



اثر رقم، روش پیوند و اپی براسینولید بر میزان موفقیت پیوند در گردو ایرانی (*Juglan regia* L.)

Effect of Cultivar, Grafting Method and Epibrassinolide on Grafting Success Rate in Persian Walnut (*Juglan regia* L.)

جواد فرخی تولیر^۱، بهاره دامنکشان^۲ و الهام ابراهیم پور^۳

- ۱- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
- ۲- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
- ۳- کارشناس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲

چکیده

فرخی تولیر، ج.، دامنکشان، ب. و ابراهیم پور، ا. ۱۴۰۳. اثر رقم، روش پیوند و اپی براسینولید بر میزان موفقیت پیوند در گردو ایرانی (*Juglan regia* L.). نهال و بذر ۴۰: ۶۵۴-۶۲۵

پیوند تنها روش سریع جهت جایگزینی درختان قدیمی با ارقام تجاری، سازگار و پربازده می باشد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. تیمارها شامل: روش پیوند در دو سطح (وصله ای و قاشی)، دو رقم گردو (چندلر و فرنور) و غلظت های مختلف اپی براسینولید در چهار سطح (صفر، ۰/۰۵، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ میلی مولار) بودند. درصد گیرائی پیوند فقط در سال اول (۱۴۰۲) و سایر صفات در هر دو سال (۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) ارزیابی شدند. برهمکنش رقم × غلظت اپی براسینولید بر درصد گیرائی پیوند در سال ۱۴۰۲ و بر زمان باز شدن جوانه و قطر شاخه در سال ۱۴۰۳ معنی دار بود. بیشترین درصد گیرائی (۸۰ تا ۱۰۰ درصد) در رقم فرنور با کاربرد ۰/۰۵ میلی مولار اپی براسینولید و فرنور + صفر میلی مولار EBr (شاهد) در سال ۱۴۰۲ بدست آمد. دیرترین زمان باز شدن جوانه (۱۷ تا ۲۱ تیر) نیز در همین تیمارها و در رقم فرنور + روش پیوند قاشی + ۰/۰۵ میلی مولار اپی براسینولید در سال ۱۴۰۳ بود. بیشترین طول شاخه (۳۵/۵۳ سانتی متر) در تیمار رقم فرنور + روش پیوند پیوند قاشی در سال ۱۴۰۲ (۸۵ سانتی متر) در تیمار فرنور + روش پیوند قاشی + ۰/۱۵ میلی مولار اپی براسینولید در سال ۱۴۰۳ اندازه گیری شد. بیشترین قطر شاخه (۱/۷۳ سانتی متر) در تیمار فرنور + ۰/۰۵ میلی مولار اپی براسینولید در سال ۱۴۰۲ و (۲/۵ سانتی متر) در تیمار رقم فرنور + روش پیوند وصله ای + ۰/۰۵ میلی مولار اپی براسینولید در سال ۱۴۰۳ ثبت گردید. بیشترین تعداد برگ (۳۹ برگ) در تیمار رقم فرنور + پیوند قاشی + ۰/۲۵ میلی مولار اپی براسینولید در سال ۱۴۰۳ مشاهده شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که رقم گردو موثرترین عامل در افزایش میزان گیرائی پیوند ارقام گردو بود.

واژه های کلیدی: گردو، پیوندک، رقم چندلر، رقم فرنور، پیوند قاشی، پیوند وصله ای.

تلفن: ۰۳۴۳۲۱۱۲۳۹۱

* نگارنده مسئول: j.farrokhi@areeo.ac.ir



2025© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

احداث باغ‌های متراکم گردو در مقیاس تجاری با هدف برداشت مکانیزه، مستلزم استفاده از ارقام یکنواخت و پرمحصول است (Hassani et al., 2020). تجاری‌سازی یک رقم یا پایه به موفقیت تکثیر رویشی آن بستگی دارد (Vahdati et al., 2022). انتخاب گیاه مطلوب تنها پس از رسیدن به بلوغ انجام می‌شود که به زمان طولانی نیاز دارد. روش‌های تکثیر هم‌گروهی (کلونال)، انتقال صفات به نتاج را تضمین می‌کند و می‌تواند به‌طور مؤثری در برنامه‌های به‌نژادی استفاده شود.

گردو، مانند سایر گونه‌های درختی، به روش‌های تکثیر رویشی سنتی و حتی کشت درون شیشه‌ای غیرسنتی (ریز ازدیادی) مقاوم است (Vahdati et al., 2022). گردوی ایرانی از زمان‌های قدیم با روش بذری تکثیر می‌شود. زمانی که بذر کاشته می‌شود گیاه حاصل دقیقاً مثل والدش نیست و تفرق صفاتی در آن ایجاد می‌شود. تکثیر با بذر باعث می‌شود هر درختی با درخت کناری در خصوصیات رشدی و کیفیت میوه، مقاومت به تنش‌های زیستی و تحمل به تنش‌های غیرزیستی و ژن‌های کنترل‌کننده آن‌ها متفاوت باشد (Arzani, 2016). بنابر این نظر تولید درختان گردو از طریق تکثیر بذری یک حسن اما از دید اقتصادی به دلیل عملکرد و بازارپسندی کمتر محصول، یک عیب محسوب می‌شود (Arzani, 2016).

با وجود سابقه طولانی و سهولت استفاده از روش تکثیر بذری، باغ‌های گردویی که با این روش در استان کرمان احداث شده‌اند، بنا به عواملی مانند فرسودگی و کهنسالی درختان، مصرف آب بیشتر و نیز تفرق ژنتیکی صفات پومولوژیکی و فنولوژیکی، زیان‌ده بوده و در اغلب موارد حتی کفاف هزینه‌های صرف‌شده توسط باغداران را هم نمی‌کنند. این عوامل موجب شده که استان کرمان علی‌رغم داشتن جایگاه اول سطح زیرکشت و دوم تولید گردوی کشوری (Anonymous, 2022) هنوز نتواند به‌عنوان قطب صادرات گردو به استان‌های هم‌جوار و خارج از کشور مطرح شود.

اکثر برنامه‌های اخیر اصلاح درختان میوه بر بهبود ژنتیکی پیوندک (رقم) متمرکز بوده‌اند. با این حال، استفاده از پایه‌های پیوندی سازگار با محیط محلی نیز بهره‌وری و کیفیت محصولات درختان میوه را افزایش داده است. پیوند زدن یک عمل باغبانی باستانی است که در محصولات آجیلی برای دستکاری فنوتیپ و بهره‌وری پیوندک و غلبه بر تنش‌های زیستی و غیرزیستی استفاده می‌شود (Vahdati et al., 2021). دستیابی به شیوه‌های تجاری تکثیر غیر بذری (رویشی) ارقام، متناسب با شرایط اقلیمی استان کرمان و با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آب، خاک و شرایط اقلیمی مستعد و نیز ارتقاء کمی و کیفیت میوه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در مدیریت باغ‌های گردوی این استان به‌شمار

می‌رود.

یکی از روش‌های کم‌هزینه و آسان در تکثیر رویشی ارقام و ژنوتیپ‌های گردو، سرشاخه‌کاری و پیوند می‌باشد (Khajeali and Mohammadkhani, 2015; Rezaee *et al.*, 2015). با این حال، این روش نیز با عامل محدودکننده‌ای به نام میزان موفقیت (درصد گیرائی) پیوند روبرو است. افزایش درصد گیرائی پیوند گردو، تشکیل کالوس و اتصال آوندی بین پایه و پیوندک، همگی متأثر از عواملی نظیر ژنوتیپ پایه و پیوندک، زمان پیوند، روش پیوند، و نیز شرایط دمائی و رطوبتی است (Ráufi *et al.*, 2017).

ترشحات آوندهای چوبی، ترکیبات فنولی و هورمون‌های داخلی نیز نقش مهمی در موفقیت پیوند و بقای گردوهای پیوندی دارند (Asgharzadeh *et al.*, 2008). علاوه‌براین، دشواری پیوند گردو به ضخامت پوست ساقه و فشار بالای ریشه هم مربوط می‌باشد (Vahdati, 2003). به‌طور کلی، پیوند وصله‌ای به‌عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های پیوند گردو معرفی شده است (Kuden and Kaska, 1996). در یک بررسی با استفاده از ۱۳ تیمار پیوندی روی ۳۰ نهال گردو، بیشترین درصد گیرائی در پیوند وصله‌ای (۹۳/۳٪) گزارش شد (Khajeali and Mohammadkhani, 2015). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که در کنار پیوند وصله‌ای، پیوندهای نیمانیم زبانه‌ای و

قاشی نیز برای تکثیر رویشی گردو، مناسب می‌باشند (Rezaee *et al.*, 2015; Soleimani *et al.*, 2010). در پژوهشی که در کشور ترکیه انجام شد، درصد گیرائی پیوند در پیوندهای زبانه‌ای و قاشی به‌ترتیب ۶۶٪ و ۵۳٪ گزارش شد (Ozkan and Gumuş, 2001). علاوه‌بر روش پیوندی، زمان انجام پیوند نیز بر میزان گیرائی پیوند گردو مؤثر است (Asgharzadeh *et al.*, 2008).

عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2001) در پژوهشی در خصوص اثر زمان پیوند و بستر نگهداری بر میزان گیرائی پیوندهای جانبی و زینی و همچنین تأثیر زمان پیوند، حذف پهنک برگ و ایجاد زخم روی پایه گردو نشان دادند که روش پیوند جانبی در ششم بهمن و پیوند وصله‌ای در بیستم شهریور بیشترین موفقیت پیوندی را داشت. حذف پهنک برگ و ایجاد زخم، گرچه میزان گیرائی پیوند را افزایش داد، اما معنی دار نبود. در نهایت پیوند وصله‌ای به دلیل هزینه کمتر توصیه شد (Ebadi *et al.*, 2001).

کاربرد هورمون‌های گیاهی مختلف مانند اکسین‌ها، سایتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها نیز در بهبود میزان موفقیت پیوند گردو مؤثرند (Nanda and Melnyk, 2018). علاوه براین هورمون‌ها، دسته هورمونی براسینواستروئیدی (Brassinosteroids = BRs) نیز در تعامل با سایر هورمون‌ها، در تشکیل کالوس، آوند چوبی و رشد سلولی نقش دارند (Zhu *et al.*, 2013).

(Belkhadir and Jaillais, 2015). تیمار با BRs ها موجب افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تشکیل آوندهای چوبی در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) و بهبود گیرائی پیوند شد (Caño-Delgado et al., 2004).

کاربرد BRs ها بر روی گیاه گل آهار (*Zinnia elegans* L.) نیز اثر افزایش‌دهی در میزان گیرائی پیوند نشان داد (Iwasaki and Shibaoka, 1991). تا کنون، تنها مطالعه از کاربرد این هورمون به شکل‌های ۲۴-اپی‌براسینولید (= 24-Epibrassinolide) و ۲۲ و ۲۳-اس-هوموبراسینولید (EBR) و 23 Homobrassinolide = HBr در گردو مربوط به افزایش تعداد گل‌های نر و ماده، نسبت تعداد گل به شاخه و تنظیم ارتفاع نهال‌های پیوندی در رقم چَندلر بوده است (Engine and Gökbayrak, 2022). با این حال، یکی از شکاف‌های پژوهشی که تاکنون مطالعه‌ای درمورد آن هم انجام نشده است، تعیین نقش BRs بر افزایش درصد موفقیت و گیرائی پیوند گردو می‌باشد.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر EBR از دسته هورمون‌های BRs بر تعدادی از شاخص‌های رشدی و میزان گیرائی پیوند ارقام گردو چَندلر و فرنور انجام شد.

مواد و روش‌ها

مختصات مکان اجرای آزمایش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات گردو

رأبر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، بر روی پایه‌های بذری گردو انجام شد. این ایستگاه در ۲۰۵ کیلومتری جنوب مرکز استان و در ۲۵ کیلومتری شهر رأبر واقع شده است. ارتفاع از سطح دریای آزاد ایستگاه ۲۲۹۰ متر و مختصات طول جغرافیائی "۴۹° ۵۷' ۰۲" و "۴۶° ۵۷' ۰۲" شرقی و عرض جغرافیائی "۳۲° ۲۹' ۱۶" و "۸° ۲۹' ۱۶" شمالی می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به ترتیب ۲۱۰ میلی‌متر و ۲۳ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه هواشناسی ثبت شده است.

تهیه مواد گیاهی (پایه و پیوندک)

همه مواد آزمایشی از میوه یک درخت واحد که متعلق به ژنوتیپ گردوی با کد ۱۱۱ در ایستگاه رأبر بود، که از خصوصیات مهم آن زود سبز شدن است، جمع‌آوری شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تکرار در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در ایستگاه تحقیقات گردوی رأبر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان انجام شد.

آزمایش شامل سه عامل بود: ۱- روش پیوند در دو سطح (وصله‌ای و قاشی)، ۲- رقم در دو سطح (چَندلر و فرنور) و ۳- غلظت هورمون اپی‌براسینولید (EBR) در چهار سطح (صفر، ۰/۰۵، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ میلی‌مولار). در مجموع، ۱۶ تیمار (۴×۲×۲) در قالب ۸۰ واحد آزمایشی ارزیابی شدند.

در مهر ۱۴۰۰، تعداد ۱۰۰ عدد میوه درشت و سالم گردو از درختان ژنوتیپ گردو با کد ۱۱۱ موجود در ایستگاه جمع‌آوری و در گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد 35×10 سانتی‌متر کاشته شدند. گلدان‌ها در فضای باز و زیر سایبان به‌دور از تابش مستقیم نور خورشید قرار داده شدند. پس از ۲۱ ماه، ۸۰ نهال سبز شده با رشد مناسب به‌عنوان پایه‌های بذری انتخاب شدند. پیوندک‌ها از شاخه‌های جوان و سالم درختان ارقام چَندلر و فرنور مستقر در ایستگاه تهیه شدند. پیوندک‌های هر رقم از نظر ژنتیکی و فیزیولوژیکی یکنواخت بودند. تهیه پیوندک و عملیات پیوند در بازه زمانی ۲۵ تا ۲۷ خرداد انجام شد.

انجام پیوند

قبل از انجام پیوند، پیوندک‌ها به‌مدت نیم‌ساعت در غلظت EBr مربوطه غوطه‌ور شدند. غوطه‌ورسازی با هورمون جهت بهبود موفقیت پیوند بهتر از روش اسپری کردن است (Hartmann et al., 2011). در روش پیوند قاشی، بُرشی به ابعاد یک تا $1/5$ سانتی‌متری در شاخه پیوندک ایجاد شد. هم‌زمان به اندازه ابعاد بُرش پیوندک، از پوست و چوب شاخه پایه نیز بُریده شد و پیوندک در محل متناظر آن در پایه قرار گرفت. در ادامه محل پیوند با کیسه نایلون فریزر رشته‌شده بسته شد.

در پیوند وصله‌ای، تکه مستطیلی شکلی بسته به قطر شاخه و به ابعاد $1/5$ تا ۲ سانتی‌متر از پوست شاخه پیوندک جدا گردید. این تکه

(وصله) حاوی جوانه پیوندک و فقط پوست شاخه بود. در همین ابعاد، پوست شاخه پایه نیز بُریده شد و پیوندک در محل بُریده‌شده پایه داخل گردید. سپس به‌غیر از روی جوانه پیوندک، کل محل پیوند با کیسه نایلون فریزر رشته‌شده بسته شد.

ضد عفونی‌نمودن چاقوی پیوندی و قیچی باغبانی و محکم بستن محل پیوند، جهت جلوگیری از ورود آلودگی‌ها و بیماری‌ها در طول انجام آن رعایت گردید. نهال‌های پیوندی به‌طور منظم آبیاری شدند و در تمام مراحل پژوهش، در شرایط مناسب رطوبتی، نوری و دمائی نگهداری شدند.

ارزیابی پیوندهای انجام‌شده

بدین منظور، ویژگی‌های رشدی نهال‌ها در تمام ۸۰ کرت آزمایشی پس از انجام پیوندهای قاشی و وصله‌ای و در انتهای فصل رشد (اوائل مهر) ارزیابی شدند. صفات مورد ارزیابی به‌شرح زیر بودند:

۱- درصد گیرائی نهایی پیوند که همان (تعداد پیوندک زنده به ازای کل پیوندک‌ها در پایان فصل رشد) می‌باشد. این صفت از صفات مهم در پژوهش حاضر بود و به‌صورت کیفی (0-0.5 کمتر از ۲۰، 0.5-1.0 $= 20\%-40\%$ ، 1.0-1.5 $= 40\%-60\%$ ، 1.5-2 $= 60\%-80\%$ و 2.0-2.5 $= 80\%-100\%$) امتیازدهی شد (Vahabi Hashemabadi, et al., 2023).

۲- زمان بازشدن جوانه (تاریخ اولین بازشدن جوانه برگی پیوندک) با امتیازدهی

کیفی (۷ تا ۱۱ تیر (0-1)، ۱۲ تا ۱۶ تیرماه (2-1)، ۱۷ تا ۲۱ تیرماه (3-1).

۳- طول شاخه (اندازه گیری طول بلندترین شاخه پیوندک در پایان فصل رشد) بر حسب سانتی متر با استادهاز خط کش انجام شد.

۴- قطر شاخه (اندازه گیری قطر شاخه پیوندک در یک سوم پایینی رشد پیوندک در پایان فصل رشد) بر حسب سانتی متر قطرسنج (کولیس) با دقت یک میلی متر انجام شد.

۵- تعداد برگ (شمارش تعداد برگ های توسعه یافته بر روی شاخه پیوندک در پایان فصل رشد) بودند.

از صفات ارزیابی شده، درصد گیرائی فقط در سال اول پژوهش (۱۴۰۲) اندازه گیری شد. سایر صفات در هر دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ ارزیابی و اندازه گیری شدند.

تجزیه و تحلیل های آماری

داده های حاصله بر اساس موازین آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با استفاده از نرم افزار آماری SAS-version-9.1 تجزیه واریانس قرار شدند. از آنجا که تیمارهای پژوهش در سال اول (۱۴۰۲) اعمال شدند ولی داده برداری در دو سال متوالی (۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) انجام شد، بنابراین جدول تجزیه واریانس برای درصد گیرائی پیوند، فقط در سال اول ارائه شده است. اما برای سایر صفات شامل زمان باز شدن جوانه پیوندک، طول شاخه، تعداد برگ و قطر شاخه،

تجزیه واریانس به صورت جداگانه در هر دو سال انجام و ارائه شده است.

با توجه به ماهیت جوان و در حال رشد نهال های مورد استفاده، اثر سال در تحلیل های آماری لحاظ نشد. برای مقایسه میانگین تیمارها و ترکیب سطوح مختلف، از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. همچنین نمودارهای مربوطه به وسیله نرم افزار Excell-2013 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

میزان گیرائی پیوند

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که برهمکنش رقم $\times$ غلظت EBr بر میزان گیرائی پیوند در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین درصد گیرائی پیوند (۸۰٪-۱۰۰) در تیمارهای رقم فرنور + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr و رقم فرنور + صفر میلی مولار EBr (شاهد) مشاهده شد. در حالی که کمترین گیرائی (۴۰-۲۰٪) مربوط به فرنور + ۰/۲۵ میلی مولار EBr و رقم چندلر + ۰/۱۵ میلی مولار EBr در سال ۱۴۰۲ بود (شکل ۱).

پژوهشگران نشان داده اند که نوع پیوند، سن پایه و روش پیوندی از عوامل کلیدی در موفقیت پیوند گردو محسوب می شوند. به طور مشخص، بالاترین درصد گیرائی در پایه های سه ساله و در روش های پیوند شکمی و شکمی وارونه گزارش شده است (Ghamari-Hesabi et al., 2015).

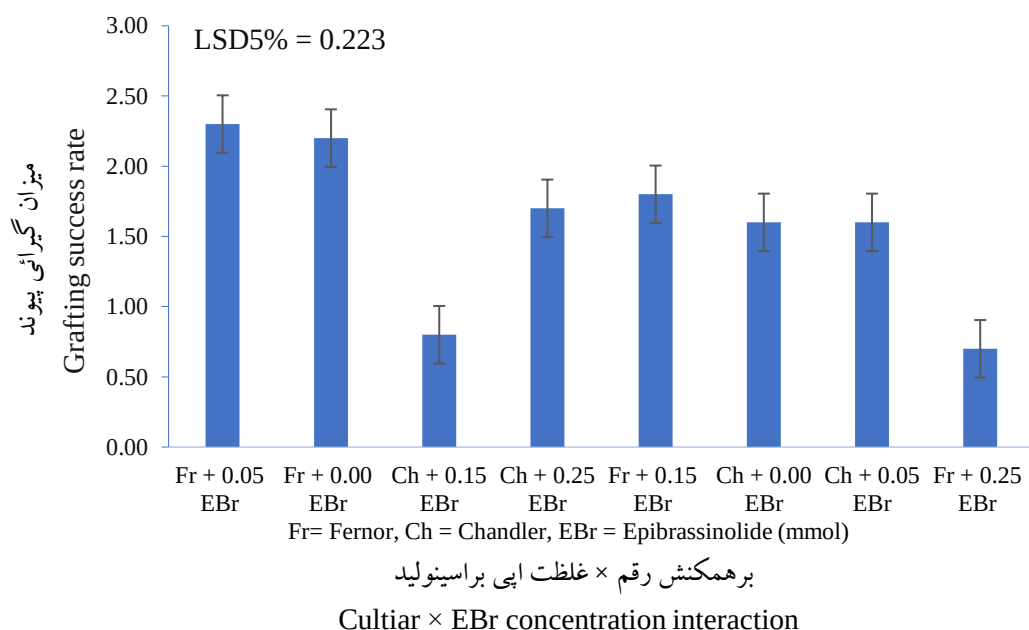
جدول ۱- تجزیه واریانس برای میزان گیرائی پیوند در ارقام گردوی مطالعه شده در سال ۱۴۰۲

Table 1. Analysis of variance for grafting success rate in the studied walnut cultivars in 2023

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Mean squares
Replication	تکرار	4	0.7513
Grafting method (GM)	روش پیوند	1	0.1688
Cultivar (C)	رقم	1	0.2972
EBr concentration (EBr)	غلظت اپی براسینولید	3	0.3409
C × GM	رقم × روش پیوند	1	2.1046
EBr × GM	غلظت اپی براسینولید × روش پیوند	3	0.3630
EBr × C	غلظت اپی براسینولید × رقم	3	2.2095 *
EBr × C × GM	غلظت اپی براسینولید × رقم × روش پیوند	3	1.2378
Error	خطای آزمایشی	60	0.7513
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)		28.58

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × غلظت اپی براسینولید بر میزان گیرائی پیوند در ارقام گردو چندلر و فرنور در سال ۱۴۰۲. (0-0.5 کمتر از ۲۰، ۰.۵-۱.۰ = ۲۰-۴۰٪، ۱.۰-۱.۵ = ۴۰-۶۰٪، ۱.۵-۲.۰ = ۶۰-۸۰٪ و ۲.۰-۲.۵ = ۸۰-۱۰۰٪). میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 1. Mean comparison of cultivar × EBr concentration interaction effect on grafting success rate in walnut cv. Fernor and cv. Chandler in 2023. (0-0.5 less than 20, 0.5-1.0 = 20-40%, 1.0-1.5 = 40-60%, 1.5-2.0 = 60-80% and 2.0-2.5 = 100-80%). Error bars on columns represent standard errors of the mean

به افزایش رشد و گیرائی پیوند منجر می شود (Mir and Kumar, 2011). به نظر می رسد که در افزایش گیرائی پیوند گردو، نقش عوامل محیطی از عوامل هورمونی پُررنگ تر باشد.

تاکنون هیچ مطالعه مستقیمی از تأثیر کاربرد برون زاد هورمون های براسینواستروئیدی (BRs) اعم از EBr و HBr بر میزان موفقیت پیوند گردو و سایر درختان گزارش نشده است. این هورمون در موفقیت پیوند گیاهان خشبی احتمالاً به جای داشتن نقش اصلی در تعامل با اکسین ها و سایتوکینین ها عمل می کند (Saini et al., 2006; Mouchel et al., 2015). متناقضی از اثر مستقیم BRs در نحوه گیرائی پیوند گیاهان علفی گزارش شده است. به عنوان مثال، پژوهش انجام شده بر روی نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) نشان می دهد که حتی در ژن های جهش یافته بیوسنتز BRs نیز پیوند با موفقیت انجام گردید (Symons, 2004). همچنین افزایش تعداد آوندهای چوبی و گیرائی پیوند گل آهار (Iwasaki and Shibaoka, 1991) و برعکس سرکوب آوندهای چوبی و افزایش آوندهای آبکشی در شاهی (*Lepidium sativum* L.) گزارش شده است (Nagata et al., 2001).

فرآیند موفقیت پیوند شامل یک سری مراحل کلیدی متوالی است که پشت سرهم رخ می دهد و اختلال در هر یک از این مراحل می تواند به

در پژوهشی دیگر نیز بیشترین درصد گیرائی نهایی به پیوند قاشی (۶۶/۳۱٪) اختصاص داشت و پس از آن پیوند شکمی (۳۳/۵۸٪) و پیوند زبانه ای (۳۳/۳۸٪) قرار داشتند. برهمکنش روش پیوند × زمان پیوند × رقم نیز اثر معنی داری بر افزایش درصد گیرائی داشت (Vahabi-e-Hashemabad et al., 2023).

شرایط کنترل شده گلخانه ای در مقایسه با محیط مزرعه، نقش مؤثرتری در افزایش موفقیت پیوند گردو دارد (Ebrahimi et al., 2007; Thapa et al., 2021). پژوهش حاضر، پیوندها در شرایط مزرعه ای انجام شدند که می تواند یکی از دلایل کاهش میزان گیرائی نسبت به پژوهش های گلخانه ای باشد. انجام پیوندهای جوانه ای مانند پیوند وصله ای در شرایط گلخانه ای توصیه می شود، زیرا علاوه بر کالوس زایی و رشد بهتر پیوندک، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است (Ebrahimi et al., 2007).

به طور کلی، میزان موفقیت پیوند تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله انتخاب رقم و پایه (Mitrović et al., 2008)، زمان جمع آوری پیوندک (Paunović et al., 2012)، زمان انجام پیوند (Tshering et al., 2006) و دما و رطوبت نسبی مناسب (Avanzato, 2009) قرار می گیرد. شرایط محیطی مطلوب موجب تسریع در جریان شیریه گیاهی، التیام زخم و اتصال بافت های کامبیومی و آوندی می شود که در نهایت

عدم موفقیت پیوند بیانجامد (Melynk *et al.*, 2015). این مراحل باید نهایتاً اتصال مجدد آوندهای بین پایه و پیوندک را تضمین نماید. یکی از عوامل مهم درونی تعیین کننده در میزان گیرائی پیوند گردو وجود ترکیبات فنولی در این گیاه است که با قهوه‌ای شدن بافت و ممانعت از کالوس زایی، نقش بازدارنده‌ای در گیرائی پیوند دارند (Mattsson *et al.*, 2003). استفاده از پایه‌های پُررشد نیز به دلیل توانایی بیشتر در تأمین آب و مواد غذایی، موجب افزایش میزان گیرائی پیوند گردو می‌شوند (Rezaee *et al.*, 2008; Jacobs *et al.*, 2006).

به‌طور کلی، برای حصول میزان بالای موفقیت پیوند گردو باید هم‌زمان در پی بهینه کردن چندین عامل محیطی و درونی بود و از این رو است که پژوهش‌های جدید نیز بر مجموعه‌ای از عملیات بهبود دهنده مانند تعیین زمان مناسب بُرش، نوع پوشش و شرایط اقلیمی متمرکز شده‌اند (Karadeniz *et al.*,

2014). علاوه‌براین، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی دقیق‌تر نقش ترکیبات فنولی و تعامل هورمون‌ها در فرآیند پیوند گردو بپردازند تا از این منظر راهکارهای نوینی برای افزایش میزان گیرائی ارائه شود.

زمان بازشدن جوانه پیوندک

در سال اول آزمایش (۱۴۰۲)، برهمکنش (رقم × غلظت EBr) بر زمان بازشدن جوانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دیرترین زمان بازشدن جوانه در تیمارهای (فرنور + غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار EBr) و (فرنور + شاهد) و زودترین زمان در تیمار (چندلر + غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار EBr) مشاهده شد (شکل ۲).

در سال دوم (۱۴۰۳)، برهمکنش سه گانه رقم × غلظت EBr × روش پیوند بر زمان بازشدن جوانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

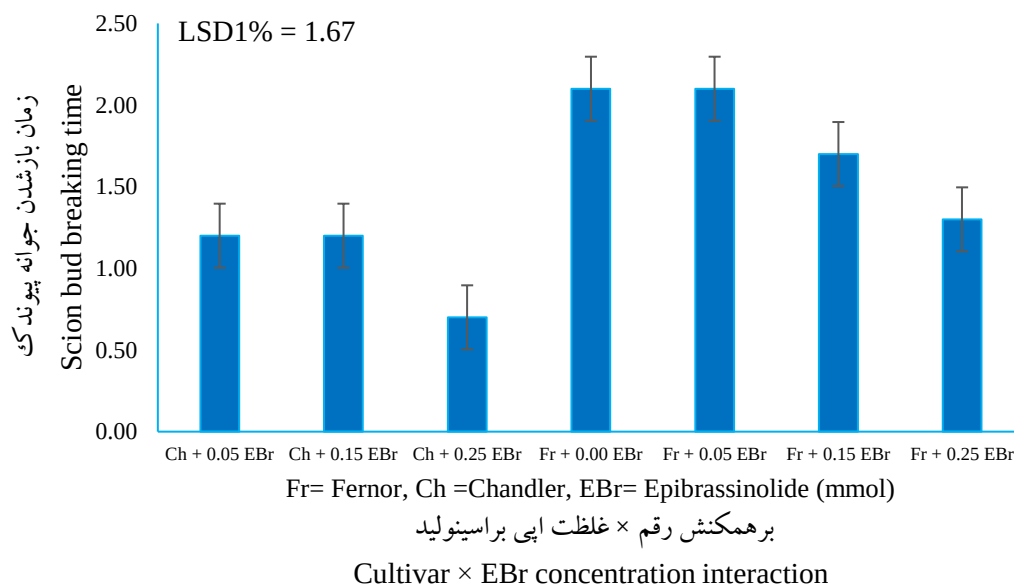
جدول ۲- تجزیه واریانس برای زمان باز شدن جوانه پیوندک، طول شاخه، قطر شاخه و تعداد برگ در ارقام گردوی مطالعه شده در سال ۱۴۰۲

Table 2. Analysis of variance for scion bud breaking time, shoot length, shoot diameter, and leaf number in studied walnut cultivars in 2023

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Mean square			
			زمان باز شدن جوانه پیوندک Scion bud breaking time	طول شاخه Shoot length	قطر شاخه Shoot diameter	تعداد برگ Leaf number
Replication	تکرار	4	0.29375	341.776*	0.1104	9.8406
Grafting method (GM)	روش پیوند	1	1.25000	70.3125	0.0289	1.9531
Cultivar (C)	رقم	1	1.25000	232.5620 *	0.0794	8.7781
EBr concentration (EBr)	غلظت ای-براسینولید	3	1.38333	157.43900	0.1510	15.2198
C × GM	رقم × روش پیوند	1	0.05000	539.7605*	0.3125	37.1281
EBr × GM	غلظت ای-براسینولید × روش پیوند	3	0.45000	75.2328	0.0215	1.6531
EBr × C	غلظت ای-براسینولید × رقم	3	1.25000**	87.7790	0.2885**	21.6448
EBr × C × GM	غلظت ای-براسینولید × رقم × روش پیوند	3	0.85000	46.4268	0.0655	2.7614
Error	خطای آزمایشی	60	0.46708	108.5269	0.0940	12.4339
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%)		28.83	19.67	22.02	20.93

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × غلظت اپی براسینولید بر زمان باز شدن جوانه پیوندک در ارقام گردو در سال ۱۴۰۲. تاریخ اولین باز شدن جوانه برگی پیوندک با امتیازدهی کیفی (۷ تا ۱۱ تیر (0-1)، ۱۲ تا ۱۶ تیر (1-2)، ۱۷ تا ۲۱ تیر (1-3). میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 2. Mean comparison of cultivar × EBr concentration interaction effect on scion bud breaking time in walnut cultivars in 2023. Date of the first leaf bud opening of scion with qualitative scoring (July 7 to 11 (0-1), July 12 to 16 (1-2), July 17 to 21 (1-3). Error bars on columns represent standard errors of the mean

جدول ۳- تجزیه واریانس برای زمان باز شدن جوانه پیوندک، طول شاخه، قطر شاخه و تعداد برگ در ارقام گردوی مطالعه شده در سال ۱۴۰۳

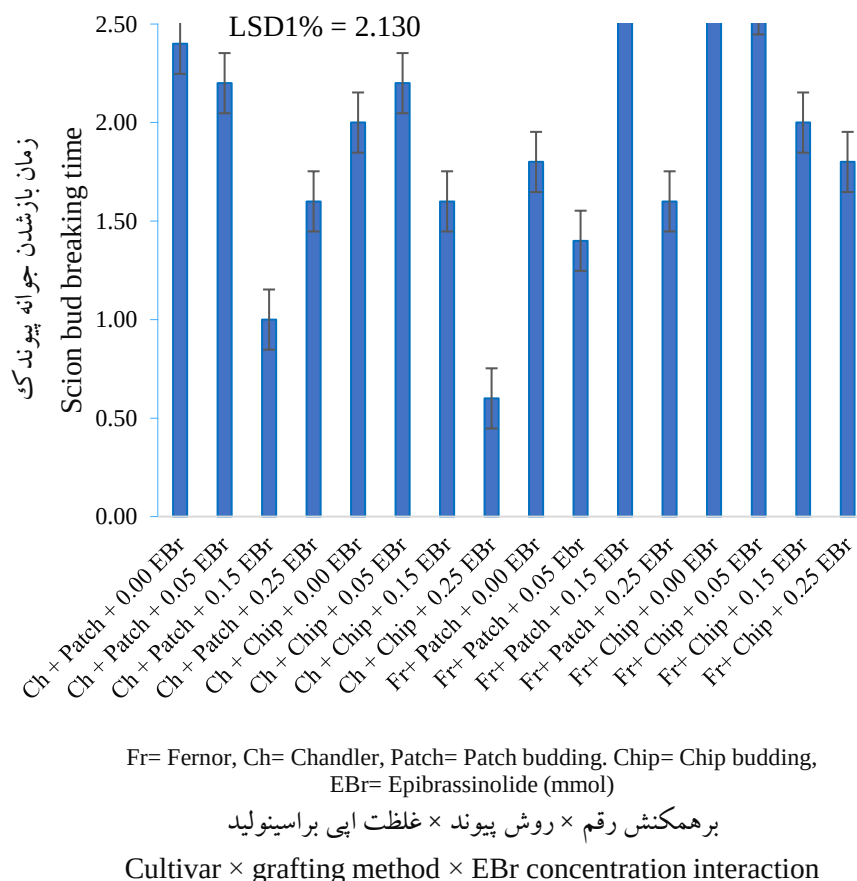
Table 3. Analysis of variance for scion bud break time, shoot length, shoot diameter, and number of leaves in studied walnut cultivars in 2024

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Mean squares			
			زمان باز شدن جوانه پیوندک Scion bud breaking time	طول شاخه Shoot length	قطر شاخه Shoot diameter	تعداد برگ Leaf number
Replication	تکرار	4	0.2500	982.78125	3.1528	435.3250
Grafting method (GM)	روش پیوند	1	1.5125	8569.8000**	1.3703	427.8125*
Cultivar (C)	رقم	1	1.0125	135.2000	0.5040	103.5125
EBr concentration (EBr)	غلظت اپی براسینولید	3	1.7458*	1014.9330	1.1427	108.8125
C × GM	رقم × روش پیوند	1	0.3125**	20.0075	0.4366	3.6125*
EBr × GM	غلظت اپی براسینولید × روش پیوند	3	0.7792	543.8615	0.3942	80.7458
EBr × C	غلظت اپی براسینولید × رقم	3	1.5458	534.6000	1.1598**	103.9125
EBr × C × GM	غلظت اپی براسینولید × رقم × روش پیوند	3	0.9792**	194.7333**	1.2842 **	41.1458 **
Error	خطای آزمایشی	60	0.4700	837.5412	1.8743	267.0650
Coefficient of variation (C.V. %)	ضرب تغییرات (%)		26.62	18.24	20.07	25.06

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دیرترین زمان بازشدن جوانه مربوط به تیمارهای فرنور + پیوند قاشی غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr، (فرنور × پیوند قاشی × شاهد) و (فرنور × پیوند وصله‌ای × غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr) بود. در مقابل، زودترین زمان بازشدن جوانه در تیمار (چندلر × پیوند قاشی × غلظت ۰/۲۵ میلی مولار EBr) ثبت گردید (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید بر زمان بازشدن جوانه پیوندک ارقام گردو در سال ۱۴۰۳. تاریخ اولین بازشدن جوانه برگی پیوندک با امتیازدهی کیفی (۷ تا ۱۱ تیر (0-1)، ۱۲ تا ۱۶ تیر (1-2)، ۱۷ تا ۲۱ تیر (2-3)). میله‌های خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 3. Mean comparison of cultivar × grafting method × EBr concentration interaction effect on scion bud break time of walnut cultivars in 2024. Date of first leaf bud opening of scion with qualitative scoring (July 7 to 11 (0-1), July 12 to 16 (1-2), July 17 to 21 (2-3)). Error bars on columns represent standard errors of the mean

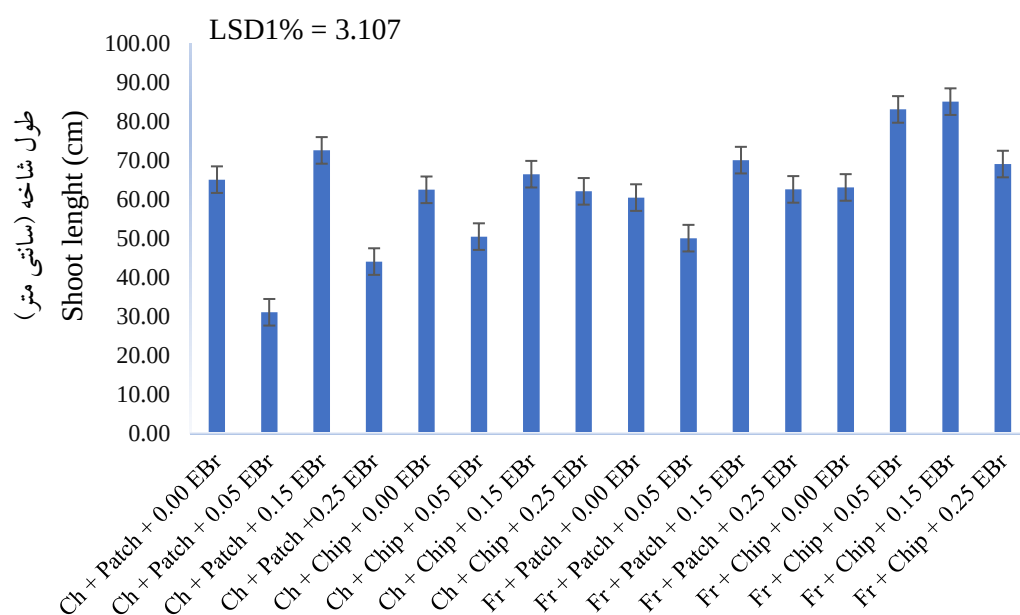
در پژوهش حاضر، بازه زمانی بازشدن جوانه‌ها بین ۷ تا ۲۱ تیر متغیر بود. زودترین زمان بازشدن جوانه‌ها در بازه ۷ تا ۱۱ تیر و دیرترین زمان در بازه ۱۷ تا ۲۱ تیر ثبت شد. عمده مشاهدات در محدوده ۱۶ تا ۲۱ تیر قرار داشتند. عملیات پیوند نهال‌ها در خرداد انجام شد. پیوند در خرداد و نگهداری نهال‌ها در دمای مناسب می‌تواند موجب تسریع در بازشدن جوانه‌ها شود (Rieger and Kluge, 2008). روش پیوند تأثیر مستقیمی بر زمان بازشدن جوانه پیوندک دارد. در پیوند قاشی، به دلیل هم‌پوشانی دقیق‌تر بافت‌های آوندی، انتقال آب، مواد معدنی و هورمون‌ها به پیوندک سریع‌تر بود که به باز شدن زودتر جوانه‌ها منجر شد. در مقابل، در پیوند وصله‌ای به دلیل سطح تماس محدودتر، تأخیر در باز شدن جوانه‌ها بیشتر بود (Hartmann et al., 2011).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جوانه‌های نهال‌هایی که با روش قاشی پیوند شده بودند، به‌طور میانگین ۷ تا ۹ روز زودتر از نهال‌های پیوندی به روش وصله‌ای باز شدند. سایر پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که به‌طور معمول، زمان باز شدن جوانه‌های پیوندک در پیوند قاشی ۲ تا ۳ هفته زودتر از پیوند وصله‌ای بود (Rieger and Kluge, 2008). هورمون اپی‌براسینولید (EBr) با افزایش سنتز پروتئین و تحریک مسیرهای سیگنال‌دهی رشد، موجب

تسریع در بازشدن جوانه‌ها می‌شود (Fariduddin et al., 2014). علاوه‌براین، زمان بازشدن جوانه‌های گردو به شدت تحت تأثیر ژنوتیپ/ رقم است. ارقام مختلف گردو دارای الگوهای فنولوژیکی متفاوتی هستند که به واسطه بیان ژن‌های تنظیم‌کننده رشد رویشی و گل‌دهی نظیر *FT*، *SOC1* و *CAL* و تنظیم مسیرهای هورمونی و پاسخ به طول روز، زمان آغاز رشد جوانه‌ها را تعیین می‌کنند (Hassankhah et al., 2020). درک روابط میان عوامل ژنتیکی، فیزیولوژیکی و مدیریتی می‌تواند به بهینه‌سازی روش‌های پیوند و افزایش موفقیت استقرار نهال‌های گردوی پیوندی کمک شایانی کند.

طول شاخه

در سال اول (۱۴۰۲) برهمکنش روش پیوند × رقم بر طول شاخه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین طول شاخه (۳۵/۵۳ سانتی‌متر) در تیمار فرنور + پیوند قاشی و کمترین طول شاخه (۱۴ سانتی‌متر) در تیمار چندلر + قاشی (در سال اول (۱۴۰۲) مشاهده شد. (شکل ۴). استانیساولجویچ و میرتوویچ (Stanisavljević and Mirtović, 1997) حداقل و حداکثر طول شاخه پیوندی را در پیوند قاشی در سال اول را به ترتیب ۱۱/۲ و ۲۴/۱ سانتی‌متر گزارش کردند.



Fr= Fernor, Ch= Chandler, Patch= patch budding, Chip= Chip budding, EBr= Epibrassinolide (mmol)

برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید

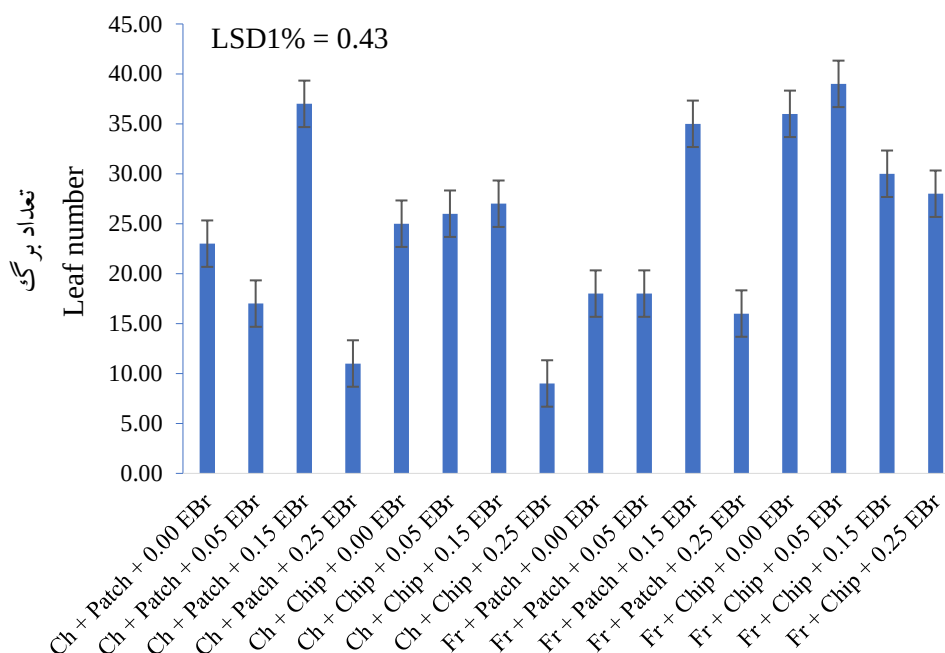
Cultivar × grafting method × EBr concentration interaction

شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × روش پیوند بر طول شاخه ارقام گردو در سال ۱۴۰۲. میله‌های خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 4. Mean comparison of cultivar × grafting method interaction effect on shoot length of walnut cultivars in 2023. Error bars on columns represent standard errors of the mean

در تیمار فرنور + پیوند قاشی + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr و ۷۲/۵ سانتی متر در تیمار چَندلر + پیوند وصله‌ای + غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr بود. کمترین طول شاخه ۳۱ سانتی متر در تیمار چَندلر + پیوند وصله‌ای + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr در سال دوم (۱۴۰۳) ثبت شد (شکل ۵).

برهمکنش روش پیوند × رقم × غلظت EBr بر طول شاخه در سطح احتمال یک درصد در سال دوم (۱۴۰۳) معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین طول شاخه به ترتیب ۸۵ سانتی متر در تیمار فرنور + پیوند قاشی + غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr، ۸۳ سانتی متر



Fr= Fernor, Ch= Chandler, Patch= Patch budding, Chip= Chip budding, EBr= epibrassinolide (mmol)

برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید

Cultivar × grafting method × EBr concentration interaction

شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید بر طول شاخه پیوندک ارقام گردو در سال ۱۴۰۳. میله‌های خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 5. Mean comparison of cultivar × grafting method × EBr concentration interaction effect on shoot length of walnut cultivars in 2024. Error bars on columns represent standard errors of the mean

طولی و قطری شاخه‌ها می‌شود، بلکه سطح برگ‌دهی و کارایی فتوسنتزی را نیز ارتقاء می‌دهد (Ghaffari and Khoshbakht, 2013). در کنار تغذیه، عوامل اقلیمی همچون رطوبت خاک، آبیاری منظم، دما و بارش، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و توسعه نهال‌ها دارند.

نهال‌های گردو در مراحل اولیه رشد، به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی قرار دارند و همین حساسیت، اهمیت انتخاب راهبردهای مناسب را دوچندان می‌کند. تغذیه متعادل با عناصر پرمصرف مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، نه تنها موجب افزایش رشد

(Ghasemi and Khodadadi, 2019; Gharibi and Khoshkbarchi, 2020) از منظر فیزیولوژیکی، تنظیم کننده های رشد بویژه براسینواستروئیدها (BRs) با تحریک تقسیم و کشیدگی سلولی، محرک های قدرتمندی برای توسعه طولی شاخه ها محسوب می شوند (Zhang et al., 2019). به عنوان نمونه، در پژوهشی بر روی رقم «چندلر»، کاربرد یک میلی گرم HBr و EBr موجب افزایش ۲۵ درصدی رشد شعاعی پایه گردو شد. همچنین، تیمار با EBr باعث شد ارتفاع نهال های پیوندی به حدود ۵۰ درصد نهال شاهد کاهش یابد که نشان دهنده قابلیت این هورمون در کنترل پاکوتاهی و افزایش استحکام محور پیوندک است (Engine et al., 2021).

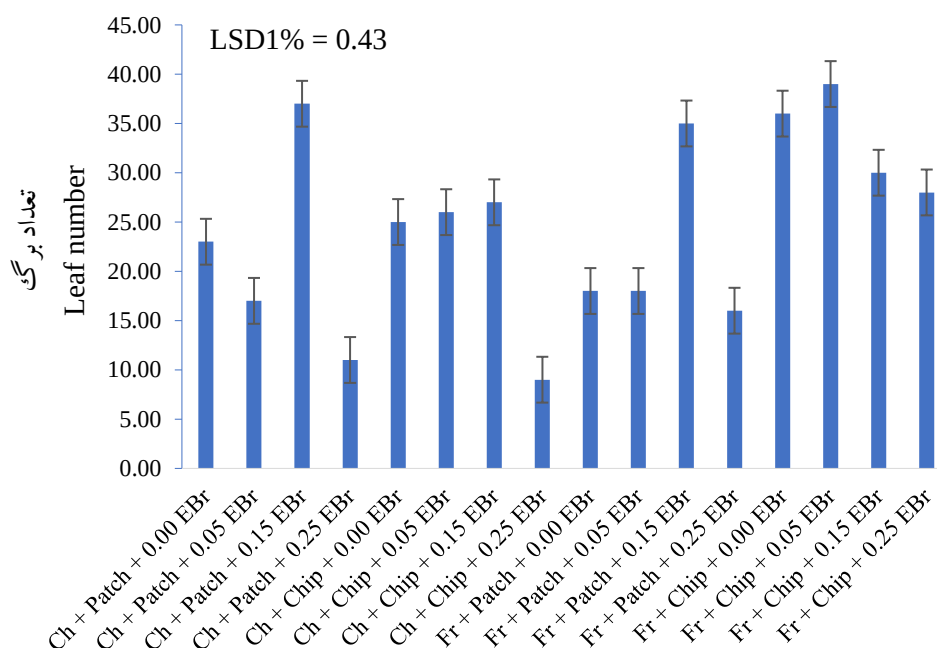
مدیریت شاخه های جانبی نیز در سال نخست پس از پیوند، اهمیت ویژه ای دارد زیرا تشکیل شاخه های جانبی می تواند طول شاخه اصلی پیوندک و طول میانگره ها را کاهش دهد (Mohseniazar and Vahdati, 2018). علاوه بر این، تفاوت های طبیعی در رشد پیوندک میان ارقام مختلف گردو در سال های اول و دوم گزارش شده است که اهمیت انتخاب رقم مناسب در برنامه های به نژادی و باغداری را برجسته می کند (Vahdati, 2003).

به طور کلی، مدیریت تغذیه با استفاده از کودهای NPK با فرمولاسیون مناسب همراه با

آبیاری منظم در طول فصل رشد، کاربرد تنظیم کننده های رشد و بهره گیری از BRs در دوزهای مناسب و انتخاب رقم متحمل به شرایط آب و هوایی منطقه، عوامل اصلی تعیین میزان رشد و توسعه نهال های پیوندی گردو در مراحل اولیه هستند. تحقیقات بیشتر در زمینه روابط این عوامل و بهینه سازی آن ها، مسیر تولید نهال های گردوی با کیفیت بالاتر و سودآوری بیشتر برای باغداران را هموار می کند.

تعداد برگ

نتایج نشان داد که اثر اصلی عوامل و بر همکنش آنها بر روی تعداد برگ در سال اول معنی داری نبود. در حالیکه در سال دوم (۱۴۰۳)، بر همکنش سه گانه رقم $\times$ روش پیوند $\times$ غلظت EBr بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین تعداد برگ به ترتیب ۳۹ برگ مربوط به تیمار فرنور + پیوند قاشی + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr، ۳۷ برگ در تیمار رقم چندلر + پیوند وصله ای + غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr، ۳۶ برگ در تیمار رقم فرنور + پیوند قاشی + غلظت شاهد EBr و ۳۵ برگ در تیمار رقم فرنور + پیوند وصله ای + غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr بود. کمترین تعداد برگ (۹ عدد) در تیمار رقم چندلر + پیوند قاشی + غلظت ۰/۲۵ میلی مولار EBr در سال دوم (۱۴۰۳) شمارش شد (شکل ۶).



Fr= Fernor, Ch= Chandler, Patch= Patch budding, Chip= Chip budding, EBr= epibrassinolide (mmol)

برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید

Cultivar × grafting method × EBr concentration interaction

شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید بر تعداد برگ ارقام گردو در سال ۱۴۰۳. میله‌های خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 6. Mean comparison of cultivar × grafting method × EBr concentration interaction effect on leaf number of walnut cultivars in 2024. Error bars on columns represent standard errors of the mean

محدود می‌کنند و در نتیجه بر تعداد برگ تاثیر گذارند (Ráufi et al., 2017). هرچند نقش BRs در افزایش تقسیم سلولی و تعداد برگ در گیاهان مختلف گزارش شده است (Bajguz and Hayat, 2009) ولی بررسی مستقیم این هورمون‌ها در گردو تاکنون محدود می‌باشد.

از آنجایی که تعداد برگ تحت تاثیر سلامت درخت، شرایط محیطی و مدیریت باغی قرار می‌گیرد، این خصوصیت می‌تواند به عنوان معیار مهمی در ارزیابی بنیه نهال‌های پیوندی استفاده شود. پایه‌های پاکوتاه گردوی ایرانی نیز با افزایش تشکیل گره‌ها، رشد میانگره‌ها را

فارسی و همکاران (Farsi et al., 2018) نشان دادند که اثر رقم پیوندک بر تعداد برگ و طول شاخه معنی‌دار بود اما بر میزان گیرائی پیوند تأثیری نداشت. در پژوهش حاضر، دو رقم چَندلر و فرنور انتخاب شدند زیرا رقم چَندلر به‌عنوان رقمی با قدرت رویشی متوسط و سازگاری بالا با خاک‌های مختلف در شناخته می‌شود و معمولاً تعداد برگ بیشتری تولید می‌کند که این امر به افزایش میزان فتوسنتز و رشد نهال کمک می‌کند (Ramos, 1997). در مقابل، رقم فرنور به‌عنوان رقمی با رشد رویشی ضعیف‌تر شناخته می‌شود و تعداد برگ کمتری تولید می‌کند. در پژوهش حاضر، با وجود این تفاوت‌های ژنتیکی، در تیمارهای EBr اعمال شده تفاوت معنی‌داری بین این دو رقم مشاهده نشد. یافته‌های مشابه که تفاوت تعداد برگ بین ارقام مختلف گردو را ناچیز دانسته و آن را ناشی از شرایط محیطی عنوان کرده‌اند نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Sharma et al., 2022).

در پژوهش حاضر، بیشترین تعداد برگ در شاخه‌های بلندتر مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود همبستگی مثبت بین تعداد برگ و رشد طولی شاخه است که در تطابق با مطالعات پیشین می‌باشد (Mir and Kumar, 2011; Sharma et al., 2022). سایر پژوهشگران نیز بر اهمیت شرایط محیطی و زمان پیوند بر تعداد برگ تأکید دارند. در کشور نپال بیشترین تعداد برگ (۳۹/۷۵ برگ) در رقم پاین در زمان پیوند ۱۵

فروردین مشاهده شد (Sharma et al., 2022). در کشمیر، بیشترین تعداد برگ (۴۲/۵) در زمان پیوند ۲۱ فروردین ثبت شد که ناشی از بنیه قوی درخت و جذب سریع عناصر غذایی بود (Thapa et al., 2021).

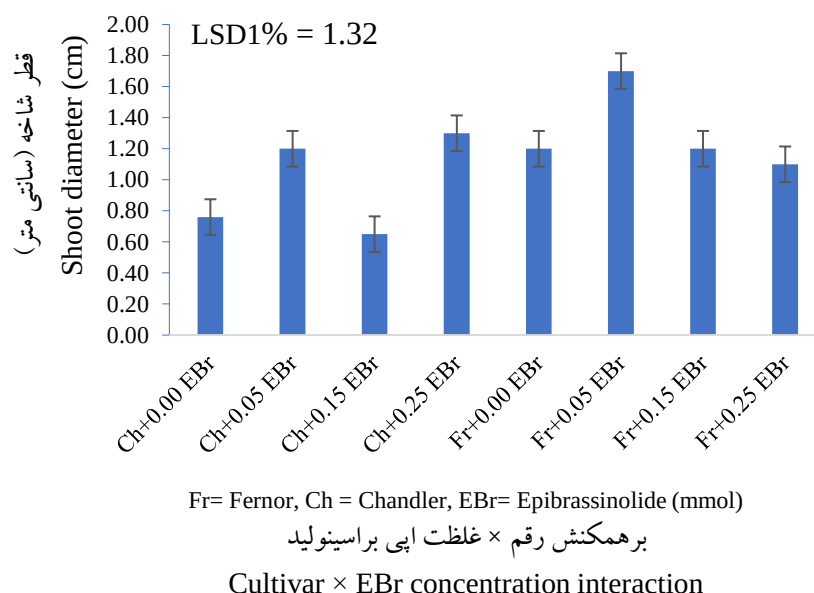
علاوه‌بر نوع رقم، روش پیوند نیز در تعیین تعداد برگ نهال‌های پیوند شده مؤثر می‌باشد. تعداد برگ در پیوند نیم‌انیم زبانه‌ای (۵۵/۵۹) گزارش شد که تفاوت معنی‌داری با پیوند اسکنه‌ای نشان داد (Ebrahimi et al., 2008). در مطالعه صورت گرفته روی ژنوتیپ‌های گردوی برتر استان چهارمحال و بختیاری، بیشترین میانگین تعداد برگ به ترتیب در پیوندهای نیم‌انیم زبانه‌ای (۷/۸۳)، وصله‌ای خرداد (۷/۵۲)، شکمی خرداد (۷/۳۶) و اسکنه‌ای (۷/۲۸) گزارش شد (Khajaeali and Mohammadkhani, 2015). کمترین تعداد برگ بین تیمارهای مختلف مربوط به پیوندهای وصله‌ای و شکمی مرداد بود. آکچار و همکاران (Akça, et al., 2018) در پژوهشی در ترکیه نشان داد که دما و رطوبت بهینه در طول دوره پیوند موجب افزایش تعداد برگ در هر شاخه شد. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که تعداد برگ در نهال‌های گردو تحت تأثیر ترکیبی از عوامل ژنتیکی، مدیریتی و محیطی قرار دارد و به‌طور کلی، رقم فرنور و روش پیوند قاشی در این مورد اثرگذاری بیشتری داشتند.

قطر شاخه

برهمکنش رقم $\times$ غلظت EBr بر قطر شاخه در سال اول (۱۴۰۲) در سطح احتمال یک درصد

معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین قطر شاخه (۱/۷۳ سانتی متر) در تیمار رقم فرنور + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr سال اول (۱۴۰۲) بود (شکل ۷).

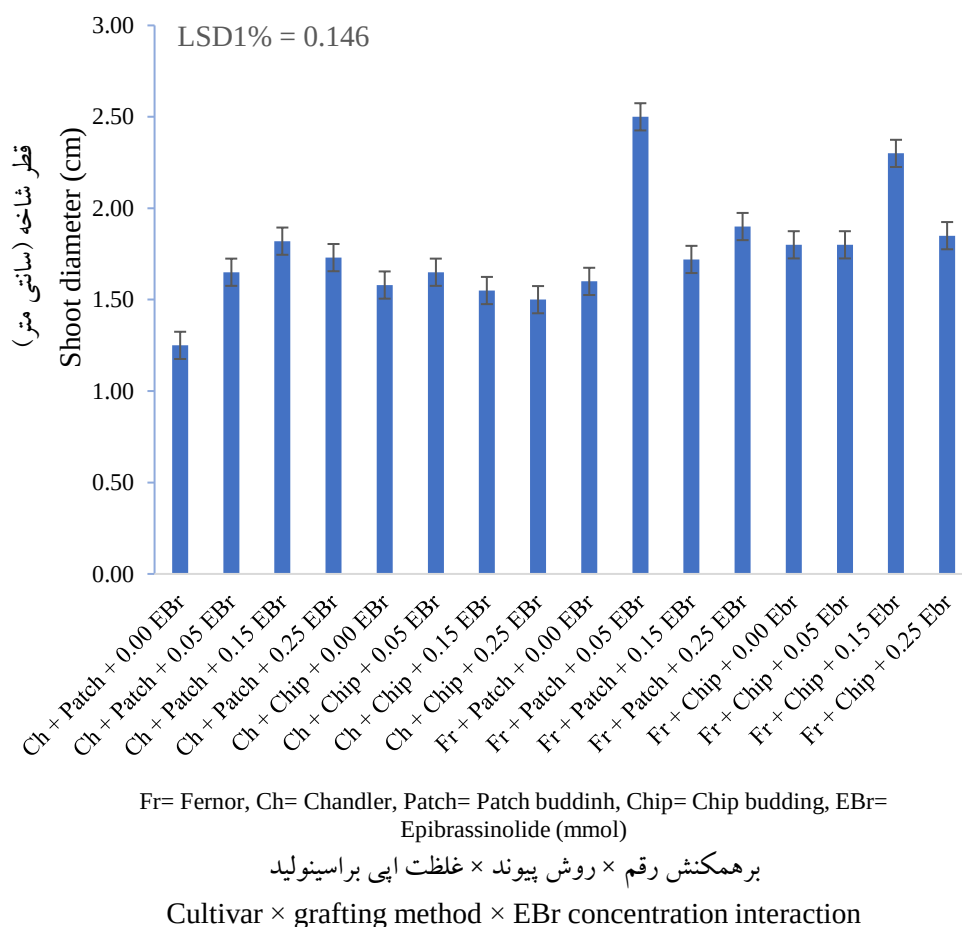
و کمترین قطر شاخه (۰/۶ سانتی متر) در تیمار رقم چَندلر + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr در سال اول (۱۴۰۲) بود (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × غلظت اپی براسینولید بر قطر شاخه ارقام گردو در سال ۱۴۰۲. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 7. Mean comparison of cultivar × EBr concentration interaction effect on shoot diameter of walnut cultivars in 2023. Error bars on columns reperesent standard errors of the mean

برهمکنش روش پیوند × رقم × غلظت EBr بر قطر شاخه در سطح احتمال یک درصد در سال دوم (۱۴۰۳) معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین قطر شاخه به ترتیب ۲/۵ سانتی متر در تیمار رقم فرنور + پیوند وصله ای + غلظت ۰/۰۵ میلی مولار EBr و ۲/۳ سانتی متر در تیمار رقم فرنور + پیوند قاشی + غلظت ۰/۱۵ میلی مولار EBr بود (شکل ۸). کمترین قطر شاخه (۱/۲۵ سانتی متر) در تیمار رقم چَندلر + پیوند وصله ای + غلظت شاهد EBr در سال دوم (۱۴۰۳) ثبت شد.



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × روش پیوند × غلظت اپی براسینولید بر قطر شاخه ارقام گردو در سال ۱۴۰۳. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده اشتباه معیار میانگین است

Fig. 8. Mean comparison of cultivar × grafting method × EBr concentration interaction effect on leaf number of walnut cultivars in 2024. Error bars on columns reperesent standard errors of the mean

(Stanisavljević and Mirtović, 1997).
سینگ و همکاران (Singh et al. 2019) نیز نشان دادند که روش پیوند اسکنه ای در بازه زمانی ۱۵ بهمن تا ۳ اسفند، بیشترین قطر شاخه را داشت. در پژوهش حاضر، زمان پیوند به دلیل شرایط اقلیمی نامناسب و دماهای پایین اواخر

از دیدگاه عملی، به نژادگران و پرورش دهندگان گردو به دنبال ارقامی با حداقل قطر شاخه حدود ۲/۳ سانتی متر هستند (Botu et al., 2009). نتایج پژوهش های پیشین، دامنه قطر شاخه در سال اول بین ۱/۶ تا ۳/۸ میلی متر گزارش شده است

بلندتر و قطورتری ایجاد می‌شود (Singh et al., 2019). علاوه بر این، قطر پایه نیز اثر مستقیم بر افزایش میزان کربوهیدرات‌ها دارد و بهترین رشد پیوندک از پایه‌هایی با قطر متوسط تا ضخیم گزارش شده است (Akyüz et al., 2018)

به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که غلظت‌های بالای EBr اثر مثبتی بر میزان گیرائی پیوند نداشتند و حتی موجب کاهش تعداد برگ و طول شاخه شدند. در مقابل، اثر رقم (ژنتیک) در تعیین قطر شاخه برجسته‌تر بود. به‌طور خاص، در غلظت پایین EBr (۰/۰۵ میلی‌مولار و غلظت صفر (شاهد)، رقم فرنور بیشترین و رقم چندلر کمترین قطر شاخه را نشان داد. همچنین دیرترین زمان بازشدن جوانه پیوندک در هر دو سال در غلظت‌های پایین EBr و تیمار شاهد مشاهده شد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد هورمون EBr از گروه براسینواستروئیدها، دست کم در غلظت‌های مورد استفاده در این پژوهش، تأثیر قابل توجهی بر میزان گیرائی پیوند، زمان بازشدن جوانه پیوندک، طول شاخه، قطر شاخه و تعداد برگ نداشت. بنابراین، انتخاب رقم مناسب همچنان عامل کلیدی در بهبود رشد رویشی و عملکرد نهال‌های گردو پیوندی محسوب می‌شوند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از بنیاد ملی علم ایران

اردیبهشت، به ۲۵ تا ۲۷ خرداد موکول شد که می‌تواند بخشی از تفاوت نتایج را توضیح دهد. نتایج پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که هرچه زمان انجام پیوند زودتر باشد، شاخه‌های بلندتر و قطورتری ایجاد می‌شود (Singh et al., 2019). علاوه بر این، قطر پایه نیز اثر مستقیم بر افزایش میزان کربوهیدرات‌ها دارد و بهترین رشد پیوندک از پایه‌هایی با قطر متوسط تا ضخیم گزارش شده است (Akyüz et al., 2018)

پیرخضری و همکاران (Pirkhezri et al., 2010) گزارش کردند که اثر هورمون‌های اکسین و جیبرلین نیز بر گیرائی پیوند و قطر شاخه در سطح احتمال یک درصد تأثیرگذار بود. زمان انجام پیوند نیز عامل مهمی در رشد قطری شاخه‌ها محسوب می‌شود. آکیوز و همکاران (Akyüz et al., 2018) در پژوهشی در ترکیه نشان دادند که بلندترین و قطورترین شاخه‌های گردو در پیوندهای ۱۶ فروردین حاصل شدند. خواجه‌علی و محمدخانی (Khajeali and Mohammadkhani, 2015) نیز گزارش کردند که بیشترین رشد قطری و طولی را در پیوند وصله‌ای خرداد بود.

در پژوهش حاضر، زمان پیوند به دلیل شرایط اقلیمی نامناسب و دماهای پایین اواخر اردیبهشت، به ۲۵ تا ۲۷ خرداد موکول شد که می‌تواند بخشی از تفاوت نتایج را توضیح دهد. نتایج پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که هرچه زمان انجام پیوند زودتر باشد، شاخه‌های

تعارض منافع نگارندگان اعلام می کنند که با یکدیگر و با سایر اشخاص حقیقی/حقوقی تعارض منافع ندارند.	(INSF) برای تصویب و تأمین مالی این پژوهش و همچنین از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان برای فراهم آوردن امکان اجرای آن سپاسگزاری می کنند.
--	--

References

- Akça, Y., Özyurt, I.K. and Kaplan, E. 2018.** Comparison of some local and foreign walnut cultivars. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 35(3), pp.290-296. DOI: 10.13002/jafag4449
- Akyüz, B., Ozturk, A., Er, E. and Serdar, U. 2018.** The effect of grafting periods on graft Success in top working of walnut. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(9), pp.183-185.
- Anonymous, 2022.** Agricultural statistical yearbook. 3rd Volume. Horticultural and Glasshouse Products. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 401 pp. (in Persian)
- Arzani, K. 2016.** Interview. The First International Conference and the 10th National Congress of Iranian Horticultural Sciences. *Baghdar*, 108, pp.50-57 (in Persian).
- Asgharzadeh, A., Mostafavi, M. and Khalighi, A. 2008.** Effect of phenolic compound and structural hormones in Persian walnut (*J. regia* L.) grafting success. *Journal of Agricultural Science*, 13(2), pp.285-293 (in Persian).
- Avanzato, D. 2009.** Training on hot callusing technique applied to walnut grafting. Pp. 10. In: Walnut propagation training short course. COST Action 873, Spain.
- Bajguz, A. and Hayat, S. 2009.** Brassinosteroids: bioactivity and biosynthesis. *International Journal of Plant Biology*, 1(1), pp.1-18.
- Bajguz, A. and Tretyn, A. 2003.** The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants. *Phytochemistry*, 62, pp.1027–1046. DOI: 10.1016/s0031-9422(02)00656-8
- Belkhadir, Y. and Jaillais, Y. 2015.** The molecular circuitry of brassinosteroid signaling. *New Phytology*, 206, pp.522–540. DOI: 10.1111/nph.13269
- Botu, M., Tudor, M. and Papachatzis, A. 2009.** Evaluation of some walnut cultivars with different bearing habits in the ecological conditions of Oltenia–Romania. Pp.: 119-126. In: Proceedings of the VI International Walnut Symposium 861, Melbourne, Australia.
- Caño-Delgado, A., Yin, Y. and Yu, C. 2004.** *BRL1* and *BRL3* are novel brassinosteroid

- receptors that function in vascular differentiation in Arabidopsis. *Development*, 131, pp. 5341–5351. DOI: 10.1242/dev.01403
- Ebrahimi, A., Vahdati, K. and Fallahi, F. 2007.** Improved success of Persian walnut grafting under environmentally controlled conditions. *International Journal of Fruit Science*, 6(4), pp.3-12. DOI: /10.1300/ J492v06n04_02
- Ebrahimi, A., Fattahi Moghadam, M.R. and Vahdati, K. 2008.** The effects of environmental conditions, method and time on the success of budding in walnut. *Iranian Journal of Agricultural Research* 38(2), pp.9-18 (in Persian).
- Engine, H., Gökbayrak, Z. and Gündoğdu, M.A. 2021.** The Effect of brassinosteroid (Homobrassinolide and Epibrassinolid) applications on walnut dwarfing. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 9(2), pp.287–294.
- Engine, H. and Gökbayrak, Z. 2022.** Effect of brassinosteroid applications on flower sex distribution of 'Chandler' walnut cultivar. *Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), pp.548-554. DOI: 10.29133/yyutbd.1053275
- Fariduddin, Q., Yusuf, M., Ahmad, I. and Ahmad, A. 2014.** Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. *Bologia Plantarium*, 58, pp.9-17.
- Farsi, M., Fattahi Moghadam, M.R., Zamani, Z. and Hassani, D. 2018.** Effects of scion cultivar, rootstock age and hormonal treatment on minigrafting of Persian walnut. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 5(2), pp.185-197. DOI: 10.22059/IJHST.2018.255460.233
- Ghaffari, A. and Khoshbakht, K. 2013.** Effects of environmental conditions on growth and development of walnut trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), pp. 423-429.
- Ghamari-Hesabi, F., Sharafi, Y. and V. Grigoryan. 2015.** The effect of rootstock age and different grafting methods on the germination and callus formation of Iranian walnut. Pp.5. In: 9th Congress of Horticultural Sciences, Ahvaz, Iran.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T. and Geneve, R.L. 2011.** Plant propagation: principles and practices. Pearson Education publication. USA. 425 pp.
- Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, D., Mahmoudi, R., Soleimani, A. and Vahdati, K. 2020.** Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran, *Scientia Horticulturae*, 270(3), pp.1-9. DOI: 10.1016/j.scienta.2020. 109369
- Hassankhah, A., Rahemi, M., Ramshini, H., Sarikhani, S. and Vahdati, K. 2020.** Flowering in Persian walnut: patterns of gene expression during flower development. *BMC*

- plant biology*, 20, e136. DOI: 10.1186/12870-020-02372-w
- Iwasaki, T. and Shibaoka, H. 1991.** Brassinosteroids act as regulators of tracheary- element differentiation in isolated *Zinnia mesophyll* cells. *Plant Cell Physiology*, 32, pp.1007–1014. DOI: 10.1093/ oxfordjournals. pcp. a078163
- Jacobs, D.F., Woeste, K.E., Wilson, B.C. and McKenna, J.R. 2006.** Stock quality of black walnut (*Juglans nigra*) seedlings as affected by-sib seed source and nursery sowing density. *Acta Horticulturae*, 705, pp.374-380. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.705.53
- Karadeniz, T. 2014.** The change graft in walnut and the importance of it in terms of walnut growing in Macedonia. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, pp.141-145.
- Khajeali, M. and Mohammadkhani, A. 2015.** The Effects of timing and grafting methods on graft success and scion growth in walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of crop production and processing*, 5(15), pp.47-55 (in Persian). DOI: 20.1001.1. 22518517.13
- Kuden, A. and Kaska, N. 1996.** Studies on the patch budding of walnut in different budding periods under subtropical conditions. *Acta Horticulture*, 442, pp.229-301
- Melnyk, C.W., Schuster, C., Leyser, O. and Meyerowitz, E.M. 2015.** A developmental framework for 449 graft formation and vascular reconnection in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology*, 25(10), pp.1306-1318. DOI: 10.1016/j.cub. 2015.03.032
- Mir, M. and Kumar, A. 2011.** Effect of different methods, time and environmental conditions on grafting in walnut. *International Journal of Farm Sciences*, 1(2), pp.17–22.
- Mitrović, M., Miletić, R., Lukić, M., Blagojević, M. and Rakićević, M. 2008.** Impact of rootstock on callus formation in walnut grafted in room conditions. *Journal of Pomology*, 42(161), pp.43-47.
- Mohseniazar, M. and Vahdati, K. 2018.** Morphological traits survey of cluster-bearing walnuts half-sib progenies for selection of dwarf and precocious genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 19(3), pp.384-393 (in Persian). DOI: 20.1001.1.16807154.1397.19.3.5.9
- Mouchel, C.F., Osmont, K.S. and Hardtke, C.S. 2006.** BRX mediates feedback between brassinosteroid levels and auxin signaling in root growth. *Nature*, 443, pp.458–461. DOI: 10.1038/nature05130
- Nagata, N., Asami, T. and Yoshida, S. 2001.** Brassinazole, an inhibitor of brassinosteroid biosynthesis, inhibits development of secondary xylem in cress plants (*Lepidium sativum*). *Plant Cell Physiology*, 42, pp.1006–1011. DOI: 10.1093/pcp/ pce122
- Nanda, A.K. and Melnyk, C.W. 2018.** The role of plant hormones during grafting. *Journal*

- of *Plant Research*, 131, pp.49–58. DOI: 10.1007/s10265-017-0994-5
- Ozkan, Y. and Gumuş, A. 2001.** Effect of different applications on grafting under controlled conditions of walnut (*Juglans regia* L.). *Acta Horticulturae*, 544, pp.515-520. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.544.71
- Paunović, S.M., Miletić, R., Mitrović, M. and Janković, D. 2012.** Graft-take success in walnut under controlled conditions and plant development in the nursery. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 40 (2), pp.170-176. DOI: 10.15835/nbha 4028145
- Pirkhezri, M., Hassani, D. and Soleimani, A. 2010.** Effects of IBA and GA3 on increasing the efficiency of patch budding in some Persian walnut cultivars. *Journal of Horticultural science*, 24(1), pp.64-69. (in Persian). DOI: 10.22067/jhorts4. v1389i1. 3654
- Ramos, D.E. 1997.** Walnut production manual. UCANR Publications. 320 pp.
- Ráufi, A., Vahdati, K., Karimi, S. and Roozban, M.R. 2017.** Optimizing early grafting of Persian walnut by evaluating different rootstocks, covering materials and grafting methods. *Journal of Nuts*, 8(2), pp.97-106.
- Rezaee, R., Vahdati, K., Grigoorian, V. and Valizadeh, M. 2008.** Walnut grafting success and bleeding rate as affected by different grafting methods and seedling vigour. *Journal of Horticulture Science and Biotechnology*, 83(1), pp.94-99. DOI: 10.1080/14620316.2008.11512352
- Rezaee, R., Hassani, D. and Vahdati, K. 2015.** Determination and evaluation of the best top working method for inferior walnut trees in West Azerbaijan. *Journal of crop production and processing*, 5(15), pp.1-11 (in Persian). DOI: 20.1001.1.225 18517. 1394.5.15.1.0
- Saini, S., Sharma, I. and Pati, P.K. 2015.** Versatile roles of brassinosteroid in plants in the context of its homeostasis, signaling and crosstalks. *Frontiers in Plant Science*, 6, pp.950-967. DOI: 10.3389/fpls.2015.00950
- Sharma, C., Thapa, R., Thapaliya, K.P., Ghimire, M.S. and Adhikari, A. 2022.** Exploring combinations of grafting time and scion cultivar in walnut grafting success under open field condition. *Heliyon*, 8, pp.1-10. DOI: 10.1016/j .heliyon. 2022. e12485
- Singh, L., Awasthi, M., Priyanka, N. and Negi, M. 2019.** Studies on success rate of grafting methods on walnut (*Juglans regia* L.) at different time under polyhouse condition. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), pp.2657-2659.
- Soleimani, A., Rabiei, V. and Hassani, D. 2010.** Effect of different techniques on walnut (*Juglans regia* L.) grafting. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8 (2), pp.544-546.
- Stanisavljevic, M. and Mitrovic, M. 1997.** Effect of variety on successful grafting and

- development of nursery trees of walnut (*Juglans regia* L.). *Acta Horticulturae*, 442, pp.281-283. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.442.42
- Symons, G.M. 2004.** Brassinosteroids do not undergo long-distance transport in pea. Implications for the regulation of endogenous brassinosteroid levels. *Plant Physiology*, 135, pp.2196–2206. DOI: 10.1104/pp.104.043034
- Thapa, R., Thapa, P., Ahamad, K. and Vahdati, K. 2021.** Effect of grafting methods and dates on the graft take rate of Persian walnut in open field condition. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8, pp.133–147. DOI: 10.22059/IJHST.2020.311553.401
- Vahabi Hashemabadi, A., Hassanpour, H., Rezaee, R. and Nojavan S. 2023.** Effect of grafting time and method on grafting success rate of two commercial walnut cultivars on seedling rootstock under greenhouse conditions. *Seed and plant*, 39(1), pp. 144-121 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2023.363544.1324
- Vahdati, K. 2003.** Nursery management and grafting of walnut. Khaniran Publications. Tehran, Iran. 128 pp. (in Persian).
- Vahdati, K., Sarikhani, S., Arab, M.M., Leslie, C.A., Dandekar, A.M., Aletà, N., Bielsa, B., Gradziel, T.M., Montesinos, A., Rubio-Cabetas, M.J., Sideli, G.M., Serdar, Ü., Akyüz, B., Beccaro, G.L., Donno, D., Rovira, M., Ferguson, L., Akbari, M., Sheikhi, A., Sestras, A.F., Kafkas, S., Paizila, A., Roozban, M.R., Kaur, A., Panta, S., Zhang, L., Sestras, R.E. and Mehlenbacher, S.A. 2021.** Advances in rootstock breeding of nut trees: objectives and strategies. *Journal of plants*, 10(2234), pp.1-34. DOI: 10.3390/plants10112234
- Vahdati, K., Sadeghi-Majd, R., Sestras, A.F., Licea-Moreno, R.J., Peixe, A. and Sestras, R.E. 2022.** Clonal propagation of walnuts (*Juglans* spp.): a review on evolution from traditional techniques to application of biotechnology. *Journal of plants*, 11(3040), pp.1-25. DOI: 10.3390/plants11223040
- Yazdi-Samadi, B., Rezaei, A. and M. Valizadeh. 2008.** Statistical designs in agricultural research. University of Tehran Publications, Tehran, Iran. 674 pp. (in Persian).
- Zhang, Y., Zhang, S. and Zhang, W. 2019.** Effects of brassinosteroids on plant growth and development. *Journal of Plant Physiology*, 235, pp.100-111.
- Zhu, J.Y., Sae-Seaw, J. and Wang, Z.Y. 2013.** Brassinosteroid signaling. *Development*, 140, pp.1615–1620. DOI:10.1242/dev.06059

RESEARCH ARTICLE

Effect of Cultivar, Grafting Method and Epibrassinolide on Grafting Success Rate in Persian Walnut (*Juglan regia* L.)

J. Farrokhi Toolir¹ ^{*}, B. Damankeshan²  and E. Ebrahimpour³

1. Assistant professor, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

2. Researcher, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

3. Expert, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

ABSTRACT

Farrokhi Toolir, J., Damankeshan, B. and E. Ebrahimpour, E. 2025. Effect of cultivar, grafting method and epibrassinolide on grafting success rate in Persian walnut (*Juglan regia* L.). *Seed and Plant*, 40, pp.625-654 (in Persian).

This study was conducted to investigate the effects of cultivar, grafting method and epibrassinolide (EBr) and their interaction effects on grafting success rate and walnut scion growth. The experiment was carried out as factorial arrangements in randomized complete block design with five replications in agricultural and natural resources research and education center of Kerman province in 2023 and 2024. Experimental factors included: walnut cultivar at two levels, EBr at four levels and grafting method at two levels. The results showed that Cultivar × EBr interaction significantly affected graft success in 2023, and scion bud breaking time (SBBT), and shoot diameter in 2024. Cv. Fernor + 0.05 mM EBr or without EBr had highest grafting success rate (80-100%) in 2023. Cv. Fernor + whip budding + 0.05 mM EBr had the latest SBBT (July 7-11) in 2024. Cv. Fernor + whip budding had the greatest shoot length (35.53 cm) in 2023, and 85 cm in cv. Fernor + 0.15 mM EBr in 2024. Maximum shoot diameters (1.73 cm) were recorded in cv. Fernor + 0.05 mM EBr in 2023, and in cv. Fernor + patch budding + 0.05 mM EBr (2.5 cm) in 2024. Cv. Fernor + whip budding + 0.25 mM EBr had the highest leaf number (39 leaves) in 2024. Walnut cultivar had more pronounced effect on grafting success rate and was identified as the most important factor in walnut seedling growth compared to high concentration levels of EBr and grafting methods.

Keywords: Walnut, scion, cv. Chandler, cv. Fernor, chip budding, patch budding, hormone.

Introduction

Commercial walnut production using seedlings is inefficient due to genetic variability and poor nut quality (Hartman *et al.*, 2011). Despite the ease and tradition of seedling propagation in Iran, it fails to meet growers' economic expectations. Grafting is a practical and low-cost method for propagating late-blooming, high-yield walnut varieties. However, its success rate is limited. Studies have identified patch budding as the most practical and efficient grafting method with success rates up to 93.3% (Khajeali and Mohammadkhani, 2015).

Factors such as grafting time, method, genotype, temperature, and humidity influence grafting success rate (Vahdati, 2003). Research has also highlighted the role of plant hormones especially brassinosteroids (BRs) in vascular tissue formation and graft union success (Engine and Gökbayrak, 2022). Although BRs have improved flower development in cv. Chandler (Engine and Gökbayrak, 2022), their effect on walnut grafting success rate remains unexplored. Therefore, development of commercial vegetative propagation protocols for producing superior walnut cultivars adapted to Kerman's climatic and resources limited conditions is essential.

This study aimed to identify the most effective combination of EBr concentration and grafting method to improve grafting success rate and scion growth of cv. Chandler and cv. Fernor walnut.

Materials and Methods

The experiment was conducted at the Rabor walnut research station (RWRS) situated at 2290 meter above the sea level, 57°02'45"–57°02'48" E and 29°16'31"–29°16'44" N. The annual rainfall and temperature of the experimental site were 210 mm, and 23 °C, respectively. Two walnut cultivars, Chandler and Fernor were selected due to their late leafing, high lateral bearing, and high-quality of nuts which are popular among local walnut growers in Kerman province.

The experiment was carried out as factorial arrangements in randomized complete block design with five replications in agricultural and natural resources research and education center in 2023 and 2024. Experimental factors included: grafting method (patch budding and whip grafting), cultivar (Chandler and Fernor), and EBr concentration (0, 0.05, 0.15, 0.25 mM), comprised in 16 treatments. In October 2021, 100 walnut fruits were sown in pots (35 × 10 cm), and after 21 months 80 seedlings were chosen. Scions of cv. Chandler and cv. Fernor were grafted on seedling rootstocks during June 15–17.

Seedling growth traits were evaluated at the end of the growing season. Traits included graft success (qualitative evaluation in 2023), SBBT, shoot length, shoot diameter, and leaf number (measured in both 2023 and 2024). Data were analyzed based on factorial experiment in randomized complete block design using SAS 9.1. LSD test was used for mean comparisons, and graphs were depicted using Excel 2013 software.

Results and Discussion

Grafting success rate in walnuts were significantly influenced by the cultivar $\times$ EBr concentration interaction. EBRs are plant hormones, but their specific role in graft success needs further investigation alongside other crucial factors like phenolic compounds, vigorous rootstocks, and optimal environmental conditions. In 2023, cv. Fernor + 0.05 mM EBr showed the highest grafting success rate, but as the EBr concentrations increased the grafting success rate decreased.

In 2023 and 2024, cultivar $\times$ EBr $\times$ grafting method interactions significantly affected SBBT. Cv. Fernor + low concentration or without EBr had the latest SBBT, but cv. Chandler + 0.25 mM EBr had the earliest. Chip budding advanced SBBT by 7–9 days compared to patch budding likely due to better tissue contact. Cv. Fernor + chip budding + 0.15 or 0.05 mM EBr had the longest shoots, whereas cv. Chandler + low EBr produced shorter shoots. Leaf number was consistent in 2023, but varied significantly in 2024 in cv. Fernor + chip budding + 0.05 mM EBr producing the highest leaf number (39 leaves). Cv. Chandler + chip budding + 0.25 mM EBr had lowest leaf number the fewest (9 leaves). Shoot diameter also varied in different treatments, and the thickest shoots was produced in cv. Fernor + patch budding + 0.05 mM EBr.

In conclusion, walnut cultivar had more pronounced effect on grafting success rate, and was identified as the most important factor in walnut seedling growth compared to high concentration levels of EBr and grafting methods.

References

- Engine, H. and Gökbayrak, Z. 2022.** Effect of brassinosteroid applications on flower sex distribution of 'Chandler' walnut cultivar. *Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), pp.548-554. DOI: 10.29133/yyutbd.1053275
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T. and Geneve, R.L. 2011.** Plant propagation: principles and practices. Pearson Education publication. USA. 425 pp.
- Khajeali, M. and Mohammadkhani, A. 2015.** The Effects of timing and grafting methods on graft success and scion growth in walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of crop production and processing*, 5(15), pp.47-55 (in Persian). DOI: 20.1001.1.22518517. 13
- Vahdati, K. 2003.** Nursery management and grafting of walnut. Khaniran Publications. Tehran, Iran. 128 pp. (in Persian).

*Corresponding author: author: j.farrokhi@areeo.ac.ir

Tel.: +983432112391

Received: 01 November 2024

Accepted: 01 February 2025



2025© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.