



## The effect of sodium nitroprusside and triacontanol on the morphological and phytochemical characteristics of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in the full bloom stage

Saeideh Alizadeh Salteh<sup>1\*</sup> , Samaneh Khalafkhani<sup>2</sup>, Parinaz Ferdowsi Qebchaq<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran

**Citation:** Alizadeh Salteh, S., Khalafkhani, S., Ferdowsi Qebchaq, P. (2025). The effect of sodium nitroprusside and triacontanol on the morphological and phytochemical characteristics of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in the full bloom stage. *Plant Productions*, 48(1), 141 - 155.

### Abstract

#### Introduction

Sodium nitroprusside (SNP) and triacontanol (Tria), as plant growth regulators, enhance plant growth and development and influence the production of secondary metabolites. Triacontanol specifically plays a key role in regulating various biochemical and physiological processes, including photosynthesis. This leads to increased growth, yield, and product quality, as well as improvement in active compounds in medicinal and aromatic plants under normal or stressful conditions. Triacontanol can exert this effect alone or in interaction with other hormones and plant growth regulators. Sodium nitroprusside is recognized as a plant growth regulator, acting as a mediator to perform its regulatory role. It is commonly used as a nitric oxide-releasing compound in plants, which, in solution, is light-sensitive, and its decomposition is accelerated by oxygen and high temperatures. Nitric oxide itself is considered a reactive nitrogen species that can act as a signaling molecule, mediating adaptive responses to biotic and abiotic stresses in plants. Furthermore, it functions as an antioxidant, scavenging free radicals and eliminating them. *Dracocephalum moldavica* L., commonly known as Moldavian balm, is an annual, aromatic herb from the mint family (Lamiaceae). Native to Central Asia and domesticated in Central and Eastern Europe, it holds significant economic and medicinal value. This study investigates the effects of SNP and Tria on the morphological changes, as well as, quantitative and qualitative performance of secondary metabolites, especially the essential oil yield of *D. moldavica*.

---

\* **Corresponding Author:** Saeeda Alizadeh Salteh  
**E-mail:** s.alizadeh@tabrizu.ac.ir



### Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment using a completely randomized design with three replications at the Faculty of Agriculture, Tabriz University. The experimental factors included foliar application of three concentrations each of sodium nitroprusside (0, 0.5 and 1 mM) and triacanthanol (0, 0.5 and 1 mM) during the flowering stage. The evaluated traits included growth parameters (leaf area and number of lateral branches), shoot yield (fresh and dry weight), essential oil yield and percentage, biochemical characteristics (soluble solids, protein, flavonoid and total phenol content) and nutrient content (nitrogen, phosphorus, potassium and sodium) at the full bloom stage.

### Results and Discussion

The results demonstrated significant effects of SNP and Tria interactions on leaf area and the number of lateral branches. SNP at 1 mM notably increased shoot fresh and dry weight. Different concentrations of Tria significantly influenced total soluble solids. Foliar applications of SNP and Tria significantly improved leaf tissue nutrient content, with the highest increases observed at 1 mM. Additionally, treatments with SNP and Tria, individually and in combination, significantly increased phenol, flavonoid and total soluble protein contents. The combination of 1mM SNP and 1mM Tria led to increases of 62.93 %, 51.24 %, and 34.92% in phenol, flavonoid, and protein content, respectively, compared to the control. The same treatment also increased the essential oil yield by 207% compared to the control treatment.

### Conclusion

The study underscore the significant impact of appropriate concentrations of sodium nitroprusside and triacanthanol on the growth and yield of Moldavian Balm. Among all treatments, 1mM triacanthanol combined with 1mM sodium nitroprusside was identified as the optimal treatment, offering substantial improvements in growth parameters, phytochemical content, and essential oil yield.

**Keywords:** Essential oil, Growth regulator, Medicinal plants, Moldavian balm.



## تأثیر سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول بر خصوصیات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) در مرحله گلدهی کامل

سعیده علیزاده سائله\*<sup>1</sup>، سمانه خلف خانی<sup>2</sup>، پریناز فردوسی قبیجاق<sup>3</sup>

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، شهر تبریز، ایران  
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

### چکیده

سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول به عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی، رشد و نمو گیاه را بهبود بخشیده و تولید متابولیت های ثانویه را تحت تأثیر قرار می دهند. همچنین تریاکانتانول به عنوان یک محرک رشد گیاهی، نقش محوری در تنظیم بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان از جمله فتوسنتز ایفا می کند. گیاه بادرشبی (بادرشبو)، گیاهی علفی، یک ساله و معطر از تیره نعنائیان می باشد که در طب سنتی از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه دارویی بادرشبی، در این پژوهش اثرات محلول پاشی سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول بر تغییرات مورفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی متابولیت های ثانویه به ویژه بازده اسانس گیاه دارویی بادرشبی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول پاشی در مرحله گل دهی با سدیم نیتروپروساید (SNP) و تریاکانتانول (Tria) هر کدام در سه سطح صفر، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بود. در نهایت صفات رشدی (سطح برگ و تعداد شاخه جانبی)، وزن تر و خشک شاخساره، عملکرد و درصد اسانس، مواد جامد محلول، محتوای پروتئین، محتوای فلاونوئید و فنل کل و محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم در مرحله گلدهی کامل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشان داد؛ برهم کنش غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید اثر معنی داری بر سطح برگ و تعداد شاخه جانبی داشت. همچنین سدیم نیتروپروساید در غلظت یک میلی مولار موجب افزایش قابل توجه وزن تر و خشک اندام هوایی بوته گردید. محلول پاشی تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید اثر معنی داری بر محتوای عناصر بافت برگ داشت و بیشترین افزایش در غلظت یک میلی مولار این دو تیمار ثبت گردید. همچنین محلول پاشی سدیم نیتروپروساید به تنهایی و به همراه تریاکانتانول اثر معنی داری بر میزان فنل، فلاونوئید و پروتئین محلول کل در سطح یک درصد داشت، به گونه ای که تیمار یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید به همراه یک میلی مولار تریاکانتانول به

ترتیب باعث افزایش ۶۲/۹، ۵۱/۲ و ۳۴/۹ درصدی میزان فنل، فلاونوئید و پروتئین محلول کل در مقایسه با تیمار شاهد شد. طبق نتایج به دست آمده؛ تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید بیشترین تأثیر را بر عملکرد اسانس گیاه بادرشبی داشت و باعث افزایش ۲۰۷ درصدی عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول با غلظت مناسب، اثرات قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاه بادرشبی داشته و تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید به عنوان تیمار بهینه در مطالعه حاضر معرفی گردید.

#### کلیدواژه‌ها: اسانس، بادرشبی، تنظیم کننده رشد، گیاهان دارویی

#### مقدمه

گیاهی مطرح بوده و به صورت یک واسطه نقش تنظیم - کنندگی خود را ایفا می کند. سدیم نیتروپروساید به طور معمول به عنوان ترکیب رها کننده نیتریک اکسید در گیاهان استفاده می شود که در حالت محلول به نور حساس بوده و تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می شود. نیتریک اکسید، خود یک گونه نیتروژن واکنش گر است که تصور می شود بتواند به عنوان یک مولکول پیام رسان در پاسخ های سازشی به تنش های زیستی و غیر زیستی در گیاهان میانجی گری کرده و به عنوان یک عامل آنتی اکسیدانی رادیکال های آزاد را جمع آوری و از بین ببرد ( Narimani et al., 2017; Leshem et al., 2017; Fan et al., 2012; Hayat et al., 2010). همچنین این ماده می تواند فرآیندهای مرتبط با رشد و نمو را تنظیم کند ( Leshem et al., 2017).

تریاکانتانول به عنوان یک محرک رشد گیاهی، نقش محوری در تنظیم بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان از جمله فتوسنتز ایفا می کند. این امر منجر به افزایش رشد، عملکرد و کیفیت محصول و کمک به بهبود ترکیبات فعال در گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط عادی یا تنش می شود (Islam et al., 2020). تریاکانتانول این اثر را می تواند به تنهایی یا در تعامل با سایر هورمون ها و تنظیم کننده های رشد گیاهی داشته باشد (Islam and Mohammad, 2020). طبق مطالعات و گزارش های محققین، کاربرد تریاکانتانول در غلظت نانومولار باعث بهبود رشد گیاه و فعالیت های فیزیولوژیک در گیاهان

گیاه بادرشبی (بادرشبو) با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی علفی، یک ساله و معطر با گل های سفید و آبی از تیره نعناعیان می باشد که بومی آسیای مرکزی بوده ولی در مرکز و شرق اروپا اهلی گردیده است ( Borghei and Azizi, 2018). حدود ۹۰ درصد از مهم ترین ترکیبات شناسایی شده اسانس بادرشبی شامل ژرانیال، ژرانیال استات، نرال، نریل استات و ژرانیول در مرحله گلدھی کامل و در اندام هوایی به ویژه برگ ها تجمع می یابد (Amini et al., 2020; Dmitruk et al., 2019). اسانس بادرشبی به صورت گسترده در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و عطرسازی مورد استفاده قرار می گیرد (Aalaei, 2019). عملکرد یک گیاه دارویی زمانی مقرون به صرفه خواهد بود که علاوه بر تولید زیست توده مناسب، کمیت و کیفیت تولیدات آن به ویژه اسانس به حد مطلوب رسیده باشد. از سویی دیگر رشد و نمو گیاهان دارویی و تولید اسانس در آن ها می تواند تحت تأثیر استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی قرار گیرد ( Swamy et al., 2017). تنظیم کننده های رشد به طور معمول ترکیبات آلی هستند که در مقادیر یا غلظت های بسیار اندک می توانند سبب پیش بردن، مهار یا تغییرات کیفی در رشد و نمو شوند و بیوسنتز و انباشت متابولیت های ثانویه در گیاهان را موجب شوند ( Zhao et al., 2005). سدیم نیتروپروساید به عنوان تنظیم کننده رشد

اولیه گلدھی (۷۵ روز پس از کشت) به صورت محلول پاشی انجام گرفت.

پس از انجام عملیات شخم و تسطیح، زمین برای کرت بندی آماده شد. ابعاد هر کرت ۲×۴ متر مربع و فواصل بین ردیف ۳۵ سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۵ سانتی متر بود. کشت در عمق ۲-۳ سانتی متری خاک در اوایل بهار انجام شد. در طول آزمایش به ویژه در مراحل اوایل رشد، علف های هرز به طور کامل کنترل شد و به دلیل تراکم بالای گیاهان در داخل ردیف های کشت عملیات تنک کردن صورت گرفت. به علت غنی بودن خاک از نظر فسفر و پتاسیم نیازی به استفاده از این عناصر نبود، ولی با توجه به کمبود نیتروژن برای جبران آن، مقداری کود اوره (نیم کیلوگرم برای هشت مترمربع) در مرحله ۴-۵ برگی به طور یکسان برای هر کرت استفاده شد. آبیاری تا ۵-۴ برگی گیاهان هر روز، تا مرحله ۱۰ برگی گیاهان هفته ای دو بار و در مرحله ۱۰ برگی تا برداشت گیاهان هفته ای یک بار به صورت غرقابی انجام شد.

جهت بررسی صفات موفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکردی در مرحله گلدھی کامل (۸۷ روز پس از کاشت، زمانی که ۸۰ درصد گیاهان به مرحله گلدھی کامل رسیدند) و پس از حذف گیاهان حاشیه، از هر تیمار پنج بوته به طور تصادفی انتخاب و برداشت شد و مورد بررسی قرار گرفتند.

سطح برگ ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (LI-COR-3100C- USA) و وزن تر و خشک گیاهان با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری شد. اندازه گیری مواد جامد محلول (TSS) برگ ها با استفاده از دستگاه رفرکتومتر انجام شد و نتیجه به صورت درصد بیان گردید.

اندازه گیری محتوای پروتئین کل، با استفاده از معرف برادفورد و در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, model UV 1800, Kyoto, Japan) قرائت شد و غلظت بر حسب

مختلف می شود، به طوری که موجب افزایش فتوسنتز و جذب آب و مواد معدنی در گیاهان مختلف شده است. همچنین این ماده موجب افزایش تولید ماده خشک گیاهی و در نتیجه افزایش محتوای متابولیت های ثانویه گیاهی از جمله اسانس و ترکیبات فعال گیاهان دارویی و معطر می شود (Pang et al., 2020; Singh et al., 2012; Naeem et al., 2011; Perveen et al., 2011). با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه دارویی بادرشی، در این پژوهش تلاش شده است اثرات محلول پاشی سدیم نیتروپروپوساید و تریاکانتانول بر تغییرات مورفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی متابولیت های ثانویه به ویژه بازده اسانس گیاه دارویی بادرشی مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش ها

مطالعه حاضر در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با ۱۵۶۷ متر ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۸/۲۸ درجه شرقی و ۳۸/۰۲ درجه شمالی اجرا گردید. میانگین حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۲/۲ و ۱۶ درجه سانتی گراد گزارش شده است. بافت خاک در مکان مورد نظر شنی لومی بوده و در زمره خاک های سبک محسوب می شود و از لحاظ هدایت الکتریکی در خاک مذکور هیچ گونه خطر شوری وجود نداشت (جدول ۱). نمونه گیاهی مورد مطالعه از شرکت کیمیا بدر تبریز با منشأ جمعیت بادرشی متعلق به شهرستان تبریز استفاده شد. آزمایش با دو فاکتور تنظیم کننده های رشد، سدیم نیتروپروپوساید و تریاکانتانول با غلظت های صفر، ۰/۵ و ۱ میلی مولار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سدیم نیتروپروپوساید از شرکت مرک آلمان (CAS: 13755-38-9) و تریاکانتانول از شرکت NTS استرالیا (CAS: 593-50-0) تهیه شد. اعمال تیمار در مراحل

با پتاسیم انجام گرفت، با این تفاوت که از ماده کلرید سدیم (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی گرم در لیتر) بجای کلرید پتاسیم برای تهیه محلول‌های استاندارد و تنظیم دستگاه فلیم فتومتر استفاده گردید و قرائت در طول موج ۵۸۹ انجام شد. نیتروژن بافت گیاهی نیز با استفاده از روش کنجدال اندازه‌گیری شد که شامل سه مرحله هضم نمونه، تقطیر و تیتراسیون می‌باشد (Tabatabaei, 2010).

محلول به دست آمده با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۰۱ نرمال تیتر شد. در نهایت مقدار نیتروژن با استفاده از فرمول زیر و بر حسب میلی گرم در گرم محاسبه گردید.

$$\text{حجم اسید مصرفی} \times \text{نرمالیه اسید} \times 14 \times \text{حجم اولیه} = \frac{\text{حجم نمونه تیتره شده} \times \text{وزن ماده خشک هضم شده}}{\text{نیتروژن}}$$

اسانس‌گیری به روش تقطیر و با استفاده از دستگاه کلونجر با بالن یک لیتری به مدت ۳ ساعت انجام شد و از سدیم سولفات برای آب‌گیری اسانس استفاده شد. برای استخراج اسانس ۲۵ گرم از هر نمونه گیاهی خشک شده آسیاب شده همراه با ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر استفاده شد.

### تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

میلی گرم در میلی لیتر محاسبه گردید (Bradford, 1976).

به منظور اندازه‌گیری محتوای فنل کل، از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, model UV 1800, Kyoto, Japan) (طول موج ۷۶۰ نانومتر) استفاده شد. برای به دست آوردن منحنی کالیبراسیون از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد و منحنی براساس میزان جذب در غلظت‌های مشخص رسم گردید (Malik and Singh, 1980). میزان فنل کل براساس میزان معادل میلی گرم گالیک اسید در گرم عصاره گزارش شد.

محتوای فلاونوئید بر اساس میزان معادل میلی گرم کوئرستین در گرم عصاره پس از قرائت جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، گزارش شد (Chang et al., 2002). پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی در آن خشک شده و توسط آسیاب به صورت پودر آماده توسط اسید نیتریک هضم گردید. عصاره به دست آمده جهت اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم و فسفر مورد استفاده قرار گرفت (Tabatabaei, 2010). اندازه‌گیری فسفر بر اساس تشکیل کمپلکس زرد رنگ فسفوانادومولیدات توسط یون‌های ارتوفسفات در محیط اسیدی با محلول وانادات- مولیدات است که حداکثر جذب را در طول موج ۴۳۰ نانومتر نشان می‌دهند. اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر ۴۱۰ انجام شد. تمامی مراحل اندازه‌گیری سدیم مشابه

Table 1. Physical and chemical characteristics of the tested soil

Clay %	Silt %	Sand %	K (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	N (mg kg <sup>-1</sup> )	Organic carbon %	pH	Electrical conductivity (ds m <sup>-1</sup> )
6	18	76	480	36	0.5	1.2	7.8	3.33

## نتایج و بحث

## تعداد شاخه جانبی

و حجم سلول باعث افزایش رشد گیاه می شود ولی معمولاً بر افزایش طولی سلول اثر دارد و در نتیجه باعث افزایش گسترش شاخه ها می شود. بنابراین، تریاکانتانول نقش مهمی در جذب آب، طویل شدن سلول، افزایش تقسیم سلولی و نفوذپذیری غشا ایفا می کند (Verma *et al.*, 2022). بر اساس نتایج بسیاری از مطالعات، محلول پاشی تریاکانتانول موجب افزایش قابل توجه طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک، سطح برگ، تعداد برگ، تعداد شاخه های فرعی، محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز در محصولات مختلف گیاهان دارویی و گیاهان زینتی گردیده است (Naeem *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2012; Khandaker *et al.*, 2013; Perveen *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2020). نتایج حاصل از این پژوهش، تریاکانتانول به عنوان یک محرک رشد گیاهی بر تعداد شاخه جانبی گیاه بادرشبی اثر مثبت داشته است که با نتایج آزمایش انجام شده بر روی گیاه کارلا (*Momordica charantia* L.) همخوانی داشت (Yadollahi *et al.*, 2015).

بررسی برهم کنش غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد تیمارهای مورد استفاده افزایش تعداد شاخه جانبی را در پی داشته است و بیشترین تعداد شاخه جانبی گیاه بادرشبی مربوط به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۶۳/۴ درصدی نشان داد. همچنین کمترین میزان تعداد شاخه جانبی نیز مربوط به تیمار شاهد (۱۳/۵ عدد) بود (شکل ۱). نتایج مربوط به آنالیز آماری صفات مورفولوژیک بادرشبی تحت تاثیر تیمارهای مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

تنظیم کننده های رشد گیاهی با انتقال انواع سیگنالین و درون سلول نقش مهمی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می کند (Hossain *et al.*, 2022). تریاکانتانول رشد و عملکرد گونه های مختلف گیاهان را در مراحل مختلف رشد گیاهی افزایش می دهد (Verma *et al.*, 2022) و با افزایش تقسیم

Table 2. Mean squares of morphological traits in moldavian balm

S.O.V	df	Fresh weight	Dry weight	Number of lateral branches	Leaf area	Total soluble solids
Tria	2	1094.61 <sup>ns</sup>	9.12 <sup>ns</sup>	17.51 <sup>**</sup>	18343.7 <sup>*</sup>	23.12 <sup>**</sup>
SnP	2	1432.2 <sup>*</sup>	45.99 <sup>**</sup>	12.18 <sup>*</sup>	8045.1 <sup>ns</sup>	2.24 <sup>ns</sup>
T×S	4	1459.5 <sup>ns</sup>	11.50 <sup>ns</sup>	9.81 <sup>*</sup>	35165.6 <sup>*</sup>	8.01 <sup>ns</sup>
Error	16	368.6	5.63	2.04	486.8	24.30

ns, \* and \*\* shows non significant, significant at 1 and 5 % probability levels based on the Duncan's multiple range test, respectively. Abbreviations: Triacontanol (Tria), sodium nitroprusside (SNP)

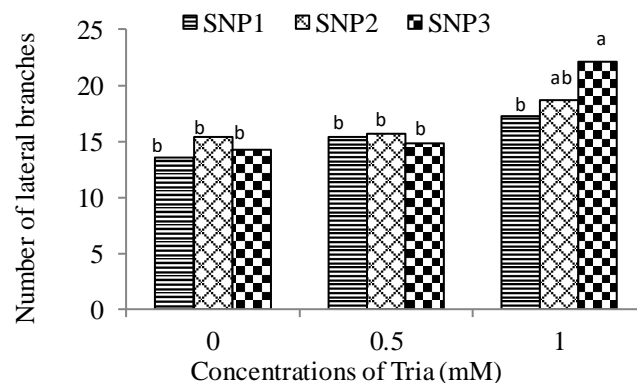


Figure 1. The effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the number of lateral brances of Moldavian balm plant

## وزن تر و خشک شاخساره

نتایج نشان داد محلول پاشی تریاکانتانول اثر معنی داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی نداشت، اما صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید قرار گرفتند (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین مقدار وزن تر متعلق به غلظت یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید بود که افزایش ۱/۳۳ برابری نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین کمترین مقدار وزن تر را گیاهان شاهد داشتند (شکل ۲-B). محلول پاشی سدیم نیتروپروساید افزایش وزن خشک شاخساره نسبت به تیمار شاهد را به دنبال داشت و بیشترین مقدار آن متعلق به غلظت یک میلی مولار بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۷/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲-A).

شدت فتوسنتز به میزان کربن دی‌اکسید هوا، دما و شدت نور بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان شدت فتوسنتز، مقدار گاز کربن دی‌اکسید است. هرچه میزان کربن دی‌اکسید هوا افزایش یابد، شدت فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد و تریاکانتانول از طریق افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن و رونویسی بیشتر ژن رویسکو در انواع گونه‌های گیاهی باعث بهبود فتوسنتز و افزایش تجمع مواد فتوسنتزی و وزن گیاهان می‌شود (Taghizadeh et al., 2023; Eriksen et al., 1981). مولکول نیتریک اکسید دارای خاصیت انتقال پیام در گیاه می‌باشد، لذا اثر سدیم نیتروپروساید به عنوان عامل تولیدکننده این مولکول بر توانایی زیستی فرایندهای فیزیولوژیکی و نمو گیاهان دخالت دارد. نیتریک اکسید دارای نقش دوگانه است و اثر سمی یا حفاظتی نیتریک اکسید بستگی به غلظت آن، نوع گیاه، بافت گیاهی، سن گیاه و نوع تنش وارده به گیاه دارد. همچنین نیتریک اکسید باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه، از طریق حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولید شده (Sheokand et al., 2010) و بهبود سیستم آنزیمی گیاه

در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌شود (Li et al., 2022). نتایج این پژوهش با یافته‌های سایر مطالعات مطابقت داشت (Sheokand et al., 2010; Perveen et al., 2014).

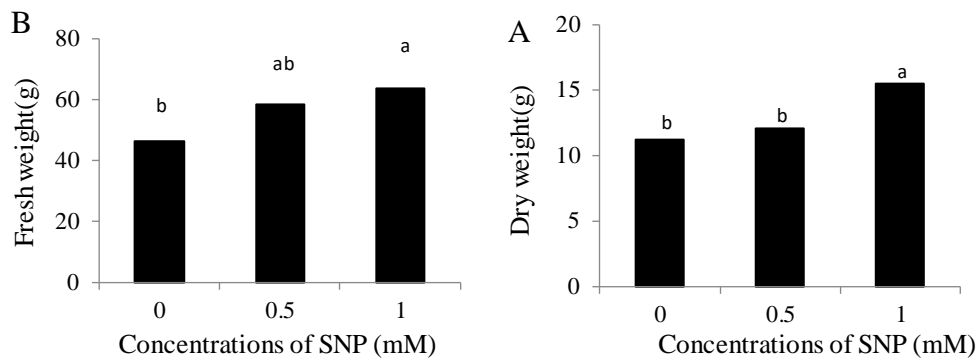
## سطح برگ و مواد جامد محلول برگ

نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده اثرات معنی دار تیمارهای مورد استفاده بر صفات سطح برگ و مواد جامد محلول برگ بود (جدول ۲). به این ترتیب تیمارهای مذکور افزایش سطح برگ را به دنبال داشتند و بیشترین سطح برگ متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید و کمترین مقدار متعلق به تیمار نیم میلی مولار سدیم نیتروپروساید بود (شکل ۳).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید اثر معنی داری بر مواد جامد محلول نداشت، اما تریاکانتانول افزایش معنی دار TSS را به دنبال داشت از این رو بیشترین مقدار TSS در تیمار ۱ میلی مولار تریاکانتانول مشاهده شد که ۳۱/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۴).

به نظر می‌رسد تریاکانتانول در گیاهان تیمار شده به دلیل حفظ هموستازی آب و افزایش هدایت روزنه‌ای باعث افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن در بافت مزوفیل برگ می‌شود و در نتیجه فتوسنتز و تجمع مواد فتوسنتزی افزایش یافته است. نتایج سایر مطالعات نیز نشان داد که تیمار تریاکانتانول سطح برگ، طول برگ و جوانه گل *Bougainvillea glabra* را افزایش می‌دهد (Khandaker et al., 2013). مطالعات پیشین نشان داده است تریاکانتانول موجب افزایش میزان سطح برگ و مواد جامد محلول برگ و افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز می‌شود (Khandaker et al., 2013).



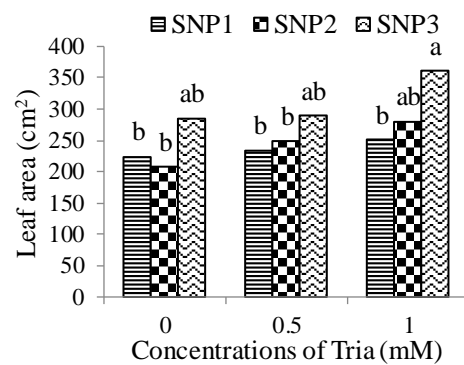


**Figure 2. The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) on fresh (B) and dry weight (A) of Moldavian balm plant**

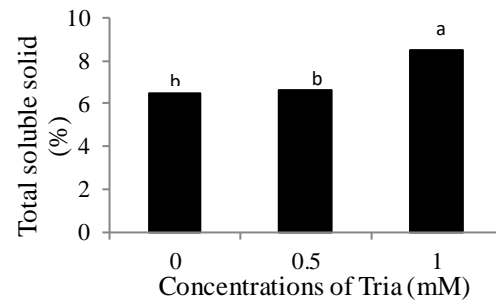
بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشت (شکل ۵-B). همچنین بیشترین غلظت فنل برگ را تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید به خود اختصاص داد که به میزان ۱/۶ برابر نسبت به شاهد افزایش نشان داد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمار شاهد بود (شکل ۵-A).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین برگ بادرشبی در تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و یک میلی مولار تریاکانتانول و نیم میلی مولار سدیم نیتروپروساید به دست آمد. کمترین میزان آن نیز در تیمار گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل ۶).

محتوای فنل برگ نشان دهنده توانمندی گیاه در مهار رادیکال آزاد است (Mathew *et al.*, 2015). نتایج این پژوهش در رابطه با اثر تریاکانتانول بر ترکیبات بیوشیمیایی گیاه بادرشبی با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر اثر تیمار تریاکانتانول بر ترکیب فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان گل کاغذی مطابقت داشت (Khandaker *et al.*, 2013). همچنین در مطالعه دیگری گزارش شد محلول پاشی تریاکانتانول بر پیکره گیاه، سبب تحریک رشد، سوخت و ساز، تولید فلاونوئیدها و آنزیم فیل آلانین آمونیلایز، روابط آبی برگ، افزایش تولید پروتئین محلول کل و آنتی‌اکسیدان‌ها می‌گردد (Waqas *et al.*, 2016). همچنین تصور می‌شود که نیتریک اکسید به طور غیر مستقیم با تحت تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، آن‌ها را به سمت سنتز ترکیبات فنلی هدایت می‌کند (Sami *et al.*, 2021; Nasibi and Kalantari, 2009).



**Figure 3. The effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the leaf area of Moldavian balm plant**



**Figure 4. The effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the total soluble solids of leaves**

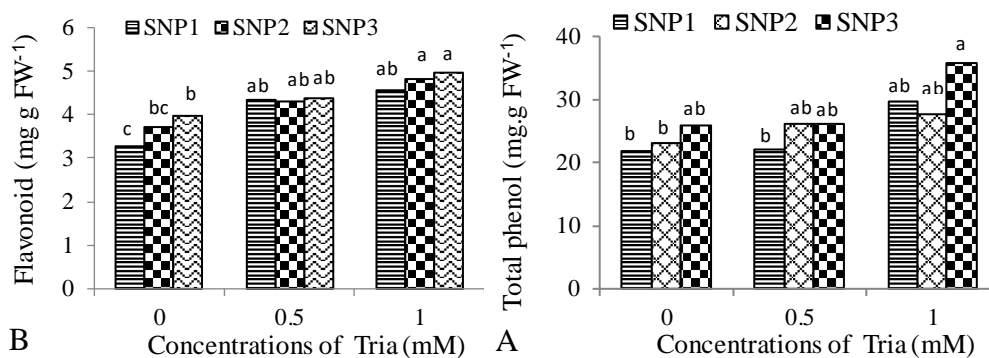
### محتوای پروتئین، فنل و فلاونوئید کل

با توجه به نتایج به دست آمده تیمارهای مورد استفاده اثرات معنی داری بر میزان پروتئین، فلاونوئید و فنل کل برگ بادرشبی داشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین غلظت فلاونوئید به ترتیب متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاه شاهد بود. تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید، ۱/۵ برابر فلاونوئید

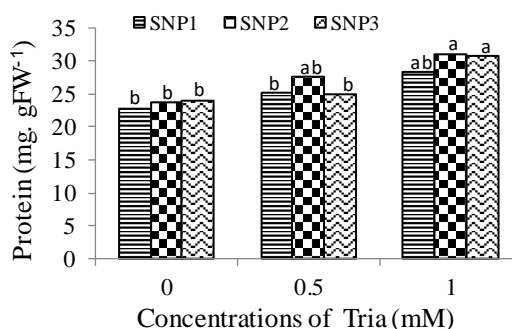
**Table 3. Mean squares of biochemical traits in moldavian balm**

S.O.V	df	Protein content	Flavonoid content	Total phenol	Essential oil percentage	Essential oil yield
Tria	2	70.89 *	0.88 ns	14.49 ns	0.794 ns	291.02 **
Snp	2	41.19 **	6.32 **	63.75 **	2.254 **	1233.17 **
T×S	4	78.63 **	2.56 **	50.75 **	0.444 ns	224.14 **
Error	16	15.56	0.90	9.37	0.518	29.64

ns, \* and \*\* shows non significant, significant at 1 and 5 % probability levels based on the Duncan's multiple range test, respectively. Abbreviations: Triacontanol (Tria), Sodium nitroprusside (SNP)



**Figure 5. The mutual effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the flavonoid (B) and phenol concentration (A) of leaf tissue**



**Figure 6. Interaction effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on protein concentration of leaf tissue.**

### عملکرد اسانس

تمامی تیمارهای مورد استفاده باعث افزایش عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد شدند. به این ترتیب کمترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد (۱۸/۶۹ کیلوگرم در هکتار) ثبت گردید و بیشترین عملکرد اسانس متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید (۵۷/۵۶ کیلوگرم در هکتار) بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۰۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین تفاوت معنی داری بین تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید با تیمار یک میلی مولار

### درصد اسانس

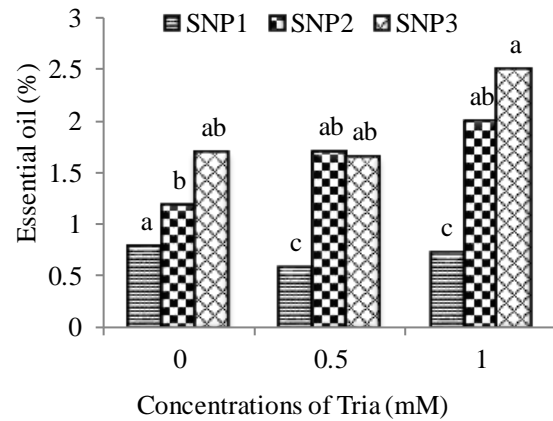
برهم کنش غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر درصد اسانس بافت برگ بادربشی نشان داد، بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب مربوط به تیمارهای یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاهان شاهد بود (شکل ۷). درصد اسانس در تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید، ۳ برابر درصد اسانس تیمار گیاه شاهد بود.

محصولات مختلف، از جمله گیاهان زراعی و باغی و همچنین گیاهان دارویی و معطر در شرایط عادی و نامطلوب می‌شود. نقش تریاکانتانول در تنظیم رشد گیاه، فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی و معطر در شرایط عادی و تنش توسط سایر محققان اثبات شده است (Islam *et al.*, 2020; Naeem *et al.*, 2011; Hashmi *et al.*, 2010).

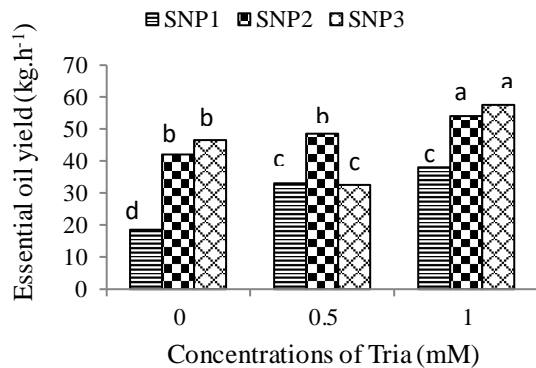
**محتوای عناصر غذایی برگ**

بررسی برهم‌کنش غلظت‌های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر غلظت عناصر غذایی درشت مغذی بافت برگ بادرشی نشان دهنده اثرات معنی‌دار تیمارهای مورد استفاده بر عناصر غذایی بود (جدول ۴). بر این اساس مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن به ترتیب مربوط به تیمار یک میلی‌مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۹-۱). همچنین بیشترین و کمترین غلظت فسفر مربوط به تیمار یک میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۹-۲). برهم‌کنش غلظت‌های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر غلظت پتاسیم برگ بادرشی نشان داد؛ بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم به ترتیب به تیمارهای یک میلی‌مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاهان شاهد تعلق داشت که اختلاف ۱۰۰ درصدی بین این دو تیمار مشاهده شد (شکل ۹-۳). این در حالی بود که اثرات تیمارهای مورد استفاده بر غلظت سدیم بافت برگ بادرشی متفاوت بود و بیشترین و کمترین غلظت سدیم موجود در بافت برگ به ترتیب مربوط به گیاهان دریافت‌کننده نیم میلی‌مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۹-۴).

تریاکانتانول و نیم میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید وجود نداشت (شکل ۸).



**Figure 7. The mutual effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the essential oil percentage of Moldavian balm.**



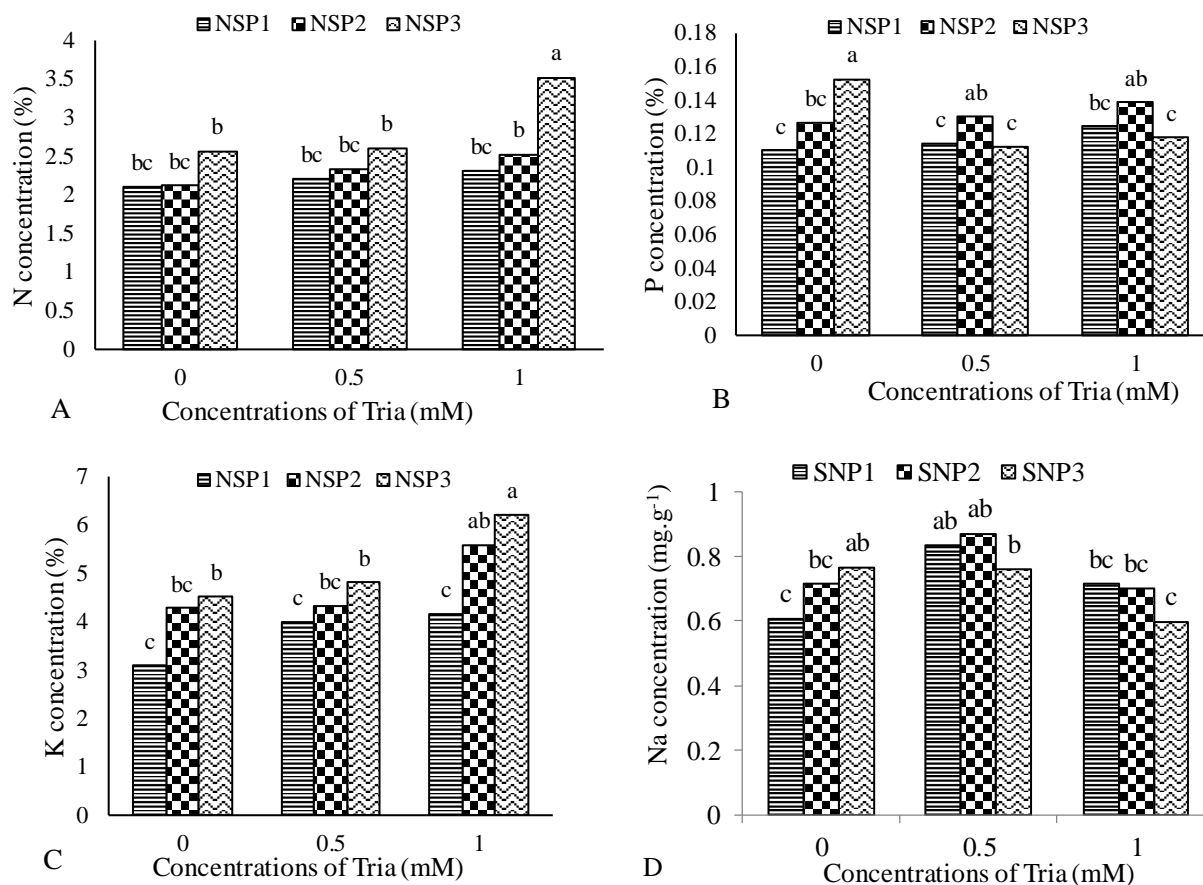
**Figure 8. The mutual effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the essential oil yield of Moldavian balm.**

افزایش تولید ماده خشک با واسطه تریاکانتانول می‌تواند بر رابطه متقابل بین متابولیسم اولیه و ثانویه تأثیر بگذارد و منجر به افزایش بیوسنتز محصولات ثانویه شود. مطالعات مختلف با شواهد قوی نشان می‌دهد که کاربرد تریاکانتانول بر روی محیط ریشه یا برگ‌ها باعث افزایش رشد و عملکرد

**Table 4. Mean squares of macro element contents in Moldavian balm**

S.O.V	df	Nitrogen content	Phosphorus content	Potassium content	Sodium content
Tria	2	154.71 **	0.001 ns	676.49 **	0.053 **
Snp	2	327.11 **	0.171 **	525.71 **	0.000 ns
T×S	4	134.43 **	0.086 **	805.29 **	0.037 *
Error	16	3.88	0.024	39.83	0.002

ns, \* and \*\* shows non significant, significant at 1 and 5 % probability levels based on the Duncan's multiple range test, respectively. Abbreviations: Triacontanol (Tria), sodium nitroprusside (SNP)



**Figure 9.** The mutual effect of different concentrations of triacontanol and sodium nitroprusside on the macro elements of Moldavian balm leaf tissue

حلالیت عناصر در اطراف ریشه می شود (Lesniak *et al.*, 2000). گزارش شده است، کاربرد اهداکنندگان NO مانند سدیم نیتروپروساید با وزن مولکولی پایین، توانایی گیاه را در تعادل هموستازی یونی بهبود می بخشد و کاربرد آن در غلظت مناسب به طور قابل توجهی محتوای عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، نیتروژن و فسفر را افزایش می دهد (Poór *et al.*, 2015).

### نتیجه گیری

تریاکانتانول مانند سایر تنظیم کننده های رشد در بسیاری از فرآیندهای اساسی سوخت و ساز گیاه از جمله فتوسنتز، جذب مواد مغذی، و فعالیت آنزیمی دخالت دارد. علاوه بر آن سدیم نیتروپروساید به دلیل هزینه نسبتاً پایین و به عنوان تولیدکننده نیتریک اکسید، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد و در مقایسه با دیگر

تغذیه بهینه گیاه، شرط اصلی بهبود کمی و کیفی محصول است. تریاکانتانول فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلف از جمله جذب و استفاده از یون های معدنی مختلف در هر دو شرایط طبیعی و تنش را تنظیم می کند (Perveen *et al.*, 2013). در مطالعه حاضر معلول پاشی تریاکانتانول سبب افزایش معنی دار محتوی نیتروژن، پتاسیم و سدیم گردید. کاربرد تریاکانتانول تجمع نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را در گیاهان تحریک می کند (Ries *et al.*, 1990). همچنین تریاکانتانول چندین سیستم آنزیمی دیگر به ویژه کانال های غشایی  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  وابسته به ATPase را تحت تأثیر قرار می دهد که باعث ایجاد پتانسیل الکتریکی بین قسمت داخل و خارج سلول می شود و منجر به افزایش

نتایج این مطالعه بهترین غلظت مورد استفاده در شرایط مزرعه، تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بود که موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه و عملکرد اسانس در مرحله گلدهی کامل شد.

### سپاس‌گزاری

بدین وسیله از همکاری‌های جناب آقای دکتر علیرضا مطلبی‌آذر و همچنین پرسنل زحمت‌کش ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان تشکر می‌نمایم.

تولیدکنندگان نیتریک اکسید اغلب مطلوب است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین میزان رشد و عملکرد محصول در تیمارهای تریاکانتانول (۵/۰ میلی مولار) و سدیم نیتروپروساید (۱ میلی مولار) حاصل می‌شود و کمترین مقدار مربوط به گیاهان شاهد بود. براساس نتایج به دست آمده تیمار سدیم نیتروپروساید به همراه تریاکانتانول موجب بهبود صفات بیوشیمیایی نظیر پروتئین، فلاونوئید و فنل کل و محتوای عناصر غذایی برگ گردید. همچنین بیشترین عملکرد و درصد اسانس توسط گیاهان تیمار شده با تریاکانتانول حاصل شد. طبق

### References

- Aalaei, S. (2019). Essential oil content and composition of *Dracocephalum moldavica* under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6: 167-175.
- Ali, H. M. M., & Perveen, S. (2020). Effect of foliar applied triacontanol on wheat (*Triticum aestivum* L.) under arsenic stress: a study of changes in growth, yield and photosynthetic characteristics. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26: 1215-1224.
- Amini, R., Ebrahimi, A., & Nasab, A. D. M. (2020). Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil content and composition as affected by sustainable weed management treatments. *Industrial Crops and Products*, 150: 112416.
- Borghei, S.F., & A. Azizi. (2018). Assessing diversity of landraces of *Dracocephalum moldavica* from north west of Iran using agro-morphological and phytochemical traits. *Journal of Plant Production Technology*, 18: 1-16. [In Persian]
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3): 101-115.
- Dmitruk, M., A. Sulborska, B. Zuraw, E. Stawiarz, & E. Weryszko-Chmielewska. (2019). Sites of secretion of bioactive compounds in leaves of *Dracocephalum moldavica* (L.): Anatomical, histochemical, and essential oil study. *Brazilian Journal of Botany*. 42: 701-715.
- Eriksen, A. B., Sellden, G., Skogen, D., & Nilsen, S. (1981). Comparative analyses of the effect of triacontanol on photosynthesis, photorespiration and growth of tomato (C 3-plant) and maize (C 4-plant). *Planta*, 152: 44-49.
- Fan, H., Du, C., & Guo, S. (2012). Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 137: 127-133.
- Hashmi, N., Khan, M. M. A., Naeem, M., Idrees, M., Aftab, T., & Moinuddin, T. (2010). Ameliorative effect of triacontanol on the growth, photosynthetic pigments, enzyme activities and active constituents of essential oil of *Ocimum basilicum* L. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 5: 20-24.
- Hayat, S., Mori, M., Pichtel, J., Ahmad, I., & Ahmad, A. (Eds.). (2009). *Nitric oxide in plant physiology*. John Wiley & Sons, Incorporated..

- Hossain, A., Pamanick, B., Venugopalan, V. K., Ibrahimova, U., Rahman, M. A., Siyal, A. L., ... & Aftab, T. (2022). Emerging roles of plant growth regulators for plants adaptation to abiotic stress-induced oxidative stress. *Emerging Plant Growth Regulators in Agriculture*. Academic Press.
- I.R. Of Iran Meteorological Organization. Weather data request system: <https://data.irimo.ir/>
- Islam, S., Zaid, A., & Mohammad, F. (2021). Role of triacontanol in counteracting the ill effects of salinity in plants: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1): 1-10.
- Khandaker, M. M., Faruq, G., Rahman, M. M., Sofian-Azirun, M., & Boyce, A. N. (2013). The influence of 1-triacontanol on the growth, flowering, and quality of potted *Bougainvillea* plants (*Bougainvillea glabra* var. "Elizabeth Angus") under natural conditions. *The Scientific World Journal*, 2013(1): 308651.
- Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Liuz, D., Mali, K.Z., Safer, Y., & Riotman, L. (2017). Effect of stress nitric oxide: interaction between chlorophyll fluorescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 35: 573-579.
- Lesniak, A.P., Haug, A., & Ries, S.K. (2000). Stimulation of ATPase activity in barley (*Hordeum vulgare*) root plasma membrane after treatment of intact tissues and cell free extracts with TRIA contanol. *Physiologia Plantarum*, 68(1): 20-26.
- Li, X., Wang, S., Chen, X., Cong, Y., Cui, J., Shi, Q & Diao, M. (2022). The positive effects of exogenous sodium nitroprusside on the plant growth, photosystem II efficiency and Calvin cycle of tomato seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 299: 111016.
- Malik, C. P., & Singh, M. B. (1980). Plant enzymology and histo-enzymology.
- Mathew, S., Abraham, T. E., & Zakaria, Z. A. (2015). Reactivity of phenolic compounds towards free radicals under in vitro conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 5790-5798.
- Naeem, M. M. M. A., Khan, M. M. A., Moinuddin, Idrees, M., & Aftab, T. (2011). Triacontanol-mediated regulation of growth and other physiological attributes, active constituents and yield of *Mentha arvensis* L. *Plant Growth Regulation*, 65: 195-206.
- Narimani, R., Moghaddam, M., & Shokouhi, D. (2017). The effect of different concentrations of sodium nitroprusside in alleviating oxidative damages caused by water stress of polyethylene glycol in medicinal plant of catmint hairless under in vitro condition. *Plant Productions*, 40(3): 77-88. [In Persian]
- Nasibi, F., & Kalantari, K.M., (2009). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5): 1037-1044.
- Pang, Q., Chen, X., Lv, J., Li, T., Fang, J., & Jia, H. (2020). Triacontanol promotes the fruit development and retards fruit senescence in strawberry: A transcriptome analysis. *Plants*, 9(4): 488-493.
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2011). Modulation in activities of antioxidant enzymes in salt stressed and non-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants raised from seed treated with triacontanol. *Pakistan Journal of Botany*, 43(5): 2463-2468.
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2013). Influence of foliar-applied triacontanol on growth, gas exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence at different growth stages in wheat under saline conditions. *Photosynthetica*, 51: 541-551.
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2014). Triacontanol-induced changes in growth, yield, leaf water relations, oxidative defense system, minerals, and some key osmoprotectants in *Triticum aestivum* under saline conditions. *Turkish Journal of Botany*, 38(5): 896-913.
- Poór, P., Laskay, G., & Tari, I. (2015). Role of nitric oxide in salt stress-induced programmed cell death and defense mechanisms. *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants*, 2: 193-219.
- Ries, S., Wert, V.O., Leary, D., & Nair, M. (1990). 9-β-L(+)- Adenosine: a new natural occurring plant growth substance elicited by triacontanol in rice. *Plant Growth Regulation*, 9: 263-273.
- Sami, F., Siddiqui, H., & Hayat, S. (2021). Nitric oxide-mediated enhancement in photosynthetic efficiency, ion uptake and carbohydrate metabolism that boosts overall photosynthetic machinery in mustard plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3): 1088-1110.
- Sheokand, S., Bhankar, V., & Sawhney, V. (2010). Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22: 81-90.

- Singh, M., Khan, M.M.A., Moinuddin & Naeem, M., (2012). Augmentation of nutraceuticals, productivity and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) through triacontanol application. *Plant Biosystems*, 146(1): 106-113.
- Swamy, K., Ram, N., & Rao, S. (2017). Influence of 28-homobrassinolid on growth, photosynthesis metabolite and essential oil of geranium. *American Journal of Plant Physiology*, 3(4): 173-179.
- Tabatabaei, S.J. (2010). Principles of plant mineral nutrition, Tabriz: Univercity Tabriz. [In Persian].
- Taghizadeh, B., H., Alizadeh Salteh, S., & Matloobi, M. (2023). The effect of fulvic acid and triacantanol foliar application on some biochemical and physiological properties and active ingredients of *Calendula officinalis*. *Journal of Horticultural Science*, 37(1): 167-179. [In Persian]
- Verma, T., Bhardwaj, S., Singh, J., Kapoor, D., & Prasad, R. (2022). Triacontanol as a versatile plant growth regulator in overcoming negative effects of salt stress. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10: 100351.
- Waqas, M., Shahzad, R., Khan, A.L., Asaf, S., Kim, Y.H., Kang, S.M., Bilal, S., Hamayun, M., & Lee, I.J. (2016). Salvaging effect of triacontanol on plant growth, thermotolerance, macro-nutrient content, amino acid concentration and modulation of defense hormonal levels under heat stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99(1): 118-125.
- Yadollahi, P., Asgharipour, M., Sheikhpour, S., Jabbari, B., & Ghasemi, H. (2015). Effects of different levels of sodium nitroprusside and arsenic on fruit yield and some biochemical characteristics of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(21): 221-234. [In Persian]
- Zhao, J., Davis, L. C., & Verpoorte, R. (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 23(4): 283-333.