاهش قابل توجه سدیم و حفظ سطح پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم بهبود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

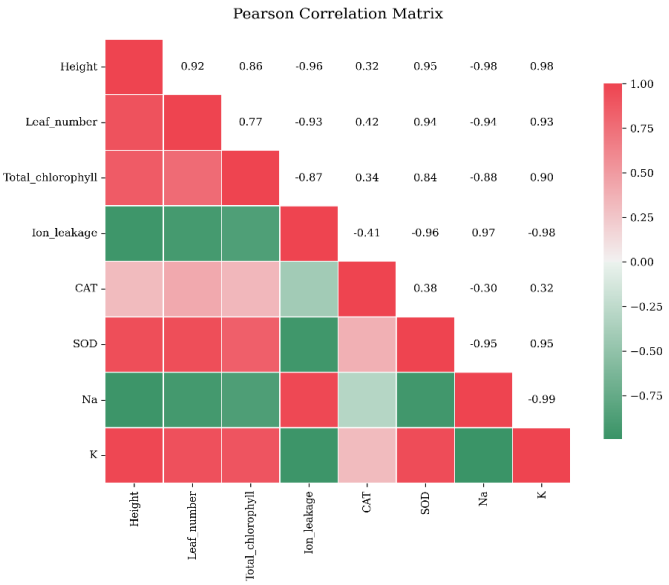
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف اسید هیومیک (A) و شوری (B) بر مقدار عنصر سدیم در گیاه یاس کریسا



شکل ٦- اثرمتقابل شوری و غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر مقدار عنصر پتاسیم در گیاه کریسا



شکل ۷- همبستگی صفات اثر سطوح مختلف شوری و غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر گیاه کریسا

یافت. این اثر هیومیک احتمالاً از طریق تأثیر بر کانال‌های یونی غشا و یا تغییر در ساختار خاک صورت می‌گیرد (Chen *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

2020). حفظ تعادل یونی توسط اسید هیومیک، در کاهش سمیت شوری و بهبود سازگاری گیاه نقش حیاتی دارد. این بهبود در نسبت پتاسیم به سدیم احتمالاً مکانیسم اصلی تعدیل سمیت سدیم و حفظ پتانسیل اسمزی سلول‌ها توسط اسید هیومیک است. این اثر یونی اسیدهیومیک، در کاهش آسیب‌های ساختاری و عملکردی ناشی از شوری نقش دارد (Kiremit *et al*., 2026). بنابراین، کاربرد اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مؤثری مقاومت فیزیولوژیکی گیاه یاس کریسا را در برابر تنش شوری ارتقا بخشد.

بررسی همبستگی صفات: تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون (شکل ۷) نشان داد که ارتفاع، تعداد برگ و کلروفیل، همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح پتاسیم و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشته و همبستگی منفی شدیدی با سدیم و نشت یونی دارد؛ به‌طوری‌که همبستگی ارتفاع با نشت یونی ۰/۹۶۳- گزارش شد. برجسته‌ترین رابطه در ماتریس، همبستگی منفی بسیار شدید میان سدیم و پتاسیم (۰/۹۹۳-) بود که رقابت یونی و اختلال در هموستاز را تأیید می‌کند. علاوه‌براین، همبستگی قوی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با شاخص‌های رشد در مقایسه با ضریب همبستگی کمتر کاتالاز، نشان‌دهنده اولویت سازوکار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تعدیل تنش اکسیداتیو و حفاظت از رشد گیاه است. در مجموع، این نتایج اهمیت بالای تعادل یونی و نقش حیاتی سیستم آنتی‌اکسیدانی را در حفظ پایداری فیزیولوژیک و بهبود عملکرد رشد گیاه تحت شرایط تنش برجسته می‌سازد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری اثرات منفی و معنی‌داری بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه یاس کریسا (*Carissa macrocarpa*) دارد. افزایش شوری تا سطح ۱۲۰ میلی‌مولار موجب کاهش قابل توجه صفات رشدی از جمله ارتفاع گیاه و تعداد برگ شد و همزمان با افزایش نشت یونی، تجمع سدیم و کاهش محتوای کلروفیل کل، سبب اختلال در تعادل یونی، آسیب به غشاهای سلولی و کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی گردید. همچنین، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سطوح بالای شوری نشان‌دهنده بروز تنش اکسیداتیو و کاهش توان دفاعی گیاه در برابر شرایط نامساعد بود. در مقابل، کاربرد اسید هیومیک، به‌ویژه در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر، توانست اثرات زیان‌بار شوری را تا حد زیادی تعدیل کند. بهبود رشد گیاه، افزایش محتوای کلروفیل، کاهش تجمع سدیم، حفظ پتاسیم و تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از مهم‌ترین اثرات مثبت اسید هیومیک در این پژوهش بود. این نتایج نشان می‌دهد که اسید هیومیک با بهبود تعادل یونی، افزایش پایداری غشای سلولی و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، نقش مؤثری در افزایش تحمل یاس کریسا به تنش شوری ایفا می‌کند. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که اسید هیومیک به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر و کاربردی، ظرفیت بالایی برای کاهش آسیب‌های ناشی از شوری و بهبود رشد و سلامت گیاه یاس کریسا در شرایط شور دارد و استفاده از آن در برنامه‌های مدیریتی و تولید این گیاه زینتی قابل توصیه است.

منابع

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology, 105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Ahmad, P., Alyemeni, M. N., Ahanger, M. A., Wijaya, L., Alam, P., & Ashraf, M. (2022). Salicylic acid and humic acid co-application modulates antioxidant metabolism and ion homeostasis in salt-stressed plants. *Environmental and Experimental Botany, 194*, 104712. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104712

Ali, A. Y. A., Ibrahim, O. H. M., Zhou, G., Nimir, N. E., Jiao, X., Zhu, G., Elsadek, M. A., Anyia, A. O., & Xu, L. (2023). Exogenous humic acid improves growth, chlorophyll fluorescence, and antioxidant capacity of sorghum under salinity stress. *Scientific Reports, 13*(1), 4125. https://doi.org/10.1038/s41598-023-31121-6

Arnon, D. (1994). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology,*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

24(1), 1-15.
Amerian, M., Palangi, A., Gohari, G., & Ntatsi, G. (2024). Humic acid and grafting as sustainable agronomic practices for increased growth and secondary metabolism in cucumber subjected to salt stress. *Scientific Reports, 14*, 1-18. https://doi.org/10.1038/S41598-024-66677-8
Bazaz, A. M., Ghorbani, Z., & Ansari, S. (2026). Effect of humic acid concentrations on the growth and development of Dichondra used in landscaping under salinity conditions. *European Journal of Horticultural Science, 91*(1). https://doi.org/10.1079/ejhs.2026.000
Beauchamp, C, & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry, 44*, 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8
Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2020). Physiological functions of humic substances in plant growth. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 7*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/s40538-020-00177-4
Chen, X., Lv, X., Zhang, S., Wang, Y., & He, Z. (2020). Effects of humic acid on the growth and nutrient uptake of maize seedlings under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 190*, 110112.
El-Esawi, M. A., Al-Ghamdi, A. A., & Al-Qurashi, A. D. (2022). Molecular and physiological mechanisms of salt stress tolerance in horticultural plants. *Scientia Horticulturae, 292*, 110620. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110620
Fallahi, E., Neilsen, G., & Neilsen, D. (2021). Impact of humic substances on nutrient uptake and plant growth under environmental stresses. *Journal of Plant Nutrition, 44*(2), 45-58. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871745
Ghasemzadeh, A., Alizadeh, S., & Jaafar, H. Z. E. (2022). Evaluation of physiological and antioxidant responses of plants to biostimulants under salinity stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 29*, 100378. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100378
Haghighi, B., Karimi, M., & Moradi, H. (2023). Investigating the effect of humic acid on the morphological and physiological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress. *Plant Process and Function, 12*(57), 17. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1906-fa.html
Hasanuzzaman, M., Raihan, M. S. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., & Nahar, K. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(17), 9326. https://doi.org/10.3390/ijms22179326
Hassani, A., Azapagic, A., & Shokri, N. (2021). Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 118*(33), e2026169118. https://doi.org/10.1073/pnas.2026169118
Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2023). Humic acid has defensive roles in mitigating cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) by modulating the antioxidant system and nutrient uptake. *Journal of Plant Growth Regulation, 42*, 1530-1544. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10637-1
Karimi, M., Eslami, M., Ghorbanalizadeh Saadatabad, F., & Heydari Raeisi, N. (2026). Role of sodium nitroprusside in improving growth and stress responses of Carnation (*Dianthus barbatus*) under saline water irrigation. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 20*(1), 26-38. https://doi.org/10.22034/idj.2025.543094.2624
Kiremit, M. S., Arslan, H., Bakirova, A., & Abdulrasaq, S. A. (2026). Synergistic effects of humic and salicylic acids on water productivity, physiology, and antioxidant defense in salt-stressed lettuce. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 26*, 2562-2583. https://doi.org/10.1007/s42729-026-03015-z
Mishra, S, & Shukla, A. (2020). Comparison of protein estimation methods: A review. *International Journal of Biological Macromolecules, 164*, 1960-1969.
Moodley, R., Chenia, H., Jonnalagadda, S. B., & Koorbanally, N. A. (2015). Elemental composition and chemical analysis of the edible fruits of *Carissa macrocarpa*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, 50*(7), 503-511. https://doi.org/10.1080/03601234.2015.1018741
Munns, R, & Gilliham, M. (2022). Salinity tolerance of crops—what is the primary cause of grain yield loss? *Plant, Cell and Environment, 45*(3), 805-824. https://doi.org/10.1111/pce.14273
Nardi, S., Schiavon, M., & Pizzeghello, D. (2021). Biological activities of humic substances: A review. *Agronomy, 11*(5), 1019. https://doi.org/10.3390/agronomy11051019
Parihar, P., Singh, R., & Prasad, S. M. (2022). Role of nutrients in mitigating salt toxicity in plants: A review. *Plant Physiology and Biochemistry, 170*, 214-227. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.028
Sadeghi, F., Sohrabi, Y., & Sio-Se Mardeh, A. (2022). Effects of plant growth regulators on seed germination and biochemical properties of two wheat cultivars under water deficit conditions. *Gesunde Pflanzen*, *75*(4), 1121-1132. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00803-2
Seven, S, & Akinci, S. (2025). Effects of humic acid and salt stress on growth, physiological parameters and mineral substance uptake in *Artemisia dracunculus* L. (Tarragon). *Turkish Journal of Botany, 49*(2), 64-79. https://doi.org/10.55730/1300-008X.2843
Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., & Zheng, B. (2019).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-23.

Souilem, F., Dilek, E., & Sagratini, G. (2019). Nutritional profile and bioactive compounds of *Carissa macrocarpa* (Natal Plum) as a function of ripening stage. *Food Research International, 116*, 1210-1219. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.007

Sun, J., Wang, X., & Li, L. (2024). Humic acid-based biostimulants: A review of their effects on plant antioxidant systems and nutrient uptake. *Journal of Hazardous Materials, 465*, 133241. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133241

Smolen, S., Lukasiewicz, A., Klimek-Chodacka, M., & Baranski, R. (2020). Effect of soil salinity and foliar application of jasmonic acid on mineral balance of carrot plants tolerant and sensitive to salt stress. *Agronomy, 10*(5), 659.

Tahir, M., Naveed, M., Mustafa, A., & Ahmad, Z. (2021). Humic acid dynamics in soil-plant systems under salt stress: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(1), 132-145. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00350-x

Wahing, I., Van, W., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, Plant Analysis Procedure. Wageningen Agriculture University, Wageningen.

Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Roles of humic acid in alleviating salt stress in plants: A focus on antioxidant systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 184*(5), 580-593. https:// doi.org/10.1002/jpln.202100095

Zamanian, S., Shariatmadari, H., & Karimzadeh, G. (2024). Humic acid-mediated regulation of membrane stability and antioxidant enzymes in perennial ryegrass under abiotic stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 24*(2), 112-128. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01511-w

Zhang, Y., Guo, W., Chen, S., Han, L., & Li, Z. (2007). The role of N-lauroyl ethanol amine in the regulation of senescence of cut carnations (*Dianthus caryophyllus*). *Journal of Plant Physiology, 164*, 993-997.

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation, 1*(1), 100017. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]

Investigation of the effects of humic acid on certain growth characteristics and enzymatic activity of *Carissa macrocarpa* under salinity stress

Shohreh Safapoor[1], Alireza Ladan Moghadam[2], Mahnaz Karimi[3]*, Mehdi Maham[4]

[1] Department of Horticultural Sciences, AK.C., Islamic Azad University, Aliabad Katoul, Aliabad Katoul, Iran
[2] Department of Horticulture Science, Ga.C., Islamic Azad University, Garmsar, Garmsar, Iran
[3] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[4] Department of Chemistry, AK.C., Islamic Azad University, Aliabad Katoul, Aliabad Katoul, Iran

Abstract

Salinity stress is one of the major limiting factors for plant growth and can have significant negative effects on the physiological and biochemical processes of plants. Among ornamental shrubs, *Carissa macrocarpa* is considered one of the most popular plants in landscape architecture. In this study, the effects of different salinity levels (0, 40, 80, and 120 mM) and humic acid application (0, 5, and 10 g/L) on the vegetative and physiological characteristics of *C. macrocarpa* were evaluated. The experiment was conducted as a factorial arrangement within a completely randomized design with four replicates. The results showed that with increasing salinity stress up to 120 mM, growth traits including plant height and leaf number decreased significantly, which was accompanied by a sharp increase in ionic leakage (more than three times compared to the control) and sodium accumulation. Humic acid application, especially at the concentration of 10 g/L, played an effective role in reducing the detrimental effects of salinity by improving ionic balance (reducing sodium accumulation and maintaining potassium) and preserving chlorophyll content. The activity of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) enzymes was impaired with increasing salinity intensity, but humic acid application improved cell membrane stability and plant growth by enhancing these enzymes (including a 20.11% increase in SOD activity at the 120 mM level). In conclusion, humic acid application is recommended as a management strategy to increase the tolerance of *C. macrocarpa* under salinity stress conditions.

Keywords: Antioxidant enzymes, Electrolyte leakage, Osmotic potential, Chlorophyll, Plant growth

Received: May. 02, 2026; Revised: Jun. 04, 2026; Accepted: Jun. 21, 2026; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: karimi@sanru.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.201]