Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
Phycological Society of Iran

The effect of different levels of indole-3-butyric acid and naphthaleneacetic acid on the rooting of *Olea europaea* cv. Mari shoot cutting

Behzad Kaviani[1*], Mohammad Reza Safari Motlagh[2], Alireza Eslami[3], Asghar Hasankhah[4]

[1] Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, Email: kaviani@iaurasht.ac.ir
[2] Department of Plant Protection, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, Email: ssafarimotlagh@yahoo.com
[3] Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, Email: dr_eslami2006@yahoo.com
[4]Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, Email: ahasankhah@yahoo.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 23.10.2022
Revised: 28.01.2023
Accepted: 11.02.2023
Published:23.09.2023

Keywords
Auxin
Fruit tree
Hardwood cuttings
Plant growth regulators
Rooting

Abstract

Olive (*Olea europaea*) is a tree species whose seedling grows slowly and the propagation by seed is time consuming and increases the probability of genetic alterations. The most appropriate method to propagate olive is the use of shoot cutting as asexual propagation; however, semi-hardwood olive cutting is hard-rooting. The purpose of the current research was to facilitate rooting on shoot cutting of olive cv. Mari using the concentrations of 2, 3, and 4 g l−1 of indolebutyric acid (IBA) and naphthaleneacetic acid (NAA), singularly and in combination with each other. Used cultivation bed was sand. The research was done as a factorial based on a randomized complete block design with three replications. Rooting percentage, root number, root length, and root fresh and dry weights were measured. Based on the results of this experiment the highest percentage of rooting (83.30%), maximum root number (17.09), longest root (22.67 cm), and dry (2.30 g) weight were obtained in cuttings treated with 3 g l−1 NAA together with 3 g l−1 IBA. The highest fresh weight (4.83 g) was obtained in cuttings treated with 4 g l−1 NAA together with 3 g l−1 IBA. The lowest percentage of rooting, maximum root number, shortest root, and lowest fresh and dry weights were obtained in control.

Cite this article as: Kaviani, B., Safari Motlagh, M.R., Eslami, A.R., Hasankhah, A. (2023). The effect of different levels of indole-3-butyric acid and naphthaleneacetic acid on the rooting of olive shoot cutting cv. 'Mari'. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(3): 125-137.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2023.1965230.1815

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

تأثیر سطوح مختلف اسید ایندول-۳-بوتیریک و اسید نفتالن استیک بر ریشه‌زایی قلمه شاخه‌ی زیتون رقم ماری (*Olea europaea* cv. Mari)

بهزاد کاویانی[۱*]، محمدرضا صفری مطلق[۲]، علیرضا اسلامی[۳]، اصغر حسن‌خواه[۴]

[۱] گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، رایانامه: kaviani@iaurasht.ac.ir
[۲] گروه گیاه‌پزشکی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، رایانامه: ssafarimotlagh@yahoo.com
[۳] گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، رایانامه: dr_eslami2006@yahoo.com
[۴] گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، رایانامه: ahasankhah@yahoo.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

واژه‌های کلیدی:
اکسین
تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی
درختان میوه
ریشه‌زایی
قلمه‌ی خشبی

چکیده

زیتون (*Olea europaea*) گونه‌ای درختی است که دانه‌رست آن رشد کندی دارد و تکثیر از طریق بذر، زمان‌بر است و احتمال تغییرات ژنتیکی را افزایش می‌دهد. مناسب‌ترین روش تکثیر زیتون، استفاده از قلمه‌ی شاخه می‌باشد؛ با این وجود قلمه‌ی نیمه‌خشبی زیتون، سخت ریشه‌زا است. هدف از پژوهش حاضر، استفاده از غلظت‌های ۲، ۳ و ٤ گرم بر لیتر اسید ایندول-۳-بوتیریک (IBA) و اسید نفتالن استیک (NAA)، به صورت انفرادی و در ترکیب با یکدیگر، برای تسهیل ریشه‌زایی قلمه‌ی شاخه‌ی زیتون رقم ماری بود. بستر کاشت مورد استفاده، ماسه بود. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه، وزن تر و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. مطابق با نتایج این آزمایش، بالاترین درصد ریشه‌زایی (۸۳/۳۰ درصد)، بیشترین تعداد ریشه (۱۷/۰۹)، بالاترین طول ریشه (۲۲/٦۷ سانتی‌متر) و بیشترین وزن خشک (۲/۳۰ گرم) ریشه در قلمه‌های تیمارشده با ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA به‌دست آمد. بیشترین وزن تر (٤/۸۳ گرم) ریشه در قلمه‌های تیمارشده با ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA حاصل شد. پایین‌ترین درصد ریشه‌زایی، کمترین تعداد ریشه، پایین‌ترین طول ریشه و کمترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به قلمه‌های شاهد بود. استفاده از تیمار حاوی ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA برای ریشه‌زایی بهینه‌ی قلمه‌ی ساقه‌ی زیتون توصیه می‌شود.

استناد: کاویانی، بهزاد؛ صفری مطلق، محمدرضا؛ اسلامی، علیرضا؛ حسن‌خواه، اصغر. (۱٤۰۲). تأثیر سطوح مختلف اسید ایندول-۳-بوتیریک و اسید نفتالن استیک بر ریشه‌زایی قلمه شاخه زیتون رقم ماری (*Olea europaea* cv. Mari). *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸ (۳)، ۱۳۷-۱۲۵.

Doi: 10.30495/iper.2023.1965230.1815

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

زیتون (*Olea europaea*) از خانواده‌ی Oleaceae یکی از میوه‌های مناطق معتدله به‌حساب می‌آید که به‌سبب ارزش غذایی، دارویی، بهداشتی و اقتصادی بالای آن، سال‌های زیادی است که در ایران کشت می‌شود. با توجه به تقاضای بالا و رشد کند نهال‌های جوان زیتون، یافتن راهی برای افزایش رشد و عملکرد این گیاه ضروری می‌باشد. رقم ماری یکی از ارقام پر محصول و با کیفیت بالا است که هم به‌صورت کنسروی و هم جهت استحصال روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مشکلات مهم در تکثیر و تولید انبوه نهال از طریق قلمه، سخت ریشه‌زایی است که دلایل آن ممکن است ناشی از عوامل فیزیولوژیکی و محیطی مختلفی باشد. از طرف دیگر، ناسازگاری‌هایی نیز در انواع نهال‌های پیوندی دیده شده است. تکثیر از طریق بذر، زمان‌بر است و احتمال تغییرات ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی را افزایش می‌دهد. لذا برای رفع این مشکلات به‌کارگیری روش‌های ازدیاد غیرجنسی می‌تواند منجر به تولید درختان خود ریشه (غیر پیوندی) گردد. تکثیر گیاه به‌وسیله‌ی قلمه یکی از گسترده‌ترین و بهترین روش‌های تکثیر غیرجنسی در درختان خود ریشه می‌باشد. این درختان نسبت به درختان پیوندی سالم‌ترند و میوه‌ی با کیفیت‌تری تولید می‌کنند (Vatandoost Jartoodeh et al., 2011).

هدف اصلی استفاده از ترکیبات اکسینی در انواع و غلظت‌های مختلف، دستیابی به حداکثر ریشه‌زایی به‌ویژه در قلمه‌های سخت ریشه‌زا است. به‌کارگیری اکسین به‌صورت طبیعی یا مصنوعی لازمه‌ی تشکیل ریشه‌ی نابجا روی شاخه است. از مهم‌ترین مکانیزم‌های اثر اکسین‌ها بر تحریک ریشه‌زایی در قلمه‌های شاخه می‌توان به تحریک تقسیم سلولی، توازن هورمون‌های داخلی به‌ویژه میزان ایندول استیک اسید (IAA)، بیان ژن‌های کلیدی تشکیل ریشه‌های نابجا، تغییر مراحل نموی، تغییر میزان ترکیب‌های فنلی از طریق تأثیر بر فعالیت پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز، تأثیر بر ژن‌های سست‌کننده‌ی دیواره سلولی و جابجایی ریزوکالین محرک به ناحیه‌ی ریشه‌زایی و فعال‌سازی آنها اشاره کرد (Porfirio et al., 2016; Wei et al., 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اسید نفتالن استیک (NAA) و اسید ایندول-۳-بوتیریک (IBA) از مؤثرترین و پرکاربردترین هورمون‌های اکسینی مورد استفاده برای ریشه‌زایی هستند (Hartmann et al., 1997; Singh et al., 2014; Davidović et al., 2015). اکسین‌ها با القای تشکیل ترکیبات دی- و پلی‌فنولیک، تشکیل ریشه‌های نابجا را تحریک می‌کنند (De Klerk et al., 2011; Wei et al., 2019). عوامل دیگری از جمله نوع قلمه (نرم، نیمه‌خشبی و خشبی)، زمان قلمه‌گیری، مقدار هیدرات‌های کربن و انتقال آنها از برگ‌ها به ریشه‌ها، ترکیبات فنلی، ترکیبات نیتروژنی و کوفاکتورها، علاوه بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، در ریشه‌زایی نقش دارند (Hartmann et al., 1997; Shahhoseini et al., 2015; Denaxa et al., 2012). اکسین تغییرات در متابولیسم آنزیم‌ها، هیدرات‌های کربن، DNA، RNA و پروتئین‌ها را القا می‌کند و این تغییرات در ناحیه‌ی تشکیل ریشه می‌تواند تشکیل ریشه‌های نابجا را به‌ویژه در طی تقسیم و تمایز سلولی تحریک یا ممانعت کند (Denaxa et al., 2012; Brondani et al., 2012; Porfirio et al., 2016). تشکیل ریشه‌های نابجا توسط ساختار ژنتیکی و سطوح برون‌زا و درون‌زای اکسین کنترل می‌شود (Corrêa and Fett-Neto, 2004; Tworkoski and Takeda, 2007; Brondani et al., 2012).

فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو و غلظت درون‌زای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله اکسین‌ها بعد از کاربرد برون‌زای هورمون‌های اکسینی روی

سرشاخه‌های زیتون تغییر یافت (Porfirio et al., 2016). آناتومی قلمه‌ی نیمه‌خشبی در زیتون ارقام سخت ریشه‌زا یکی از عوامل مؤثر در ریشه‌زایی می‌باشد، به‌طوری‌که در این ارقام ممکن است بافت اسکلرانشیم به‌صورت ممتد بوده و از خروج ریشه‌های نابه‌جا به‌طرف بیرون ممانعت به‌عمل آورد (Lee et al., 2009). برای افزایش تأثیر اکسین‌ها در ریشه‌زایی قلمه‌های زیتون تلاش‌های زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تغذیه‌ی برگی درختان مادری، تأثیر بستر ریشه‌زایی، شرایط رطوبت و دمای بستر، غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد و فصول مختلف قلمه‌گیری اشاره کرد.

گزارش‌های بسیار زیادی در ارتباط با اثر اکسین‌ها بر ریشه‌زایی قلمه‌های شاخه‌ی گیاهان خشبی و نیمه‌خشبی سخت ریشه‌زا وجود دارد (Almeida et al., 2007; Brondani et al., 2012; Singh et al., Razaghi et al., 2014; Davidović *et al.*, 2015 2010; Habibi Kootenaee, 2010; Habibi Kootenaee, 2012; Shahhosseini and Shahsavar, 2017; Kaviani and Negahdar, 2018; Aboutalebi, and Tafazoli, 2006; Mirsoleimani and Rahemi, 2007). برخی گزارش‌ها راجع به کارآیی اکسین‌ها در القای ریشه‌های نابجا در پایه‌ی قلمه‌های شاخه‌ی ارقام مختلف زیتون ارائه شده است (Hartmann et al., 1997; Ozelbaykal and Gezerel, 2005; Ramezani et al., 2005; Yousefi, 2010). اگرچه در مورد اثر اکسین‌ها روی ریشه‌زایی قلمه‌ی شاخه‌ی رقم ماری زیتون گزارش‌های زیادی وجود ندارد. در اغلب این مطالعات، کاربرد غلظت‌های بالای اکسین‌ها برای القای ریشه‌زایی در پایه‌ی قلمه‌های شاخه‌ی درختان سخت ریشه‌زا توصیه شده است (Lee et al., 2009; Brondani et al., 2012; Langé, 2014; Singh et al., 2014; Braha and Rama, 2016). کاربرد اکسین‌ها برای افزایش ریشه‌زایی سرشاخه‌های تولیدشده در شرایط درون‌شیشه‌ای نیز در بسیاری از مطالعات روی ریشه‌زایی قلمه‌های سخت‌ریشه‌زای گیاهان چوبی (درختی) گزارش شده است (Afsharzadeh et al., 2021).

زمان‌بر بودن رشد و نمو دانه‌رست‌ها، دیربارووری روی پایه‌های بذری همراه با تفرق صفات، ناسازگاری در نهال‌های پیوندی و عدم استقرار مناسب، برخی از مشکلات تکثیر ارقام مختلف زیتون است. قلمه‌زدن و ایجاد گیاهان خود ریشه راهی برای غلبه بر این مشکلات می‌باشد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، بهبود شرایط ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی و سخت ریشه‌زای شاخه‌ی زیتون رقم ماری با استفاده از غلظت‌های مختلف NAA و IBA و دست‌یابی به بهترین تیمار هورمونی بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و موقعیت جغرافیایی محل اجرای

پژوهش: قلمه‌های شاخه از سرشاخه‌های جوان دو - ساله زیتون (*Olea europaea*) رقم ماری (Mari) در آذر ماه از درختان بالغ باغ زیتون، متعلق به سازمان جهاد کشاورزی، در روستای علی‌آباد از روستاهای دهستان کلشتر از توابع شهرستان رودبار (۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه از خط استوا و ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ) واقع در استان گیلان جدا شدند (شکل ۱). این منطقه دارای آب و هوای معتدل و حداقل و حداکثر دمای ۵- و ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۸۵ درصد است. ارتفاع این درختان تقریباً ۶ متر و قطر آن‌ها در ارتفاع سینه ۱۲ الی ۲۰ سانتی‌متر و سن تقریبی ۷ سال بود. با استفاده از قیچی باغبانی قلمه‌هایی به‌طول ۱۵ الی ۱۸ سانتی‌متر تهیه شد. برش پایینی، یک سانتی‌متر زیر گره و برش بالایی، ۲-۱ سانتی‌متر بالای گره، زده شد. قطر قلمه‌های مورد استفاده، ۹-۵ میلی‌متر بود. برای جلوگیری از اتلاف رطوبت قلمه‌ها و کاهش آن به

حداقل، شاخه‌ها در صبح زود بریده شدند و بلافاصله برای اعمال تیمارهای هورمونی و کاشت و رشد به یک گلخانه‌ی مجهز (شکل ۱) منتقل شدند. به‌منظور راحت قرار گرفتن قلمه‌های برگ‌دار در بستر کاشت، برگ‌های اضافی از انتهای قلمه حذف شدند و حدود ۵-٤ برگ روی قلمه‌ها نگه داشته شدند. قلمه‌ها به‌منظور ضدعفونی و پیشگیری از آلودگی‌های قارچی، در محلول دو در هزار بنومیل به‌مدت یک دقیقه قرار گرفتند.

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد استفاده: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل (دو فاکتور IBA و NAA در چهار سطح ۰، ۲، ۳ و ٤ گرم بر لیتر) در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۱٦ تیمار (٤×٤) و سه تکرار (هر تکرار شامل یک مشاهده) انجام شد. برای هر تیمار، سه پلات و هر پلات شامل سه گلدان بود که هر سه گلدان به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شدند. بنابراین، برای هر تیمار، نه گلدان و نه قلمه (جمعاً ۱٤٤ گلدان و ۱٤٤ قلمه) در نظر گرفته شد. بعد از ضدعفونی و حذف چند میلی‌متری بافت مرده، انتهای تحتانی قلمه‌ها (حدود ۲ سانتی‌متر) به‌مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های ۲، ۳ و ٤ گرم بر لیتر از دو نوع اکسین (IBA و NAA) قرار داده شدند (جدول ۱).

جدول ۱: غلظت‌های مختلف IBA و NAA مورد استفاده در پژوهش حاضر و نماد آنها

غلظت‌های مورد استفاده اسید نفتالن استیک (NAA) (گرم بر لیتر)	غلظت‌های مورد استفاده اسید ایندول-۳-بوتیریک (IBA) (گرم بر لیتر)	نماد تیمارها
۰	۰	I_0N_0 (شاهد)
۲	۰	I_0N_{2000}
۳	۰	I_0N_{3000}
٤	۰	I_0N_{4000}
۰	۲	$I_{2000}N_0$
۲	۲	$I_{2000}N_{2000}$
۳	۲	$I_{2000}N_{3000}$
٤	۲	$I_{2000}N_{4000}$
۰	۳	$I_{3000}N_0$
۲	۳	$I_{3000}N_{2000}$
۳	۳	$I_{3000}N_{3000}$
٤	۳	$I_{3000}N_{4000}$
۰	٤	$I_{4000}N_0$
۲	٤	$I_{4000}N_{2000}$
۳	٤	$I_{4000}N_{3000}$
٤	٤	$I_{4000}N_{4000}$

عملیات کاشت و داشت: بعد از اعمال تیمارها، قلمه‌های تیمارشده در بسترهای گلدانی حاوی ماسه کاشته شدند. قلمه‌های تیمارنشده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. عمق بستر کاشت در حدود ۲۰ سانتی‌متر بود. بستر کاشت نیز با محلول دو در هزار بنومیل ضدعفونی شد و قبل از قرار گرفتن قلمه‌ها در آن، به‌طور کامل آبیاری گردید و بعد از آن مالکشی شد تا سطح بستر صاف و یکنواخت شود و اجازه داده شود تا آب اضافی از طریق زهکش خارج گردد. آبیاری در روزهای گرم، روزی یک‌بار و در روزهای

سرد، هر دو روز یک‌بار انجام شد. بدین منظور بسترها با آب لوله‌کشی شهری کامل آبیاری می‌شدند. نازل‌ها به فاصله‌ی تقریباً یک متر بالای قلمه‌ها و یک و نیم متر از هم قرار داشتند. به منظور جلوگیری از تابش شدید آفتاب و سوختگی برگ‌ها، با استفاده از پاشش رنگ اخرا بر سطح گلخانه، سایبانی روی قلمه‌ها ایجاد شد تا از شدت نور و دما کاسته شود. محل نگهداری گلدان‌های حاوی قلمه‌ها دارای دمای متوسط ۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد بود. با مشاهده‌ی کمبود رطوبت، آبیاری به‌صورت دستی هر چند وقت یک‌بار انجام شد. قلمه‌ها هر هفته برای ظهور سرآغازه‌های ریشه مورد بازدید قرار گرفتند. برای بررسی زمان آغاز ریشه‌زایی، از هر پلات، یک قلمه در آورده شد و بعد از بررسی دوباره سر جایش قرار داده شد. قلمه‌ها تا اواخر فروردین ماه در گلخانه نگهداری شدند و از نور مستقیم و طبیعی بهره‌مند گردیدند.

صفات اندازه‌گیری‌شده: بعد از ۱۲۰ روز؛ درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه، وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. طول ریشه با خط‌کش اندازه‌گیری شد و تعداد ریشه با چشم غیرمسلح شمارش گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر، قلمه‌ها بعد از برداشت، روی ترازوی دیجیتال وزن شدند، سپس در آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت خشک و مجدداً برای ثبت وزن خشک توزین شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد.

شکل ۱: مراحل ریشه‌زایی قلمه‌ی سخت‌ریشه‌زای شاخه زیتون. A) باغ مادری محل تهیه قلمه‌های شاخه واقع در علی‌آباد رودبار؛ B) گلخانه محل کاشت و رشد قلمه‌های شاخه تیمار شده با غلظت‌های مختلف اکسین‌ها و C) یک قلمه‌ی ریشه‌دارشده‌ی تیمارشده با اکسین‌ها بعد از ٤ ماه.

نتایج

درصد ریشه‌زایی: بیشترین درصد ریشه‌زایی (۸۳/۳۰ درصد) در قلمه‌های تیمارشده با ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۲). تیمار ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ٤ گرم بر لیتر IBA با تحریک حدود ۸۰ درصد ریشه‌زایی، تیمار مناسبی بود. سایر قلمه‌هایی که ریشه‌زایی نسبتاً بالایی داشتند، با غلظت‌های بالای اکسین‌ها تیمار شدند. کمترین درصد ریشه‌زایی (۵ درصد) در قلمه‌های شاهد به‌دست آمد.

تعداد ریشه: جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ریشه (۱۷/۰۹)، در قلمه‌های تیمارشده با ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA تولید شد. پنج تیمار (۳ گرم بر لیتر NAA بدون IBA، ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۲ گرم بر لیتر IBA، ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ۲ گرم بر لیتر IBA، ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA، ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ٤ گرم بر لیتر IBA و ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ٤ گرم بر لیتر IBA)، تولید بیش از ۱۵ ریشه را در پایه‌ی قلمه‌های شاخه تحریک کردند. کمترین تعداد ریشه (۳/۳۳) در قلمه‌های شاهد به‌دست آمد. تعداد ریشه در قلمه‌های تیمارشده با ۲ گرم بر لیتر NAA بدون IBA نیز کم بود.

طول ریشه: مقایسه میانگین اثر متقابل NAA و IBA بر طول ریشه نشان داد که بلندترین ریشه (۲۲/٦۷ سانتی‌متر) در تیمار ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA به‌دست آمد. در سه تیمار (٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ۳ گرم بر لیتر IBA، ۳ گرم بر لیتر NAA همراه با ٤ گرم بر لیتر IBA و ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ٤ گرم بر لیتر IBA)، طول ریشه‌ی حدود ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. کمترین طول ریشه (٤/٦۰ سانتی‌متر) در قلمه‌های شاهد به‌دست آمد. طول ریشه در قلمه‌های تیمارشده با ۲ گرم بر لیتر NAA بدون IBA نیز پایین بود (جدول ۲).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف IBA و NAA بر درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه‌ی قلمه‌ی شاخه‌ی زیتون رقم ماری

اسید نفتالن استیک × اسید ایندول-۳-بوتیریک	درصد ریشه‌زایی	تعداد ریشه	طول ریشه (سانتی‌متر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
I_0N_0 (شاهد)	۵/۰۰f	۳/۳۳c	٤/٦۰e	۰/۸۰e	۰/۳۰e
I_0N_{2000}	۷/۰۰f	٤/۳۳c	۵/۵۰de	۰/۹۵e	۰/٤۵e
I_0N_{3000}	٤۵/۰۰cde	۱۷/۰۰a	۱۷/۰۰abc	۳/٤۰abc	۱/۸۰ab
I_0N_{4000}	۵۰/٦٦cd	۱٤/٦٦a	۱۷/۳۰abc	۲/۸۰bcd	۱/۵۰abcd
$I_{2000}N_0$	۱۰/۳۳f	٦/۳۳bc	۹/۰۰cde	۱/۵۰de	۰/۷۰de
$I_{2000}N_{2000}$	۳۸/٦٦d	۱۲/۳۳ab	۱٦/۳۰abcd	۲/۳۰bcde	۱/۲۵bcde
$I_{2000}N_{3000}$	۵۲/۳۳bcd	۱۵/٦٦a	۱۸/۳۰ab	۳/۳۰abc	۱/۷۰abc
$I_{2000}N_{4000}$	۵۸/٦٦abcd	۱۵/۱۰a	۱۹/٦۰ab	۳/۹۵ab	۱/۹۵ab
$I_{3000}N_0$	۱۰/٦٦f	٦/۳۳bc	۹/٦۰bcde	۱/۵۰de	۰/۷۰de
$I_{3000}N_{2000}$	۳۷/۰۰de	۱۲/۰۰ab	۱٦/٦۰abcd	۲/۳۰bcde	۱/۳۰bcde
$I_{3000}N_{3000}$	۸۳/۳۰a	۱۷/۰۹a	۲۲/٦۷a	٤/۸۰a	۲/۳۰a
$I_{3000}N_{4000}$	۷۲/۳۳abc	۱٦/٦٦a	۲۱/۰۰a	٤/۸۳a	۱/۹۳ab
$I_{4000}N_0$	۲۰/۳۳ef	٦/۰۰bc	۷/۵۰cde	۱/۸۰cde	۰/۸۰cde
$I_{4000}N_{2000}$	۳۸/۰۰de	۱۲/۳۳ab	۱۵/٦۰abcd	۲/۵۰bcde	۱/۲۰bcde
$I_{4000}N_{3000}$	۸۰/۵۰ab	۱٦/٦٦a	۲۱/۳۰a	٤/۱۰a	۱/۹۰ab
$I_{4000}N_{4000}$	٦۸/۳۳abc	۱۵/۰۰a	۱۹/۰۰a	۳/۷۱ab	۱/۷۱abc

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد.

وزن تر و خشک ریشه: مقایسه میانگین اثر متقابل NAA و IBA بر وزن تر و خشک ریشه نشان داد که بیشترین وزن تر (٤/٨٣ گرم) و وزن خشک (٢/٣٠ گرم) ریشه، به ترتیب در تیمارهای ٤ گرم بر لیتر NAA همراه با ٣ گرم بر لیتر IBA و ٣ گرم بر لیتر NAA همراه با ٣ گرم بر لیتر IBA بهدست آمد. در تیمار ٣ گرم بر لیتر NAA همراه با ٣ گرم بر لیتر IBA وزن تر ریشه بیش از ٤ گرم بود. کمترین وزن تر (٠/٨ گرم) و وزن خشک (٠/٣ گرم) در قلمههای شاهد و قلمههای تیمارشده با ٢ گرم بر لیتر NAA بدون IBA محاسبه شد (جدول ٢).

بحث

اکسینها بهویژه IBA و NAA برای تحریک ریشهزایی در قلمههای ساقه بسیاری از گونههای چوبی و سخت ریشهزا مورد استفاد قرار گرفتهاند (Wendling et al., 2010; Hunt et al., 2011; Brondani et al., 2012; Singh et al., 2014; Davidović et al., 2015; Braha and Rama, 2016). IBA و NAA بهدلیل ثبات شیمیایی بیشتر و تحرک کمتر در گیاه، برای القای ریشهزایی مناسبتر از سایر اکسینها هستند. در مورد کاربرد اکسین، تنوع زیادی در ارتباط با غلظت، ترکیب، فرمولهکردن، زمان استفاده و شکل کاربرد مشاهده شده است (Beretta et al., 2004; Almeida et al., 2007; Brondani et al., 2012; Moallemi and Chehrazi, 2004). کاربرد برونزای اکسینها، درصد ریشهزایی را بهدلیل توانایی‌شان در تنظیم فعالیتهای رشد و نموی در بافتهای گیاهی موجود در نزدیک ناحیهی تماس افزایش میدهد. بنابراین، کاربرد اکسینها غلظت اکسینهای درونزا و تجمع آنها را در ناحیهی پایهای قلمهی ساقه افزایش میدهد که میتواند بهعنوان یک عامل سوخت و سازی و علامت برای القای ریشه-زایی عمل کند. بسیاری از قلمهها حاوی مقادیری اکسین هستند، بنابراین کاربرد غلظتهای بالای اکسین بهمنظور تحریک تقسیم سلولی و ریشهزایی، تعادل هورمونی را بههم زده و از ریشهزایی مناسب، ممانعت میکند (Jull et al., 1994).

در مطالعه حاضر، تحریک بالاترین درصد ریشهزایی در قلمههای تیمارشده با غلظتهای بالای هر دوی NAA و IBA در ترکیب با یکدیگر و کمترین درصد ریشهزایی در قلمههای شاهد نشان داد که احتمالاً غلظت درونزای این هورمونها در قلمهها نسبتاً کم است. نتایج مشابهی توسط برخی محققان گزارش شده است (Brondani et al., 2012; Razaghi et al., 2010; Kaviani and Negahdar, 2018). بیشترین درصد ریشهزایی در قلمهی شاخهی زیتون حاوی یک برگ–جوانه در تیمار ٥٠٠٠ میلیگرم بر لیتر IBA همراه با ١٠٠٠ میلیگرم بر لیتر NAA، بهدست آمد (Yousefi, (2010. کاربرد ٦٠٠٠ میلیگرم در لیتر IBA همراه با ٢٠٠٠ میلیگرم در لیتر NAA، باعث افزایش درصد ریشهزایی در قلمههای نیمهخشبی کیوی فروت شد (Razaghi et al., 2010). بالاترین ریشهزایی در قلمههای سخت ریشهزای شاخهی شمشاد خزری (*Buxus hyrcana* Pojark.) در تیمار ١٠٠٠ میلیگرم در لیتر NAA همراه با ١٠٠٠ میلیگرم در لیتر IBA بهدست آمد (Kaviani and Negahdar, 2018). NAA و IBA هر دو در غلظت ٣٠٠٠ میلیگرم در لیتر، ریشهزایی بیشتری را در بلوبری (*Vaccinium corymbosum* L.) نسبت به سایر غلظتها القا کردند (Braha and Rama, 2016). تیمار ترکیبی ٢٠٠٠ میلیگرم بر لیتر NAA و ٣٠٠٠ میلیگرم بر لیتر بیشترین اثر مثبت را روی ریشهزایی قلمههای نیمهخشبی نارنج داشت (Habibi Kootenaee, 2012). سیتوکینین BA نقش ممانعتی روی ریشهزایی قلمههای ساقهی سیب داشت (Sun et al., 2023). نتایج ما نشان داد که NAA نقش مؤثرتری

نسبت به IBA برای تحریک ریشه‌زایی داشت. همانند یافته‌های ما، مطالعه روی اثر هر یک از غلظت‌های مختلف NAA و IBA به‌تنهایی در شمشاد (*Buxus sempervirens* L.) نشان از برتری NAA نسبت به IBA در افزایش درصد ریشه‌زایی داشت، به‌طوری‌که بالاترین درصد ریشه‌زایی در قلمه‌های تیمارشده با غلظت ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌دست آمد (Langé, 2014). برخلاف یافته‌های این تحقیق، در بیشتر بررسی‌های انجام‌شده روی ریشه‌زایی در قلمه گیاهان مختلف، IBA، کارآتر و مؤثرتر از NAA گزارش شده است (Braha and Singh et al., 2014; Rama, 2016; Shahhoseini et al., 2015). علت اصلی این تنوع در نتایج گزارش شده، تفاوت در عوامل ژنتیکی و نوع و میزان هورمون‌های درون‌زا است. بیشترین درصد ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی ارقام سخت‌ریشه‌زای زیتون در تیمار IBA با غلظت ٤٥٠٠ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (Ramezani et al., 2005). در قلمه‌ی ساقه‌ی توت، کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA باعث تحریک بیشترین درصد ریشه‌زایی شد (Tworkoski and Takeda, 2007). استفاده از غلظت‌های ۳۰۰۰ و ٤۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌عنوان غلظت‌های مناسب برای ریشه‌زایی در قلمه‌های گیاه اوکالیپتوس (*Eucalyptus benthamii*) گزارش شد (Brondani et al., 2012). علت اصلی نقش موفقیت‌آمیز IBA در ریشه‌زایی، فعالیت پایین این هورمون اکسینی و تجزیه‌ی آهسته‌ی آن توسط آنزیم‌های تجزیه‌کننده‌ی اکسین است (Leopold, 1995).

نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش ما نقش مثبت کاربرد هم‌زمان هر دوی NAA و IBA در تحریک بالاترین تعداد ریشه در قلمه‌ی شاخه را نشان داد. در شمشاد خزری، بیشترین تعداد ریشه (۸/۷۰)، در قلمه‌های تیمارشده با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA مشاهده شد (Kaviani and Negahdar, 2018). نتایج مشابه در مرکبات (*Citrus* spp.) گزارش شد (Davidović et al., 2015). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که در مورد انواع گیاهان سخت‌ریشه‌زا بایستی از سطوح بالاتر IBA نسبت به NAA استفاده کرد (De Klerk et al., 2011). به عنوان مثال، کاربرد ٦۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA، باعث افزایش تعداد ریشه در قلمه‌های نیمه‌خشبی کیوی فروت شد (Razaghi et al., 2010). IBA هورمونی است که در غلظت‌های بالا غیرسمی است و آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز نمی‌تواند آنرا تجزیه کند (Singh et al., 2014). استفاده از هورمون‌های اکسینی مانند IBA و IAA به‌منظور ریشه‌زایی، مانع اکسیده‌شدن ترکیبات فنولی و نیز شکسته‌شدن اکسین‌ها می‌شوند و در نتیجه ریشه‌زایی در قلمه‌ها را افزایش می‌دهند (Aboutalebi and Tafazoli, 2006). یکی از مهم‌ترین نقش‌های اکسین‌ها در گیاهان، تحریک تشکیل ریشه‌های نابجا است که اکسین‌ها این نقش را با تحریک تقسیم سلولی ایفا می‌نمایند. بنابراین، یکی از مزایای استفاده از اکسین‌ها، افزایش تعداد ریشه در قلمه‌ها به‌ویژه قلمه‌های سخت‌ریشه‌زا است (Hashemabadi and Sedaghathour, 2007). تولید تعداد بیشتر ریشه در قلمه‌ی ساقه‌ی تیمارشده با غلظت بهینه‌ی IBA یا سایر اکسین‌ها می‌تواند با رشد بهتر ریشه، در نتیجه افزایش سطح جذب و انتقال مواد مغذی از خاک و فعالیت مراحل مختلف متابولیک همراه باشد (Singh et al., 2014). کاربرد غلظت‌های بالای IBA ریشه‌زایی قلمه‌های چوب‌سخت و نیمه‌سخت برخی گیاهان را تحریک کرد (Tworkoski and Takeda, 2007; Shoanef et al., 2014). تیمار هورمون IBA، زمان مورد نیاز برای ظهور ریشه را در گیاهان

سخت‌ریشه‌زا کاهش می‌دهد (Sulusoglu and Cavusoglu, 2010).

نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر با نتایج برخی محققان هم‌سو بود. در شمشاد خزری، بالاترین طول ریشه (۵/٦٦ سانتی‌متر)، در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA اندازه‌گیری شد (Kaviani and Negahdar, 2018). برخلاف یافته‌های این تحقیق، در بیشتر بررسی‌های انجام‌شده روی ریشه‌زایی در قلمه‌ی گیاهان مختلف، IBA، مؤثرتر از NAA گزارش شده است (Singh et al., 2014; Braha and Rama, 2016). علت اصلی این تفاوت را باید در عوامل ژنتیکی و نوع و میزان هورمون‌های درون‌زا جستجو کرد. بیشترین طول ریشه در قلمه‌ی خرما با کاربرد ٤۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر IBA به‌دست آمد (Shahhosseini and Shahsavar, 2017). در قلمه‌های ساقه‌ی توت، کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA باعث تحریک بالاترین طول ریشه شد (Singh et al., 2014). به‌طور کلی، علت اثر مثبت اکسین‌ها در تحریک رشد ریشه، نقش آن‌ها در رشد سلولی است (Copes and Mandel, 2000).

نقش مثبت NAA و IBA در افزایش وزن تر و وزن خشک ریشه در گونه‌های مختلف گزارش شد (Hartmann et al., 1997; Rahdari et al., 2010). این محققان علت افزایش وزن تر و وزن خشک ریشه‌ها را در نتیجه‌ی تاثیر مثبت اکسین‌ها بر افزایش درصد ریشه‌زایی و تولید ریشه‌های با کیفیت بهتر می‌دانند. در قلمه‌های نیمه‌خشبی آرالیا، بالاترین وزن تر مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بود (Rahdari et al., 2010). افزایش غلظت NAA تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش وزن تر و وزن خشک شد. ترکیب تیماری ٦۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA، بهترین ترکیب هورمونی برای افزایش وزن تر و وزن خشک ریشه‌ی قلمه‌های نیمه‌خشبی کیوی فروت رقم هیوارد بود (Razaghi et al., 2010). هم‌زمان با تحریک ریشه‌زایی توسط اکسین‌ها، انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ به سوی ریشه‌ها باعث افزایش درصد ماده‌ی خشک در ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. اثر بازدارندگی کاربرد برون‌زای غلظت‌های بالای اکسین‌ها در تشکیل ریشه‌های جدید موجب کاهش وزن تر و خشک در قلمه‌ها می‌شود، زیرا این قلمه‌ها خود توانایی تولید اکسین و جذب بالای آن را به علت وجود سلول‌های فعال متابولیسمی دارند (Shirzad et al., 2012). بنابراین، در صورتی که مصرف هورمون در هنگام ریشه‌زایی بیش از حد نیاز باشد، علاوه بر افزایش هزینه، سبب برهم‌خوردن تعادل هورمونی در گیاه می‌شود. هورمون‌های محرک رشد با رفع موانع رشد و فعال‌سازی برخی از مسیرهای بیوشیمیایی و آنزیم‌ها، رشد را تحریک می‌کنند. مطالعه‌ی اثر IBA بر ریشه‌زایی قلمه‌های هیبریدی هلو و بادام نشان داد که افرایش غلظت هورمون تا ٤۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افرایش وزن تر و خشک قلمه‌ها گردید (Davarynejad et al., 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

پژوهش حاضر روی تفاوت در ریشه‌زایی قلمه‌های شاخه‌ی زیتون رقم ماری در پاسخ به غلظت‌های مختلف IBA و NAA، تمرکز دارد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، یک تفاوت واضح در ریشه‌زایی قلمه‌های شاخه مشاهده شد. به نظر علت اصلی این تفاوت‌ها، پاسخ‌های متفاوت قلمه‌های شاخه‌ی زیتون به کاربرد برون‌زای غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و مقدار غلظت‌های درون‌زای آنها می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد

که کاربرد همزمان و ترکیبی ۳ گرم بر لیتر از هر دوی NAA و IBA، همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده از جمله درصد ریشه‌زایی و تولید ریشه روی قلمه‌های شاخه را افزایش داد، اگرچه اختلاف آن با برخی تیمارها معنی‌دار نبود. بنابراین، این تیمار برای ریشه‌زایی بهینه‌ی قلمه‌ی شاخه زیتون رقم ماری مناسب است. بررسی و اندازه‌گیری میزان تنظیم‌کننده‌های رشد درون‌زای این رقم و استفاده‌ی برون‌زا از سایر اکسین‌ها برای دستیابی به ریشه‌زایی مناسب پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت برای حمایت‌های لازم از این پژوهش قدردانی می‌گردد.

References

Aboutalebi, A. and Tafazoli, E. (2006). Effect of cutting time and auxin on rooting of sweet lime (*Citrus limetta*). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources,13 (5): 29-34.

Afsharzadeh, N., Azizi, M. and Samieie, L. (2021). Medium optimization for callus induction, shoot regeneration and rooting of *Hypericum perforatum* from stem and leaf explants. Journal of Horticultural Science. In Press (doi: 10.22067/jhs.2021.60331.0) [In Persian].

Almeida, F.D., Xavier, A., Dias, G.M.M. and Paiva, H.N. (2007). Auxin (IBA and NAA) effects on minicuttings rooting of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Clones. Revista Árvore , 31 (3): 455-463.

Beretta, D., Vanoli, M. and Eccher, T. (2004). The influence of glucose, vitamins and IBA on rooting of *Camellia* shoots *in vitro*. Acta Horticulturae, 227: 473-475.

Braha, S. and Rama, P. (2016). The effects of indol butyric acid and naphthalene acetic acid of adventitious root formation to green cuttings in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). International Journal of Science Research, 5 (7): 876-879.

Brondani, G.E., Baccarin, F.J.B., Ondas, H.W.W., Stape, J.L., Gonçalves, A.N. and Almeida, M.D. (2012). Low temperature, IBA concentrations and optimal time for adventitious rooting of *Eucalyptus benthamii* mini-cuttings. Journal of Forestry Research, 23(4): 583-592.

Copes, D.L. and Mandel, N.L. (2000). Effects of IBA and NAA treatments on rooting Douglas-fir stem cuttings. New Forests, 20: 249-257.

Corrêa, L.R. and Fett-Neto, A.G. (2004). Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. Journal of Thermal Biology, 29 (6): 315-324.

Davarynejad, Gh., Shokouhian, A.A. and Tehranifar, A. (2015). Effect of IBA and medium on rooting of two new selected peach × almond hybrids cuttings. Journal of Horticulture Science, 29 (2): 176-184.

Davidović, V., Popović, R. and Radulović, M. (2015). Influence of IBA and NAA (0.8%) + (IBA 0.5%) phytoregulators to the risogenesis of the mature lemon tree-shoots (*Citrus limon* (L.) Burm. and *Citrus meyearii* Y. Tan.). Agriculture & Forestry, 61(2): 243-250.

De Klerk, G.J., Guan, H., Huisman, P. and Marinova, S. (2011). Effects of phenolic compounds on adventitious root formation and oxidative decarboxylation of applied indoleacetic acid in *Malus* 'Jork 9'. Plant Growth Regulators, 63:175.

Denaxa, N.K., Vemmos, S.N. and Roussos, P.A. (2012). The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). Scientia Horticulturae, 143: 19-28.

Habibi Kootenaee, Sh. (2010). Effect of different concentrations of auxin on rooting of semi-dry cuttings of *Nerium oleander*. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 5 (2): 36-46.

Habibi Kootenaee, Sh. (2012). The effect of different concentrations of naphthalene acetic acid and indole butyric acid on the rooting of semi-wood cuttings of orange and three-leaf orange. Journal of Plant Environmental Physiology, 7 (27): 64-72 [In Persian].

Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davis, F.T. and Genere, R.L. (1997). Plant Propagation: Principles and Practices (6th ed.). Prentice Hall Intl. INC, USA.

Hashemabadi, D. and Sedaghathour, Sh. (2007). Study on effect of indole butyric acid (IBA) and naphthalene acetic acid (NAA) on rooting of cutting of camellia (*Camellia japonica* L.). Agroecology Journal (Journal of New Agricultural Science), 2 (5): 69-76.

Hunt, M.A., Trueman, S.J. and Rasmussen, A. (2011). Indole-3-butyric acid accelerates adventitious root formation and impedes shoot growth of *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis* cuttings. New Forest, 41 (3): 349-360.

Jull, L.G., Warren, S.L. and Blazich, F.A. (1994). Rooting yoshino cryptomeria stem cutting as influenced by growth stage, branch order IBA treatment. Scientia Horticulturae, 29(12): 1532-1535.

Kaviani, B. and Negahdar, N. (2018). Improvement of rooting capacity of *Buxus hyrcana* cutting, an ornamental shrub in danger of extinction. Journal of Plant Production, 25(2): 17-34.

Langé, P.P. (2014). Effecto de auxinas en el enraizamiento de estaquillas de *Buxus sempervirens* L. en distintas épocas aňo. M.Sc. Thesis. Universidad Nacional Del Litoral.

Lee, O., Lee, B. and Lee, J. (2009). Assessment of phenolics-enriched extract and fractions of olive leaves and their antioxidant activities. Journal Bioresource Technology, 100: 6107-6113.

Leopold, A.C. (1995). Auxins and plant growth substances. Berkeley and Los Angeles. Univ. California Press, California, pp. 372-377.

Mirsoleimani, A. and Rahemi, M. (2007). The effect of two synthetic auxins on rooting of peach and almond hardwood hybrid cuttings in open space. Pajouhesh and Sazandegi, 76: 89-96.

Moallemi, N. and Chehrazi, M. (2004). The effect of the hormone auxin on the rooting of leafy, leafless cuttings (*L. bougainvilliea spectabillis*) in a plastic tunnel. The Scientific Journal of Agriculture, 27 (2): 127-138.

Ozelbaykal, S. and Gezerel, O. (2005). The effects of the different doses of IBA (indol butyric acid) on the rooting performances in the reproduction of Gemlik and Domat olive trees by using the green twig procedure in the ecology of Cukurova region. Journal of Central European Agriculture, 6 (4): 481-484.

Porfirio, S., Calado, M.L., Noceda, C., Cabrita, M.J., da Silva, M.G., Azadi, P. and Peixe, A. (2016). Tracking biochemical changes during adventitious root formation in olive (*Olea europaea* L.). Scientia Horticulturae, 204: 41-53.

Rahdari, P., Mahna, M. and Asadi, M. (2010). Effect of zinc sulfate and NAA and IBA hormones on rooting of semi-partial cuttings of Azalea plant and its environmental effects. Journal of Science and Technology of Natural Resources, 5 (1): 95-103.

Ramezani, M., Talaee, A., Eghdami, M.T. and Bonyadi, I. (2005). Investigation of some factors influencing the rooting of semi-irrigated cuttings of hard-rooted olive cultivars. Pajouhesh and Sazandegi Journal, 18 (1): 74-88.

Razaghi, M., Rabiee, V. and Sedaghathoor, Sh. (2010). The effect of different concentrations of IBA, NAA and their interactions on the rooting of semi-hardwood cuttings of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). Journal of Plant Productions, 33 (1): 87-96.

Shahhosseini, A. and Shahsavar, A.R. (2017). Effect of indole-3-butyric acid (IBA) on rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L. 'Kabkab') off-shoots. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 18 (3): 251-258.

Shahhoseini, R., Moghaddam, M., Kiani, D. and Mansori, R. (2015). Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of semi-hardwood cuttings of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants , 31 (4): 574-586.

Shoanef, K.W., Sakinoa, V.N., Bheta, F.M. and Affalais, J. (2014). Comparison of four moisture management systems for cutting propagation of *Bougainvillea*, *Hibiscus* and Kei apple. Journal of the American Society for Horticultural Science, 120 (3): 366-373.

Shirzad, M., Sedaghathoor, Sh. and Hashemabadi, D. (2012). Effect of media and different concentrations of IBA on rooting of '*Ficus benjamina* L.' cutting. Journal of Ornamental Plants , 2 (1): 61-64.

Singh, K.K., Choudhary, T. and Kumar, A. (2014). Effect of various concentrations of IBA and NAA on the rooting of stem cuttings of mulberry (*Morus alba* L.) under mist house condition in Garhwal hill region. Indian Journal of Hill Farming, 27 (1): 74-77.

Sulusoglu, M. and Cavusoglu, A. (2010). Vegetative propagation of Cherry laurel (*Prunus laurocerasus* L.) using semihardwood cuttings. African Journal of Agricultural Research 5 , (23): 3196-3202.

Sun, S., Tahir, M.M., Xie, Z., Wei, P., Yu, J., Liu, H., He, Y., Ren, X., Ma, Y. and Mao, J. (2023). Balancing hormones and gene expressions for rooting success: Lovastatin unveils cytokinin inhibition in *Malus prunifolia* var. ringo apple stem cuttings. Horticulturae, 9: 1341.

Tworkoski, T. and Takeda, F. (2007). Rooting response of shoot cuttings from three peach growth habits. Scientia Horticulturae, 115: 98-100.

Vatandoost Jartoodeh, S., Davarinejad, Gh., Tehranifar, A. and Kaveh, H. (2011). The effect of auxin treatments and type of cuttings on rooting cuttings of Natanz, Sabri and Shokri pear cultivars. Journal of Horticultural Science, 25 (1): 38-44.

Wei, K., Ruan, L., Wang, L. and Cheng, H. (2019). Auxin-induced adventitious root formation in nodal cuttings of *Camellia sinensis*. International Journal of Molecular Sciences, 20: 1-10.

Wendling, I., Brondani, G.E., Dutra, L.F. and Hansel, F.A. (2010). Mini-cuttings technique: a new *ex vitro* method for clonal propagation of sweetgum. New Forestry, 39 (3): 343–353.

Yousefi, F. (2010). Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of olive cuttings. Proceedings of the 2th Congress of Plant Production Sciences, Mashhad, Iran [In Persian].