



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97397.1131>

Effects of Transplants Age and Tray Cell Size on Growth of Chickpeas (*Cicer arietinum* L.)

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

Received: 03 February 2026
Revised: 31 August 2026
Accepted: 01 September 2026
Available Online: 01 September 2026

Cite this article:

Sadat Hosseini-Hodk, S, Khajeh-Hosseini, M., Nezami, A. & Fallahpour, F. (2026). Effects of transplants age and tray cell size on growth of chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 65-76. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97397.1131>

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,

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

* Corresponding Author: saleh@um.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

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.

Conclusions

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 نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

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 تأثیر سن نشاء (چهار، شش و هشت هفته‌ای) و حجم سلول سینی نشاء (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌مترمکعب) بر شاخص‌های رشدی گیاهچه، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. بذور در سینی‌های نشاء در بستری از کوکوپیت و پرلیت (با نسبت هفت به سه) کشت شدند. آبیاری نشاها به‌صورت 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 نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر همه صفات مورد نظر معنی‌دار بود. به‌طور کلی بیش‌ترین سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی در نشاهای هشت هفته‌ای مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین سطح و طول ریشه را نشاهای چهار هفته‌ای داشتند. با توجه به اینکه سیستم ریشه‌ای قوی پس از انتقال نشاها به زمین در افزایش استقرار تأثیر به‌سزایی دارد؛ می‌توان اظهار داشت که نشاهای چهار هفته‌ای از نظر سیستم ریشه‌ای نسبت به سایر تیمارها از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: صفات رشدی، گیاهچه نخود، نشاکاری، وزن خشک

مقدمه

نیتروژن، می‌تواند در بهبود حاصل‌خیزی خاک و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی مؤثر واقع شود (Jukanti et al., 2012). به‌علاوه در سال‌های اخیر به‌ویژه در کشورهای توسعه یافته، آگاهی افراد نسبت به مسائل زیست‌محیطی 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 است که این محصول به منبعی ارزشمند در تغذیه انسان تبدیل شود.

حبوبات به‌ویژه نخود بعد از غلات سهم چشمگیری در تأمین 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 زیرکشت 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 محسوب می‌شود (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

افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش نیاز به تولید مواد غذایی، پژوهشگران را برآن داشته که به‌دنبال روش‌هایی جهت افزایش بهره‌وری از منابع و استفاده حداکثری از آن‌ها باشند. براساس 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، پدیده تغییرات اقلیمی در حال گسترش است و کیفیت اراضی کشاورزی به‌تدریج کاهش می‌یابد (IPCC, 2021; FAO, 2015).

در مناطق گرم و خشک همچون ایران که مقدار آب در دسترس، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان کشت و تولید محصولات زراعی دارد، بحران آب به‌صورت جدی‌تری مطرح می‌شود (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). در چنین شرایطی، توجه به گیاهان با نیاز آبی کم، نظیر انواع حبوبات می‌تواند نقش مهمی در ارتقای امنیت غذایی ایفا کند. نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق نیمه‌خشک و خشک جهان شناخته می‌شود. این گیاه علاوه بر ارزش غذایی بالا، با داشتن توانایی تثبیت

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* - نویسنده مسئول: saleh@um.ac.ir

بیماری‌های قارچی بیش‌ترین اثر مخرب را بر عملکرد نخود داشته‌اند. در این میان، بیماری‌هایی که توسط *Fusarium oxysporum* (پژمردگی فوزاریومی) و *Ascochyta rabiei* (بلایت آسکوشیتیایی) ایجاد می‌شوند، به‌ترتیب به‌عنوان رایج‌ترین بیماری‌های ریشه‌ای و برگ‌ی شناخته می‌شوند که موجب آسیب به گیاهچه نخود و کاهش شدید عملکرد محصول می‌گردند (Kulshrestha et al., 2018). علاوه بر این، آفات مختلفی مانند شته‌ها، زنجربک‌ها و تریپس‌ها نیز می‌توانند به گیاهچه نخود آسیب رسانده و از رشد مطلوب آن جلوگیری کنند؛ کشت نشایی می‌تواند سبب افزایش مقاومت گیاهچه نسبت به آفات و بیماری‌هایی که در مراحل اولیه رشد سلامت گیاه را تهدید می‌کنند، شود. از دیگر مزایای کشت نشایی، انعطاف در تاریخ کشت است که می‌تواند اثرات تغییر اقلیم را تا حد زیادی تعدیل نماید؛ بدین طریق که امکان کشت را در گستره وسیع‌تری از زمان فراهم می‌آورد. این روش به‌خصوص در کشت‌های بهاره به‌مصرف ماندن گیاهچه‌ها از سرمای اول فصل کمک می‌کند. کشت گیاهان به این طریق می‌تواند در کاهش مصرف نهاده‌ها به‌صورت چشمگیری اثرگذار باشد (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016). تنش خشکی در مراحل اولیه جوانه‌زنی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و هدررفت بذر به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین نهاده‌های کشاورزی می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که کشت بذرها در بستر محدود سینی‌های نشاء علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی و استفاده بهینه از فضا، به فراهم آوردن شرایط بهتر جهت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مراحل اولیه از طریق تحریک تولید ریشه (به‌ویژه ریشه‌های موپین) کمک می‌کند (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016).

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات چندانی در رابطه با کشت نشایی نخود انجام نشده است، این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات سن نشاء و حجم سلول سینی نشاء بر خصوصیات رشدی گیاهچه نخود انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو عامل سن نشاء در سه سطح (چهار، شش و هشت هفته) و اندازه سلول سینی نشاء در سه حجم (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌مترمکعب) بودند. سینی‌های استفاده‌شده برای تولید نشاء توپی از نوع یک‌بارمصرف انتخاب شدند. بذر نخود کابلی (MCC770) از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. این ژنوتیپ، با وزن هزار دانه بالا و تحمل نسبت به سرما، متناسب با شرایط آب‌وهوایی مشهد است. بذرها تهیه‌شده در تیرماه ۱۴۰۲ از مزرعه برداشت و تا زمان کشت در یخچال

(of Agriculture, 2023). میانگین عملکرد نخود در ایران از متوسط جهانی بسیار پایین‌تر و حدود ۳۰ درصد از عملکرد قابل حصول می‌باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 2023).

از جمله دلایل عملکرد پایین نخود در کشور می‌توان به عدم رعایت اصول زراعی، تاریخ کشت نامناسب، تراکم نامناسب بوته، خسارت آفات و بیماری‌ها به‌ویژه در ابتدای فصل رشد، وجود دمای بالا و کمبود رطوبت در مراحل حساس رشدی اشاره کرد (Naseri et al., 2015; Amiri Dehahmadi et al., 2012). به‌علاوه کشت نخود عمدتاً از طریق کشت مستقیم بذر 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 به همراه دارد، همین امر موجبات کاهش عملکرد را فراهم می‌آورد (McVay et al., 2017; Bhargav et al., 2018). نشاکاری به‌عنوان راهکاری نوین جهت تسریع استقرار گیاه در بسیاری از گیاهان زراعی در حال جایگزینی با کشت مستقیم می‌باشد. بااین‌حال میزان موفقیت این روش و تولید نشاء باکیفیت به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به انتخاب مناسب سن نشاء جهت انتقال به زمین اصلی و خصوصیات سینی نشاء اشاره کرد (Ghadamgahi, 2019).

یافتن سن نشاء مناسب برای انتقال محصولات زراعی بسیار حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال، نشاهای بسیار جوان به‌طور معمول از قدرت تحمل پایینی در مواجهه با تنش‌های محیطی برخوردارند، به‌علاوه انتقال دیر هنگام به مزرعه نیز می‌تواند شوک پس از انتقال را افزایش دهد (Halimi, 2019). در نشاهای بسیار مسن، به‌دلیل افزایش بی‌رویه رشد رویشی، خطر بروز شوک پس از انتقال به مزرعه افزایش می‌یابد؛ این امر سبب کاهش قابلیت سازگاری و ریشه‌دهی پس از نشاکاری می‌شود. بنابراین، تعیین سن بهینه برای انتقال نشاء در هر محصول، عامل تأثیرگذاری در موفقیت تولید می‌باشد (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). از سوی دیگر، حجم سلول سینی نشاء نیز با تأثیرگذاری بر تراکم ریشه، ذخیره‌سازی مواد مغذی و ظرفیت جذب آب، نقش مهمی در کیفیت و استقرار نشاء دارد. به‌صورت کلی، کشت نشایی می‌تواند مقاومت گیاهچه‌ها را در مراحل رشدی حساس اولیه افزایش دهد و از آنجاکه گیاهچه‌های سالم و قوی به زمین اصلی انتقال می‌یابند؛ بنابراین در کشت نشایی امکان حفظ تراکم مطلوب و حفظ یکنواختی در مقایسه با کشت مستقیم مزرعه وجود دارد و از این طریق به استفاده بهینه از منابع کمک شایانی خواهد کرد (Haghighi Khah et al., 2016). از آنجاکه گیاهچه‌ها در مرحله رشدی جلوتری نسبت به علف‌های هرز قرار دارند، لذا در رقابت با علف‌های هرز اغلب پیروز هستند.

مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD حافظت‌شده (Protected LSD) استفاده گردید، این آزمون، زمانی به کار می‌رود که اثر یک منبع تغییر (اثر اصلی یا اثر متقابل) در جدول تجزیه واریانس براساس آزمون F حتماً معنی‌دار باشد. در این تحقیق نیز آزمون LSD صرفاً روی منابع تغییری انجام شد که آزمون F معنی‌دار بودن آن‌ها را تأیید کرده بود.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن نشاء: اثر متقابل اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء بر درصد سبز شدن نشاء در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء 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 اندازه سلول از کوچک به متوسط بر درصد سبز شدن نشاء اثر معنی‌داری نگذاشت، اما افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ باعث کاهش ۳۴ درصدی درصد سبز شدن شد. در نشاهای هشت هفته‌ای، تغییر اندازه نشاء از کوچک به متوسط اثر معنی‌داری بر درصد سبز شدن نشاء نداشت، ولی افزایش اندازه سلول سینی نشاء از کوچک به بزرگ موجب افزایش بیش از ۲/۵ برابری درصد سبز شدن شد. به‌طور کلی، بیشترین درصد سبز شدن در نشاهای چهار هفته‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد که زمان کاشت عامل تأثیرگذاری بر درصد سبز شدن نشاء بوده است. بنابراین نزدیکی به بهار و افزایش طول روز احتمالاً شرایط مناسب‌تری برای سبز شدن نشاء فراهم کرده است (Zhou & He, 2020; Dove, 2010).

سطح برگ: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به هشت هفته، سطح برگ افزایش یافت. این افزایش در سلول‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۵۳ و ۴۲ درصد بود. در سلول‌های متوسط، سطح برگ حدود سه برابر شد (جدول ۳). اثر اندازه سلول در سنین مختلف یکسان نبود. در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ به ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۱۴ درصدی سطح برگ شد. در نشاهای شش هفته‌ای، این روند معکوس بود و سطح برگ ۳۲ درصد کاهش یافت. در مجموع، افزایش اندازه سلول در سنین چهار و هشت هفته با افزایش سطح برگ همراه بود، اما در

نگهداری شدند. در آزمایشگاه، ابتدا تست جوانه‌زنی روی بذرها انجام شد (۹۸ درصد جوانه‌زنی) و درصد گیاهچه‌های نرمال نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (۸۲ درصد گیاهچه نرمال). همچنین بینه بذرها تهیه‌شده به‌روش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد ($29 \mu S \cdot cm^{-1} \cdot g^{-1}$). آزمایش‌های انجام‌شده روی بذور منبع به‌منظور کنترل کیفی بذر، مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) اجرا گردید (ISTA, 2023).

تولید نشاء در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در هفدهم بهمن ماه سال ۱۴۰۲ آغاز شد. جهت تهیه بستر نشاء، مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت با نسبت هفت به سه تهیه و به‌صورت یکنواخت در سینی‌های نشاء توزیع گردید. بذرها با فاصله‌های زمانی دو هفته در سینی‌های نشاء در گلخانه تحت دمای 3 ± 20 درجه سانتی‌گراد در روز و 17 ± 3 درجه سانتی‌گراد در شب، با شرایط نور طبیعی و رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد کشت شدند تا در نهایت سه سن نشاء هشت، شش و چهار هفته‌ای (گیاهان به‌ترتیب در مراحل رشدی حدوداً هشت، شش و چهار برگی بودند) حاصل گردید. طی این مدت، آبیاری در صورت نیاز انجام شد. علاوه بر این تغذیه نشاء 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) صورت گرفت (Jat et al., 2023).

به‌منظور تعیین درصد سبز شدن، تعداد بذرها سبز شده به‌صورت روزانه تا زمان ثابت شدن شمارش و در پایان به‌صورت درصد محاسبه شد. پس از گذشت هشت هفته از کشت اولین نشاءها در گلخانه، از هر تیمار چهار نمونه به‌صورت تصادفی برداشت و صفاتی نظیر سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری سطح برگ و سطح ریشه نشاءها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ (Leaf Area Measurement System) انجام شد، سپس بخش هوایی از ریشه جدا گردید و هر دو بخش هوایی و ریشه به‌طور مجزا در پاکت‌های کاغذی به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم گرم، وزن خشک نمونه‌ها مشخص شد. همچنین طول ریشه به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد.

نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها پیش از تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفت. جهت تجزیه صفاتی که به‌صورت درصد بودند، از تبدیل زاویه‌ای استفاده شد. سپس تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab (نسخه ۲۰) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. جهت

وزن خشک بخش هوایی: اثر متقابل سن نشاء و اندازه

سلول سینی نشاء بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن از چهار به هشت هفته، وزن خشک در سلول‌های کوچک و بزرگ ۷۰ درصد افزایش یافت. در سلول‌های متوسط، این افزایش بیش از دو برابر بود (جدول ۴). افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، وزن خشک بخش هوایی را ۳۸ درصد افزایش داد. در سن شش هفته، این اثر معنی‌دار نبود. این نتایج با یافته‌های سالاری و همکاران (Salari et al., 2022) در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نیز گزارش کردند که افزایش حجم سلول از ۱۵ به ۲۲ سانتی‌مترمکعب، وزن خشک بخش هوایی را ۲۳ درصد افزایش داد.

سن شش هفته کاهش مشاهده شد. نتایج حلیمی (Halimi, 2019) نیز نشان داد که افزایش حجم سلول می‌تواند سطح برگ را کاهش دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین سطح برگ و درصد سبز شدن، همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۸). کاهش سبز شدن باعث کاهش تراکم و افزایش فضای رشد گردید و در نتیجه، سطح برگ افزایش یافت. همچنین رشد اولیه در فضای محدود سینی می‌تواند نوعی تنش ایجاد کند. گیاه احتمالاً با افزایش سطح برگ به این شرایط پاسخ داده است. در نشاهای هشت هفته‌ای، طول دوره رشد بیش‌تر و درصد سبز شدن کم‌تر بود. بنابراین، گیاه فرصت بیش‌تری برای افزایش سطح برگ داشت. این افزایش می‌تواند نوعی پاسخ جبرانی به تنش باشد (Salehi et al., 2018).

جدول ۱- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات صفات رشدی گیاهچه نخود تحت تأثیر سن نشاء، اندازه سلول سینی نشاء
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

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

*, ** و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح یک درصد و پنج درصد و عدم معنی‌داری.

ns, * and ** indicate significance at the 1% and 5% levels and non-significance, respectively.

جدول ۲- اثر سن نشاء و اندازه سلول بر درصد سبز شدن گیاهچه‌های نخود
Table 2- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas emergence (%)

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

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۳- اثر سن نشاء و اندازه سلول بر سطح برگ نخود (سانتی‌مترمربع)
 Table 3- Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas leaf area (cm²)

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

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

ریشه گردید. در نشاهای شش هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از متوسط به بزرگ موجب کاهش ۲۰ درصدی وزن خشک ریشه شد (جدول ۵).

در هندوانه (*Citrullus vulgaris* L.) نیز با افزایش حجم سلول سینی نشاء از ۵۰ سانتی‌مترمکعب به ۶۰ سانتی‌مترمکعب، وزن خشک ریشه افزایش یافت (Halimi, 2019). مطالعه روابط بین صفات نشاء نشان داد که وزن خشک ریشه، وزن خشک بخش هوایی و سطح برگ رابطه مثبت و معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۸). بنابراین احتمالاً ریشه‌های قوی سبب توسعه بهتر بخش هوایی و افزایش سطح برگ نشاء شده‌اند. 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 توسعه ریشه و اندام‌هوایی در مرحله نشاء اغلب به‌صورت هماهنگ و تحت تأثیر عواملی مانند فضای در دسترس قرار دارند (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergun et al., 2024; Chen et al., 2021). 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).

سطح ریشه: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء

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

بررسی همبستگی داده‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که وزن خشک بخش هوایی با درصد سبز شدن رابطه منفی و معنی‌دار، و با سطح برگ رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۸). با توجه به رابطه 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 ماده خشک در بخش هوایی می‌شود. به نظر می‌رسد که کاهش درصد سبز شدن موجب کاهش تراکم و افزایش فضای در دسترس برای هر نشاء می‌شود و این شرایط، توسعه سطح برگ و در نتیجه افزایش وزن خشک بخش هوایی را تسهیل می‌کند. این الگوی تخصیصی با گزارش‌های پیشین در گونه‌های مختلف زراعی (نخود، جو (*Hordeum vulgare* L.))، گوجه‌فرنگی و خیار (*Cucumis sativa* L.) هم‌خوانی دارد (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergun et al., 2024). فیزیولوژیک، این یافته‌ها را می‌توان در چهارچوب تغییر نسبت ریشه به شاخه تحت محدودیت‌های محیطی تفسیر کرد؛ به‌گونه‌ای که در شرایط کاهش تراکم و بهبود دسترسی به منابع، گیاه مواد بیش‌تری به اندام‌های هوایی اختصاص می‌دهد و این امر همبستگی مثبت بین سطح برگ و وزن خشک و همبستگی منفی بین درصد سبز شدن و وزن خشک را توجیه می‌کند (Husáková et al., 2018).

وزن خشک ریشه: اثر متقابل اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء

بر درصد سبز شدن نشاء در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به هشت هفته، وزن خشک ریشه افزایش یافت. این افزایش در سلول‌های کوچک و بزرگ به‌ترتیب ۲۵ و ۸۱ درصد بود. در سلول‌های متوسط، وزن خشک ریشه حدود دو برابر شد (جدول ۵). در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۶۰ درصدی وزن خشک

جدول ۴- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر وزن خشک بخش هوایی نخود (گرم)
Table 4- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas shoot dry weight (g)

اندازه سلول Cell size	سن نشاء (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
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 حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۵- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر وزن خشک ریشه نخود (گرم)
Table 5- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas root dry weight (g)

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

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

احتمالاً به علت محدودیت فضا و منابع (به‌ویژه آب) است. در شرایطی که این محدودیت‌ها وجود دارد، گیاه ترجیح می‌دهد که ماده خشک بیشتری 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).

طول ریشه: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). در سلول‌های کوچک، با افزایش سن از چهار به هشت هفته، طول ریشه ۳۸ درصد افزایش یافت. در سلول‌های 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 سلول‌های بزرگ، افزایش سن از چهار به شش هفته منجر به کاهش ۵۳ درصدی طول ریشه شد. به‌طور متوسط، با افزایش سن نشاء در همه اندازه‌های سلول، کاهش طول ریشه مشاهده گردید. با افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ در سن چهار هفته‌ای، طول ریشه ۵۰ درصد افزایش یافت. در سن شش هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به متوسط، طول ریشه را ۸۰ درصد افزایش داد؛ درحالی‌که افزایش اندازه از

در مطالعه حاضر، با افزایش حجم سلول سینی نشاء، سطح ریشه افزایش یافت که با گزارش‌های مشابه در هندولنه هم‌سو است (Halimi, 2019). بررسی همبستگی‌ها نشان داد که سطح ریشه با درصد سبز شدن رابطه مثبت و معنی‌دار دارد، درحالی‌که سطح ریشه با سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی همبستگی منفی و معنی‌دار دارد (جدول ۸). با توجه به اینکه رطوبت قابل دسترس در ناحیه بذر و ریشه گیاه در بسترهای سبک و متخلخل همانند کوکوپیت-پرلیت، به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بر سبز شدن نشاء مطرح است؛ هر فرآیند ریخت‌شناختی مثل افزایش سطح ریشه که بتواند جذب آب را افزایش دهد، سبب افزایش درصد سبز شدن و یکنواختی بیش‌تر آن خواهد شد (Lamichhane et al., 2023). در مطالعه‌ای روی گیاه سویا (*Glycine max* L.) مشخص شد که دسترسی به رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشد و کمبود رطوبت سبب کاهش سبز شدن و استقرار گیاه شد. بنابراین همبستگی مثبت بین سطح ریشه و درصد سبز شدن در پژوهش حاضر را می‌توان به بهبود دسترسی به آب ناشی از توسعه سطح ریشه نسبت داد (Lamichhane et al., 2023). به نظر می‌رسد که وجود رابطه منفی بین سطح ریشه و سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی

به‌گونه‌ای که گیاه در شرایط محدودیت، ماده 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 نشان‌دهنده یک الگوی کلی در تخصیص مواد بین اندام‌های زیرزمینی و هوایی است (Ergun et al., 2024; Chaiyarak et al., 2025). در مجموع، داده‌های این پژوهش تأیید می‌کند که اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء به‌صورت تعاملی بر معماری ریشه و الگوی تخصیص ماده 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، به‌عنوان پاسخ کلیدی به محدودیت‌های محیطی محسوب می‌شود (Poorter et al., 2012; Manzari Tavakkoli, 2015).

متوسط به بزرگ، طول ریشه را ۱۳ درصد کاهش داد. در سن هشت هفته‌ای نیز افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ، طول ریشه را ۳۱ درصد کاهش داد. به‌طور کلی، افزایش حجم سلول سبب افزایش طول ریشه شد (جدول ۷).

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش سن نشاء، توسعه سیستم ریشه‌ای تحت تأثیر اندازه سلول سینی قرار می‌گیرد و این الگو با گزارش‌های مشابه در ذرت شیرین (*Zea mays*) هم‌سو است که در آن، افزایش حجم سلول سینی نشاء به توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و افزایش طول ریشه منجر شد (Manzari Tavakkoli, 2015). در مطالعه حاضر، روابط همبستگی بین صفات نشاء نشان داد که بین طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). این الگو احتمالاً بازتاب تغییر راهبردی تخصیص ماده خشک تحت محدودیت منابع (به‌ویژه آب و فضای در دسترس برای توسعه ریشه) است،

جدول ۶- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر سطح ریشه نخود (سانتی‌متر مربع)
Table 6- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas root area (cm²)
سن نشاء (هفته)

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

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۷- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر طول ریشه نخود (سانتی‌متر)
Table 7- Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas root length (cm)
سن نشاء (هفته)

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

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات نشاهای نخود در گلخانه

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

صفات نشاء Transplanting traits	1	2	3	4	5	6
1. سبز شدن Emergence	1					
2. سطح برگ Leaf area	-0.44**	1				
3. وزن خشک بخش هوایی Arial 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}	1

، * و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح یک درصد و پنج درصد و عدم معنی‌داری.، * and ^{ns}: indicate significance at the 1% and 5% levels and non-significance, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو عامل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء به‌طور معنی‌داری بر درصد سبز شدن، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه تأثیر دارند. با توجه به اهمیت بالای سیستم ریشه‌ای در کشت و

استقرار موفقیت‌آمیز نشاء در زمین اصلی، نشاهای چهار هفته‌ای به‌ویژه نشاهای چهار هفته‌ای رشدیافته در سلول‌های بزرگ به‌عنوان بهترین تیمار آزمایشی در این پژوهش شناخته شدند. با این وجود، برای توصیه‌های زراعی، نیاز به تحقیقات بیشتر با تمرکز بر کار مزرعه‌ای و تأیید اثرگذاری بلندمدت آن بر شاخص‌هایی نظیر اجزای عملکرد و عملکرد نهایی در مزرعه می‌باشد.

References

- Amiri Dehahmadi, S. R., Parsa, M., Banayan Aval, M., & Nassiri Mahallati, M. (2015). Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *Journal of Agroecology*, 7(1), 84-98. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v7i1.35497>
- Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M. A., & 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).
- 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.
- Bimbo, F. (2023). Climate change awareness and dietary transitions: Evidence from European households. *Sustainability*, 15(7), 5432.
- Chaiyarak, T., Sinsiri, N., Laosuwan, T., & Khaengkhan, P. (2025). Utilizing electromagnetic fields for enhancing root germination of cassava Kasetsart 50 varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 19(3), 266-273. <https://doi.org/10.21475/ajcs.25.19.03.p279>
- Chen, X., Zhu, Y., Ding, Y., Pan, R., Shen, W., Yu, X., & Xiong, F. (2021). The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress. *PeerJ*, 9, e12015. <http://doi.org/10.7717/peerj.12015>
- Dove, N. (2010). The effect of increasing temperature on germination of native plant species in the north woods region university of Notre dame environmental research center (UNDERC). <https://underc.nd.edu/assets/156376/fullsize/dove2010.pdf>
- 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>

- FAO. (2015). The impact of disasters on agriculture and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). The future of food and agriculture: Drivers and triggers for transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 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).
- 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).
- Halimi, M. (2019). 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).
- 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/rtw143>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISTA. (2023). International rules for seed testing: Rules 2023. International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org/>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000797>
- 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).
- 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
- 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>
- 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>
- McVay, K., Jha, P., & Crutcher, F. (2017). Chickpea Production (MT201703AG). Montana State University Extension.
- Manzari 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).
- Naseri, R., Siadat, S. A., Soleimani Fard, A., Soleimani, R., & Khosh Khabar, H. (2012). Effects of planting date and density on yield, yield components and protein content of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(2), 7–18. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19018>
- Parsa, A., & Bagheri, M. (2023). Morphological diversity in chickpea ecotypes from Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(1), 71–84. (In Persian).
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109137>

- Salehi, F., Ahmadi, A., Basiri, R., & Rafi'i, H. R. (2018). Responses of wheat grain weight and remobilization of soluble carbohydrates to reduced source size under limited moisture condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(2), 11–21. (In Persian).
- 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). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19524.2879>
- Statistical Yearbook of Agriculture. (2023). Ministry of Agriculture Jihad, Iran. (In Persian). <https://amar.maj.ir/>
- 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>