Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2026, Vol 9, No 18(2), Pages 01-14

doi:10.22034/iuvs.2024.2022895.1355 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Effects of indole-3-butyric acid and cutting type on rooting of bell pepper cuttings

Mashhid Henareh[1*], Yaser Piri[2]

1- Seed and Plant Improvement Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

2- Narenj Company, Mechanized Seedling Bank of West Azarbaijan Province, Urmia, Iran.

[*]**Corresponding author:** mashhidh@gmail.com

(**Received:** 13 February 2024 **Revised:** 27 April 2024 **Accepted:** 29 April 2024)

Extended Abstract

1. **Introduction:** One of the important goals of greenhouse development in Iran is production efficiency and water consumption reduction. Currently, approximately 80% of the country's greenhouses are cultivated with cucumbers, tomatoes, and peppers. Nearly 95% of vegetable crop seeds are imported from other countries. Therefore, one of the high costs of greenhouse crop production is the preparation of seed. The highest price of seed provision is for pepper seed production. Propagation by cutting is a very economical and efficient method for some plants. Environmental conditions such as temperature, light, relative humidity, hormones (especially auxin), carbohydrates, minerals, and other internal substances are effective factors in the rooting of cuttings. Maintaining the relative humidity around the cuttings is very important, especially in the herbaceous cuttings. For better rooting, it should be kept at the optimal level. Excessive temperature causes the growth of buds before root formation and increases the rate of water loss from the leaves. Natural growth regulators, especially auxin in plants, are necessary to produce adventitious roots. Bell pepper is an important vegetable not only because of its economic value but also because of the nutritional value of its fruits, which are an excellent source of natural colors and mineral compounds. The purpose of this research was to investigate bell pepper propagation by using the cutting method to reduce the cost of propagation and production.
2. **Materials and Methods:** Two types of nodal and non-nodal cutting were taken from 1204 (red color) and 7141 (green color) greenhouse pepper hybrid cultivars. The cutting had at least one leaf and a bud next to the leaf. To prevent rotting, the bottom of the cuttings was treated with Captan fungicide 0.4% for one minute. The cuttings were treated with concentrations of 0, 1000, and 1500 ppm of indole-3-butyric acid hormone for 30 seconds. The cuttings were cultivated in seedling trays in a mixed culture medium of 60% perlite and 40% cocopeat. Seedling trays were placed in a greenhouse with day temperatures of 25-30 °C and night temperatures of 18-23 °C. The Mist system was used to provide the relative humidity for cuttings. Day and night relative humidity was 85-90% and 65-70%, respectively. A factorial experiment was carried out based on a randomized complete block design with three replications. The factors were pepper cultivar, type of cuttings, and indole-3-butyric acid hormone concentration. In order to effect evaluation of different treatments on rooting, one month after planting of cuttings in the seedling trays, the percentage of rooted cuttings, the number of roots, the length of the largest root, and the total length of roots were measured.
3. **Results and Discussion:** The results showed that the number of roots and the total length of roots in the cutting samples increased significantly in cultivar 7141 (green color) compared to cultivar 1204 (red color). So the number of roots for two cultivars was 7.2 and 6.4, and the total length of roots was 32 and 25.6 cm, respectively. The nodal cutting produced a greater number of roots and the total length of roots than the non-nodal cutting. In nodal cutting, the number of roots and the total length of roots were 7.3 and 31.1 cm. These two traits were recorded for non-nodal cutting at 6 and 25.4 cm, respectively. The presence of nodal roots at the bottom of the cutting increases rooting in pepper cuttings. Better rooting on the nodal can be related to more nutrients and auxin at the nodal site. Both concentrations of 1000 and 1500 ppm of hormone significantly

increased the number of roots and total length of roots compared to the treatment without hormone. There was a significant difference in the length of the largest root between the concentration of 1500 ppm and the treatment without hormone. But in this trait significant difference between the concentration of 1000 ppm and the treatment without hormone was not observed. Between the two hormone concentrations, no significant difference was detected in the studied rooting traits. The highest number of roots, 9.5 numbers was observed in nodal cutting with 1000 ppm of IBA.

4. **Conclusion:** Although pepper is an herbaceous plant, compared to other herbaceous plants such as cucumber and tomato, its cuttings are hard to root. Two weeks after planting in seedling trays, the pepper cutting only formed callus and one or two small roots. In case a large number of adventitious roots are formed in cucumber and tomato cuttings within two weeks. In pepper, it takes about a month for the cutting to produce enough adventitious roots.

Keywords: Cultivar, Nodal and non-nodal cutting, Number of adventitious roots, Pepper.

Citation: Henareh, M. & Piri, Y. (2026). Effects of indole-3-butyric acid and cutting type on rooting of bell pepper cuttings. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 01-14. doi:10.22034/iuvs.2024.2022895.1355

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۸، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات (۱۴-۰۱)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/iuvs.2024.2022895.1355

بررسی اثر هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید و نوع قلمه بر ریشه‌زایی قلمه‌های فلفل دلمه‌ای

مشهید هناره[1*]، یاسر پیری[2]

۱- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان-غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

۲- شرکت نارنج، بانک نشا مکانیزه استان آذربایجان‌غربی، ارومیه، ایران.

*نویسنده مسئول: mashhidh@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰)

چکیده

فلفل از جمله سبزی‌هایی است که علاوه بر مزرعه در محیط‌های کنترل شده مانند گلخانه نیز کشت می‌شود. یکی از هزینه‌های بالای این محصول در محیط‌های کنترل شده، هزینه تامین بذر است. این تحقیق جهت بررسی تکثیر فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای از طریق قلمه به‌منظور کاهش هزینه بذر انجام شد. بدین منظور از دو رقم هیبرید فلفل گلخانه‌ای ۱۲۰۴ (قرمز رنگ) و ۷۱۴۱ (سبز رنگ)، دو نوع قلمه گره‌دار و بدون گره تهیه گردید. قلمه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه با غلظت‌های ۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید تیمار شدند و سپس در سینی‌های نشاء در بستر کشت مخلوط ۶۰٪ پرلیت و ۴۰٪ کوکوپیت در یک سالن کوچک گلخانه کشت گردیدند. این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام گرفت. فاکتورها شامل رقم فلفل، نوع قلمه و غلظت هورمون اسید ایندول بوتیریک بود. نتایج نشان داد که فلفل نسبت به گوجه‌فرنگی و خیار سخت ریشه‌زا بوده و بعد از گذشت یک ماه قلمه‌ها به اندازه کافی تولید ریشه‌های نابجا نمودند. رقم ۷۱۴۱ ریشه‌زایی بهتری نسبت به رقم ۱۲۰۴ داشت. قلمه‌های گره‌دار تعداد ریشه و طول مجموع ریشه بیشتری نسبت به قلمه‌های بدون گره تولید نمودند. هر دو غلظت ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون نسبت به تیمار بدون هورمون، تعداد ریشه و طول مجموع ریشه در قلمه را بطور معنی‌داری افزایش دادند. بین دو غلظت هورمون در صفات ریشه‌زایی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد ریشه نابجا، رقم، فلفل، قلمه گره‌دار و بدون گره.

استناد: هناره، م. و پیری، ی. (۱۴۰۴). بررسی اثر هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید و نوع قلمه بر ریشه‌زایی قلمه‌های فلفل دلمه‌ای. *علوم سبزی‌ها*، ۱۸(۲)، ۱۴-۰۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

یکی از اهداف مهم توسعه گلخانه‌ها در کشور ارتقاء بهره‌وری تولید و بالابردن کارائی مصرف آب است (Tabatabe *et al*., 2014). تغییرات اقلیمی و شرایط جوی جهان، ما را ناگزیر از تغییر به سمت گسترش کشت‌های گلخانه‌ای می‌کند (Sibgol, 2020). بر اساس تصمیمات اتخاذ شده از طرف وزارت جهاد کشاورزی کشت‌های گلخانه‌ای در کشور در آینده نزدیک توسعه بیشتری خواهد یافت و انتقال کشت محصولات سبزی و صیفی از فضای باز به محیط‌های کنترل‌شده سرعت بیشتری خواهد گرفت.

در حال حاضر حدود ۸۰ درصد سطح گلخانه‌های کشور زیر کشت محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل می‌باشد. (Sibgol, 2020). با توجه به اینکه نزدیک به ۹۵ درصد بذور محصولات سبزی و صیفی وارداتی است، در نتیجه یکی از هزینه‌های بالای تولید این محصولات تامین بذر می‌باشد که بالاترین قیمت هر عدد بذر مربوط به فلفل گلخانه‌ای رنگی هست. با توجه به تراکم کشت این محصولات در گلخانه، هزینه زیادی برای گلخانه-داران دارد. علاوه بر هزینه بالا، در بعضی از موارد دسترسی به این بذور هیبرید مشکل است. در سال‌های اخیر بعضاً عدم دسترسی به بذور هیبرید ارقام برتر از شرکت‌های معتبر و ورود بذور بصورت غیر قانونی و قاچاق، باعث مشکلاتی مانند عدم دسترسی به عملکرد کمی و کیفی مطلوب و سایر مشکلات مانند کشت بذور آلوده به بیماری‌های ویروسی شده است.

تکثیر گیاهان به دو روش ازدیاد جنسی (بذر و دیگر اندام‌های جنسی) و غیرجنسی انجام می‌شود. ازدیاد غیر جنسی، شامل تکثیر از طریق اندام‌های رویشی گیاه است. یکی از روش‌های تکثیر غیر جنسی، ازدیاد از طریق قلمه می‌باشد. ازدیاد از طریق قلمه راه کار بسیار به صرفه و کارآمدی برای بعضی گیاهان می‌باشد. استفاده از این روش جهت تکثیر گیاهان در صورت موفقیت در ریشه‌زایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می-باشد. زیرا گیاهان بدست آمده از قلمه نسبت به گیاهان بذری شباهت بیشتر به پایه مادری داشته و از یکنواختی بالاتری برخوردار هستند (Kaur, 2017). تکثیر از طریق قلمه در گیاهان سهل ریشه‌زا نسبت به کشت بافت دارای مزایایی مانند نیاز به تجهیزات و هزینه کمتر، مدت زمان کوتاه جهت تکثیر، داشتن بوته‌های قوی‌تر و گیرایی بیشتر بعد از انتقال به زمین اصلی می‌باشد (Sibgol & Salari, 2008).

از عوامل مؤثر در ریشه‌زایی قلمه‌ها می‌توان به شرایط محیطی مانند دما، نور، رطوبت نسبی، هورمون‌ها (بخصوص اکسین)، کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی و سایر مواد داخل گیاه نام برد (Pop *et al*., 2011). حفظ رطوبت نسبی اطراف قلمه‌ها مخصوصاً در قلمه‌های علفی بسیار مهم بوده و بایستی در حد مطلوب نگهداری شود تا ریشه‌زایی بهتر انجام شود. دمای بیش از حد موجب رشد جوانه‌ها قبل از ریشه‌زایی ریشه می‌گردد و میزان از دست رفتن آب از برگ‌ها را افزایش می‌دهد. برای تولید ریشه‌های نابجا، وجود تنظیم کننده‌های رشد در گیاه ضروری می‌باشد. جهت ریشه‌زایی قلمه‌ها در گیاهان از چندین نوع اکسین استفاده می‌شود. از مهمترین مکانیزم‌های اثر اکسین‌ها بر تحریک ریشه-زایی قلمه‌ها می‌توان به تحریک تقسیم سلولی، بیان ژن‌های کلیدی تشکیل ریشه‌های نابجا، توازن هورمون-های داخلی به‌ویژه میزان ایندول استیک اسید (IAA)، تغییر مراحل نموی، تأثیر بر ژن‌های سست‌کننده دیواره سلولی، تغییر میزان ترکیب‌های فنلی از طریق تأثیر بر فعالیت پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز، جابجایی ریزوکالین محرک به ناحیه ریشه‌زایی و فعالسازی آن اشاره کرد. نتایج نشان داده است که ایندول-۳-بوتیریک اسید (IBA) بر ریشه‌زایی بهتر از سایر اکسین-ها عمل کرده است. این اکسین توسط آنزیم‌های تجزیه کننده به کندی تجزیه می‌شود و به همین دلیل اثر زیادی در ریشه‌زایی دارد (Attarzadeh *et al*., 2016). این هورمون برای ریشه‌زایی تعداد زیادی از گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت مورد استفاده برای ریشه‌زایی بستگی به نوع گونه گیاهی، نوع قلمه، شرایط رشد گیاه و فصل سال دارد (Kaushik & Shukla, 2020).

تحقیقات نشان می‌دهد بعضی از سبزیجات گلخانه‌ای را می‌توان از طریق قلمه تکثیر نمود. در این زمینه در دنیا تحقیقات کمی انجام شده است. در یک تحقیقی برای تحریک ریشه‌زایی قلمه‌های هیپوکوتیل خیار از ایندول-۳-بوتیریک اسید به میزان یک میلی‌گرم در لیتر استفاده شد که این مقدار هورمون به محلول‌های غذایی که به قلمه‌ها داده می‌شد، اضافه گردید که نسبت به شاهد تعداد ریشه و طول ریشه را افزایش داد (Sharma & Ray, 1993). در تحقیقی ثابت شد که گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای را به راحتی می‌توان از طریق ریشه‌دار کردن قلمه تکثیر نمود و از این طریق هزینه تولید را پایین آورد (Sibgol, 2020).

فلفل با نام علمی *Capsicum annuum* L. متعلق به خانواده بادنجانیان (Solanaceae) می‌باشد. پنج گونه اصلی از فلفل که اهلی شده‌اند شامل *C.baccatum*، *C.pubescens*، *C.chinense*، *C.annuum* و *C.frutescens* می‌باشند که در بین آنها گونه *C.annuum* به صورت گسترده مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Nemat Farahzadi *et al.*, 2019). فلفل نه‌تنها بخاطر ارزش اقتصادی، بلکه بخاطر ارزش غذایی میوه‌های آن که منبع عالی رنگ‌های طبیعی و ترکیبات معدنی است بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد (Moosavi *et al.*, 2023). سطح زیر کشت این محصول در کشور حدود ۶۵۰۰ هکتار و میزان تولید ۷۰ هزار تن می‌باشد (FAOSTATE, 2022). کشت فلفل گلخانه‌ای دلمه‌ای مخصوصاً انواع رنگی در سال‌های اخیر در گلخانه گسترش زیادی پیدا نموده است. تکثیر و ازدیاد فلفل در ایران از طریق کاشت بذور وارداتی از دیگر کشورها صورت می گیرد که این بذرها، با قیمت بالا وارد شده و ضمن تحمیل هزینه بر اقتصاد، کشور را با مشکلات و محدودیت‌های وارداتی نیز مواجه می‌کند (Otroshy & Moradi, 2014). در صورت ریشه‌زایی قلمه‌های فلفل، می‌توان از هر بوته حاصل از بذر تعدادی قلمه تهیه و ریشه‌دار نمود و هر قلمه ریشه‌دار شده به عنوان یک نشاء در گلخانه کشت نمود. در طول فصل رشد نیز شاخه‌های جانبی که هرس می‌شوند می‌توان بعنوان مواد گیاهی جهت تهیه قلمه استفاده نمود، در این صورت هزینه تولید گیاهچه به مراتب پایین خواهد آمد. هدف از این تحقیق تکثیر فلفل دلمه‌ای با استفاده از قلمه بود به طوری که هزینه تکثیر و تولید آن کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی

بذر دو رقم هیبرید فلفل گلخانه‌ای ۱۲۰۴ (قرمز رنگ) و ۷۱۴۱ (سبز رنگ) در مورخ ۱۴۰۰/۲/۲۵ در ظروف نشاء در گلخانه‌ای در ارومیه کشت شد. بذور کشت شده از شرکت سیمینس (Seminis) کشور آمریکا بودند. بعد از اینکه گیاهچه‌ها به مرحله ۴ الی ۵ برگی رسیدند در گلخانه در بستر خاکی کشت شدند. مراقبت‌های زراعی در طول فصل رشد شامل آبیاری بصورت تیپ، تغذیه، مبارزه با آفات و بیماری و علف‌های هرز بود. به منظور رشد بهتر گیاه، گل‌هایی که روی بوته‌ها ظاهر شدند حذف گردیدند. زمانی که ساقه اصلی ۶ الی ۷ برگ تولید کرد جوانه انتهایی آن حذف تا شاخه‌های جانبی قوی تولید کند و از هر بوته تعداد بیشتری قلمه از شاخه‌های جانبی و شاخه اصلی گرفته شود.

کشت قلمه‌ها در بستر ریشه‌زایی

سه ماه بعد از کشت بذر، زمانی که شاخه‌های جانبی به اندازه کافی رشد نمودند از این شاخه‌ها و شاخه اصلی قلمه تهیه شد. از بوته‌ها دو نوع قلمه بدون گره و گره‌دار تهیه گردید. در قلمه بدون گره، انتهای قلمه گره وجود نداشت و هر بند یک قلمه داشت. در قلمه گره‌دار، انتهای قلمه گره‌دار بود و تعداد قلمه در شاخه به نصف رسید. قلمه دارای حداقل یک برگ و یک جوانه کنار برگ بود. جهت جلوگیری از پوسیدگی، ته قلمه‌ها در محلول قارچکش کاپتان (شرکت اکسیر کشاورزی یزد) به غلظت ۴ در هزار به مدت یک دقیقه قرار گرفت. برای ریشه‌زایی قلمه‌ها از مخلوط بستر ۶۰٪ پرلیت و ۴۰٪ کوکوپیت استفاده شد. برای این منظور از سینی‌های

کشت ۵۰ حفره‌ای استفاده گردید. ابعاد سینی ۲۸×۵۴ سانتی‌متری، ابعاد حفره ۴/۵×۴/۵ سانتی‌متری و عمق آن ۷ سانتی‌متری بود.

به منظور تسریع در ریشه‌زایی قلمه‌ها با هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید در غلظت‌های ۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار شدند. به‌این منظور انتهای قلمه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در محلول هورمونی قرار گرفت. سینی‌های کشت قلمه‌ها پر از بستر ریشه‌زایی شد و بخوبی آبیاری گردیدند و پس از خروج آب اضافی از حفرات ته سینی، سوراخی به عمق دو سوم ارتفاع حفره سینی ایجاد گردید. در هر حفره یک قلمه کشت و بستر ریشه‌زایی با دست فشار داده شد تا قلمه محکم سر جایش قرار گیرد.

ریشه‌زایی قلمه‌ها

سینی‌های حاوی قلمه‌ها در یک سالن گلخانه مخصوص ریشه‌زایی قرار گرفتند. جهت جلوگیری از تماس مستقیم سینی‌ها با سطح گلخانه و آلودگی قلمه‌ها در حین ریشه‌زایی به عوامل بیماری‌زا مانند قارچ‌ها، این سینی‌ها بر روی جعبه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. برای تامین رطوبت نسبی قلمه‌های فلفل از سیستم مه-افشان استفاده شد. رطوبت نسبی روزانه در زمانی که دمای گلخانه نسبتاً بالا بود حدود ۹۰-۸۵ درصد بود و با پایین آمدن دما رطوبت نسبی نیز کاهش یافت، بطوریکه در شبانه به حدود ۷۰-۶۵ درصد رسید. در شب‌ها دستگاه مه‌افشان خاموش می‌شد. در اواخر دوران ریشه‌زایی جهت سازگار نمودن قلمه‌های ریشه‌دار شده به محیط بیرون ریشه‌زایی و کاشت در گلخانه، رطوبت نسبی کاهش و به حدود ۷۰٪ کاهش یافت. دمای روزانه در گلخانه بین ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌گراد و دمای شبانه بین ۱۸ تا ۲۳ سانتی‌گراد متغیر بود. میزان نور همان شدت معمولی نور در گلخانه بود.

ثبت داده‌ها و آنالیز آماری

آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام گرفت. فاکتور اول رقم فلفل، فاکتور دوم نوع قلمه و فاکتور سوم غلظت هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید بود. ۱۲ ترکیب تیماری در آزمایش بود. برای هر تکرار ۱۵ قلمه برای هر ترکیب تیماری در نظر گرفته شد. جهت بررسی اثر تیمارهای مختلف بر ریشه-زایی یک ماه بعد از کاشت قلمه‌ها در بستر، درصد قلمه-های ریشه‌دار شده، تعداد ریشه‌های نابجا با شمارش، طول بزرگترین ریشه نابجا و مجموع طول ریشه‌های نابجا با خط‌کش برای قلمه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار MSTATC، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و رسم نمودار با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که فلفل گلخانه‌ای در مقایسه با گیاهان دیگر مانند خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای دارای قلمه سخت ریشه‌زا بود. دو هفته بعد از کشت در بستر، قلمه فقط تشکیل کالوس و یک یا دو ریشه کوچکی داد (شکل ۱). حدود یک ماه طول کشید تا قلمه‌های فلفل به اندازه کافی تولید ریشه‌های نابجا نمودند. یک ماه بعد از کشت در تمامی ترکیبات تیماری ٪۱۰۰ قلمه‌ها ریشه‌دار شدند. در دو پژوهش مشابه، قلمه‌های خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای دو هفته بعد از کشت در بستر تعداد ریشه نابجای زیادی تشکیل دادند (Henareh *et al.*, 2001؛ Sibgol, 2020). ریشه‌زایی قلمه برحسب نوع گیاه می‌تواند سهل و یا سخت باشد. به طورکلی استعداد ریشه‌زایی از گونه‌ای به گونه دیگر فرق می‌کند (Mirjalili & Sourati, 2023). در گونه-های سخت ریشه‌زا توسعه حلقه‌های پیوسته اسکلرانشیمی (دارای دیواره‌های ضخیم و چوبی) در خارج از نقطه منشا ریشه‌های نابجا، مانعی برای تولید این ریشه‌ها می‌باشد و بسته به نوع گونه این بافت اسکلرانشیمی می‌تواند ضخیم‌تر و چوبی‌تر باشد و بیشتر از توسعه ریشه‌های نابجا جلوگیری نماید. البته علاوه بر این مورد، عواملی مانند میزان هورمون‌های تحریک-کننده ریشه‌زایی، مقدار کربوهیدرات و عناصر غذایی موجود در هر گونه نیز می‌تواند بر میزان تولید ریشه‌های نابجا تأثیر بگذارد (Druege *et al.*, 2019).

شکل ۱- میزان تشکیل ریشه‌های نابجا در قلمه فلفل دو هفته بعد از کشت در بستر ریشه‌زایی.

Figure 1- Adventitious roots formation in pepper cutting two weeks after planting in rooting medium

براساس نتایج مقایسه میانگین، تعداد ریشه و طول مجموع ریشه در قلمه در رقم ۷۱۴۱ (سبز رنگ) نسبت به رقم ۱۲۰۴ (قرمز رنگ) افزایش معنی‌داری داشته است، بطوریکه تعداد ریشه برای دو رقم به ترتیب ۷/۲ و ۶/۴ عدد و میانگین طول مجموع ریشه ۳۲ و ۲۵/۶ سانتی‌متر بود (جدول ۱). در طول بزرگترین ریشه در قلمه اختلاف معنی‌داری بین دو رقم مشاهده نشد. این تحقیق نشان داد که نوع رقم می‌تواند بر برخی از شاخص‌های ریشه‌زایی تأثیر داشته باشد. علت اینکه قلمه رقم ۷۱۴۱ تعداد ریشه بیشتری نسبت به رقم ۱۲۰۴ تشکیل داده است احتمالاً این بوده که میزان اکسین داخلی در رقم ۷۱۴۱ بیشتر بوده، نتایج نشان داده است هر چه میزان اکسین داخلی یک رقم بیشتر باشد واکنش آن رقم نسبت به مواد کمک ریشه‌زا بهتر خواهد بود (Attarzadeh *et al.*, 2016). البته بر اساس مطالعات دیگر نتایج متفاوتی حاصل شده است. در یک تحقیقی نتایج بررسی کالوس‌زایی در فلفل نشان داد که تشکیل کالوس از کوتیلدون در فلفل به رقم بستگی دارد (Jayashankar, 1998). در بررسی دیگر ریشه‌زایی قلمه چهار رقم گوجه‌فرنگی اختلاف معنی‌داری در طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه در بین ارقام مشاهده نشد (Bandara *et al.*, 2019).

جدول ۱- میانگین صفات مورد بررسی در قلمه‌های ارقام فلفل

Table 2. Mean of investigated traits in pepper cultivars cuttings

رقم Cultivar	تعداد ریشه در قلمه Roots/cutting	طول بزرگترین ریشه در قلمه Length of largest root/cutting (cm)	طول مجموع ریشه در قلمه Total root length/cutting (cm)
7141	7.2[a]	5.8[a]	31[a]
1204	6.4[b]	5.5[a]	25.6[b]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's test.

با توجه به نتایج، قلمه گره‌دار تعداد ریشه و طول مجموع ریشه در قلمه بیشتری نسبت به قلمه بدون گره تولید نمود، بطوریکه در قلمه گره‌دار تعداد ریشه و طول مجموع ریشه ۷/۳ عدد و ۳۱/۱ سانتی‌متر بود در صورتیکه این دو شاخص برای قلمه بدون گره به ترتیب ۶ عدد و ۲۵/۴ سانتی‌متر ثبت گردید (شکل ۲ و جدول ۲). اختلاف معنی‌داری بین دو قلمه در طول بزرگترین ریشه مشاهده نشد. اثر متقابل رقم و نوع قلمه بر هیچ کدام از شاخص‌های ریشه‌زایی معنی‌دار نبود. این مطالعه نشان داد که وجود گره در ته قلمه باعث افزایش ریشه‌زایی در قلمه‌های فلفل می‌شود. ریشه‌زایی بهتر در روی گره می‌تواند با مواد غذایی و اکسین بیشتر در محل گره در ارتباط باشد (Henareh *et al.*, 2001). اکسین با تحریک ریشه‌زایی، سبب انتقال کربوهیدرات‌ها و مواد نیتروژنه از محل گره و برگ به سوی نقاط تشکیل ریشه شده و این امر موجب افزایش تعداد ریشه و حجم ریشه می‌شود (Nazari & Rahimi, 2018). در مطالعه دیگر ثابت شد که در ریشه‌زایی قلمه‌های خیار معمولی رقم نیمبوس ریشه‌ها بیشتر از محل گره خارج شدند (Feher, 1978).

جدول ۲- میانگین صفات مورد بررسی در دو نوع قلمه فلفل

Table 3. Mean of investigated traits in two types of pepper cutting

نوع قلمه Cutting	تعداد ریشه در قلمه Roots/cutting	طول بزرگترین ریشه در قلمه Length of largest root/cutting (cm)	طول مجموع ریشه در قلمه Total root length/cutting (cm)
گره‌دار Nodal	7.3[a]	5.6[a]	31.1[a]
بدون گره Non-nodal	6[b]	5.8[a]	25.4[b]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's test.

شکل ۱- مقایسه تعداد ریشه‌های نابجا در قلمه گره‌دار و بدون گره یک ماه بعد از کشت در بستر ریشه‌زایی

Figure 1- Adventitious roots in nodal and non-nodal cutting one month after planting in rooting medium

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) هر دو غلظت ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید نسبت به تیمار بدون هورمون، تعداد ریشه در قلمه و طول مجموع ریشه در قلمه را بطور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۳). در طول بزرگترین ریشه اختلاف معنی‌داری بین غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار بدون هورمون ثبت شد ولی تفاوت معنی‌داری در این شاخص بین غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار بدون هورمون مشاهده نگردید. تعداد ریشه نابجا در قلمه‌ها در تیمارهای ۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و صفر میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید به‌ترتیب ۷/۵، ۷/۹ و ۵ عدد، طول بزرگترین ریشه ۶/۶، ۵/۹ و ۴/۶ سانتی‌متر و طول مجموع ریشه ۳۱، ۳۴/۵ و ۱۹/۳ سانتی‌متر بود. در صفات ریشه‌زایی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت هورمون مشاهده نشد.

این مطالعه نشان داد که استفاده از هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید تأثیر مثبتی بر ریشه‌زایی قلمه‌ها داشته است. این نتیجه در تحقیقات دیگر نیز به اثبات رسیده است. در یک تحقیق اثر سه غلظت ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید، سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید نفتالین استیک و تیمار بدون هورمون بر ریشه‌زایی قلمه‌های خیار گلخانه‌ای بررسی شد. با افزایش غلظت هورمون تعداد ریشه افزایش معنی‌داری داشت و بیشترین تعداد ریشه در تیمار ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید مشاهده گردید (Henareh *et al.*, 2001). برای تولید ریشه‌های نابجا در گیاهان، غلظت‌های معینی از مواد تنظیم‌کننده رشد طبیعی به ویژه اکسین در گیاهان ضروری است (Agvan *et al.*, 2018). تشکیل ریشه‌های نابجا در اندام‌های گیاهی در سه مرحله القا، شروع و توسعه انجام می‌شود که در هر مرحله تغییرات خاصی در بافت‌های ساقه به وقوع می‌پیوندد تا در نهایت ریشه‌های نابجا تشکیل و ظاهر شوند.

در هر سه مرحله اکسین دخالت و باعث گسترش این ریشه‌ها می‌شود (Guan *et al*., 2019).

جدول ۳- اثر ایندول-۳-بوتیریک اسید بر میانگین صفات مورد بررسی در قلمه‌های فلفل
Table 4. Effect of indole butyric acid on investigated traits in pepper cuttings

اسید ایندول بوتیریک IBA (ppm)	تعداد ریشه در قلمه Roots/cutting	طول بزرگترین ریشه در قلمه Length of largest root/cutting (cm)	طول مجموع ریشه در قلمه Total root length/cutting (cm)
1500	7.5^{a}	6.6^{a}	31^{a}
1000	7.9^{a}	5.9^{ab}	34.5^{a}
0	5^{b}	4.6^{b}	19.3^{b}

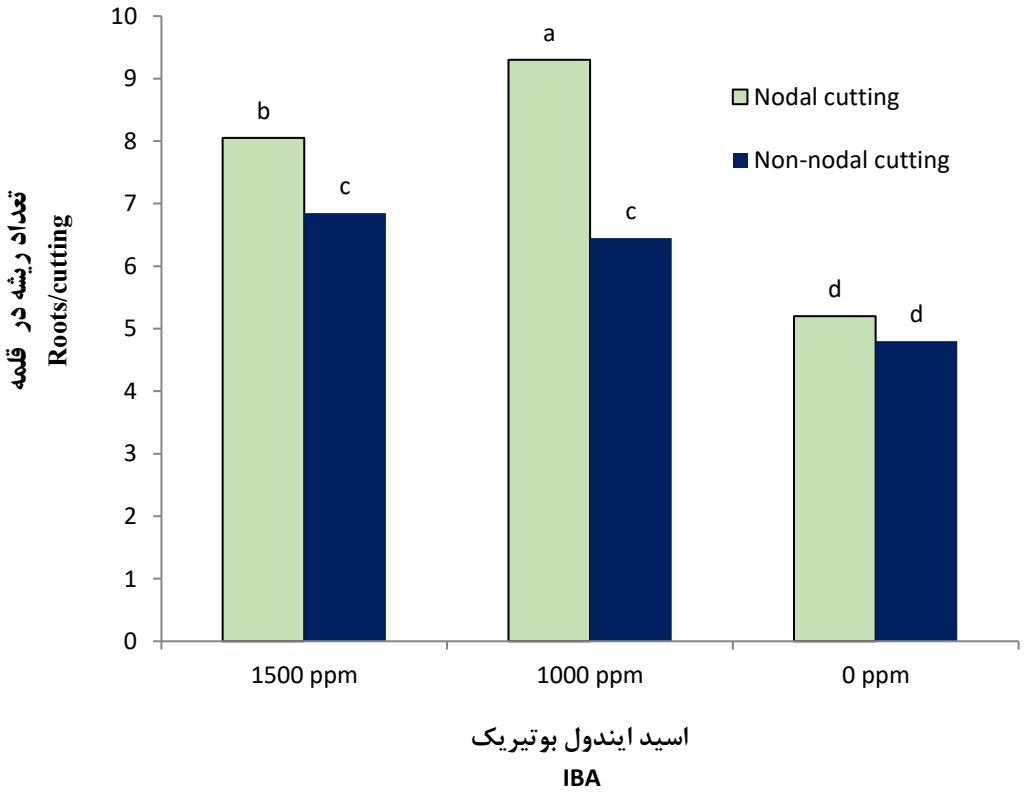
در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.
In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's test.

شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید بر ریشه‌زایی قلمه‌های فلفل یک ماه بعد از کشت در بستر ریشه-زایی
Figure 2- Effect of different doses of indole-3-butyric acid on rooting pepper cuttings one month after planting in rooting medium

اثر توام نوع قلمه و غلظت ایندول-۳-بوتیریک اسید فقط بر تعداد ریشه نابجا تولید شده در قلمه معنی‌دار بود و بر دو صفت دیگر ریشه‌زایی اثر معنی‌داری نداشت. تعداد ریشه‌های نابجا در هر دو نوع قلمه گره‌دار و بدون گره در تیمار بدون هورمون اختلاف معنی‌داری با هم نداشت (شکل ۳). در هر دو تیمار هورمونی تعداد ریشه-های تولید شده در قلمه گره‌دار نسبت به قلمه بدون گره بطور معنی‌داری افزایش یافت. در قلمه بدون گره اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار هورمونی مشاهده نشد ولی در قلمه گره‌دار تعداد ریشه نابجای تولید شده در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک

اسید افزایش معنی‌داری نسبت به غلظت ۱۵۰۰ میلی-گرم در لیتر داشت.

در بین ترکیبات تیماری، بیشترین تعداد ریشه تولید شده در قلمه با میانگین ۹/۵ عدد در قلمه گره‌دار با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر هورمون ثبت گردید. علت اینکه در قلمه گره‌دار غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید نسبت به غلظت ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر این هورمون تعداد ریشه را افزایش داده است را می‌توان به این شکل توجیه نمود که با توجه به اینکه در محل گره، بصورت طبیعی اکسین بیشتری وجود دارد و از طرف دیگر ثابت شده است مواد تنظیم-کننده رشد گیاهی مانند اکسین‌ها دارای منحنی غلظت پاسخ زنگوله‌ای هستند و در استفاده از غلظت‌های بیشتر از حد به صورت بازدارنده عمل می‌کنند. بنابراین، غلظت‌های مورد استفاده باید به اندازه‌ای باشند که تأثیر بازدارنده بر قلمه‌های تحت تیمار نداشته باشند (Henareh *et al.*, 2022). در بعضی مطالعات دیگر نیز این موضوع به اثبات رسیده است. در آزمایشی انتهای قلمه‌های خشبی گلابی رقم Limeira در محلول‌های هورمونی ۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید به مدت ۱۰ ثانیه قرار گرفتند. ۴۲ روز بعد از کاشت قلمه‌ها بهترین درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها از تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (Veiga *et al*. 2007).



شکل ۳- تأثیر نوع قلمه و ایندول-۳-بوتیریک اسید بر تعداد ریشه در قلمه‌های فلفل

Figure 3- Effect of cutting type and indole-3-butyric acid on the number of pepper cuttings

نتیجه‌گیری کلی

هر چند فلفل گیاهی علفی بوده ولی در مقایسه با گیاهان علفی دیگر مانند خیار و گوجه‌فرنگی دارای قلمه سخت ریشه‌زا بوده و مدت زمان طولانی‌تر، حدود یک ماه بعد از کشت در بستر، ریشه‌های نابجا به اندازه کافی تولید می‌شوند. پاسخ دو رقم به ریشه‌زایی یکسان نبود و تعداد ریشه نابجای تولید شده در قلمه رقم ۷۱۴۱ افزایش معنی‌داری نسبت به قلمه رقم ۱۲۰۴ داشت. قلمه گره‌دار از ریشه‌زایی بهتری نسبت به قلمه بدون گره برخوردار بود. هورمون ایندول-۳-بوتیریک اسید نسبت به تیمار بدون هورمون، تأثیر مثبتی در افزایش تعداد ریشه و طول مجموع ریشه در قلمه داشت. در شاخص‌های ریشه‌زایی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون مشاهده نشد.

Referneces

Agvan, F., Basirim, R., Etemad, V. & Ghasempour, Gh. (2018). Effect of cutting time, cutting length and hormone on rooting and germination of *Vitex pseudo-negundo* (Hausskn.) Hand-Mzt. Cuttings. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 26(1): 36-47. (In Persian). https://doi.org/10.22092/IJFPR.2018.116139

Attarzadeh, M., Aboutalebi, A. & Attarzadeh, M. (2016). Effect of different hormonal treatments and rooting-cofactors on rooting of olive cultivars (Fishomi and Shiraz). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 25(7): 49-57. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.1.49

Bandara, K. G. R. D. P., Fonseka, H. H., Devasinghe, D. A. U. D. & Abhayapala, K. M. R. D. (2019). Stem cuttings of different maturity classes of tomato: A viable option for seedlings. *Sri Lankan Journal of Agriculture and Ecosystems*, 1(1): 16-22.

Druege, U., Hilo, A., Pérez-Pérez, J. M., Klopotek. Y., Acosta, M., Shahinnia, F., Zerche, S., Franken, P., & Hajirezaei, M. R. (2019). Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation. Annals of Botany, 123: 929-949. https://doi.org/10.1093/aob/mcy234

FAOSTATE. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/site/

Feher, T. (1978). Possibilities of cucumber propagation by cuttings. *Keteszeti Egyetem Kozlemeyei*, 42(10): 55-62.

Guan, L., Tayengwa, R., Cheng, Z., Peer, W. A., Murphy, A. S. & Zhao, M. (2019). Auxin regulates adventitious root formation in tomato cuttings. *BMC Plant Biology*, 19:435, 1-16. https://doi.org/10.1186/s12870-019-2002-9

Henareh, M., Masiha, S., Nazemieh, A., Valizadeh, M. & Hasani, G. (2001). Study on the possibility of propagation of greenhouse cucumber (c.v. Ruba) by cutting and effect of hormone treatments. *Seed and Plant Journal*, 17(2): 116-125. (In Persian). https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110861

Henareh, M., Naghi Padasht, M. & Bozari, N. (2022). Effects of IBA hormone concentrations and cutting type on rooting abilities in some pear species cuttings. *Pomology Research*, 6(2): 26-36. (In Persian). https://doi.org/10.30466/RIP.2022.52956.1128

Jayashankar, S. (1998). Comparison of different in vitro regeneration and genetic transformation strategies for chilli pepper (*Capsicum annuum* L.). Ph.D. Thesis, New Mexico State University, USA.

Kaur, S. (2017). Evaluation of different doses of indole-3-butyric acid (IBA) on the rooting, survival and vegetative growth performance of hardwood cuttings of Flordaguard peach (Prunus persica L. Batch). *Journal of Applied and Natural Science*, 9(1): 173-180. https://doi.org/10.31018/jans.v9i1.1167

Kaushik, S. & Shukla, N. (2020). A review on effect of IBA and NAA and their combination on the rooting of stem cuttings of different ornamental crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3): 1881-1885. https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i3x.11517

Kaviani, B., Safari Motlagh, M. R., Hasankhah, A. & Eslami A. (2023). The effect of different levels of indole-3-butyric acid and naphthaleneacetic acid on the rooting of Olea europaea cv. Mari shoot cutting. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 71(18): 125-137. (In Persian). https://doi.org/10.30495/iper.2022.1929388.1700

Mirjalili S. A. & Sourati, R. (2023). Type and duration of rooting materials on the rate of rooting and establishment of hardwood cuttings in leafy mulberries. *Horticultural Science Research Journal*, 2(1): 305-316. (In Persian). https://doi.org/10.22092/RHSJ.2023.361287.1048

Moosavi, S. F., Haghighi, M. & Parnianifard, F. (2023). Effect of fruit pruning on qualitative and performance indices of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1): 61-79. (In Persian). https://doi.org/10.22034/IUVS.2022.562380.1234

Nazari, F. & Rahimi, E. (2018). Rooting and shoot growth of soft-wood cutting of rubber fig (*Ficus elastica Roxb*. ex Hornem) in response to indole butyric acid and paclobutrazol. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), 31(4), 972-982. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.4.18.0

Nemat Farahzadi, H., Arbabian, S., Majd A., & Tajadod, G. (2019). The effect of different concentrations of zinc nitrate on anatomical structure on *Capsicum annuum* L. var California Wonder. *Journal of Developmental Biology*, 11(2), 9-22. (In Persian)

Otroshy, M. & Moradi, K. (2014). Investigation of callus and organogenesis of indirect plant (*Capsicum annuum* L.) under tissue culture condition. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), 27(3), 346-355. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23832592.1393.27.3.2.4

Pop, T.I., Pamfil, D. & Bellini, C. (2011). Auxin control in the formation of adventitious roots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1): 307-316. https://doi.org/10.15835/nbha3916101

Sharma, V. & Ray, V. K. (1993). Rooting of *Cucumis sativus* L. hypocotyl cutting to IBA and vitamins. *Indian Journal of Plant Physiology*, 35 (2): 134-136.

Sibgol, Kh. & Salari, A. (2008). Propagation of greenhouse tomato Falcato cultivar by cuttings. The First National Congress on Tomato Production and Processing Technology. 12-13 Feb., Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran. (In Persian)

Sibgol, Kh. (2020). Propagation of greenhouse tomatoes by cuttings. *Greenhouse vegetables*, 3(2), 7-12. (In Persian)

Tabatabe, S. H., Mardaninejad, S. & Zare Abyane, H. (2014). Effects of water stress on growth indices, yield, and water use efficiency of pepper plant in greenhouse condition. *Journal of Water Research in Agriculture*. 28(1), 63-71. (In Persian).

https://doi.org/10.22092/JWRA.2015.101165

Veiga, R. F. A. (2007). Rooting of hardwood cuttings of pear tree with IBA under B.O.D chamber and greenhouse environment. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3): 589-594. https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300033