

ISSN: 3041-9638

<https://jrpsm.asnrkh.ac.ir/>

Open Access

Research Article

Morphological and phytochemical responses of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) to foliar application of salicylic acid and kitoplus

S. Torkaman¹, E. Mohsenifard¹ , B. Abdollahi Mandoulakani², A. Tavakoli¹, R. Heydarnajad Giglou³¹Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.²Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.³Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 25 May 2026

Accepted: 01 Sep 2026

Published: 11 Oct 2026

Corresponding Author:

Ehsan Mohsenifard

Email:

mohsenifard.ehsan@znu.ac.ir

Keywords:

Biostimulant, Chlorogenic acid, Gallic acid, Rutin, Quercetin

Citation:Torkaman, S., Mohsenifard, E., Abdollahi Mandoulakani, B., Tavakoli, A. & Heydarnajad Giglou, R. (2026). Morphological and phytochemical responses of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) to foliar application of salicylic acid and kitoplus. *Journal of Research in Plant Metabolites*, 4(3), 1-13.

Doi:10.22034/jrpsm.2026.580192.1113

Extended Abstract

Background and Objective: In recent years, medicinal plants have attracted considerable attention from researchers due to their bioactive compounds and effective role in promoting human health. Field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) is one of the plants that holds particular importance owing to its diverse therapeutic effects, including antihypertensive, anticancer (due to the presence of compounds such as chlorogenic acid and chicoric acid), and antimalarial activities. A significant portion of these properties is attributed to the presence of phenolic and flavonoid compounds. The application of natural biostimulants and plant growth regulators is considered an effective approach to improving the phytochemical quality of medicinal plants within the framework of sustainable agriculture. This study was conducted to evaluate the effects of salicylic acid and the biostimulant Kitoplus on morphological characteristics and the accumulation of secondary metabolites in *Sonchus arvensis* L.

Materials and Methods: This research was carried out as a two-factor factorial experiment based on a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan. Seeds were sown in a 1:1 mixture of peat moss and perlite, and seedlings were grown under controlled conditions (18/25°C and 60–70% humidity) until the 3–4 leaf stage. They were then transplanted into pots containing 15% sand, 15% manure, and 70% soil. Foliar treatments with salicylic acid (0, 0.5, and 1 mM) and Kitoplus (0, 0.5, and 1%) were applied every 10 days in three sessions. Control plants were treated with distilled water. Two weeks after the final treatment, morphological traits including plant height, number of branches, internode distance, and leaf area were measured in treated and control plants. Soluble sugar content was determined using the phenol-sulfuric acid method with glucose as the standard, and results were expressed as mg of soluble sugars per gram of dry weight. Spectrophotometric measurements were performed at wavelengths of 380, 220, 325, and 260 nm to determine the contents of quercetin, gallic acid, chlorogenic acid, and rutin, respectively. Data analysis was conducted using SAS software version 9.1.

Results: The results of this study showed that the combined application of different concentrations of salicylic acid and Kitoplus significantly affected vegetative growth patterns and the accumulation of secondary metabolites in *Sonchus arvensis* L. Regarding morphological traits, increasing the concentrations of both treatments resulted in a reduction in the number of leaves, branches, and internodes, whereas the greatest plant height was observed with the 1% Kitoplus treatment, indicating stimulation of longitudinal growth and a potential shift in resource allocation toward stem elongation rather than lateral growth. In contrast, salicylic acid, particularly at a concentration of 1 mM, increased leaf area and improved the photosynthetic capacity of the plants, which may be attributed to enhanced stomatal activity and improved photosynthetic efficiency. From a biochemical perspective, the combined treatment of 0.5 mM salicylic acid and 1% Kitoplus significantly increased the concentrations of soluble and total sugars, indicating enhanced carbohydrate metabolism and increased accumulation of storage compounds in the plants. Regarding secondary metabolites, the results showed that all compounds evaluated, including chlorogenic acid, quercetin, gallic acid, and rutin, were significantly increased in response to the treatments. The highest chlorogenic acid content, 0.809 mg/g dry weight, was recorded under the 0.5 mM salicylic acid treatment, representing a 20.39% increase compared with the control. The highest quercetin content (2.964 mg/g dry weight), as well as the highest rutin content, was obtained with the 1% Kitoplus treatment, whereas the highest gallic acid content was observed under the combined treatment of 1 mM salicylic acid and 1% Kitoplus. Overall, the findings of this study indicate that the application of salicylic acid and Kitoplus as biostimulants can induce positive changes in morphological traits and significantly enhance valuable secondary metabolites. Therefore, their application may be considered an effective strategy for improving the quality and quantity of plant production.

Conclusion: The findings of this research demonstrate that the targeted application of salicylic acid and Kitoplus can significantly enhance the medicinal value of *Sonchus arvensis* L. through the modulation of vegetative growth and stimulation of secondary metabolite synthesis. This approach can be regarded as a novel and environmentally friendly strategy for improving the phytochemical quality of medicinal plants in sustainable production systems.



پاسخ مورفولوژیک و فیتوشیمیایی شیر تیغک وحشی (*Sonchus arvensis* L.) به کاربرد برگی

سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس

سودا ترکمان^۱، احسان محسنی فرد^{۱*}، بابک عبدالحی مندولکانی^۲، افشین توکلی^۱، رسول حیدرنژاد کیگلو^۳

^۱گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

^۲گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

^۳گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

نویسنده مسئول:

احسان محسنی فرد

ایمیل:

mohsenifard.ehsan@znu.ac.ir

واژه‌های کلیدی: روتین،

کلروژنیک اسید،

کوئرستین، گالیک اسید،

محرک زیستی

نحوه استناد:

ترکمان، س.، محسنی

فرد، ا.، عبدالحی

مندولکانی، ب.، توکلی، ا.

و حیدرنژاد کیگلو، ر.

(۱۴۰۵). پاسخ

مورفولوژیک و

فیتوشیمیایی شیر تیغک

وحشی (*Sonchus*

arvensis L. به کاربرد

برگی سالیسیلیک اسید و

کیتوپلاس. مجله پژوهش

در متابولیت‌های گیاهی،

دوره ۴، شماره ۳، صفحات:

۱-۱۳.

Doi:10.22034/jrpsm

.2026.580192.1113

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، گیاهان دارویی به دلیل داشتن ترکیبات زیست‌فعال و نقش مؤثر در ارتقای سلامت انسان، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. گیاه شیر تیغک وحشی از جمله گیاهانی است که با برخورداری از اثرات درمانی متنوع، از جمله کاهش فشار خون، خاصیت ضدسرطانی (به واسطه وجود ترکیباتی مانند کلروژنیک اسید و اسید شیکوریک) و فعالیت ضد مالاریا، اهمیت ویژه‌ای دارد. بخش قابل توجهی از این خواص به حضور ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی نسبت داده می‌شود. به کارگیری محرک‌های زیستی طبیعی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، رویکردی مؤثر در بهبود کیفیت فیتوشیمیایی گیاهان دارویی در چارچوب کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی اثر سالیسیلیک اسید و محرک زیستی کیتوپلاس بر ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاه شیر تیغک وحشی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذرها در بستر ۱:۱ پیت‌ماس و پرلیت کشت و نشاها تا مرحله ۳-۴ برگی در شرایط کنترل‌شده (۱۸/۲۵) درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰-۷۰٪ رشد کردند. سپس به گلدان‌های حاوی ۱۵٪ ماسه، ۱۵٪ کود دامی و ۷۰٪ خاک منتقل شدند. تیمار برگی با اسید سالیسیلیک (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و کیتوپلاس (۰/۵ و ۱ درصد) هر ۱۰ روز یکبار در سه نوبت اجرا شد. گیاهان شاهد با آب مقطر تیمار شدند. دو هفته پس از آخرین تیمار، صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، فاصله میان‌گره و سطح برگ در گیاهان تیمار شده و شاهد اندازه‌گیری شد. مقدار قندهای محلول با روش فنل-اسید سولفوریک تعیین شد و گلوکز به عنوان استاندارد جهت تعیین میزان قندهای محلول مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتایج برحسب میلی‌گرم قندهای محلول در هر گرم وزن خشک بیان شد. با روش اسپکتوفتومتری میزان جذب در طول موج ۳۸۰، ۲۲۰، ۲۲۵ و ۲۶۰ نانومتر به ترتیب برای اندازه‌گیری میزان کوئرستین، گالیک اسید، کلروژنیک اسید و روتین اندازه‌گیری شد. برای آنالیز داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس تأثیر معنی‌داری بر الگوی رشد رویشی و تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاه شیر تیغک وحشی داشت. از نظر صفات مورفولوژیک، افزایش غلظت هر دو تیمار منجر به کاهش تعداد برگ، شاخه و میان‌گره گردید، در حالی که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار یک درصد کیتوپلاس مشاهده شد که نشان‌دهنده تحریک رشد طولی و تخصیص مجدد منابع به سمت رشد ساقه به جای رشد جانبی است. در مقابل، سالیسیلیک اسید به‌ویژه در غلظت یک میلی‌مولار باعث افزایش سطح برگ و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه گردید که می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت روزنه‌ای و بهبود کارایی فتوسنتز باشد. از نظر بیوشیمیایی، تیمار ترکیبی سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و کیتوپلاس با غلظت یک درصد موجب افزایش معنی‌دار میزان قندهای محلول و کل شد که بیانگر بهبود متابولیسم کربوهیدرات و افزایش مواد ذخیره‌ای در گیاه می‌باشد. در خصوص متابولیت‌های ثانویه، نتایج نشان داد که تمامی ترکیبات مورد بررسی شامل کلروژنیک اسید، کوئرستین، گالیک اسید و روتین تحت تأثیر تیمارها به طور معنی‌داری افزایش یافتند. بیشترین میزان کلروژنیک اسید با مقدار ۰/۸۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تیمار سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد که ۲۰/۳۹ درصد بیشتر از نمونه شاهد بود. بیشترین میزان کوئرستین با مقدار ۲/۹۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و همچنین بیشترین میزان روتین در تیمار یک درصد کیتوپلاس به دست آمد، در حالی که بیشترین میزان گالیک اسید در تیمار ترکیبی سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار همراه با کیتوپلاس یک درصد مشاهده گردید. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس به عنوان محرک‌های زیستی می‌تواند با ایجاد تغییرات مثبت در صفات مورفولوژیک و افزایش معنی‌دار متابولیت‌های ثانویه ارزشمند، به عنوان یک راهکار مؤثر در بهبود کیفیت و کمیت تولیدات گیاهی مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد هدفمند سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس می‌تواند از طریق تعدیل رشد رویشی و تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه، ارزش دارویی شیر تیغک وحشی را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. این رویکرد می‌تواند به عنوان راهکاری نوین و سازگار با محیط زیست برای ارتقای کیفیت فیتوشیمیایی گیاهان دارویی در سیستم‌های تولید پایدار مورد توجه قرار گیرد.

مقدمه

شیرتیغک وحشی (*Sonchus arvensis* L.) گیاهی علفی و یک‌ساله از خانواده *Asteraceae* است که دارای ساقه‌های بلند و توخالی بوده و با قطع اندام‌های هوایی، شیرابه‌ای سفید و چسبناک از آن خارج می‌شود (Abin & Eslami, 2009). این گیاه بومی آفریقای شمالی و آسیای شرقی بوده و امروزه در بسیاری از اراضی کشاورزی، حاشیه مزارع، باغات و زمین‌های بایر پراکنش دارد (Alrekabi & Hamad, 2018). در سال‌های اخیر، گیاهان دارویی به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال و نقش مهم آن‌ها در حفظ سلامت انسان، مورد توجه گسترده پژوهشگران قرار گرفته‌اند (Aharoni et al., 2006). گیاه شیرتیغک وحشی دارای خواص دارویی مختلف مانند کاهش فشار خون، ضد سرطان (به دلیل وجود ترکیباتی مانند کلروژنیک اسید و اسید شیکوریک) و ضد مالاریا است (Azizyan & Abdollahi, 2023). بخش عمده‌ای از خواص دارویی شیرتیغک وحشی به حضور ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی نسبت داده می‌شود (Li & Yang, 2018). تجزیه‌های فیتوشیمیایی عصاره این گیاه وجود متابولیت‌های ثانویه متعددی از جمله اسید کلروژنیک، اپی‌ژنین، لوتئولین، اسید کافئیک، اسید کافتاریک، روتین، ایزوکوئرستین و کوئرستین را تأیید کرده‌اند که در این میان، اسید کلروژنیک به‌عنوان ترکیب غالب گزارش شده است (Chen et al., 2018). اسید کلروژنیک یک ترکیب فنلی مهم با خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا است که نقش مؤثری در کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی و برخی انواع سرطان ایفا می‌کند (Tajik et al., 2017). کیتوپلاست یکی از محرک‌های زیستی نوین است که حاوی ترکیبات کیتینی بوده و کیتین و کیتوزان اجزای اصلی دیواره سلولی برخی جانوران بی‌مهره، حشرات، برخی پاتوژن‌های گیاهی و میکروارگانیسم‌ها را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات به دلیل ویژگی‌های زیست‌سازگار، غیرسمی و زیست‌تجزیه‌پذیر، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع دارویی، کشاورزی و زیست‌فناوری دارند (Babel & Kurniawan, 2003; Torabi Giglou et al., 2023). گزارش‌ها نشان داده‌اند که کیتوزان به‌عنوان یک محرک زیستی مؤثر می‌تواند سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی و همچنین تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان شود (Cheng et al., 2006; Mandal, 2010). همچنین Torabi et al. (2020) گزارش کردند که کاربرد کیتوپلاست در غلظت ۱۰ میلی‌لیتر در لیتر موجب افزایش شاخص کلروفیل، وزن تر و خشک و بهبود صفات مورفولوژیک در گیاه نعنای گردید.

از سوی دیگر، اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی درون‌زاد در گیاهان است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد و مولکول

سیگنال‌دهنده نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ایفا می‌کند (Raskin, 1992). این ترکیب با القای تنش کاذب، می‌تواند سنتز متابولیت‌های ثانویه را تحریک کرده و پاسخ‌های دفاعی گیاه را در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده تقویت نماید (Gorni, 2016; Wang & Gale, 2009). سالیسیلیک اسید همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی نظیر فنیل‌آلانیل آمونیاک لیاز (PAL) و چالکون سنتاز (CHS)، نقش مؤثری در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی دارد (Khattab et al., 2022). افزون بر این، این ترکیب می‌تواند با تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود عملکرد فتوسنتزی، موجب افزایش تجمع ترکیبات زیست‌فعال در گیاه شود (Faizan et al., 2020; Nadeem et al., 2019; Prakash et al., 2021).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده دفاعی، در القای مقاومت سیستمیک اکتسابی، تنظیم بیان ژن‌های دفاعی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش دارد. در حالی‌که کیتوپلاست (بر پایه کیتوزان) به‌عنوان یک الیستور زیستی با تحریک پاسخ‌های دفاعی غیراختصاصی، افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه عمل می‌کند. از آنجا که این دو ترکیب از مسیرهای متفاوت اما مکمل در تقویت سیستم دفاعی و بهبود رشد اثر می‌گذارند، با توجه به اهمیت دارویی گیاه شیرتیغک وحشی و نقش کلیدی متابولیت‌های ثانویه در ارزش درمانی آن، هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و محرک زیستی کیتوپلاست بر برخی صفات مورفولوژیکی و میزان تجمع متابولیت‌های ثانویه مهم در این به‌منظور ارائه راهکارهایی برای بهبود کیفیت فیتوشیمیایی و افزایش ارزش دارویی آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. بذره‌های این گیاه از شرکت تخصصی و دانش بنیان گیاهان دارویی زرین گیاه ارومیه تهیه و سپس در مخلوطی ۱:۱ از پیت‌ماس و پرلیت در سینی‌های کشت کاشته شدند و تا زمان جوانه‌زنی در گلخانه نگهداری شدند. نشاها تا مرحله سه تا چهار برگگی تحت شرایط کنترل شده (دما روز/شب ۱۸/۲۵ درجه سلسیوس؛ رطوبت نسبی ۶۰-۷۰٪) رشد کردند. پس از تولید نشاهای سالم، آن‌ها به گلدان‌های جداگانه حاوی مخلوطی از ۱۵٪ ماسه، ۱۵٪ کود حیوانی و ۷۰٪ خاک مزرعه منتقل شدند و در هر تکرار پنج بوته سالم در گلدان‌های جداگانه نگهداری شد کنترل شده (نوردهی به صورت روز/شب ۸/۱۶ ساعت، دما روز/شب

سلسیوس در خلاء تبخیر شدند تا عصاره‌های خشک به دست آید. به عصاره خشک، ۴۰۰ میکرولیتر متانول اضافه شد و با ورتکس کاملاً حل شد. عصاره‌ها با استفاده از فیلتر سرسرنگی (۰/۴۵ میکرومتر) فیلتر شد. سپس نمونه‌های حاصل تا زمان تجزیه و تحلیل در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند (Jakabová *et al.*, 2012).

اندازه‌گیری میزان کوئرستین، گالیک اسید، کلروژنیک اسید و روتین با استفاده از روش اسپکتوفتومتری: محلول‌های استاندارد کوئرستین، اسید گالیک، کلروژنیک اسید و روتین به صورت جداگانه با حل کردن مقادیر وزنی ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم از هر استاندارد در حلال مناسب و رساندن حجم به ۱۰۰ میلی‌لیتر با حلال مربوطه تهیه شدند. محلول ذخیره استاندارد بر اساس بیشترین میزان جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد، به طوری که طول موج ۳۸۰ نانومتر برای کوئرستین و طول موج ۲۲۰ نانومتر برای گالیک اسید، طول موج ۳۲۵ نانومتر برای کلروژنیک اسید و طول موج ۲۶۰ نانومتر برای روتین بیشترین میزان جذب را نشان می‌داد. در انتها منحنی‌های کالیبراسیون برای هر چهار ترکیب با رسم جذب بر حسب غلظت‌های استاندارد و انجام رگرسیون خطی به دست آمدند. پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات لازم داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شدند. جهت ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۲۱ استفاده شد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که علاوه بر اثرات ساده سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس اثرات متقابل این دو، بر ارتفاع بوته، تعداد برگ و فاصله میانگره تاثیر معنی‌داری داشت، اما در صفت سطح برگ اثر سالیسیلیک اسید معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس، تعداد برگ، تعداد شاخه و تعداد میانگره کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیانگر اثرات متفاوت کیتوپلاس در سطوح مختلف سالیسیلیک اسید است به طوری که در سطح صفر سالیسیلیک اسید کاربرد کیتوپلاس موجب افزایش ارتفاع گیاه شد به طوری که در سطح یک درصد کیتوپلاس بالاترین میزان ارتفاع بوته به دست آمد که نسبت به عدم کاربرد کیتوپلاس در سطح صفر سالیسیلیک اسید ۱۰/۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱). ولی با کاربرد سالیسیلیک اسید بیشترین ارتفاع در سطح صفر کیتوپلاس به دست آمد و با کاربرد کیتوپلاس ارتفاع کاهش یافت و کمترین میزان ارتفاع (۵۷/۴۳ سانتی متر) در سطح

۱۸/۲۵ درجه سلسیوس؛ رطوبت نسبی ۷۰-۸۰٪ و آبیاری به صورت هفتگی انجام شد). پس از استقرار نشاها در گلدان‌ها، دو هفته پس از انتقال و استقرار کامل گیاهان در گلدان‌ها، تیمار برگی به صورت محلول‌پاشی با کیتوپلاس و اسید سالیسیلیک هر ۱۰ روز یکبار در سه مرحله انجام شد. غلظت تیمارها شامل اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار (Khatooni *et al.*, 2022) و کیتوپلاس - کود محرک زیستی تجاری بر پایه کیتوزان - (کیمیا سبزار، ایران) در غلظت ۰، ۰/۵ و ۱ درصد (Giglou *et al.*, 2022) بودند. گیاهان شاهد فقط با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی اندام هوایی گیاهان تیمار شده و شاهد برای تجزیه و تحلیل جمع‌آوری گردید و در پایان آزمایش صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه، فاصله میانگره با کولیس دیجیتالی و سطح برگ با دستگاه سطح‌سنج اندازه‌گیری شد.

قندهای محلول: مقدار قندهای محلول با روش فنل اسید سولفوریک (Irigoyen *et al.*, 1992) تعیین شد. برای این منظور، گیاهان پس از برداشت در دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. سپس ۰/۱ گرم بافت خشک گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ استخراج و به مدت یک هفته در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد و روزانه هم زده شد. پس از این مدت، ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۲ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق و سپس ۱ میلی‌لیتر فنل ۵٪ و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۴۸٪ اضافه گردید. مخلوط ورتکس شده، ۲۰ دقیقه در حمام آب ۶۵ درجه سلسیوس انکوبه و سپس به دمای محیط رسانده شد. جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و گلوکز به عنوان استاندارد جهت تعیین میزان قندهای محلول مورد استفاده قرار گرفت سپس نتایج بر حسب میلی‌گرم قندهای محلول در هر گرم وزن خشک بیان شد.

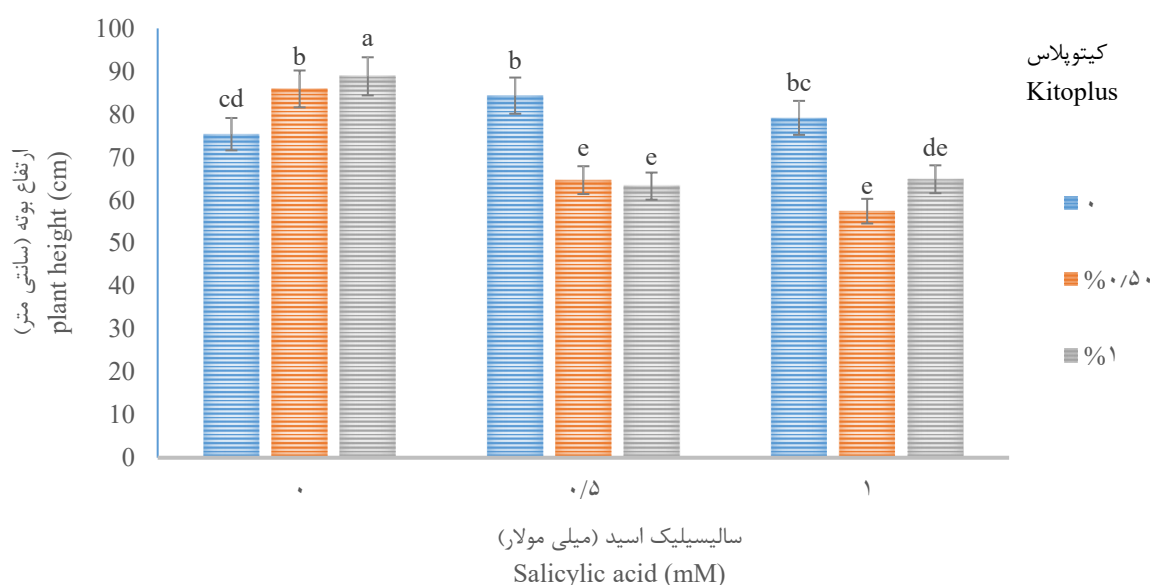
عصاره گیری از گیاهان شیرتیغک برای اندازه‌گیری کلروژنیک اسید، روتین گالیک اسید و کوئرستین: برای تجزیه و تحلیل متابولیت‌های ثانویه از روش (Jakabová *et al.*, 2012) با اندکی تغییرات استفاده شد. برای این منظور کل اندام هوایی گیاه در دمای ۴۵ درجه سلسیوس خشک شدند، گیاهان خشک شده آسیاب پودر شدند. ۵۰ میلی‌گرم پودر توزین شده و با ۵ میلی‌لیتر محلول متانول ۶۰ درصد (v/v) (گرید HPLC، سیگما آلد ریچ، هند) مخلوط شد. مخلوط به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سلسیوس تحت امواج التراسونیک (طی ۳ مرحله ۱۵ دقیقه ای) قرار گرفت و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد (این فرآیند دو بار تکرار شد). در حالی که محلول‌های رویی به فلاسک‌ها منتقل شدند. سپس، محلول رویی جمع‌آوری شده در دمای ۴۵ درجه

یک درصد سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس نیم درصد مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس بر صفات مورفولوژیک گیاهان شیرتیغ

Table 1 – ANOVA Analysis of the effects of salicylic acid and Kitoplus on morphological traits of *Sonchus arvensis* L. plants

میانگین مربعات					
Mean of squares					
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ	فاصله میانگره	سطح برگ
Source of Variation	df	plant height	number of leaves	internode distance	leaf area
سالیسیلیک اسید	2	653.2 **	40.44 **	2.81 **	1333.68 ^{ns}
Salicylic acid					
کیتوپلاس	2	252.12 **	14.11 **	5.25 **	98469.43 **
Kitoplus					
سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس	4	340.31 **	12.05 **	1.48 *	9194.72 **
Salicylic acid × Kitoplus					
خطا	18	2.82	1.186	0.251	40.83
Error					
ضریب تغییرات	-	3.8	8.8	10.1	19.6
Coefficient of Variation					



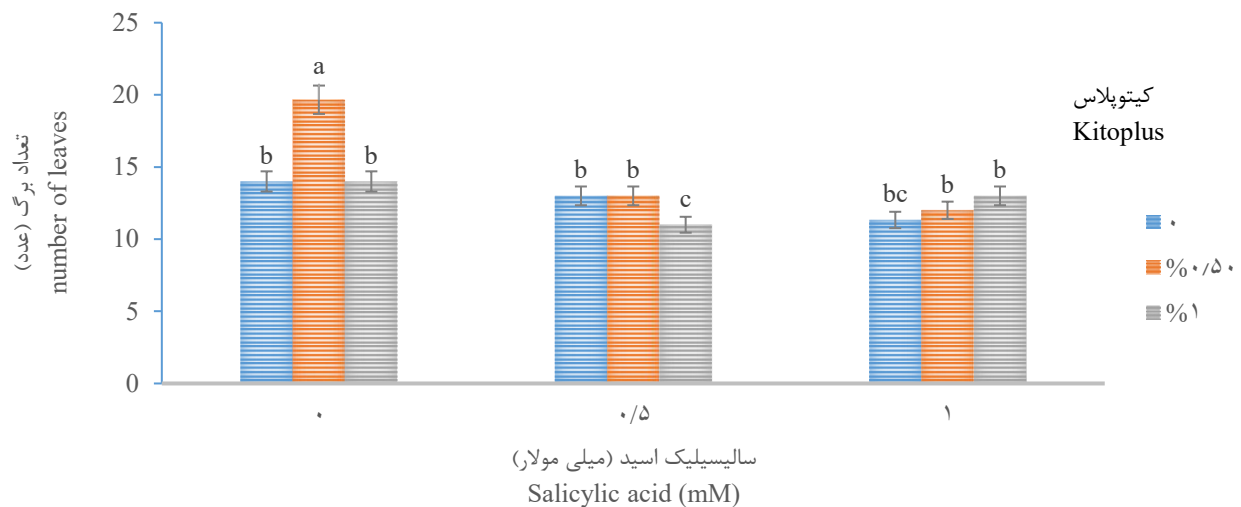
شکل ۱- تغییرات ارتفاع بوته تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ و وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 1- Changes in plant height of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) as affected by salicylic acid and Kitoplus treatments.

Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

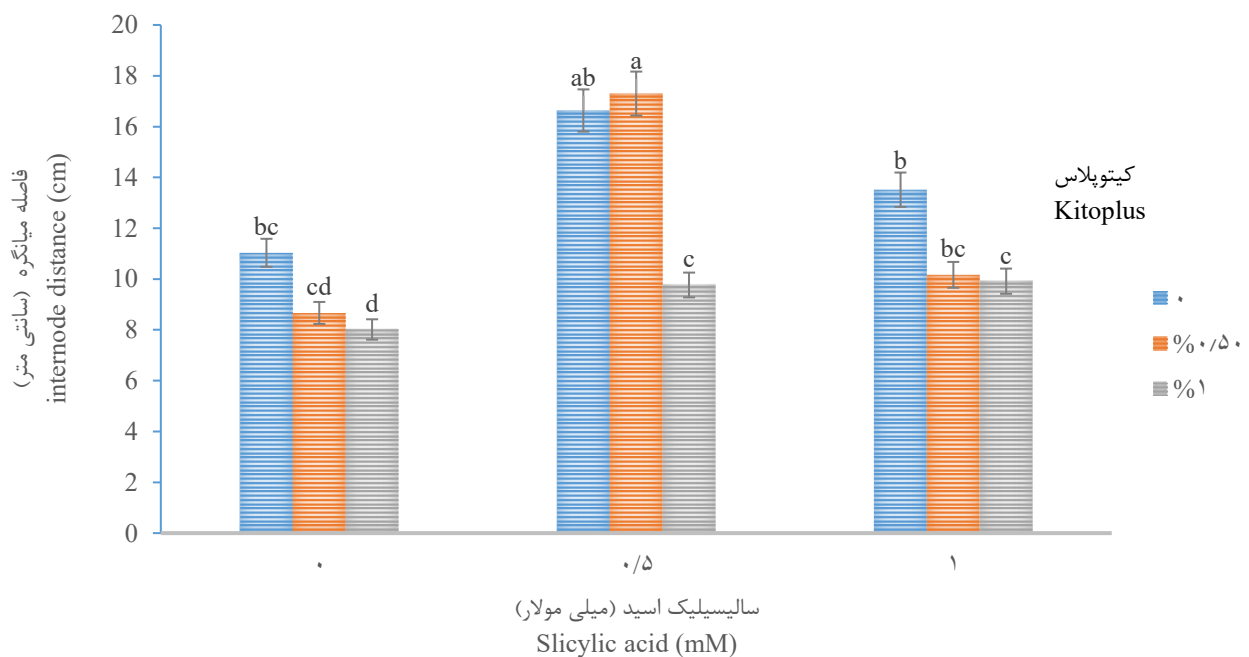
به‌طوری‌که با افزایش غلظت کیتوپلاس، فاصله میان‌گره روند کاهشی داشت. بیشترین فاصله میان‌گره (۱۷/۳ سانتی‌متر) در تیمار ترکیبی کیتوپلاس با غلظت ۰/۵ درصد و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار این شاخص در گیاهان تیمار شده با کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد به‌دست آمد (شکل ۳).

در بررسی تعداد برگ در گیاهان تحت تیمار با سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس مشاهده شد که استفاده همزمان این دو تیمار باهم سبب کاهش تعداد برگ در گیاهان شیرتیغ وحشی شده است. این در حالی بود که در شرایط عدم استفاده از سالیسیلیک اسید و در غلظت ۰/۵ کیتوپلاس بیشترین تعداد برگ (۱۹/۵) نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل ۲). فاصله میان‌گره نیز تحت تأثیر کیتوپلاس و سالیسیلیک اسید تغییرات قابل توجهی نشان داد؛



شکل ۲- تغییرات تعداد برگ تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 2- Changes in leaf number of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) in response to salicylic acid and Kitoplus applications. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

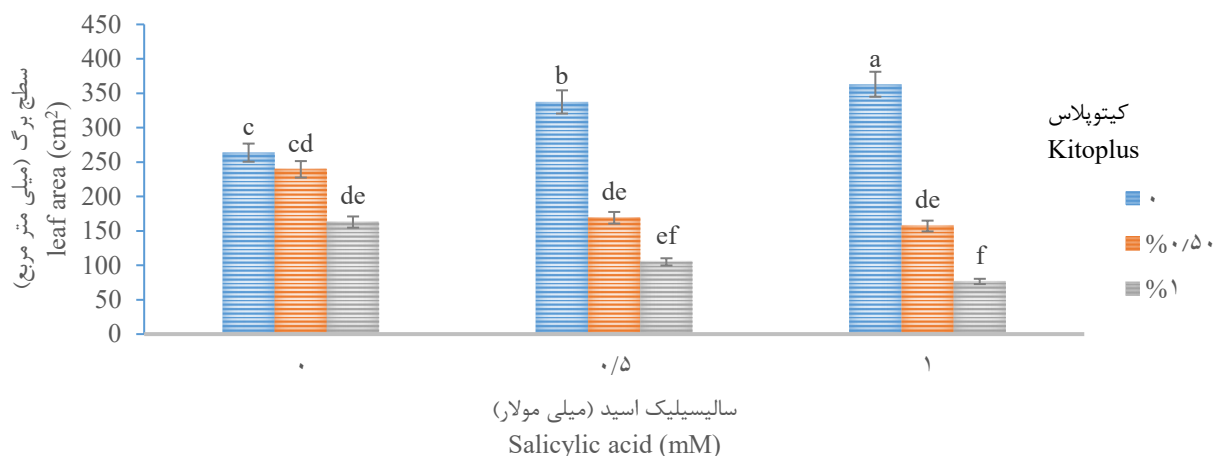


شکل ۳- تغییرات فاصله میانگره تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 3- Variations in internode length of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) under the influence of salicylic acid and Kitoplus. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

جלוگیری کرد؛ به‌طوری‌که بیشترین سطح برگ (۳۶۳/۰۲۸ سانتی‌متر مربع) در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار و بدون تیمار کیتوپلاس مشاهده شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش غلظت کیتوپلاس، سطح برگ کاهش یافت. در مقابل، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید در شرایط عدم استفاده از کیتوپلاس موجب افزایش سطح برگ شد و در غلظت‌های بالاتر سالیسیلیک اسید از کاهش سطح برگ



شکل ۴- تغییرات میزان سطح برگ تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغک وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 4- Changes in leaf area of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) as affected by salicylic acid and Kitoplus treatments. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

تحریک تقسیم و گسترش سلولی است (El-Tayeb, 2005; Faizan *et al.*, 2020). این یافته‌ها با گزارش‌های پیشین مبنی بر افزایش کلروفیل و بهبود فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید هم‌خوانی دارد (Akif Açıkgöz, 2025; Gupta & Huang, 2014). با توجه به اینکه کیتوپلاس حاوی کیتوزان است، به‌عنوان یک محرک زیستی طبیعی نقش مهمی در تنظیم رشد گیاه ایفا می‌کند. افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در تیمار کیتوپلاس با غلظت یک درصد نشان‌دهنده نقش مثبت این محرک زیستی در تحریک رشد طولی گیاه است. کیتوزان می‌تواند از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تنظیم فشار اسمزی سلولی و بهبود وضعیت فیزیولوژیکی گیاه، رشد سلولی و طویل شدن میان‌گره‌ها را تقویت نماید (El-Tayeb, 2005; Farouk *et al.*, 2011). هم‌راستی نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده در گیاهانی نظیر نعنای، توت‌فرنگی و گندم، نقش مؤثر کیتوزان و مشتقات آن را در بهبود صفات رشدی تأیید می‌کند (Rahman *et al.*, 2017; Zong *et al.*, 2018). با این حال، کاهش سطح برگ با افزایش غلظت کیتوپلاس و تعدیل این اثر توسط سالیسیلیک اسید نشان می‌دهد که تعامل این دو ترکیب نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم سطح فتوسنتزی گیاه دارد. به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید قادر است اثرات محدودکننده کیتوپلاس بر توسعه سطح برگ را تا حدی جبران کند و از این طریق تعادل میان رشد رویشی و پاسخ‌های دفاعی گیاه را حفظ نماید. این پاسخ‌های متقابل بیانگر آن است که اثر کیتوپلاس و سالیسیلیک اسید نه‌تنها وابسته به غلظت مصرفی، بلکه وابسته به تعامل پیچیده مسیرهای هورمونی،

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید و محرک زیستی کیتوپلاس تأثیر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیک و نیز تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاه شیرتیغک وحشی دارد. پاسخ گیاه به این تیمارها به‌طور کلی وابسته به غلظت بوده و بیانگر نقش تنظیمی این ترکیبات در ایجاد تعادل میان رشد رویشی و متابولیسم ثانویه است. کاهش تعداد برگ، شاخه و میان‌گره در سطوح مختلف سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس می‌تواند ناشی از تغییر در تخصیص منابع گیاه باشد؛ به‌گونه‌ای که در شرایط القای نوعی تنش فیزیولوژیک، منابع فتوسنتزی و انرژی به‌جای توسعه رویشی، به سمت فعال‌سازی مسیرهای دفاعی و تولید متابولیت‌های ثانویه هدایت می‌شوند. این الگو پیش‌تر در گیاهان دارویی مختلف گزارش شده و نشان می‌دهد که محرک‌های زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد می‌توانند از طریق تغییر مسیرهای متابولیکی، رشد رویشی گیاه را تعدیل کنند (Gorni, 2016; Hammad & Ali, 2014).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یکی از سیگنال‌دهنده‌های مهم در تنظیم رشد و پاسخ‌های دفاعی گیاهان شناخته می‌شود و قادر است با اثرگذاری بر مسیرهای فیتوهورمونی، بیان ژن‌ها و فرآیندهای فیزیولوژیک، صفات مورفولوژیک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های بهینه می‌تواند موجب افزایش سطح برگ و بهبود عملکرد فتوسنتزی شود، در حالی که در غلظت‌های بالاتر یا در شرایط خاص، اثرات مهاری بر رشد رویشی اعمال می‌کند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که افزایش سطح برگ در تیمارهای سالیسیلیک اسید، به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار، احتمالاً ناشی از افزایش سنتز کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتزی و

نشان داد که تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ میلی-مولار موجب افزایش قند محلول (۳/۲۷۰۱ میلی-گرم در گرم) نسبت به گیاهان شاهد شد این در حالی بود که در غلظت ۱ میلی-مولار سالیسیلیک اسید میزان قندهای محلول کاهش یافت (شکل ۵a). همچنین بیشترین میزان قندهای محلول در گیاهان تیمار شده با کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد مشاهده شد که ۳/۱۵۲۷ میلی-گرم در گرم بیشتر از شاهد بود (شکل ۵b).

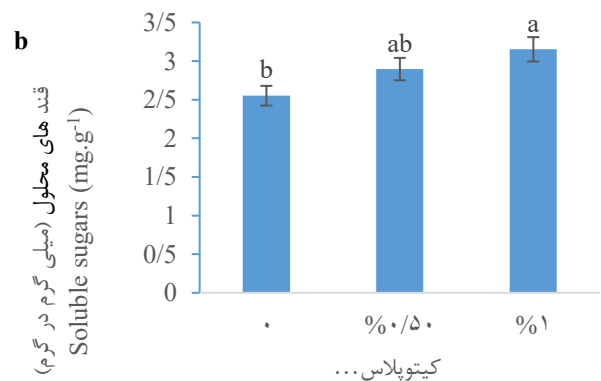
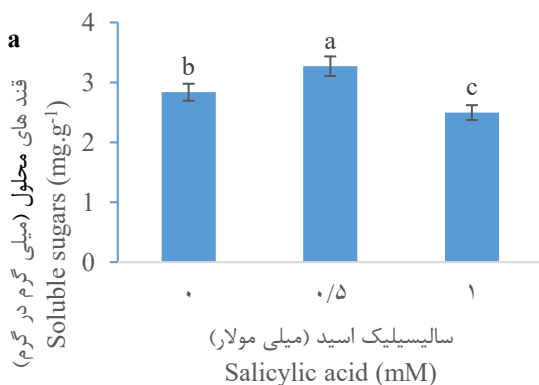
فیزیولوژیکی و متابولیکی در گیاه است (Heydarnajad Giglou et al., 2024; Khattab et al., 2022).

قندهای محلول: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثرات ساده کیتوپلاس (در سطح احتمال پنج درصد) و سالیسیلیک اسید (در سطح احتمال یک درصد) بر میزان قندهای محلول تاثیر معنی-داری داشت. این در حالی بود که برهمکنش سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس بر میزان قندهای محلول تاثیر معنی-داری نداشت (جدول ۲). نتایج بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر قندهای محلول

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس روی متابولیت‌های ثانویه گیاهان شیرتیغ

Table 2 – ANOVA Analysis of the effects of salicylic acid and Kitoplus on secondary metabolites of *Sonchus arvensis* L. plants

میانگین مربعات						
Mean of squares						
منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول	کلروژنیک اسید	کوئرستین	گالیک اسید	روتین
Source of Variation	df	Soluble sugars	Chlorogenic acid	Quercetin	Gallic acid	Rutin
سالیسیلیک اسید	2	1.356 **	0.00751 **	0.0341 **	0.0273 *	0.568 ns
Salicylic acid						
کیتوپلاس	2	0.818 *	0.0045 ns	1.618 **	0.0961 **	1.936 **
Kitoplus						
سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس	4	0.205 ns	0.0159 **	1.857 **	0.717 **	1.244 *
Salicylic acid × Kitoplus						
خطا	18	0.47	0.045	0.381	0.085	0.701
Error						
ضریب تغییرات	-	16.38	6.5	12.7	5.2	14.5
Variation						



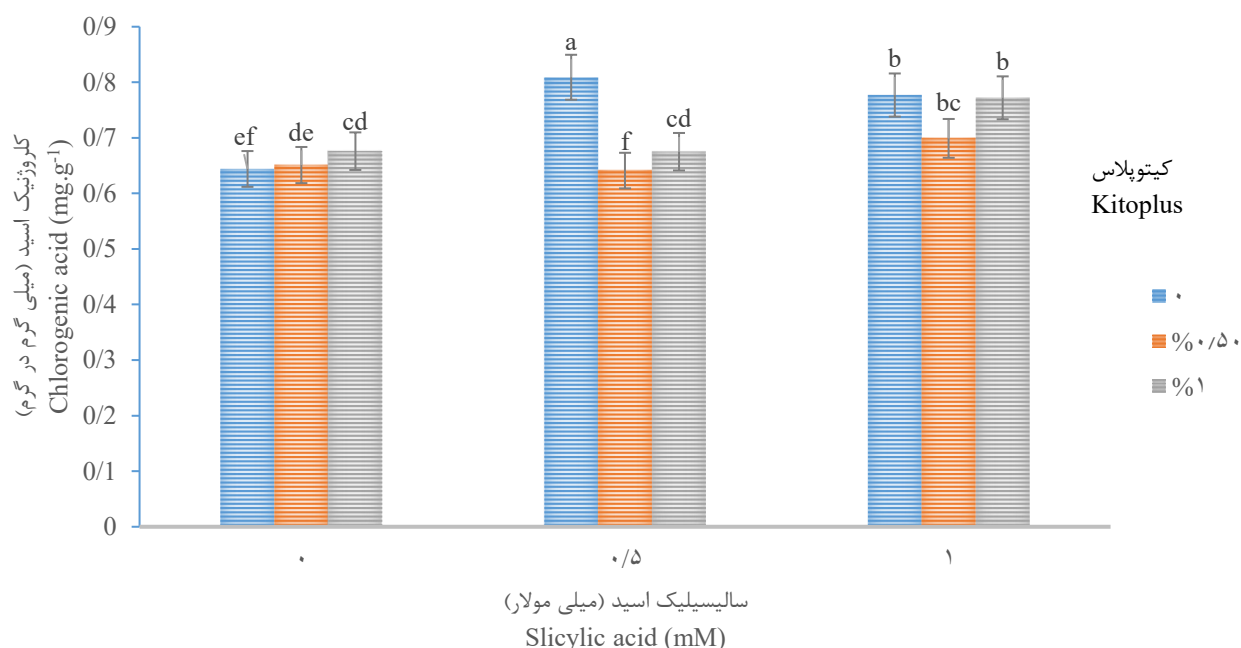
شکل ۵- تغییرات قندهای محلول تأثیر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (a) و کیتوپلاس (b) در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 5- Effects of different concentrations of salicylic acid (a) and Kitoplus (b) on Changes in soluble sugar of sowthistle (*Sonchus arvensis* L.). Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

همچنین در تیمار کیتوپلاس با غلظت ۱ درصد نشان‌دهنده نقش این تیمارها در بهبود فتوسنتز و تجمع کربوهیدرات‌ها است. قندهای محلول علاوه بر نقش انرژی‌زایی، به‌عنوان پیش‌سازهای مهم در سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی عمل می‌کنند. کاهش قند محلول در

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس تأثیر معنی‌داری بر محتوای قندهای محلول دارد و پاسخ گیاه به این تیمارها به‌طور مشخص وابسته به غلظت بود. افزایش قندهای محلول در غلظت ۰/۵ میلی-مولار سالیسیلیک اسید و

× کیتوپلاس بر محتوای کلروژنیک اسید در گیاهان شیرتیغک وحشی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که محتوای کلروژنیک اسید با افزایش غلظت کیتوپلاس تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای داشت. به‌طوری‌که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس محتوای کلروژنیک نسبت به گیاهان شاهد روندی افزایشی داشت. با این‌وجود در مقایسه با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس، غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را بر میزان کلروژنیک اسید. از این‌رو بیشترین میزان محتوای کلروژنیک اسید (۰/۸۰۹ میلی گرم در گرم بافت خشک) در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. که این میزان ۲۰/۳۹ درصد بیشتر از میزان کلروژنیک اسید به‌دست‌آمده در گیاهان شاهد بود (شکل ۶).



شکل ۶- تغییرات محتوای کلروژنیک اسید تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغک وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

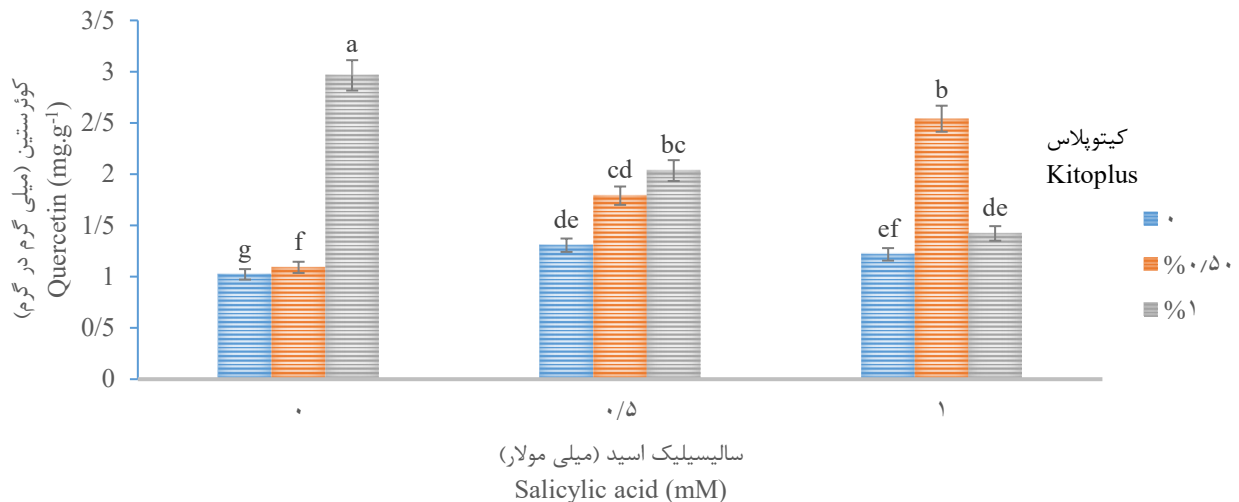
Figure 6- Changes in chlorogenic acid content of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) in response to salicylic acid and Kitoplus treatments. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

سالیسیلیک اسید (۰/۵ میلی‌مولار) غلظت یک درصد کیتوپلاس افزایش یافت. بیشترین میزان کوئرستین تحت تأثیر کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد (۲/۹۶۴ میلی گرم در گرم بافت خشک) مشاهده شد. که این میزان ۶۵/۴۸ درصد بیشتر از میزان کوئرستین مشاهده‌شده در نمونه‌های شاهد بود (شکل ۷).

غلظت بالاتر سالیسیلیک اسید احتمالاً ناشی از مصرف این ترکیبات در مسیرهای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه یا افزایش تنش متابولیکی است (Faizan *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2015). افزایش معنی‌دار قندهای محلول در گیاهان تیمار شده با کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد نشان می‌دهد که این محرک زیستی از طریق بهبود کارایی فتوسنتزی، افزایش جذب عناصر غذایی و تقویت فعالیت‌های متابولیکی موجب افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها می‌شود. کیتوزان به‌عنوان ترکیب اصلی کیتوپلاس، با بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه و افزایش توان فتوسنتزی، نقش مؤثری در افزایش ذخایر قندی ایفا می‌کند که این ذخایر پیش‌ساز اصلی سنتز ترکیبات فنولی محسوب می‌شوند (Farouk *et al.*, 2011; Giglou *et al.*, 2022; Heydarnajad Giglou *et al.*, 2024).

متابولیت‌های ثانویه: بررسی تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده سالیسیلیک اسید و همچنین برهمکنش سالیسیلیک اسید

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که اثرات ساده کیتوپلاس و همچنین برهمکنش سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوای کوئرستین در گیاهان شیرتیغک وحشی داشت این درحالی بود که اثر سالیسیلیک اسید بر میزان این شاخص معنی‌دار نشد (جدول ۲). محتوای کوئرستین با افزایش غلظت کیتوپلاس و سالیسیلیک اسید تا سطوح متوسط

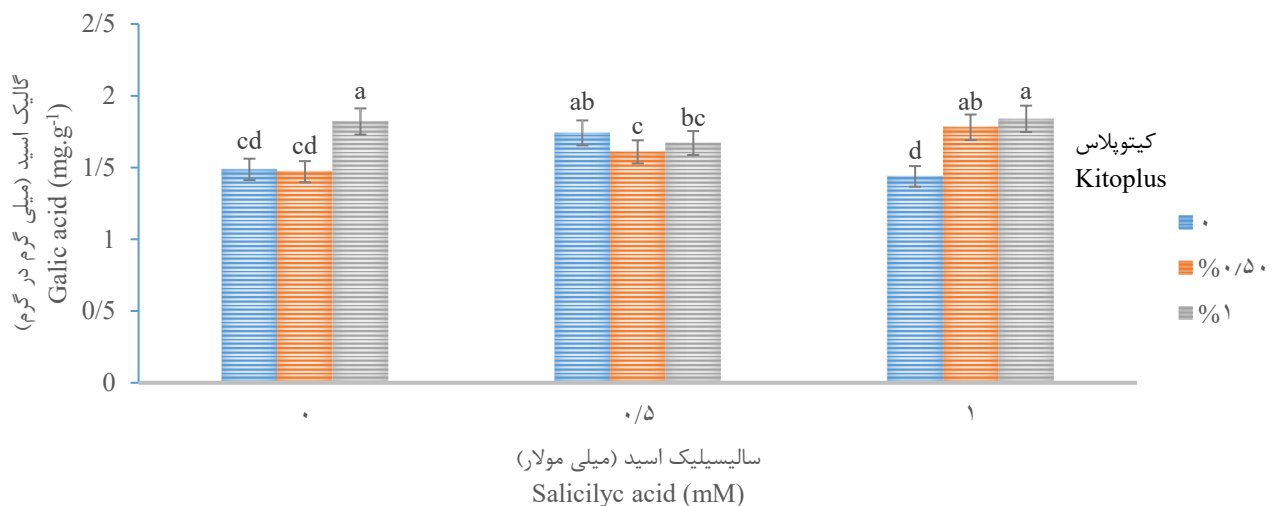


شکل ۷- تغییرات محتوای کوئرستین تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 7- Changes in quercetin content of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) as influenced by salicylic acid and Kitoplus applications. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

که غلظت سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را بر میزان محتوای گالیک اسید در گیاهان شیرتیغ وحشی داشت. بیشترین میزان محتوای گالیک اسید (۱/۸۳۹ میلی گرم در گرم) در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی مولار در شرایط استفاده از کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد مشاهده شد. که این میزان ۱۹/۱۴ درصد بیشتر از میزان گالیک اسید به دست آمده در گیاهان شاهد بود (شکل ۸).

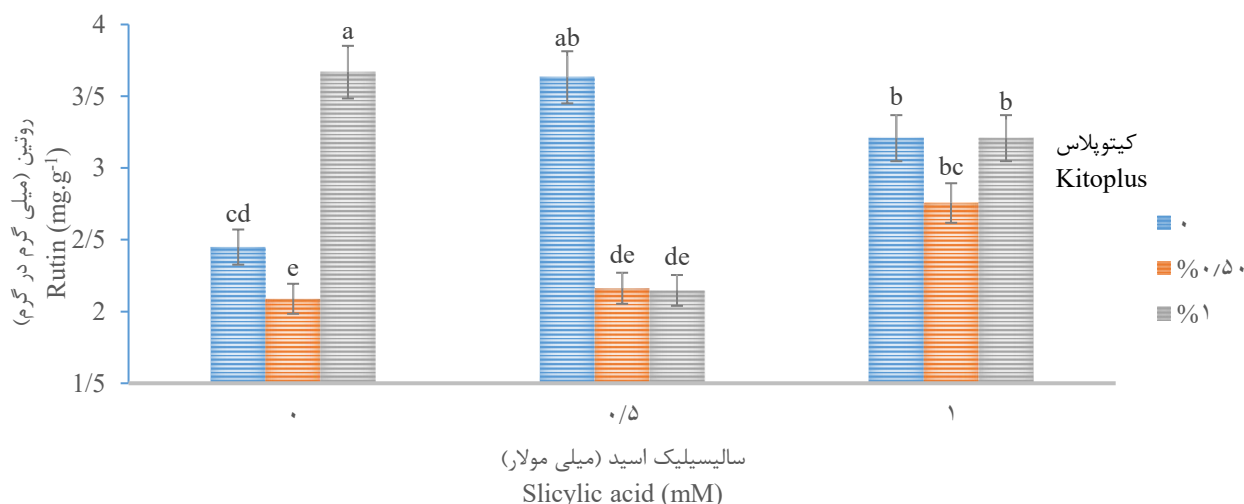
نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که علاوه اثرات ساده سالیسیلیک اسید (در سطح احتمال پنج درصد)، کیتوپلاس (در سطح احتمال یک درصد)، برهمکنش سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوای کوئرستین در گیاهان شیرتیغ وحشی داشت (جدول ۲). در بررسی اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان محتوای گالیک اسید مشاهده شد که با افزایش غلظت کیتوپلاس روند افزایشی داشت این در حالی بود



شکل ۸- تغییرات محتوای گالیک اسید تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 8- Changes in gallic acid content of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) under the effect of salicylic acid and Kitoplus treatments. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

سالیسیلیک اسید افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان این شاخص در گیاهان تیمار شده با کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد مشاهده شد. که این میزان ۳۳/۲۳ درصد بیشتر از میزان این شاخص به‌دست‌آمده در گیاهان شاهد بود (شکل ۹). این درحالی بود که استفاده از غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نیز باعث افزایش محتوای روتین در گیاهان شیرتیغ وحشی شد اما این افزایش در مقایسه با شرایط استفاده از کیتوپلاس کمتر بود.



شکل ۹- تغییرات محتوای گالیک اسید تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس در گیاهان شیرتیغ وحشی (*Sonchus arvensis* L.). خطوط عمودی روی نمودار، انحراف معیار را نشان می‌دهند، مقادیر مشخص شده با حروف یکسان، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$).

Figure 9- Changes in rutin content of field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.) as affected by salicylic acid and Kitoplus treatments. Whiskers indicate standard deviation, the values marked with the same letter do not differ significantly according to the Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$).

تأثیر کیتوپلاس نشان می‌دهد که این محرک زیستی از طریق القای پاسخ‌های شبه‌تنشی و تحریک مسیر فلاونوئیدسازی موجب افزایش تجمع این ترکیب می‌شود (Elbouzidi et al., 2025; Giglou et al., 2022; Zong et al., 2017). افزایش گالیک اسید در تیمار ترکیبی سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس نیز نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی این دو تیمار در تحریک مسیرهای متابولیکی مرتبط با ترکیبات فنلی است (Aazami et al., 2023; Mahmoodi et al., 2025; Nabizadeh & Haghshenas, 2026). محتوای روتین در شرایط عدم استفاده از سالیسیلیک اسید و با افزایش غلظت کیتوپلاس به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار کیتوپلاس ۱ درصد مشاهده شد که نشان می‌دهد کیتوپلاس نقش غالب‌تری نسبت به سالیسیلیک اسید در تحریک سنتز روتین دارد. اگرچه سالیسیلیک اسید نیز موجب افزایش محتوای روتین شد، اما شدت این اثر کمتر از کیتوپلاس بود که می‌تواند ناشی از تفاوت در مسیرهای سیگنالینگ فعال‌شده توسط این دو ترکیب باشد (Khan et al., 2015; Nabizadeh & Haghshenas, 2026).

طی نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که اثرات ساده کیتوپلاس (در سطح احتمال یک درصد) و همچنین برهمکنش سالیسیلیک اسید × کیتوپلاس در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوای روتین در گیاهان شیرتیغ وحشی داشت این درحالی بود که اثر سالیسیلیک اسید بر میزان این شاخص معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج حاصل نشان داد که محتوای روتین نیز با افزایش غلظت کیتوپلاس در شرایط عدم استفاده از

افزایش معنی‌دار محتوای کلروژنیک اسید، کوئرستین، گالیک اسید و روتین در پاسخ به سالیسیلیک اسید و کیتوپلاس بیانگر القای مؤثر مسیر فنیل‌پروپانوئید در گیاه شیرتیغ وحشی است. سالیسیلیک اسید با فعال‌سازی آنزیم‌های کلیدی نظیر فنیل‌آلانین آمونیالایز (PAL) و چالکون سنتاز (CHS) می‌تواند سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی را افزایش دهد (Antolínez-Pérez et al., 2025; Khat tab et al., 2022; Park et al., 2019). در این پژوهش، بیشترین میزان کلروژنیک اسید در غلظت متوسط سالیسیلیک اسید مشاهده شد که نشان می‌دهد غلظت‌های بهینه این تنظیم‌کننده نقش مؤثرتری در تحریک متابولیسم ثانویه دارند. از سوی دیگر، کیتوپلاس به‌ویژه در غلظت ۱ درصد بیشترین تأثیر را بر افزایش کوئرستین و روتین نشان داد. این افزایش می‌تواند ناشی از القای پاسخ‌های دفاعی، افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهبود انتقال نیتروژن و کربن در گیاه باشد که در نهایت موجب افزایش سنتز فلاونوئیدها می‌شود (Cheng et al., 2006; Park et al., 2019; Torabi Giglou et al., 2023). افزایش محتوای کوئرستین تحت

نتیجه گیری کلی

بر افزایش کلروژنیک و گالیک اسید داشت، در حالی که کیتوپلاس در غلظت ۱ درصد موجب افزایش بیشتر کوثرستین و روتین شد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که کیتوپلاس و سالیسیلیک اسید می‌توانند به عنوان ترکیباتی مؤثر در هدایت رشد، تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیک و تقویت تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه شیرتیغک وحشی مطرح باشند و از این رو، استفاده از آن‌ها می‌تواند در بهبود کیفیت و ارزش دارویی این گیاه نقش مهمی ایفا کند؛ با این حال، برای دستیابی به درک دقیق‌تر از سازوکار اثر این ترکیبات، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، پاسخ گیاه در مراحل مختلف رشدی و تحت شرایط تنش‌های محیطی ارزیابی گردد و طی آن تغییرات فیزیولوژیک و مولکولی مرتبط با سنتز ترکیبات مؤثره با جزئیات بیشتری مطالعه شود و نیز امکان‌سنجی کاربرد این تیمارها در شرایط مزرعه و در مقیاس تولید تجاری مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- Aazami, M. A., Maleki, M., Rasouli, F., & Gohari, G. (2023). Protective effects of chitosan based salicylic acid nanocomposite (CS-SA NCs) in grape (*Vitis vinifera* cv. 'Sultana') under salinity stress. *Scientific reports*, 13(1): 883. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27618-z>.
- Abin, A., & Eslami, S. (2009). Influence of maternal environment on salinity and drought tolerance of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.) at germination and emergence stage. *Weed Research Journal*, 1(2): 1-11. <https://sid.ir/paper/230816/en>
- Aharoni, A., Jongsma, M. A., Kim, T.-Y., Ri, M.-B., Giri, A. P., Verstappen, F. W., Schwab, W., & Bouwmeester, H. J. (2006). Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis in plants. *Phytochemistry Reviews*, 5(1): 49-58. <https://doi.org/10.1007/s11101-005-3747-3>.
- Akif Açıkgoz, M. (2025). Salicylic Acid and Chitosan Elicitors: Pre-Harvest Foliar Applications Improve Antioxidant Activity by Increasing Phenolic Compounds in *Achillea Gypsicola* Hub-Mor. *Chemistry & Biodiversity*, 22(7): e202402716. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202402716>.
- Alrekabi, D. G., & Hamad, M. N. (2018). Phytochemical investigation of *Sonchus oleraceus* (Family: Asteraceae) cultivated in Iraq, isolation and identification of quercetin and apigenin. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(9): 2242-2248.
- Antolínez-Pérez, M. F., Fernández-Trujillo, J. P., Sequeda-Castañeda, L. G., & Pineros-Castro, Y. (2025). Induction of Bioactive Secondary Metabolites in *Annona cherimola* Mill.(Chirimoya) Seedlings Using Chitosan and Salicylic Acid as Elicitors. *Plant-Environment Interactions*, 6(4): e70075. <https://doi.org/10.1002/pei3.70075>.
- Azizyan, R., & Abdollahi Mandoulakani, B. (2023). The Effect of Drought Stress on Some Morphological, Phytochemical, and Biochemical Characteristics of the Medicinal Plant Field Sowthistle (*Sonchus arvensis* L.). *Journal of Crop Breeding*, 15(47): 41-55. <http://doi.org/10.61186/jcb.15.47.41>.
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *J Hazard Mater*, 97(1-3): 219-243. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(02)00263-7)
- Chen, L., Teng, H., Xie, Z., Cao, H., Cheang, W. S., Skalicka-Woniak, K., Georgiev, M. I., & Xiao, J. (2018). Modifications of dietary flavonoids towards improved bioactivity: An update on structure-activity relationship. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 58(4): 513-527. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1196334>
- Cheng, X.-Y., Zhou, H.-Y., Cui, X., Ni, W., & Liu, C.-Z. (2006). Improvement of phenylethanoid glycosides biosynthesis in *Cistanche deserticola* cell suspension cultures by chitosan elicitor. *Journal of biotechnology*, 121(2): 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.07.012>.
- El-Tayeb, M. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant growth regulation*, 45(3): 215-224. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1>.
- Elbouzidi, A., Taibi, M., Baraich, A., Haddou, M., Mothana, R. A., Alsufyani, S. A., Darwish, H. W., Molinié, R., Fontaine, J.-X., & Fliniaux, O. (2025). Elicitor-driven enhancement of phenolic compounds in geranium callus cultures: Phytochemical profiling via LC-MS/MS and biological activities. *Frontiers in Chemistry*, 13: 1537877. <https://doi.org/10.3389/fchem.2025.1537877>.
- Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2020). Effective use of zinc oxide nanoparticles through root dipping on the performance of growth, quality, photosynthesis and antioxidant system in tomato. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 29(3): 553-567. <https://doi.org/10.1007/s13562-019-00525-z>.
- Farouk, S., Mohsen, A. E., & Amany, R. (2011). Improving growth and yield of cowpea plant by foliar

- application of chitosan under water stress. *Journal of Plant Production*, 2(10): 1341-1358. <https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85662>.
- Giglou, M. T., Giglou, R. H., Esmailpour, B., Azarmi, R., Padash, A., Falakian, M., Śliwka, J., Gohari, G., & Lajayer, H. M. (2022).** A new method in mitigation of drought stress by chitosan-coated iron oxide nanoparticles and growth stimulant in peppermint. *Industrial Crops and Products*, 187: 115286. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115286>.
- Gorni, P. H. (2016).** Growth promotion and elicitor activity of salicylic acid in *Achillea millefolium* L. *African Journal of Biotechnology*, 15(16): 657-665. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15320>.
- Gupta, B., & Huang, B. (2014).** Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics*, 2014(1): 701596. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>.
- Hammad, S. A., & Ali, O. A. (2014).** Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1): 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.06.018>.
- Heydarnajad Giglou, R., Torabi Giglou, M., Hatami, M., & Ghorbanpour, M. (2024).** Potential of natural stimulants and spirulina algae extracts on Cape gooseberry plant: A study on functional properties and enzymatic activity. *Food Science & Nutrition*, 12(11): 9056-9068. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4342>.
- Irigoyen, J., Einerich, D., & Sánchez-Díaz, M. (1992).** Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum*, 84(1): 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>.
- Jakabová, S., Vincze, L., Farkas, A., Kilár, F., Boros, B., & Felinger, A. (2012).** Determination of tropane alkaloids atropine and scopolamine by liquid chromatography-mass spectrometry in plant organs of *Datura* species. *J Chromatogr A*, 1232: 295-301. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.02.036>.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015).** Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in plant science*, 6: 135066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>.
- Khatooni, M., Karimmojeni, H., Zali, A. G., & Tseng, T.-M. (2022).** Salicylic acid enhances tolerance of *Valeriana officinalis* L. to bentazon herbicide. *Industrial Crops and Products*, 177: 114495. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114495>.
- Khattab, S., Yap, Y.-K., & El Sherif, F. (2022).** Salicylic acid foliar spray enhanced *Silybum marianum* growth and yield, as well as its chemical constituents and chalcone synthase gene activity. *Horticulturae*, 8(6): 556. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060556>.
- Li, X.-M., & Yang, P.-L. (2018).** Research progress of *Sonchus* species. *International journal of food properties*, 21(1): 147-157. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1415931>.
- Mahmoodi, Y., Soleimanizadeh, M., & Yavari, A. (2025).** Influence of plant growth regulators and chitosan elicitation on callus induction and improvement of morphophysiological, metabolic and antioxidant traits in *Chrysanthemum indicum* L. *Journal of Horticultural Sciences*, 20(2). <https://doi.org/10.24154/jhs.v20i2.4515>.
- Mandal, S. (2010).** Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. *African Journal of Biotechnology*, 9(47): 8038-8047. <https://doi.org/10.5897/AJB10.984>.
- Nabizadeh, E., & Haghshenas, M. (2026).** Kitoplus® and Melatonin Mitigate Drought Stress Effects and Enhance Stevioside and Rebaudioside-A Production in *Stevia*. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 13(2): 197-210. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2025.374562.815>.
- Nadeem, M., Ahmad, W., Zahir, A., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2019).** Salicylic acid-enhanced biosynthesis of pharmacologically important lignans and neo lignans in cell suspension culture of *Linum ussitatissimum* L. *Eng Life Sci*, 19(3): 168-174. <https://doi.org/10.1002/elsc.201800095>.
- Park, C. H., Yeo, H. J., Park, Y. E., Chun, S. W., Chung, Y. S., Lee, S. Y., & Park, S. U. (2019).** Influence of chitosan, salicylic acid and jasmonic acid on phenylpropanoid accumulation in germinated buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Foods*, 8(5): 153. <https://doi.org/10.3390/foods8050153>.
- Prakash, V., Singh, V. P., Tripathi, D. K., Sharma, S., & Corpas, F. J. (2021).** Nitric oxide (NO) and salicylic acid (SA): A framework for their relationship in plant development under abiotic stress. *Plant Biol (Stuttg)*, 23 Suppl 1: 39-49. <https://doi.org/10.1111/plb.13246>.
- Rahman, M., Mukta, J. A., Sabir, A. A., Gupta, D. R., Mohi-Ud-Din, M., Hasanuzzaman, M., Miah, M. G., Rahman, M., & Islam, M. T. (2018).** Chitosan biopolymer promotes yield and stimulates accumulation of antioxidants in strawberry fruit. *PloS one*, 13(9): e0203769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203769>.
- Raskin, I. (1992).** Role of salicylic acid in plants. *Annual review of plant biology*, 43(1): 439-463. <http://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>.
- Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., & Enck, P. (2017).** The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: a comprehensive review of the literature. *European journal of nutrition*, 56(7): 2215-2244. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1379-1>.
- Torabi Giglou, M., Heydarnajad Giglou, R., Azarmi, R., Salimi, G., Maleki Lajayer, H., Mokhtari, A. M., & Bagherian, M. (2023).** Effects of Kitoplus® and Chitosan coated Iron Nano-oxide on morpho-physiological properties of peppermint under drought stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(12): 135-146.
- Wang, F. P., & Gale, J. F. (2009).** Screening criteria for shale-gas systems.
- Zong, H., Liu, S., Xing, R., Chen, X., & Li, P. (2017).** Protective effect of chitosan on photosynthesis and antioxidative defense system in edible rape (*Brassica rapa* L.) in the presence of cadmium. *Ecotoxicology and environmental safety*, 138: 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.009>.