

Effects of transplants age and tray cell size on growth of chickpeas

Mohammad Khajeh-Hosseini^{1*}, Ahmad Nezami¹, Farnoush Fallahpour¹, Sajedeh Sadat Hosseini-Hodk¹

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

agr844@gmail.com

Introduction

Given the ongoing challenges of climate change and the increasing of shortages in water resources, there is an urgent need to reconsider conventional cropping systems. Promoting the cultivation of drought-tolerant and low water-requiring crops such as legumes can substantially contribute to agricultural sustainability and food security. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a major legume adapted to arid and semi-arid regions, playing a vital role in improving soil fertility through biological nitrogen fixation. It is cultivated on approximately 17 million hectares worldwide. In Iran, although a large area is dedicated to chickpea cultivation, the average yield accounts for only about 30% of its potential capacity. Factors such as inadequate agronomic management, drought, high temperatures, and severe damage from pests and diseases—especially during early growth stages—are considered the main causes of low yield. Direct seeding, which has long been the conventional method of chickpea establishment, often leads to poor and nonuniform seedling emergence under water-limited and harsh environmental conditions. In this context, transplanting represents a novel and promising approach to overcome these constraints by improving seedling establishment, optimizing water use, and enhancing tolerance to biotic and abiotic stresses. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of seedling age and tray cell size on transplanting growth traits to identify effective strategies for improving transplant production and addressing challenges associated with water scarcity.

Materials and Methods

The experiment was conducted in February 2024 in the Research Greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, using a completely randomized design (CRD) with four replications. The treatments included two factors: transplanting age at three levels (4, 6, and 8 weeks) and tray cell size at three different volumes (24, 38 and 60 cm³). Chickpea seeds (cv. MCC770), obtained from the Faculty's Research Farm, were sown in trays filled with a cocopeat–perlite substrate (7:3, v/v). To produce transplants of different ages, sowing was repeated at 2- and 4-week intervals following the initial planting. Transplants were grown under greenhouse conditions at 17–23 °C with daily irrigation throughout the growth period. Nutrient application was carried out two weeks after sowing, at the two- to three-leaf stage, using a complete NPK nutrient solution (0.2%). Eight weeks after sowing, emergence percentages, leaf area, shoot and root dry weight, root surface area, and root length were measured. Prior to analysis, data were

examined for normality and homogeneity of variances. Statistical analysis was performed using Minitab software (version 20), and means were compared using the LSD test.

Results and Discussion

The interaction between transplanting age and tray cell size was significant for all measured traits. In general, the highest leaf area and shoot dry weight were observed in 8 weeks transplants, whereas in the 4 weeks exhibited the greatest root surface area and root length. Increasing transplanting age markedly reduced the emergence percentages. However, 8 weeks transplants exhibited greater leaf area and shoot dry weight than 4 weeks transplants. This pattern indicates that spatial constraints during the nursery stage induced mild stress conditions, stimulating a compensatory growth response characterized by enhanced leaf expansion to improve post-transplant establishment. Negative correlations between emergence percentages and both leaf area and shoot dry weight further confirmed this interpretation, suggesting that reduced transplants density allowed greater access to growth space and consequently promoted shoot biomass accumulation. Correlation analysis revealed significant positive relationships among root dry weight, shoot dry weight, and leaf area, underscoring the pivotal role of root development in sustaining aboveground growth. Additionally, root surface area showed a positive correlation with emergence percentages, likely reflecting enhanced water absorption capacity in the lightweight and porous substrate. In contrast, its negative associations with leaf area and shoot dry weight suggest a shift in dry matter allocation toward root structures under spatial or resource limitations. Overall, these results highlight the necessity of maintaining a balanced root–shoot relationship to ensure vigorous chickpea seedling growth and successful transplant establishment.

Conclusion

Increasing transplanting age decreased emergence percentages but improved growth traits such as leaf area and shoot dry weight. Cell size also played a crucial role in root development and dry matter distribution among plant organs. Transplanting aged 4 weeks exhibited stronger root systems, with greater root length and surface area, making them more suitable for field transplantation. Overall, optimizing transplanting age and cell volume can enhance chickpea transplants quality by maintaining balanced root–shoot growth, hence a better establishment in the field.

Keywords: Chickpeas Seedling, Dry weight, Growth traits, Transplanting,

بررسی اثر سن نشا و اندازه سلول سینی نشا بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

محمد خواجه حسینی^{۱*}، ساجده السادات حسینی هدک، احمد نظامی، فرنوش فلاح پور

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

agr844@gmail.com

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آبی، ضرورت بازنگری در شیوه‌های کشت محصولات زراعی افزایش یافته است. این پژوهش، با هدف بهینه‌سازی رشد اولیه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تاثیر سن نشا (چهار، شش و هشت هفته‌ای) و حجم سلول سینی نشا (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌متر مکعب) بر شاخص‌های رشدی گیاهچه، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. بذور در سینی‌های نشا در بستری از کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۷ به ۳)، کشت شدند. آبیاری نشاها به صورت روزانه صورت گرفت و دمای گلخانه بین ۱۷ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. پس از گذشت هشت هفته از کشت نشاها در گلخانه، درصد سبز شدن، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری شد. اثر متقابل سن نشا و اندازه‌ی سلول سینی نشا بر همه‌ی صفات مورد نظر معنی‌دار بود. به‌طور کلی بیش‌ترین سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی در نشاهای هشت هفته‌ای مشاهده شد. در حالی که بیش‌ترین سطح و طول ریشه را نشاهای چهار هفته‌ای داشتند. با توجه به این‌که سیستم‌ریشه‌ای قوی پس از انتقال نشاها به زمین در افزایش استقرار تاثیر به سزایی دارد؛ می‌توان اظهار داشت که نشاهای چهار هفته‌ای از نظر سیستم‌ریشه‌ای نسبت به سایر تیمارها از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

واژگان کلیدی: صفات رشدی، گیاهچه نخود، نشاکاری و وزن خشک

مقدمه

افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز به تولید مواد غذایی، پژوهشگران را بر آن داشته که به دنبال روش‌هایی جهت افزایش بهره‌وری از منابع و استفاده حداکثری از آن‌ها باشند. بر اساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی جهانی، تأمین امنیت غذایی تا سال ۲۰۵۰ نیازمند تحول اساسی در نظام‌های کشاورزی و غذایی است که از جمله آن‌ها افزایش بهره‌وری و استفاده پایدار از منابع طبیعی عنوان شده است (FAO, 2023). این در حالی است که هم‌زمان، پدیده‌ی تغییرات اقلیمی در حال گسترش است و کیفیت اراضی کشاورزی به تدریج کاهش می‌یابد (IPCC, 2021; FAO, 2015).

در مناطق گرم و خشک همچون ایران که مقدار آب در دسترس نقش تعیین کننده‌ای در میزان کشت و تولید محصولات زراعی دارد بحران آب به صورت جدی‌تری مطرح می‌شود (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). در چنین شرایطی، توجه به گیاهان با نیازآبی کم نظیر انواع حبوبات می‌تواند نقش مهمی در ارتقای امنیت غذایی ایفا کند. نخود به عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق نیمه‌خشک و خشک جهان شناخته می‌شود. این گیاه علاوه بر ارزش غذایی بالا، با داشتن توانایی تثبیت نیتروژن، می‌تواند در بهبود حاصل‌خیزی خاک و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی مؤثر واقع شود (Jukanti et al., 2012). به علاوه در سال‌های اخیر به ویژه در کشورهای توسعه یافته، آگاهی افراد نسبت به مسائل زیست محیطی سبب کاهش مصرف گوشت قرمز شده است (Bimbo, 2023) و لذا ترکیب مطلوبی از پروتئین، فیبر و مواد معدنی (نظیر آهن و روی) در نخود سبب شده این محصول به منبعی ارزشمند در تغذیه انسان تبدیل شود.

حبوبات به ویژه نخود بعد از غلات سهم چشمگیری در تامین غذای جوامع دارند؛ با توجه به اهمیت این گیاه در بهبود امنیت غذایی توجه به کشت آن در سطح ملی و بین‌المللی افزایش یافته است. نخود در ۴۰ کشور جهان کشت می‌شود و سطح زیر کشت این گیاه ۱۷ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن حدود ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2023). هند با ۷۰ درصد تولید نخود جهان، بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول است (Parsa & Bagheri, 2023). در ایران نیز ۳۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی زیر کشت نخود هستند که بخش زیادی از آن‌ها در استان‌های کرمانشاه، لرستان، کردستان، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، همدان و خراسان رضوی قرار دارند (Statistical Yearbook of Agriculture, 2023). میانگین عملکرد نخود در ایران از متوسط جهانی بسیار پایین‌تر و در حدود ۳۰ درصد از عملکرد قابل حصول می‌باشد (Rahimimoghaddam et al., 2023). از جمله دلایل عملکرد پایین نخود در کشور را می‌توان عدم رعایت اصول زراعی، تاریخ کشت نامناسب، تراکم نامناسب بوته، خسارت آفات و بیماری‌ها به ویژه در ابتدای فصل رشد، وجود دمای بالا و کمبود رطوبت در مراحل حساس رشدی عنوان کرد (Naseri et al., 2015; Amiri Dehahmadi et al., 2011). به علاوه کشت نخود عمدتاً از طریق کشت مستقیم‌بذر صورت می‌گیرد که مشکلاتی همچون سلبندی خاک، عدم یکنواختی سبز شدن در مزرعه، رقابت با علف‌های هرز و احتمال خسارت آفات و بیماری‌های گیاهی را در مراحل اولیه رشدی دارد. همین امر موجبات کاهش عملکرد را فراهم می‌آورد (McVay et al., 2017; Bhargav et al., 2018).

نشاکاری به عنوان راهکاری نوین جهت تسریع استقرار گیاه در بسیاری از گیاهان زراعی در حال جایگزینی با کشت مستقیم می باشد. با این حال میزان موفقیت این روش و تولید نشا با کیفیت به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می توان به انتخاب مناسب سن نشا جهت انتقال به زمین اصلی و خصوصیات سینی نشا اشاره کرد (Ghadamgahi, 2019).

یافتن سن نشا مناسب برای انتقال محصولات زراعی بسیار حائز اهمیت است، به عنوان مثال نشاهای بسیار جوان به طور معمول از قدرت تحمل پایینی در مواجهه با تنش های محیطی برخوردارند، بعلاوه انتقال دیر هنگام به مزرعه نیز می تواند شوک پس از انتقال را افزایش دهد (Halimi, 2020). در نشاهای بسیار مسن، به دلیل افزایش بی رویه رشد ریشی، خطر بروز شوک پس از انتقال به مزرعه افزایش می یابد؛ این امر سبب کاهش قابلیت سازگاری و ریشه دهی پس از نشاکاری می شود. بنابراین، تعیین سن بهینه برای انتقال نشا در هر محصول، عامل تأثیر گذاری در موفقیت تولید می باشد (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). از سوی دیگر، حجم سلول سینی نشا نیز با تأثیر گذاری بر تراکم ریشه، ذخیره سازی مواد مغذی و ظرفیت جذب آب، نقش مهمی در کیفیت و استقرار نشا دارد. به صورت کلی، کشت نشایی می تواند مقاومت گیاهچه ها را در مراحل رشدی حساس اولیه افزایش دهد و از آنجا که گیاهچه های سالم و قوی به زمین اصلی انتقال می یابند؛ بنابراین در کشت نشایی امکان حفظ تراکم مطلوب و حفظ یک نواختی در مقایسه با کشت مستقیم مزرعه وجود دارد و از این طریق به استفاده ی بهینه از منابع کمک شایانی خواهد شد (Haghighikhah et al., 2016). از آنجا که گیاهچه ها در مرحله ی رشدی جلوتری نسبت به علف های هرز قرار دارند، لذا در رقابت با علف های هرز غالباً پیروز هستند.

بیماری های قارچی بیشترین اثر مخرب را بر عملکرد نخود داشته اند. در این میان، بیماری هایی که توسط *Fusarium oxysporum* (پژمردگی فوزاریومی) و *Ascochyta rabiei* (بلایت آسکوشیتایی) ایجاد می شوند، به ترتیب به عنوان رایج ترین بیماری های ریشه ای و برگي شناخته می شوند که موجب آسیب به گیاهچه ی نخود و کاهش شدید عملکرد محصول می گردند (Kulshrestha et al., 2018). علاوه بر این، آفات مختلفی مانند شته ها، زنجرفک ها و تریپس ها نیز می توانند به گیاهچه نخود آسیب رسانده و از رشد مطلوب آن جلوگیری کنند؛ کشت نشایی می تواند سبب افزایش مقاومت گیاهچه نسبت به آفات و بیماری هایی که در مراحل اولیه ی رشد سلامت گیاه را تهدید می کنند، شود. از دیگر مزایای کشت نشایی، انعطاف در تاریخ کشت است که می تواند اثرات تغییر اقلیم را تا حد زیادی تعدیل نماید؛ بدین طریق که امکان کشت را در گستره ی وسیع تری از زمان فراهم می آورد. این روش به خصوص در کشتهای بهاره به مصون ماندن گیاهچه ها از سرمای اول فصل کمک می کند (Manzari Tavakoli et al., 2016). کشت گیاهان به این طریق می تواند در کاهش مصرف نهاده ها به صورت چشمگیری اثر گذار باشد (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016). تنش خشکی در مراحل اولیه ی جوانه زنی سبب کاهش درصد جوانه زنی و هدر رفت بذر به عنوان یکی از اصلی ترین نهاده های کشاورزی

می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که کشت‌بذرها در بستر محدود سینی‌های نشا علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی و استفاده‌ی بهینه از فضا، به فراهم آوردن شرایط بهتر جهت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مراحل اولیه از طریق تحریک تولید ریشه (به ویژه ریشه های موئین) کمک می‌کند (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016).

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات چندانی در رابطه با کشت‌نشایی‌نخود انجام نشده است، این پژوهش به منظور بررسی اثرات سن‌نشا و حجم سلول سینی‌نشا بر خصوصیات رشدی گیاهچه‌نخود انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو عامل سن‌نشا در سه سطح (۴، ۶ و ۸ هفته) و اندازه‌ی سلول سینی‌نشا در سه حجم (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌متر مکعب) بودند. سینی‌های استفاده‌شده برای تولید نشات‌پوی از نوع یک‌بار مصرف انتخاب شدند. بذر نخود کابلی (MCC770) از مزرعه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه‌گردید؛ این ژنوتیپ با وزن هزاردانه بالا و متحمل بودن نسبت به سرما که متناسب با شرایط آب‌وهوایی مشهد است. بذرهای تهیه‌شده در تیرماه ۱۴۰۲ از مزرعه برداشت و تا زمان کشت در یخچال نگهداری شدند. در آزمایشگاه ابتدا تست جوانه‌زنی روی بذرهای انجام شد (۹۸ درصد جوانه زنی) و درصد گیاهچه‌های نرمال نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (۸۲ درصد گیاهچه نرمال). همچنین بنیه‌ی بذرهای تهیه‌شده به روش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد ($29 \mu\text{S}/\text{cm.g}$). آزمایش‌های انجام‌شده روی بذور منبع به‌منظور کنترل کیفی بذر، مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA, 2023) انجام شد.

تولید نشا در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در هفدهم بهمن ماه سال ۱۴۰۲ آغاز شد. جهت تهیه بستر نشا، مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۷ به ۳ تهیه و به‌صورت یکنواخت در سینی‌های نشا توزیع شد. بذرهای فاصله‌های زمانی دو هفته در سینی‌های نشا در گلخانه (دمای 20 ± 3 در روز و 17 ± 3 در شب) با شرایط نور طبیعی و رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد کشت شدند تا در نهایت سه‌سن نشاهشت، شش و چهار هفته‌ای (گیاهان به ترتیب در مراحل رشدی حدوداً هشت، شش و چهار برگی بودند) حاصل‌گردید. در طی این مدت آبیاری در صورت نیاز انجام شد. علاوه بر این تغذیه‌ی نشاها دو هفته بعد از کشت (زمانی که دو تا سه برگی بودند) با استفاده از محلول کامل NPK با غلظت ۰/۲ درصد (دو گرم در یک لیتر آب) انجام شد (Jat et al., 2023).

به منظور تعیین درصد سبز تعداد بذرهای سبز شده به صورت روزانه تا زمان ثابت شدن شمارش و در پایان به صورت درصد محاسبه شد. پس از گذشت هشت هفته از کشت‌اولین نشاها در گلخانه از هرتیمار چهار نمونه به صورت تصادفی برداشت و صفاتی نظیر سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری سطح برگ و سطح ریشه‌ی

نشاها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ (Leaf Area Measurement System) انجام شد، سپس بخش‌هایی از ریشه جدا شد و هر دو بخش‌هایی و ریشه به طور مجزا در پاکت‌های کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت؛ سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم، وزن خشک نمونه‌ها مشخص شد. همچنین طول ریشه به وسیله‌ی خط‌کش اندازه‌گیری شد.

نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها پیش از تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفت. جهت تجزیه‌ی صفاتی که به صورت درصد بودند، از تبدیل زاویه‌ای استفاده شد. سپس تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab (نسخه ۲۰) انجام گرفت. مقایسه‌ی میانگین‌ها نیز به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت؛ برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD حافظت‌شده (Protected LSD) استفاده شد. این آزمون زمانی بکار می‌رود که اثر یک منبع تغییر (اثر اصلی یا اثر متقابل) در جدول تجزیه واریانس بر اساس آزمون F حتماً معنی‌دار باشد. در این تحقیق نیز آزمون LSD صرفاً بر روی منابع تغییراتی انجام شد که آزمون F معنی‌دار بودن آن‌ها را تایید کرده بود.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن نشاها

اثر متقابل اندازه‌ی سلول‌سینی‌نشا و سن‌نشا بر درصد سبز شدن نشاها در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن‌نشا از چهار به شش هفته، درصد سبز شدن در سلول‌های متوسط و بزرگ به ترتیب ۳۳ و ۳۷ درصد کاهش یافت. این تغییر در سلول‌های کوچک معنی‌دار نبود (جدول ۲). با افزایش سن تا هشت هفته، درصد سبز شدن در سلول‌های کوچک و متوسط به ترتیب ۷۰ و ۵۶ درصد کاهش یافت. در سلول‌های بزرگ تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. در نشاهای چهار هفته‌ای، اندازه سلول اثری بر درصد سبز شدن نداشت. در نشاهای شش هفته‌ای نیز افزایش اندازه‌ی سلول از کوچک به متوسط بی‌اثر بود، اما افزایش از کوچک به بزرگ باعث کاهش ۳۴ درصدی درصد سبز شدن شد. در نشاهای هشت هفته‌ای، تغییر از کوچک به متوسط معنی‌دار نبود، ولی افزایش به بزرگ موجب افزایش بیش از ۲۵ برابری درصد سبز شدن شد. به طور کلی، بیشترین درصد سبز شدن در نشاهای چهار هفته‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد

¹ Leaf Area measurement system, Conveyor belt unit; DELTA-T Devices Ltd., Cambridge, England

زمان کاشت عامل مؤثری بوده است. نزدیکی به بهار و افزایش طول روز احتمالاً شرایط مناسب‌تری برای سبز شدن نشاها فراهم

کرده است (Zhou & He, 2020; Dove, 2010).

جدول ۱- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات صفات رشدی گیاهچه‌ی نخود تحت تاثیر سن نشا، اندازه سلول سینی نشا.

Table 1- Sources of variation, degrees of freedom and mean square of growth traits of chickpeas seedlings affected by transplants age and tray cell size.

میانگین مربعات							
Mean of squares							
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد سبز شدن	سطح برگ	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	سطح ریشه	طول ریشه
SOV	df	Emergence	Leaf area	Areal dry weigh	Root dry weight	Root area	Root length
اندازه‌ی سلول سینی	2	4453**	1.61 ^{ns}	0.10 **	0.006 **	348**	15.42 **
Tray Cell Size							
سن نشا	2	61.9 ^{ns}	528 **	0.61 **	0.069 **	1161**	15.00 **
Transplant Age							
اندازه‌ی سلول × سن نشا	4	1310**	104 **	0.03 **	0.016 **	310**	23.93 **
Cell Size × Transplant Age							
خطا	27	181	1.12	0.001	0.00018	2.91	0.12
Error (Residual)							

^{ns} و ^{**}: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطوح یک و پنج درصد و غیر معنی دار.

جدول ۲- اثر سن نشا و اندازه سلول بر درصد سبز شدن گیاهچه های نخود.

Table2 – Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas emergence (%).

	سن نشاء(هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
سایز سلول			
Cell size			
کوچک	86.7 ^a	71.3 ^{ab}	25.9 ^d
Small			
متوسط	83.8 ^a	55.4 ^{bc}	36.6 ^{cd}
Medium			
بزرگ	74.5 ^{ab}	47.0 ^c	68.0 ^{ab}
Large			

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی دار آماری هستند.

سطح برگ: اثر متقابل سن نشا و اندازه ی سلول سینی نشا بر سطح برگ معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشا از چهار به هشت هفته، سطح برگ افزایش یافت. این افزایش در سلول های کوچک و بزرگ به ترتیب ۵۳ و ۴۲ درصد بود. در سلول های متوسط، سطح برگ حدود سه برابر شد (جدول ۳). اثر اندازه ی سلول در سنین مختلف یکسان نبود. در نشاهای چهار و هشت هفته ای، افزایش اندازه ی سلول از کوچک به بزرگ به ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۱۴ درصدی سطح برگ شد. در نشاهای شش هفته ای، این روند معکوس بود و سطح برگ ۳۲ درصد کاهش یافت. در مجموع، افزایش اندازه ی سلول در سنین چهار و هشت هفته با افزایش سطح برگ همراه بود، اما در سن شش هفته کاهش مشاهده شد. نتایج Halimi (2019) نیز نشان داد که افزایش حجم سلول می تواند سطح برگ را کاهش دهد.

بین سطح برگ و درصد سبزشدن، همبستگی منفی و معنی دار وجود داشت (جدول ۸). کاهش سبزشدن باعث کاهش تراکم و افزایش فضای رشد شد. در نتیجه، سطح برگ افزایش یافت. همچنین، رشد اولیه در فضای محدود سینی می تواند نوعی تنش ایجاد کند. گیاه احتمالاً با افزایش سطح برگ به این شرایط پاسخ داده است. در نشاهای هشت هفته ای، طول دوره رشد بیش تر و درصد سبزشدن کم تر بود. بنابراین، گیاه فرصت بیش تری برای افزایش سطح برگ داشت. این افزایش می تواند نوعی پاسخ جبرانی به تنش باشد (Salehi et al., 2018).

جدول ۳- اثر سن نشاء و اندازه سلول بر سطح برگ نخود (سانتی مترمربع).

Table3 – Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas leaf area (cm²).

	سن نشاء (هفته) Transplantig age(week)		
	4	6	8
سایز سلول			
Cell size			
کوچک	4.19 ^e	6.48 ^c	6.43 ^c
Small			
متوسط	3.06 ^f	5.06 ^d	8.44 ^a
Medium			
بزرگ	5.19 ^d	4.37 ^e	7.39 ^b
Large			

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی دار آماری هستند.

وزن خشک بخش هوایی: اثر متقابل سن نشاء و اندازه ی سلول سینی نشاء بر وزن خشک بخش هوایی معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش سن از چهار به هشت هفته، وزن خشک در سلول های کوچک و بزرگ ۷۰ درصد افزایش یافت. در سلول های متوسط، این افزایش بیش از دو برابر بود (جدول ۴). افزایش اندازه ی سلول از کوچک به بزرگ در نشاهای چهار و هشت هفته ای، وزن خشک بخش هوایی را ۳۸ درصد افزایش داد. در سن شش هفته، این اثر معنی دار نبود. این نتایج با یافته های (Salari et al., 2022) در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) همخوانی دارد. آن ها نیز گزارش کردند که افزایش حجم سلول از ۱۵ به ۲۲ سانتی مترمکعب، وزن خشک بخش هوایی را ۲۳ درصد افزایش داد.

بررسی همبستگی‌ها نشان داد که وزن خشک بخش‌های هوایی با درصد سبز شدن رابطه‌ی منفی و معنی‌دار، و با سطح برگ رابطه‌ی مثبت و معنی‌دار دارد (جدول ۸). با توجه به رابطه‌ی منفی بین درصد سبز شدن و سطح برگ، منفی بودن همبستگی بین وزن خشک و درصد سبز شدن قابل انتظار است؛ زیرا افزایش سطح برگ معمولاً منجر به انباشت بیشتر ماده‌ی خشک در بخش‌های هوایی می‌شود. به نظر می‌رسد که کاهش درصد سبز شدن موجب کاهش تراکم و افزایش فضای در دسترس برای هرنشا می‌شود و این شرایط، توسعه‌ی سطح برگ و در نتیجه افزایش وزن خشک بخش‌های هوایی را تسهیل می‌کند. این الگوی تخصیصی با گزارش‌های پیشین در گونه‌های مختلف زراعی (نخود، جو، گوجه‌فرنگی و خیار) همخوانی دارد (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergun et al., 2024). از نظر فیزیولوژیک، این یافته‌ها را می‌توان در چارچوب تغییر نسبت ریشه به شاخه تحت محدودیت‌های محیطی تفسیر کرد؛ به گونه‌ای که در شرایط کاهش تراکم و بهبود دسترسی به منابع، گیاه مواد بیش‌تری به اندام‌های هوایی اختصاص می‌دهد و این امر همبستگی مثبت سطح برگ-وزن خشک و همبستگی منفی درصد سبز شدن-وزن خشک را توجیه می‌کند (Husáková et al., 2018).

جدول ۴- اثر اندازه‌ی سن نشا و سایز سلول بر وزن خشک بخش‌های هوایی نخود (میلی گرم).

Table 4 – Effect of transplants age and tray cell size on Chickpeas Shoot dry weight (mg).

	سن نشا (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
سایز سلول Cell size			
کوچک Small	0.123 ^e	0.172 ^d	0.210 ^c
متوسط Medium	0.109 ^f	0.170 ^d	0.236 ^b
بزرگ Large	0.170 ^d	0.173 ^d	0.290 ^a

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌دار آماری هستند.

وزن خشک ریشه: اثر متقابل اندازه‌ی سلول سینی نشا و سن نشا بر درصد سبز شدن نشاها در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشا از چهار به هشت هفته، وزن خشک ریشه افزایش یافت. این افزایش در سلول‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۲۵ و ۸۱

درصد بود. در سلول‌های متوسط، وزن خشک ریشه حدود دو برابر شد (جدول ۵). در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، افزایش اندازه‌ی سلول از کوچک به بزرگ به ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۶۰ درصدی وزن خشک ریشه شد. در نشاهای شش هفته‌ای، افزایش اندازه‌ی سلول از متوسط به بزرگ موجب کاهش ۲۰ درصدی وزن خشک ریشه شد (جدول ۵).

در هندوانه نیز با افزایش حجم سلول سینی نشا از ۵۰ سانتی مترمکعب به ۶۰ سانتی مترمکعب وزن خشک ریشه افزایش یافت (Halimi, 2019). مطالعه روابط بین صفات نشاها نشان داد که وزن خشک ریشه، وزن خشک بخش هوایی و سطح برگ رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری بایکدیگر دارند (جدول ۸). بنابراین احتمالاً ریشه‌های قوی سبب توسعه‌ی بهتر بخش هوایی و افزایش سطح برگ نشاها شده اند. نتایج حاصل از دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داد که بین صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک بخش هوایی و سطح برگ همبستگی معنی‌داری وجود دارد؛ این مطلب مؤید آن است که توسعه‌ی ریشه و اندام هوایی در مرحله‌ی نشا اغلب به صورت هماهنگ و تحت تأثیر عواملی مانند فضای در دسترس قرار دارند (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergunet al., 2024; Chen et al., 2025). از نظر فیزیولوژیک نیز بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، فتوسنتز و گسترش برگ را تقویت کرده و در نهایت وزن خشک بخش هوایی را افزایش می‌دهد (Poorter et al., 2012).

جدول ۵- اثر اندازه‌ی سن نشا و سایز سلول بر وزن خشک ریشه نخود (میلی گرم).

Table 5 – Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas root dry weight (mg).

	سن نشا (هفته)		
	Transplants age (week)		
	4	6	8
سایز سلول			
Cell size			
کوچک	0.055 ^f	0.080 ^c	0.069 ^d
Small			
متوسط	0.041 ^g	0.083 ^c	0.090 ^b
Medium			
بزرگ	0.061 ^e	0.066 ^d	0.111 ^a
Large			

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌دار آماری هستند.

سطح ریشه: اثر متقابل سن نشا و اندازه‌ی سلول سینی نشا بر سطح ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشا از چهار به هشت هفته، در سلول‌های کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۲۵، ۶۰ و ۴۰ درصد از سطح ریشه کاسته شد (جدول ۶). در سن چهار هفته، با افزایش اندازه‌ی سلول از کوچک به بزرگ، سطح ریشه بیش از ۱/۵ برابر افزایش یافت. در نشاهای شش هفته‌ای، همین تغییر اندازه‌ی سلول موجب کاهش ۱۳ درصدی سطح ریشه شد. در سن هشت هفته‌ای نیز افزایش اندازه‌ی سلول از کوچک به بزرگ، سطح ریشه را ۴۱ درصد افزایش داد (جدول ۶).

در مطالعه‌ی حاضر، با افزایش حجم سلول سینی نشا، سطح ریشه افزایش یافت که با گزارش‌های مشابه در هندوانه هم‌سو است (Halimi, 2017). بررسی همبستگی‌ها نشان داد که سطح ریشه با درصد سبز شدن رابطه‌ی مثبت و معنی‌دار دارد؛ در حالی که، سطح ریشه با سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی همبستگی منفی و معنی‌دار دارد (جدول ۸). با توجه به این که رطوبت قابل دسترس در ناحیه‌ی بذر و ریشه گیاه در بسترهای سبک و متخلخل همانند کوکوپیت-پرلیت، به عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بر سبز شدن نشا مطرح است؛ هر فرایند مورفولوژیکی مثل افزایش سطح ریشه که بتواند جذب آب را افزایش دهد، سبب افزایش درصد سبز شدن و یکنواختی بیش تر آن خواهد شد (Lamichhane et al., 2023). در مطالعه‌ی بر روی گیاه سویا مشخص شد که دسترسی به رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی جوانه‌زنی و سبز شدن می باشد و کمبود رطوبت، سبب کاهش سبز شدن و استقرار گیاه شد. بنابراین همبستگی مثبت سطح ریشه-درصد سبز شدن در پژوهش ما را می‌توان به بهبود دسترسی به آب ناشی از توسعه‌ی سطح ریشه نسبت داد (Lamichhane et al., 2023). به نظر می‌رسد که وجود رابطه‌ی منفی بین سطح ریشه و سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی احتمالاً به علت محدودیت فضا و منابع (به ویژه آب) است؛ در شرایطی که این محدودیت‌ها وجود دارد، گیاه ترجیح می‌دهد ماده خشک بیش تری به ریشه اختصاص دهد تا از این طریق توان جذب منابع را حفظ کند و همین امر به کاهش نسبی رشد بخش هوایی منجر می‌شود (Husáková et al., 2018).

جدول ۶- اثر اندازه ی سن نشا و سایز سلول بر سطح ریشه نخود (سانتی مترمربع)

Table 6 – Effect of transplants age and tray cell size on Chickpeas root area (cm²).

	سن نشا (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
سایز سلول			
Cell size			
کوچک	33.2 ^d	38.9 ^c	24.6 ^e
Small			
متوسط	44 ^b	39.5 ^c	17.4 ^f
Medium			
بزرگ	58.2 ^a	33.7 ^d	34.7 ^d
Large			

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی دار آماری هستند.

طول ریشه: اثر متقابل سن نشا و اندازه ی سلول سینی نشا بر طول ریشه معنی دار بود (جدول ۱). در سلول های کوچک، با افزایش سن از چهار به هشت هفته، طول ریشه ۳۸ درصد افزایش یافت. در سلول های متوسط، افزایش سن از چهار به شش هفته با افزایش ۱۷ درصدی طول ریشه همراه بود؛ اما با افزایش سن از شش به هشت هفته، طول ریشه ۴۱ درصد کاهش یافت. در سلول های بزرگ، افزایش سن از چهار به شش هفته منجر به کاهش ۵۳ درصدی طول ریشه شد. به طور متوسط، با افزایش سن نشا در همه ی اندازه های سلول، کاهش طول ریشه مشاهده گردید. با افزایش اندازه ی سلول از کوچک به بزرگ در سن چهار هفته ای، طول ریشه ۵۰ درصد افزایش یافت. در سن شش هفته ای، افزایش اندازه ی سلول از کوچک به متوسط، طول ریشه را ۸۰ درصد افزایش داد؛ در حالی که افزایش اندازه از

متوسط به بزرگ، طول ریشه را ۱۳ درصد کاهش داد. در سن هشت هفته‌ای نیز افزایش اندازه‌ی سلول از کوچک به بزرگ، طول ریشه را ۳۱ درصد کاهش داد. به طور کلی، افزایش حجم سلول سبب افزایش طول ریشه شد (جدول ۵).

یافته‌های ما نشان داد که با افزایش سن نشا، توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای تحت تأثیر اندازه‌ی سلول سینی قرار می‌گیرد و این الگو با گزارش‌های مشابه در ذرت شیرین (*Zea mays*) هم‌سو است که در آن افزایش حجم سلول سینی نشا به توسعه‌ی بهتر سیستم ریشه‌ای و افزایش طول ریشه منجر شد (Monazeri Tavakoli, 2015). در مطالعه‌ی حاضر، روابط همبستگی بین صفات نشاها نشان داد که بین طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه رابطه‌ی منفی و معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸)؛ این الگو احتمالاً بازتاب تغییر استراتژی تخصیص ماده‌ی خشک تحت محدودیت منابع (به‌ویژه آب و فضای در دسترس برای توسعه‌ی ریشه) است، به گونه‌ای که گیاه در شرایط محدودیت ماده‌ی خشک بیش‌تری به ریشه اختصاص می‌دهد تا توان جذب منابع را حفظ کند و این امر به کاهش نسبی رشد بخش هوایی منجر می‌شود (Poorter et al., 2012). چنین روابطی در سایر پژوهش‌ها نیز مشاهده شده است و همبستگی‌های معنی‌دار بین طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه در گونه‌های مختلف زراعی گزارش گردیده که نشان‌دهنده‌ی یک الگوی کلی در تخصیص مواد بین اندام‌های زیرزمینی و هوایی است (Ergunet et al., 2024; Chaiyarak et al., 2025). در مجموع، داده‌های ما تأیید می‌کند که اندازه‌ی سلول سینی نشا و سن نشا به صورت تعاملی بر معماری ریشه و الگوی تخصیص ماده‌ی خشک اثر می‌گذارند و این یافته‌ها با شواهد اخیر در ذرت و سایر گیاهان زراعی هم‌خوانی دارد که در آن‌ها تغییر نسبت ریشه به شاخه، به عنوان پاسخ کلیدی به محدودیت‌های محیطی محسوب می‌شود (Poorter et al., 2012; Monazeri Tavakoli, 2015).

جدول ۷- اثر اندازه ی سن نشا و سایز سلول بر طول ریشه نخود (سانتی متر)

Table7 – Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas root length (cm).

	سن نشا (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
سایز سلول			
Cell size			
کوچک	1.41 ^e	1.33 ^e	1.96 ^d
Small			
متوسط	2.05 ^{cd}	2.41 ^b	1.41 ^e
Medium			
بزرگ	2.91 ^a	2.10 ^c	1.35 ^e
Large			

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک نیستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی دار آماری هستند.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات نشاء ها در گلخانه.

Table 8- Correlation coefficients among chickpeas transplants traits in the greenhouse.

صفات نشاء	1	2	3	4	5	6
Transplanting traits						
1. سبز شدن Emergence	1					
2. سطح برگ Leaf area	-0.44**	1				
3. وزن خشک بخش هوایی Aerial dry weight	-0.43**	0.86**	1			
4. وزن خشک ریشه Root dry weight	-0.29 ^{ns}	0.83**	0.90**	1		

5. سطح ریشه Root area	1**	-0.46**	-0.43**	-0.29 ^{ns}	1
6. طول ریشه Root length	-0.01 ^{ns}	-0.42**	-0.30 ^{ns}	-0.39**	-0.004 ^{ns}

**، * و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطوح یک و پنج درصد و غیر معنی دار.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که هردو عامل سن نشا و اندازه‌ی سلول سینی نشا به‌طور معنی‌داری بر درصد سبز شدن، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه تاثیر دارند. با توجه به اهمیت بالای سیستم ریشه‌ای در کشت و استقرار موفقیت آمیز نشا در زمین اصلی، نشاهای چهار هفته‌ای به ویژه نشاهای چهار هفته‌ای رشد یافته در سلول‌های بزرگ به عنوان بهترین تیمار آزمایشی در این پژوهش شناخته شدند. با این وجود، برای توصیه‌های زراعی، نیاز به تحقیقات بیش‌تر با تمرکز بر کارمزرعه‌ای و تأیید اثرگذاری بلندمدت آن بر شاخص‌هایی نظیر اجزای عملکرد و عملکرد نهایی در مزرعه می‌باشد.

1. Amiri Dehahmadi, S. R., Parsa, M., Banayan Aval, M., & Nassiri Mahallati, M. (2015). Analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield gap in semi-arid climatic conditions: A simulation study. *Journal of Agroecology*, 7(1), 84-98. (In Persian).
2. Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M.A., and Mohammadi, G.R. (2016). Evaluation of the ability of the standard seed germination test under laboratory conditions to predict emergence and seedling establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in the field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1), 27–38. (In Persian with English Abstract).
3. Bhargav, K. S., Gupta, N., Pandey, N., & Pandey, A. (2018). Performance of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Sown on Different Seed Bed Configurations in Malwa Region of Madhya Pradesh. *Journal of Krishi Vigyan*, 6(2), 172-175. <https://doi.org/10.5958/2349-4433.2018.00009.8>
4. Bimbo, F. (2023). Climate change awareness and dietary transitions: Evidence from European households. *Sustainability*, 15(7), 5432.
5. Chaeyarak, T., Sinsiri, N., Laosuwan, T., & Khaengkhan, P. (2025). Utilizing electromagnetic fields for enhancing root germination of cassava Kasetart 50 varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 19(3), 266–273. <https://doi.org/10.21475/ajcs.25.19.03.p279>
6. Chen, X., Zhu, Y., Ding, Y., Pan, R., Shen, W., Yu, X., & Xiong, F. (2025). The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress. *PeerJ*, 13, e19123. <https://doi.org/10.7717/peerj.19123>
7. Dove, N. (2010) The effect of increasing temperature on germination of native plantspecies in the north woods region university of notre dame environmental research center (UNDERC). <https://underc.nd.edu/assets/156376/fullsize/dove2010.pdf>
8. Ergun, N., Akdogan, G., Aydogan, S., Bilir, M., & Kilic, G. (2024). Determination of early-stage shoot and root traits of cultivated and wild barley genotypes. *Journal of Central European Agriculture*, 25(3), 661–674. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.3.4220>
9. FAO. (2015). *The impact of disasters on agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
10. FAO. (2023). *The future of food and agriculture: Drivers and triggers for transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/...>
11. Ghadamgahi, S.M. (2019). Evaluation of the effect of transplanting age and plant density in the field on the yield and yield components of red pepper (*Capsicum annuum*). M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract).
12. Haghighi Khah, M. (2016). Transplanting, an approach to improve water use efficiency in sweet corn. Ph.D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract).

13. Halimi, M. (2017). Effect of transplanting substrates and tray cell size on transplant quality, establishment, and field performance of watermelon (*Citrullus vulgaris* L.). M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract).
14. Husáková, I., Weiner, J., & Münzbergová, Z. (2018). Species traits and shoot-root biomass allocation in 20 dry-grassland species. *Journal of Plant Ecology*, 11(2), 273–285. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtx143>
15. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
16. ISTA. (2023). *International rules for seed testing: Rules 2023*. International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org/>
17. Jat, K. K., Jadon, C. K., Singh, P., Ram, B., Yadav, R. K., & Meena, C. B. (2023). Effect of fertility levels and foliar nutrition on performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under South-eastern Rajasthan. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 12(4), 9–14. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2023.1204.002>
18. Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26.
19. Koocheki, A., & Khajeh Hosseini, M. (2016). Agriculture and climate change: A review of adaptation strategies. *Iranian Journal of Climate and Water Research*, 7(1), 35–48. (In Persian with English Abstract).
20. Kulshrestha, S., Thakur, F., Gothwal, N., & Goutam, U. (2018). Fungal disease management in chickpea: Current status and future prospects. In S. A. Khan, M. S. Khan, & A. Musarrat (Eds.), *Fungi and their role in sustainable development: Current perspectives* (pp. 293–309). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_17
21. Lamichhane, J. R., Varillas, C., & Debaeke, P. (2023). Seedling emergence and biomass production of soybean cultivars under wheat-soybean relay cropping. *PLoS ONE*, 18(11), e0293671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293671>
22. Liu, X., Shi, R., Gao, M., He, R., Li, Y., & Liu, H. (2023). Growth of tomato and cucumber seedlings under different light environments and their development after transplanting. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1164768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1164768>
23. Manzari Tayakoli, A., Zand, E., & Zand, B. (2016). The effect of transplanting on earliness and yield of chickpea in spring planting. *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(1), 45–53. (In Persian with English Abstract).
24. McVay, K., Jha, P., & Crutcher, F. (2017). *Chickpea Production* (MT201703AG). Montana State University Extension.
25. Montazeri Tavakoli, A. (2015). Evaluation of the effects of volume and type of seedling growing media on the characteristics of seedlings and yield of sweet corn (*Zea mays*). M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract).
26. Naseri, R., Siadat, S. A., Soleimanifard, A., Soleimani, R., & Khoshkhabar, H. (2011). Effect of sowing date and plant density on yield, yield components and seed protein of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions of Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2), 18–33. (In Persian with English Abstract).
27. Parsa, A., & Bagheri, M. (2023). Morphological diversity in chickpea ecotypes from Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(1), 71–84. (In Persian with English Abstract).
28. Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and

- environmental control. *New Phytologist*, 193, 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
29. Rahimi-Moghaddam, S., Amir, S.R., & Eyni-Nargeseh, H. (2023). Assessing chickpea attainable yield and closing the yield gaps caused by agronomic and genetic factors. *Field Crops Research*, 303, 109–137.
30. Salari, A., Jafari, L., & Yavari, A. (2022). The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29(1), 225–245. (In Persian with English Abstract).
31. Statistical Yearbook of Agriculture. (2023). *Ministry of Agriculture Jihad, Iran*. <https://amar.maj.ir/>
32. Zhou, X.-H., & He, W.-M. (2020). Climate warming facilitates seed germination in native but not invasive *solidago canadensis* populations. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 595214. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.595214>