

## Improving the characteristics of Thompson grape variety (*Vitis vinifera* L.) by using brassinosteroid hormone treatment

Zahra Pakkish<sup>1✉</sup> and Hamideh Mohammadi<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2- Master student, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

Email: [zahrapakkish@uk.ac.ir](mailto:zahrapakkish@uk.ac.ir)

| Article Info                                                                                                                                                                                                   | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article type:</b> Research Article                                                                                                                                                                          | Considering the important role of grape marketability in sales and the key contribution of quantitative and qualitative fruit characteristics to consumer satisfaction, this study was conducted to investigate the effects of brassinosteroid (BR) application on improving the quantitative characteristics of ‘Thompson Seedless’ grape ( <i>Vitis vinifera</i> L.). The experiment involved foliar application at the green-tip stage of berry development. Treatments consisted of different BR concentrations: 0 (control), 0.5, 0.75, and 1.5 mg L <sup>-1</sup> . At fruit maturity, cluster weight, single-berry weight, and the number of berries per cluster were evaluated. The results showed that application of BR at 1.5 mg L <sup>-1</sup> resulted in the greatest increases in cluster weight (approximately 43% compared with the control), the number of berries per cluster (more than 31%), and single-berry weight (more than 228%). The significant improvement observed in all quantitative traits, particularly at the highest concentration, indicates the synergistic effects of BR on cell division, fruit development, and the regulation of growth-related metabolic pathways. The high efficacy of this hormone may be attributed to its ability to enhance net photosynthesis, stimulate protein biosynthesis, and regulate the hormonal balance of the plant. In addition, the concentration-dependent responses of the evaluated traits confirm the important role of BR concentration in activating growth-promoting mechanisms. Overall, the application of brassinosteroid, particularly at 1.5 mg L <sup>-1</sup> , may be considered an effective management tool for improving the quantitative yield of ‘Thompson Seedless’ grape. |
| <b>Article history:</b>                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Received:</b> July 3, 2025                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Revised:</b> Aug. 20, 2025                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Accepted:</b> Oct. 10, 2025                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Published:</b> Winter, 2025-2026                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Keywords:</b>                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Berry weight,                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Cluster weight,                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Green tip stage,                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Spray application.                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Cite this article:</b> Pakkish, Z., & Mohammadi, H. (2025), Improving the characteristics of Thompson grape variety ( <i>Vitis vinifera</i> L.) by using brassinosteroid hormone treatment, 1 (3), 268-279. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>DOI:</b> <a href="https://doi.org/10.22034/ssd.2025.532421.1016">https://doi.org/10.22034/ssd.2025.532421.1016</a>                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| © The Author(s). Publisher: The University of Jiroft Press                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



## بهبود ویژگی‌های انگور رقم تامپسون (*Vitis Vinifera* L.) با کاربرد تیمار هورمون براسینواستروئید

زهرا پاک کیش<sup>۱</sup> و حمیده محمدی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. ایمیل: [zahrapakkish@uk.ac.ir](mailto:zahrapakkish@uk.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

| اطلاعات مقاله     | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله: پژوهشی | با توجه به تاثیر بالای بازارپسند بودن انگور در فروش و نقش کلیدی ویژگی‌های کمی و کیفی در جلب رضایت مصرف‌کنندگان، این پژوهش با هدف بررسی اثر براسینواستروئید بر بهبود شاخص‌های کمی میوه انگور رقم تامپسون اجرا شد. آزمایش به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله نوک‌سبزی حبه انجام گرفت. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف براسینواستروئید (صفر (شاهد)، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی گرم بر لیتر) بودند. پس از تیمار، صفاتی از قبیل وزن خوشه، وزن تک حبه و تعداد حبه در خوشه در مرحله رسیدگی محصول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمار با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر منجر به بیشترین افزایش در وزن خوشه (حدود ۴۳ درصد نسبت به شاهد)، تعداد حبه در خوشه (بیش از ۳۱ درصد) و وزن تک حبه (بیش از ۲۲۸ درصد) شد. این افزایش معنی‌دار در تمامی صفات کمی به‌ویژه در تیمار غلظت بالاتر، نشان‌دهنده اثر هم‌افزایانه براسینواستروئید بر فرایندهای تقسیم سلولی، توسعه میوه و تنظیم مسیرهای متابولیک وابسته به رشد می‌باشد. به نظر می‌رسد کارایی بالای این هورمون به توانایی آن در افزایش فتوسنتز خالص، تحریک بیوسنتز پروتئین‌ها و تنظیم تعادل هورمونی گیاه بازمی‌گردد. همچنین، پاسخ غلظت وابسته صفات مورد بررسی، نقش تعیین‌کننده غلظت براسینواستروئید در فعال‌سازی مکانیسم‌های رشدزایی را تأیید می‌کند. به‌طور کلی، استفاده از براسینواستروئید به‌ویژه در غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر در بهبود عملکرد کمی انگور تامپسون مورد توجه قرار گیرد. |

### واژه‌های کلیدی:

وزن خوشه،  
ورن حبه،  
مرحله نوک سبزی،  
محلول پاشی.

ارجاع به مقاله: پاک کیش، زهرا، محمدی، حمیده، (۱۴۰۴)، بهبود ویژگی‌های انگور رقم تامپسون (*Vitis Vinifera* L.) با کاربرد تیمار هورمون براسینواستروئید، مجله خاک و توسعه پایدار، ۱ (۳)، ۲۶۸-۲۷۹.

© نویسندگان، ناشر: انتشارات دانشگاه جیرفت

DOI: <https://doi.org/10.22034/ssd.2025.532421.1016>

## مقدمه

در سال‌های اخیر، با توجه به شدت یافتن تغییرات اقلیمی، کاهش منابع آب قابل دسترس، و افزایش تقاضا برای تولید محصولات باغی با کیفیت بالا، توجه پژوهشگران و فعالان صنعت باغبانی به راهکارهای نوین به‌زراعی بیش از پیش جلب شده است. در این میان، راهبردهایی همچون تغذیه هدفمند با عناصر ریزمغذی نظیر روی، بور، پتاسیم و کلسیم، استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و اسید گالیک، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای تعدیل پاسخ‌های فیزیولوژیک، و همچنین بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی نظیر هرس، تنک‌سازی، حلقه‌برداری و مدیریت سایه‌اندازی، به عنوان ارکان کلیدی در بهبود عملکرد و کیفیت میوه انگور مطرح شده‌اند (Harvell and Williams, 2002; Staudt, et al., 2003; Ramteke, 2005; Symons et al., 2006; Warusavitharana et al., 2008; Gao, et al., 2020; Li et al., 2022; Song et al., 2022; Jianqiang et al., 2023; Cozzolino, 2025).

براسینواستروئیدها (Brassinosteroids; BRs) به‌عنوان ششمین گروه از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، پس از شناسایی هورمون‌های کلاسیک مانند اکسین، جیبرلین، سایتوکنین، اتیلن و اسید آبسزیک، نخستین‌بار در سال ۱۹۷۰ از دانه گرده گیاه *Brassica napus* استخراج شدند (Bajguz and Andrzej, 2003; Huang et al., 2013). استفاده تجاری از این ترکیبات از اوایل دهه ۱۹۹۰ آغاز شد و با وجود غلظت مصرفی بسیار پایین (حدود ۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در هکتار)، آثار فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گسترده‌ای را بر گیاهان نشان داده‌اند (Gomes et al., 2006; Anuradha and Rao, 2007). تاکنون بیش از ۶۰ ترکیب براسینواستروئیدی شناسایی شده است که در میان آن‌ها، براسینولید از نظر زیستی فعال‌ترین بوده است، اما مشتقات نیمه‌سنتزی نظیر ۲۴-پی‌براسینولید و ۲۸-هوموبراسینواستروئید، به دلیل پایداری بیشتر در شرایط زراعی، از اثربخشی عملی بالاتری برخوردارند (Feng, 2014; Li et al., 2018; Li, 2020).

نقش چندگانه براسینواستروئیدها در فرآیندهای حیاتی گیاهان از جمله تقسیم و طول‌شدن سلول‌ها، بیوسنتز RNA، پروتئین و دیواره سلولی، سازمان‌دهی اسکلت سلولی، رشد ریشه، گلدهی، جوانه‌زنی، توسعه لوله گرده، تمایز بافت‌های آوندی، و در نهایت، بهبود عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی، آن‌ها را به ابزاری استراتژیک در کشاورزی نوین تبدیل کرده است (Shi et al., 2015). افزون بر آن، اثربخشی این هورمون‌ها در کاهش خسارات ناشی از تنش‌های

غیرزیستی نظیر خشکی، شوری، سرما، فلزات سنگین و آسیب‌های علف‌کش‌ها نیز به‌خوبی مستند شده است (Zheng et al., 2020).

در گونه‌های حساس باغی مانند انگور که از جایگاه ویژه‌ای در صنایع غذایی، دارویی و صادراتی برخوردار است، استفاده از براسینواستروئیدها در مراحل بحرانی نمو می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و بازارپسندی میوه بسیار مؤثر واقع شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کاربرد براسینواستروئید می‌تواند به افزایش اندازه حبه، بهبود رنگدانه‌های فنولی، ارتقاء ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش عقیمی و افزایش عملکرد در ارقام مختلف انگور منجر شود (Vergara et al., 2018).

همچنین مشخص شده است که براسینواستروئیدها از طریق بهبود بازشدن روزنه‌ها، افزایش تثبیت کربن و ارتقاء راندمان فتوسنتزی، پتانسیل بالایی در ارتقاء بهره‌وری گیاه در شرایط کشت تنش‌زا دارند (Li, 2020). این ترکیبات در کنار سایر تنظیم‌کننده‌های رشد همچون جیبرلین‌ها و نیتریک اکسید، در شرایطی که نیاز به حفظ کیفیت پس از برداشت نیز وجود دارد، بسیار مؤثر عمل می‌کنند (Peng et al., 2004). افزون بر آن، مطالعات متاآنالیز اخیر بر ارتباط تنگاتنگ براسینواستروئیدها با متابولیسم ترکیبات فنولی در انگورها نیز تأکید کرده‌اند که این موضوع می‌تواند دریچه‌ای نوین برای کنترل کیفی میوه و محصول نهایی باشد (Cuzzolino, 2025).

در نتیجه، با توجه به گستره عملکرد فیزیولوژیک براسینواستروئیدها و اثربخشی آن‌ها در ارتقاء کمی و کیفی میوه، می‌توان آن‌ها را به‌عنوان یکی از نویدبخش‌ترین ابزارهای مدیریت تغذیه‌ای و هورمونی در باغداری مدرن معرفی کرد. با توجه به اهمیت فزاینده افزایش کمی و کیفی محصولات باغی در پاسخ به چالش‌های اقلیمی و تقاضای روزافزون بازار، و نیز با در نظر گرفتن نقش اساسی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در ارتقاء شاخص‌های عملکرد، این پژوهش با هدف بررسی اثرات کاربرد برون‌زاد هورمون براسینواستروئید در سطوح مختلف، بر ویژگی‌های کمی میوه انگور رقم تامپسون (شامل وزن خوشه، تعداد حبه و وزن تک‌حبه) در شرایط اقلیمی شهرستان ماهان، استان کرمان طراحی و اجرا شد. این مطالعه می‌کوشد تا با تبیین تأثیر غلظت‌های متفاوت این هورمون نسبتاً نوظهور، امکان‌سنجی استفاده عملی از آن را در نظام‌های باغداری پیشرفته و به‌زراعی انگور مورد ارزیابی قرار دهد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی در سال ۱۴۰۲ در یک باغ تجاری واقع در شهرستان ماهان، استان کرمان (واقع در عرض جغرافیایی  $30^{\circ}08'$  شمال و طول جغرافیایی  $56^{\circ}58'$  شرقی، با اقلیم نیمه‌خشک و میانگین دمای سالانه حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد) بر روی تاک‌های انگور ۱۰ ساله رقم تامپسون انجام شد. فاصله کاشت درختان  $3 \times 3$  متر و سیستم تربیتی باغ از نوع داربستی بود. به منظور کاهش اثرات محیطی ناخواسته و افزایش یکنواختی آزمایش، درختانی با قدرت رشد و اندازه مشابه انتخاب شدند.

هورمون براسینواسترینوئید مورد استفاده در این پژوهش، از شرکت "Sigma-Aldrich" با خلوص  $\geq 98\%$  تهیه شد. محلول‌های هورمونی با غلظت‌های صفر (شاهد)،  $0.5$ ،  $0.75$  و  $1.5$  میلی‌گرم بر لیتر با استفاده از آب مقطر تهیه و در مرحله نوک‌سبزی جوانه‌ها<sup>۱</sup> بر روی برگ‌ها و خوشه‌ها به‌صورت محلول‌پاشی یکنواخت اعمال شد. طرح آزمایش به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل چهار درخت بود که تیمارها به صورت تصادفی به آن‌ها اختصاص یافت. محلول‌پاشی‌ها در ساعات اولیه صبح با استفاده از سم‌پاش دستی انجام شد تا جذب بهینه هورمون و حداقل تبخیر صورت پذیرد.

پس از تیماردهی، ویژگی‌های کمی انگور شامل وزن خوشه (گرم)، تعداد حبه در خوشه (عدد) و وزن متوسط هر حبه (گرم) در هر تکرار با دقت ابزار دقیق اندازه‌گیری شدند. نمونه‌برداری در زمان رسیدگی کامل میوه انجام گرفت تا داده‌ها بازتاب دقیق از تأثیر هورمون باشند. شرایط اقلیمی طی دوره آزمایش شامل میانگین دمای روزانه  $28 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۴۵ درصد، و میزان بارندگی ناچیز بود که با آبیاری منظم باغ، شرایط پایدار و قابل کنترل فراهم شد.

داده‌های جمع‌آوری شده به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش شدند. تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۲</sup> در سطح معنی‌داری ۵ درصد ( $p \leq 0.05$ ) صورت گرفت. نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار (Microsoft Excel) رسم شد تا روند تأثیرات تیمارها به وضوح نمایش داده شود.

1 Early green tip stage

2 Duncan's Multiple Range Test

## نتایج و بحث

## تأثیر براسینواستروئید بر وزن خوشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که کاربرد براسینواستروئید تأثیر معنی‌داری بر وزن خوشه انگور داشت، به‌طوری که با افزایش غلظت هورمون، وزن خوشه نیز به‌طور نسبی افزایش یافت. بیشترین مقدار وزن خوشه در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۳۷/۹ درصدی نشان داد (شکل ۱). این افزایش قابل توجه بیانگر تأثیر مثبت و چشمگیر این غلظت از هورمون بر رشد میوه و تجمع ماده خشک در خوشه است.

تیمارهای با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۲/۶ و ۱۴/۸ درصدی در وزن خوشه نسبت به شاهد شدند، اگرچه اختلاف بین این دو تیمار از نظر آماری معنی‌دار نبود. این موضوع نشان داد که پاسخ اولیه گیاه به تیمار هورمونی از غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر آغاز شده، اما شدت پاسخ در این محدوده تغییر محسوسی ندارد و رشد خوشه در سطحی نسبتاً ثابت باقی می‌ماند. ولی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. با عبور از این محدوده و رسیدن به غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر، پاسخ رشدی جهشی و معنادار می‌شود، که احتمالاً نشان‌دهنده عبور از آستانه زیستی برای تحریک کامل مسیرهای رشد خوشه است. این روند نشان‌دهنده وجود یک آستانه غلظتی است که در آن اثر هورمون به‌طور کامل بروز پیدا می‌کند. شکل ۱ نیز به‌خوبی این روند تدریجی و سپس جهشی را در وزن خوشه نمایش داد.

جدول ۱- آنالیز واریانس اثر تیمارهای براسینواستروئید بر برخی صفات انگور رقم تامپسون

| میانگین مربعات |                   |          | درجه آزادی | منابع تغییرات           |
|----------------|-------------------|----------|------------|-------------------------|
| وزن حبه        | تعداد حبه در خوشه | وزن خوشه |            |                         |
| ۴۷/۰۰۲ *       | ۱۲۵/۰۸ *          | ۱۷۵/۲ *  | ۳          | تیمار (براسینواستروئید) |
| ۸۹۱/۲۹ *       | ۱۸۵/۲۰ *          | ۶۷/۱۱ *  | ۳          | بلوک (تکرار)            |
| ۱۱/۰۸          | ۰/۰۰۹             | ۳۸/۳۲    | ۹          | خطا                     |
| ۹/۰۷           | ۵/۲۸              | ۸/۲۹     | -          | ضریب تغییرات            |

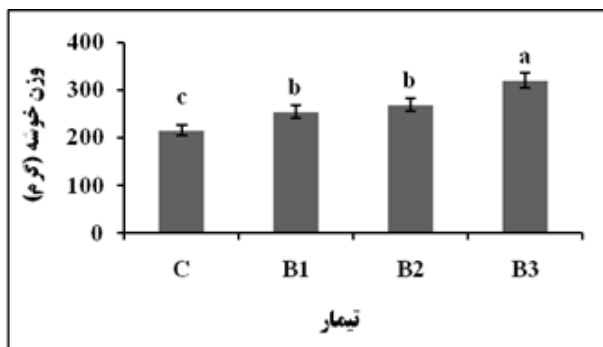
\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهند.

## تأثیر براسینواستروئید بر تعداد حبه در خوشه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۲)، تعداد حبه‌ها در خوشه نیز تحت تأثیر براسینواستروئید افزایش یافت. بیشترین افزایش در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که افزایش حدود ۳۱/۷ درصدی نسبت به شاهد داشت. تیمارهای

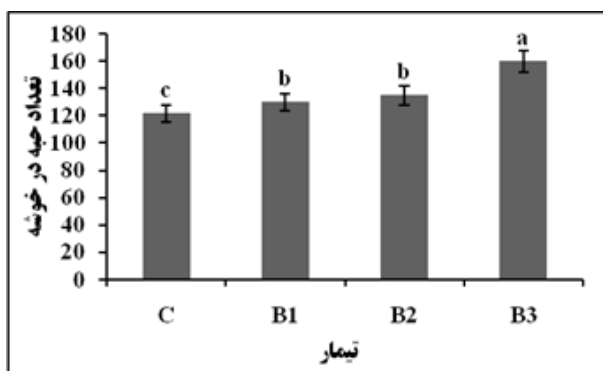
۰/۵ و ۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر نیز افزایش تعداد حبه را نسبت به شاهد نشان دادند، اما تفاوت بین آن‌ها از نظر آماری چندان بارز نبود.

این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ افزایش تعداد حبه نیز از الگوی مشابهی با وزن خوشه پیروی می‌کند؛ یعنی در غلظت‌های پایین‌تر (۰/۵ و ۰/۷۵) افزایش اولیه و نسبتاً محدود مشاهده شد و با رسیدن به غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، جهش محسوسی در مقدار شاخص موردنظر اتفاق افتاد. به عبارت دیگر، براسینواستروئید تنها زمانی توانسته است تعداد بالاتری از گلچه‌ها یا میوه‌های در حال رشد را حفظ کند که به حد مشخصی از غلظت برسد. بنابراین، افزایش تعداد حبه به‌طور واضح تحت تأثیر میزان تیمار قرار داشت (شکل ۲).



شکل ۱- اثر تیمار هورمون براسینواستروئید روی وزن خوشه انگور تامپسون. ستون‌های دارای حروف متفاوت در سطح ۵

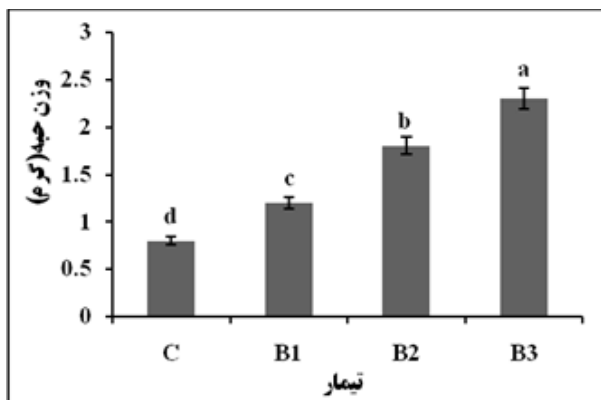
درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی داری دارند (C: شاهد، B1: براسینواستروئید ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، B2: براسینواستروئید ۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر و B3: براسینواستروئید ۱/۵ میلی گرم بر لیتر).



شکل ۲- اثر تیمار هورمون براسینواستروئید روی تعداد حبه در خوشه انگور تامپسون. ستون‌های دارای حروف متفاوت در

سطح ۵ درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی داری دارند (C: شاهد، B1: براسینواستروئید ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، B2:

براسینواستروئید ۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر و B3: براسینواستروئید ۱/۵ میلی گرم بر لیتر).



شکل ۳- نقش تیمار هورمون براسینواستروئید روی وزن حبه انگور تامپسون. ستون‌های دارای حروف متفاوت در سطح ۵

درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی داری دارند (C: شاهد، B1: براسینواستروئید ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، B2: براسینواستروئید ۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر و B3: براسینواستروئید ۱/۵ میلی گرم بر لیتر).

#### تأثیر براسینواستروئید بر وزن تک حبه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که غلظت‌های مختلف براسینواستروئید نسبت تأثیر معنی داری بر وزن تک حبه داشت. در تیمار ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، وزن هر حبه نسبت به شاهد بیش از ۲۲۸ درصد افزایش یافت (شکل ۳)، که بالاترین درصد افزایش در بین همه شاخص‌های مورد بررسی بود.

همچنین، تیمارهای ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی گرم بر لیتر نیز به ترتیب افزایش‌های ۴/۷۱ و ۱۴۲/۹ درصدی را نسبت به شاهد نشان دادند. برخلاف وزن خوشه و تعداد حبه، در این شاخص تفاوت بین هر سه غلظت از تیمار، بارز و صعودی بود، که نشان‌دهنده وابستگی بسیار بالا و پیوسته‌ی وزن تک حبه به میزان هورمون است.

روند افزایش وزن تک حبه در پاسخ به افزایش غلظت هورمون، در مقایسه با سایر صفات، پیوسته‌تر، شیب‌دارتر و حساس‌تر بود. شکل ۳ نیز نشان داد که در این شاخص، هر میزان افزایش غلظت منجر به افزایش قابل توجه وزن شده است، بدون آن که به سقف یا آستانه مشخصی رسیده باشد. این موضوع می‌تواند حاکی از آن باشد که فرایندهای مؤثر بر وزن تک حبه، مانند رشد سلولی، طولیل شدن بافت‌ها، و تجمع قند و مواد مغذی، بیشترین حساسیت را به هورمون داشته‌اند. یکی از مکانیسم‌های کلیدی براسینواستروئید در توسعه میوه، افزایش نرخ تقسیم سلولی در مراحل ابتدایی رشد میوه و تحریک طولیل شدن سلولی در مراحل میانی و نهایی است. براسینواستروئید از طریق مسیرهای سیگنالی پیچیده‌ای که شامل گیرنده‌هایی مانند BRI1 (Brassinosteroid Insensitive 1) و co-receptor هایی مانند BAK1 می‌شود، فعال

می‌شوند. در حضور براسینواستروئید، کمپلکس BRI1-BAK1 تشکیل شده و موجب فسفوریلاسیون زنجیره‌ای پروتئین‌های سیگنال‌بر نظیر BSKs و BSU1 می‌شود، که در نهایت به غیرفعال‌سازی کیناز BIN2 منجر می‌شود (Huang et al., 2013). این فرایند سبب آزادسازی فاکتورهای رونویسی مهمی مانند BZR1 و BES1 از فسفوریلاسیون شده و آن‌ها را قادر می‌سازد تا وارد هسته شده و بیان ژن‌های مربوط به رشد، دیواره سلولی، و سنتز پروتئین را فعال سازند (Li et al., 2018; Zheng et al., 2020). در مراحل طولی شدن سلول، براسینواستروئید موجب تحریک بیوسنتز اجزای دیواره سلولی مانند سلولز، همی‌سلولز و پکتین می‌شوند و آنزیم‌هایی سازنده دیواره سلولی و رشد سلول را فعال می‌کنند که به افزایش انعطاف‌پذیری دیواره کمک می‌کند. این عملکرد موجب افزایش حجم سلول‌ها و به تبع آن افزایش اندازه میوه در مراحل رشد سریع می‌شود (Champa et al., 2015). همچنین براسینواستروئید از طریق افزایش بیان ژن‌های مربوط به آکوپورین‌ها، باعث تسهیل حرکت آب درون سلول‌ها شده و به تورژسانس مطلوب کمک می‌کنند، که یک عامل کلیدی در رشد حجمی میوه محسوب می‌شود (Jin et al., 2014).

یکی دیگر از مسیرهای مؤثر براسینواستروئید در رشد میوه، تنظیم متابولیسم کربن و انرژی است. این ترکیبات از طریق بهبود کارایی فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند Rubisco و PEPC، باعث افزایش میزان قندهای محلول در آوندهای آبکش شده و محتوای قندی میوه را ارتقاء می‌دهند (Li et al., 2022; Vergara, et al., 2018). همچنین براسینواستروئید با تحریک فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تجزیه نشاسته و انتقال ساکارز، مانند اینورتاز، منجر به افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به میوه در حال رشد می‌شوند (Song et al., 2022).

براسینواستروئیدها در تعامل پیچیده‌ای با سایر هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، جیبرلین، سایتوکنین و ABA قرار دارند. مطالعات نشان داده‌اند که براسینواستروئید می‌تواند مسیر سیگنالی اکسین را از طریق تنظیم بیان ژن‌های Aux/IAA و ARFs تعدیل کنند و از این طریق، توسعه ساختارهای زایشی و میوه را تقویت نمایند. از سوی دیگر، هم‌افزایی براسینواستروئید با جیبرلین‌ها موجب افزایش تقسیم سلولی در ناحیه مریستم‌های زایشی و توسعه سریع‌تر میوه می‌شود (Bhat et al., 2011).

نقش دفاعی براسینواستروئید نیز در توسعه میوه بسیار حائز اهمیت است. این هورمون‌ها با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مهار تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تحریک بیان ژن‌های محافظتی مانند کاتالاز و پراکسیداز، مقاومت میوه را در برابر

تنش‌هایی نظیر خشکی، گرما، سرما و شوری افزایش می‌دهند (Bajguz and Hayat, 2009). این خاصیت حفاظتی به پایداری ساختارهای سلولی و حفظ عملکردهای فیزیولوژیک در دوره توسعه میوه کمک شایانی می‌کند (Shahbaz and Ashraf, 2007).

افزایش وزن خوشه، وزن حبه و تعداد آن تحت تیمار ۲۴-پی‌براسینولاید (24-eBL) در انگورهای مانند تامپسون هم در مطالعات قبلی مشاهده شده است. برای نمونه، اثر مثبت براسینواستروئید بر ویژگی‌های کمی و کیفی در انگور گزارش شد (Babalık et al., 2019) و مطالعه بر رقم Flame Seedless نشان داد محلول‌پاشی ۰/۵ میلی گرم بر لیتر از این محلول، به‌طور معنی‌دار وزن خوشه و وزن حبه را افزایش می‌دهد (Champa et al., 2015). همچنین گزارش شده است براسینواستروئید در میوه گل ساعتی سبب افزایش وزن میوه و عملکرد شده است که نتایج تحقیق حاضر را تایید می‌نماید (Assis et al., 2006). نتایج مختلفی از اثرات متغیر براسینواستروئید در گونه‌های گیاهی مختلف مشاهده شد (Babalık et al., 2019). افزایش عملکرد کمی با فعال‌سازی مسیرهای تقسیم و کشش سلولی در میوه، تسریع سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک، تقویت جریان مواد فتوسنتزی و تعادل هورمونی به‌ویژه نسبت اکسین/جیبرلین مرتبط است. همچنین این هورمون‌ها با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی داخلی، شرایط مطلوب‌تری برای رشد حبه‌ها فراهم می‌کنند (Li, 2020).

اعمال تیمار براسینواستروئید در مراحل بحرانی تکامل میوه مانند پس از گل‌دهی، نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش وزن خوشه و کیفیت دارد. مطالعه‌ای در انگور، نشان داده بهترین نتایج در مرحله پس از شکوفایی با غلظت ۰/۶ میلی گرم بر لیتر رخ داده است (Babalık et al., 2019).

### نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌ها و مقالات علمی، کاربرد براسینواستروئید در غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، در مرحله توسعه اولیه خوشه انگور تامپسون، یک راهبرد مؤثر و قابل‌اعتماد برای افزایش عملکرد کمی میوه محسوب می‌شود. این تیمار با فعال‌سازی مکانیزم‌های رشد سلولی، تقویت فتوسنتز و محافظت در برابر تنش‌های محیطی هم‌راستا بوده و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مدیریتی در کشاورزی پایدار و تولید محصول با کیفیت بالا به کار گرفته شود. براسینواستروئیدها با مکانیسم‌های چندلایه شامل تحریک تقسیم و طویل شدن سلولی، افزایش بیوسنتز دیواره سلولی، بهبود انتقال مواد فتوسنتزی، هم‌افزایی با

سایر هورمون‌ها، و محافظت آنتی‌اکسیدانی، نقشی کلیدی در تنظیم رشد و نمو میوه ایفا می‌کنند. بهره‌گیری هدفمند از این هورمون‌ها در مراحل حساس فیزیولوژیک رشد میوه، می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در جهت بهبود عملکرد، کیفیت بازارپسندی و مقاومت میوه در برابر تنش‌ها مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل، استفاده از براسینواستروئید به‌ویژه در شرایط زراعی حساس، در حال تبدیل شدن به یکی از رویکردهای نوین در به‌زراعی محصولات باغی است. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به بررسی تأثیر این تیمار بر ترکیبات ثانویه (مانند فنول‌ها، قندها، اسیدهای آلی و رنگ‌دانه‌ها)، مدت ماندگاری پس از برداشت و تعامل با هورمون‌های دیگر پرداخته و پاسخ‌های گونه‌ای در اقلیم‌های مختلف را مورد توجه قرار دهند.

### منابع مورد استفاده

- Anuradha, S., & Rao, S. (2007). The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedling growing under cadmium stress. *Plant Soil Environment*, 53(11): 465–472.
- Assis, G., Menezes, M., & Eliemar, C. (2006). Brassinosteroid analogue effect on the yield of passion fruit plants. *Scientia Horticulturae*, 110: 235–240.
- Babalık, Z., Demirci, T., Aşçı, Ö.A., & Baydar, N.G. (2019). Brassinosteroids modify yield, quality, and antioxidant components in grapes (*Vitis vinifera* cv. Alphonse Lavallée). *Journal of Plant Growth Regulation*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09970-5>
- Bajguz, A., & Andrzej, T. (2003). The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plant. *Phytochemistry*, 62: 1027–1046.
- Bajguz, A., & Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses: Review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47: 1–8.
- Bhat, Z.A., Reddy, Y.N., Srihari, D., Bhat, J.A., Rizwan, R., & Rather, J.A. (2011). New generation growth regulators brassinosteroids and CPPU improve bunch and berry characteristics in 'Tas-A-Ganesh' grape. *International Journal of Fruit Science*, 11: 309–315.
- Champa, W.A.H., Gill, M.I.S., Mahajan, B.V.C., Arora, N.K., & Bedi, S. (2015). Brassinosteroids improve quality of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *Tropical Agricultural Research*, 26(2): 368–379.
- Cozzolino, D. (2025). Phenolics and spectroscopy: challenges and successful stories in the grape and wine industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(3): 1408–1412. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13173>
- Feng, X.X. (2014). Effects of brassinolide on physiological and biochemical characteristics and quality of red earth grape. *M.Sc. Thesis*, Gansu Agricultural University.
- Gao, X.T., Wu, M.H., Sun, D., Li, H.Q., Chen, W.K., Yang, H.Y., Liu, F.Q., Wang, Q.C., Wang, Y.Y., Wang, J. and He, F. (2020). Effects of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) application before anthesis on rachis elongation and berry quality and aroma and flavour compounds in *Vitis vinifera* L. 'Cabernet Franc' and 'Cabernet Sauvignon' grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100: 3729–3740. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10412>
- Gomes, M.M.A., Campostrini, E., Leal, N.R., Viana, A.P., Ferraz, T.M., Siqueira, N.D., & Rosa, R.C. C. (2006). Brassinosteroid analogue effects on the yield of yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Scientia Horticulturae*, 110: 235–240.
- Harvell, D.C., & Williams, L.E. (2002). Effect of trunk girdling and GA<sub>3</sub> application on leaf net CO<sub>2</sub> assimilation rate of two seedless grape. *Plant Physiology Supplement*, 77(4): 61.
- Huang, H.Y., Jiang, W.B., Hu, Y.W., Wu, P., Zhu, J.Y., Liang, W.Q., & Lin, W.H. (2013). BR signal influences Arabidopsis ovule and seed number through regulating related gene expression by BZR1. *Molecular Plant*, 6(2): 456–469. <https://doi.org/10.1093/mp/sss070>
- Jianqiang, S., Zhang, A., Gao, F., Liang, H., Li, M., Zhang, J., Wang, G., Qu, H., Cheng, S., Ruan, S. and Li, J. (2023). Modification of wine phenolic profiles by gibberellic acid application in 'Cabernet Gernischt' grapevines before anthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(3): 1216–1225. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12216>

- Jin, H., Do, J., Shin, S.J., Choi, J.W., Im Choi, Y., Kim, W., & Kwon, M. (2014). Exogenously applied 24-epi brassinolide reduces lignification and alters cell wall carbohydrate biosynthesis in the secondary xylem of *Liriodendron tulipifera*. *Phytochemistry*, 101: 40–51.
- Li, J., Zhang, A., Cheng, S., Li, X., Zhang, Y., Luan, L., Qu, H., Ruan, S. and Li, J. (2022). “Beibinghong” enhances the quality of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Gernischt wine. *Journal of Food Science*, 87(11): 4854–4867. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16330>
- Li, Q.F., Lu, J., Yu, J.W., Zhang, C.Q., & Liu, Q.Q. (2018). Molecular mechanism of brassinolide and abscisic acid interaction in regulating plant growth and stress tolerance. *Plant Physiology Communications*, 54(3): 370–378.
- Li, Q.L. (2020). Effects of brassinolides on salt tolerance in *Cucumis sativus* L. *M.Sc. Thesis*, Northwest Normal University.
- Peng, J., Tang, X., & Feng, H. (2004). Effects of brassinolide treatment on the physiological properties of litchi pericarp (*Litchi chinensis* cv. Nuomoci). *Scientia Horticulturae*, 101: 407–416.
- Ramteke, S.D. (2005). Effect of homobrassinolide on yield, quality and storage life in Thompson Seedless grape. *Indian Journal of Plant Physiology*, 10(2): 179–181.
- Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2007). Influence of exogenous application of brassinosteroid on growth and mineral nutrients of wheat under saline conditions. *International Journal of Biology Science*, 39(2): 513–522.
- Shi, Y., Wang, Q.M., Ye, H.X., Wang, C., & Wang, B.L. (2015). Effects of 2,4-epibrassinolide (EBR) on photosynthetic characteristics and fruit quality of muskmelon. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 29(5): 1009–1017.
- Song, J., Zhang, A., Cheng, S., Li, X., Zhang, Y., Luan, L., Qu, H., Ruan, S. and Li, J. (2022). “Beibinghong” enhances the quality of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Gernischt wine. *Journal of Food Science*, 87(11): 4854–4867.
- Staudt, G., Schneider, W., & Leidel, J. (2003). Phase of berry growth in *Vitis vinifera*. *Annals of Botany*, 58: 789–800.
- Symons, G.M., Davies, C., Shavrukov, Y., Dry, I.B., Reid, J.B., & Thomas, M.R. (2006). Grapes on steroids: Brassinosteroids are involved in grape berry ripening. *Plant Physiology*, 140(1): 150–158. <https://doi.org/10.1104/pp.105.070706>
- Vergara, A.E., Díaz, K., Carvajal, R., Espinoza, L., Alcalde, J.A., & Pérez-Donoso, A.G. (2018). Exogenous applications of brassinosteroids improve color of red table grape (*Vitis vinifera* L. cv. “Redglobe”) berries. *Frontiers in Plant Science*, 9: 363.
- Warusavitharana, A.J., Thambe, T.B., & Kshirsagar, D.B. (2008). Effect of cytokinins and brassinosteroid with gibberellic acid on yield and quality of Thompson Seedless grapes. *Acta Horticulturae*, 785: 217–223.
- Zheng, T., Dong, T., Haider, M.S., Jin, H., Jia, H., & Fang, J. (2020). Brassinosteroid regulates 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase to promote grape fruit development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(43): 11987–11996. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04466>