



Investigating the yield, yield components and useful indicators of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) in intercropping with castor (*Ricinus communis*) at different levels of nitrogen fertilizer

Mohamad Reza Khaleghizadeh Dehkordi¹ | Amir Aynehband² | Esfandiar Fateh³

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: khaleghizadeh@gmail.com
2. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ayneband@scu.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: e.fateh@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 12 January 2025
Received in revised form
5 June 2025
Accepted 1 September 2025
Published online 29 September 2025

Keywords:

Agronomic nitrogen efficiency
Competition
Grain yield
Land Equivalent Ratio or LER
Monetary advantage index

ABSTRACT

Objective: Intercropping is a globally recognized strategy to improve resource-use efficiency and support food security, diversification of cropping systems, sustainable agricultural development, and labor efficiency on smallholder farms. A key aspect of intercropping is providing adequate nitrogen, which is essential for optimal plant growth. This study investigates the yield, yield components, and useful indicators of Dragon's head when intercropped with castor at varying nitrogen levels.

Materials and Methods: Experimental design was split-plot randomized complete block design with three replications, conducted at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, during the 2022–2023 growing year. The main plots were Nitrogen fertilizer amounts at three levels (0, 50, and 100 kg N ha⁻¹). The sub-plots were plant-density treatments with five levels (pure castor; castor + Dragon's head at 20, 40, and 60 plants m⁻²; and pure Dragon's head). The experiment used additive intercropping, with castor as the main crop at a constant density of 8 plants m⁻². The response variables were seed yield, biomass yield, yield components, land equivalent ratio (LER), and management indices such as MAI.

Results: Seed yield and biomass yield of Dragon's head increased by 89.3% and 86.4%, respectively, under 100 kg N ha⁻¹ compared with the control; the highest seed yield and biomass yield were 892 kg ha⁻¹ and 2,128 kg ha⁻¹, respectively, in the 100 kg N ha⁻¹ treatment. Plant density effect: Among densities, the highest average seed yield and biomass yield of Dragon's head occurred in pure cultivation, at 1,000 kg ha⁻¹ and 2,224 kg ha⁻¹, respectively. Relative to densities of 20, 40, and 60 plants m⁻², this represented increases of 121.8%, 71.1%, and 36.2% in seed yield and 113.7%, 70.2%, and 21.4% in biomass yield, respectively. Under 50 and 100 kg N ha⁻¹, intercropping yielded 2,316 and 3,026 kg ha⁻¹, respectively, representing increases of 57% and 105% over the zero-N control. LER increased with higher Dragon's head density; the 40 and 60 plants m⁻² intercropping with castor showed 14% and 26% higher LER than the 20 plants m⁻² treatment (LER= 1.34 and 1.47, respectively). The highest LER (1.47) occurred in the 60 plants m⁻² + castor treatment with 100 kg N ha⁻¹, indicating a 47% gain over pure cultivation. The maximum MAI observed was 942 in the 60 plants m⁻² density with 100 kg N ha⁻¹.

Conclusion: Intercropping Dragon's head with castor, particularly at higher nitrogen levels and intermediate densities, significantly enhances total yield and land-use efficiency (LER). These results suggest that intercropping two relatively low-competition species can improve resource utilization and input efficiency in tropical and subtropical regions. Further studies are recommended to optimize density combinations, nitrogen management, and economic analyses for broader adoption.

Cite this article: Khaleghizadeh Dehkordi, M. R., Aynehband, A., & Fateh, E. (2025). Investigating the yield, yield components and useful indicators of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) in intercropping with castor (*Ricinus communis*) at different levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Crops Improvement*, 27 (3), 521-545.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.388661.2915>





بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) در کشت مخلوط افزایشی با کرچک (*Ricinus communis*) در سطوح مختلف کود نیتروژن

محمدرضا خالقی‌زاده دهکردی^۱ | امیر آینه‌بند^۲ | اسفندیار فاتح^۳ ✉

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: khaleghizadeh@gmail.com
 ۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ayneband@scu.ac.ir
 ۳. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: e.fateh@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: پژوهش حاضر به منظور بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی بالنگوی شهری در کشت مخلوط افزایشی با کرچک تحت سطوح مختلف کاربرد نیتروژن در شرایط آب‌وهوایی اهواز انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳	روش پژوهش: به منظور بررسی تأثیر کشت مخلوط گیاه کرچک با بالنگوی شهری، طرح آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. عامل اصلی مقادیر کود نیتروژن در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل فرعی تراکم‌های مختلف کشت دو گیاه در پنج سطح (کشت خالص کرچک، کرچک + ۲۰، ۴۰، ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری و کشت خالص بالنگوی شهری) بود که به صورت کشت مخلوط افزایشی اجرا شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵	یافته‌ها: نتایج نشان داد عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده بالنگوی شهری در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به ترتیب ۸۹/۲۶ و ۸۶/۳۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت، بیش‌ترین عملکرد دانه (۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیست‌توده (۲۱۲۸ کیلوگرم در هکتار) بالنگوی شهری در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن مشاهده شد. در بین سطوح تراکم نیز، بیش‌ترین میانگین عملکرد دانه و زیست‌توده بالنگوی شهری مربوط به کشت خالص به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۲۲۳۴ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به تراکم‌های ۴۰، ۲۰ و ۶۰ بوته در مترمربع به ترتیب ۱۲۱/۸۳، ۷۱/۱۴ و ۳۶/۱۶ درصد افزایش عملکرد دانه و ۱۱۳/۶۶، ۷۰/۲۱ و ۲۱/۴۲ درصد افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به کشت خالص مشاهده شد. میانگین عملکرد کل مخلوط در شرایط کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به ترتیب ۵۷ و ۱۰۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (صفر) به مقادیر ۳۳۱۶ و ۳۰۲۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. نسبت برابری زمین کلی در تیمارهای ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک به ترتیب با ۱۴ و ۲۶ درصد افزایش نسبت به تیمار ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک، به مقادیر ۱/۳۴ و ۱/۴۷ رسید. بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۴۷) در تیمار ۶۰ بوته بالنگو + کرچک با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نشان‌دهنده ۴۷ درصد افزایش کارایی زمین نسبت به کشت خالص بود. بالاترین مزیت اقتصادی (۹۴۲) هم در تراکم ۶۰ بوته با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که از دیگر نتایج این پژوهش بود.
کلیدواژه‌ها:	نتیجه‌گیری: عملکرد کل مخلوط و همچنین نسبت برابری زمین به طور معنی‌داری افزایش یافت که حاکی از موفقیت کشت مخلوط این دو گیاه بود. بنابراین، در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با انجام مطالعات بیش‌تر قابل توصیه می‌باشد.
رقابت	
شاخص مزیت پولی	
عملکرد دانه	
کارایی زراعی نیتروژن	
نسبت برابری زمین	

استناد: خالقی‌زاده دهکردی، محمدرضا؛ آینه‌بند، امیر و فاتح، اسفندیار (۱۴۰۴). بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) در کشت مخلوط افزایشی با کرچک (*Ricinus communis*) در سطوح مختلف کود نیتروژن. به زراعی کشاورزی، ۲۷ (۳)، ۵۲۱-۵۴۵.
 DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.388661.2915>



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، سیستم‌های مختلف کشت مخلوط، توجه پژوهش‌گران را به خود جلب نموده است. کشت مخلوط دو یا چند گیاه زراعی که به‌طور هم‌زمان در یک قطعه زمین رشد می‌کنند، به‌دلیل برخی مزایای ثابت و مورد انتظار آن مانند دستیابی به عملکردهای بالاتر و ثبات بیش‌تر عملکرد (ریس دازامن^۱ و جنسن^۲، ۲۰۱۷)، افزایش کارایی استفاده از زمین در مقایسه با کشت خالص (یانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵)، کاهش ریسک تولید در شرایط تک‌کشتی (ناصر^۴ و همکاران، ۲۰۱۹)، افزایش توان رقابتی گیاهان مخلوط در مقابل علف‌های هرز (سیدی و همکاران، ۱۴۰۱)، افزایش کارایی مصرف آب (فان^۵ و همکاران، ۲۰۲۰) و بهبود حاصلخیزی خاک به‌دلیل اضافه‌شدن نیتروژن از طریق تثبیت زیستی (پورکرمی و همکاران، ۱۴۰۲) در بسیاری از نقاط جهان انجام می‌شود.

یکی از نکات کلیدی در کشت مخلوط، تأمین نیتروژن کافی می‌باشد، چرا که مطالعات نشان می‌دهند که رقابت برای منابع زیرزمینی مانند عناصر غذایی بیش‌تر از منابع بالای سطح خاک است (کوری-هلو^۶ و همکاران، ۲۰۱۱). نیتروژن اولین و اصلی‌ترین عنصر موردنیاز برای رشدونمو مطلوب گیاهان است. این عنصر در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیک نقش دارد و در ترکیب ساختاری گیاهان نقش کلیدی دارد؛ زیرا جزء اصلی پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و اسیدهای نوکلئیک است (آبورنوز^۷، ۲۰۱۶). بنابراین، نیتروژن به‌عنوان یک منبع محدودکننده در کشاورزی، به اندازه دسترسی به آب مهم است (سینکلر^۸ و روفتی^۹، ۲۰۲۳). نیتروژن منجر به افزایش سرعت رشد گیاه می‌شود، محتوای پروتئین را افزایش داده و جذب و استفاده از سایر مواد مغذی از جمله پتاسیم و فسفر را تسهیل می‌کند و به‌طور کلی رشد کلی گیاه را کنترل می‌کند (لقاری^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶).

بالنگوی شهری^{۱۱} گیاهی یک‌ساله، دولپه و علفی از خانواده نعناع^{۱۲} می‌باشد که با اهداف تولید دانه، استخراج روغن (تا ۳۰ درصد) و موسیلاژ کشت می‌شود (باقری و پیرزاد، ۱۴۰۱). کرچک^{۱۳} نیز گیاهی علفی یک‌ساله و روزبلند است. این گیاه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌خوبی رشد می‌کند و نسبت به سرما حساس بوده و نمو آن در نقاط سرد و ساحلی اغلب به‌کندی صورت می‌گیرد (سورینو^{۱۴} و اولد^{۱۵}، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی، در مدیریت اکولوژیک سیستم‌های زراعی کشت مخلوط، مدیریت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن جهت دستیابی به عملکرد مطلوب گیاهان زراعی بسیار دارای اهمیت می‌باشند. با توجه به این که مطالعات مشخصی در زمینه تأثیر سیستم کشت مخلوط بالنگوی شهری و کرچک و میزان کود نیتروژن وجود ندارد، بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، مطالعه کشت مخلوط افزایشی کرچک+ بالنگوی شهری تحت تأثیر سطوح کود نیتروژن می‌باشد.

1. Raseduzzaman
2. Jensen
3. Yang
4. Nasar
5. Fan
6. Corre-Hellou
7. Albornoz
8. Sinclair
9. Rufty
10. Leghari
11. Lallemandia iberica
12. Lamiaceae
13. *Rinicus communis* L.
14. Severino
15. Auld

۲. پیشینه پژوهش

کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از سیستم‌های کشاورزی پایدار با اهدافی مانند تعادل اکولوژیکی، استفاده بیش‌تر از منابع، افزایش کمی و کیفی و کاهش خسارت عملکرد به آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌باشد (وای^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). کشت مخلوط کرچک و بالنگوی شهری می‌تواند مزایای متعددی داشته باشد که به بهره‌وری بیش‌تر از منابع و بهبود سلامت اکوسیستم کشاورزی منجر می‌شود. از عوامل برتری کشت مخلوط می‌توان به مکمل‌بودن ریشه‌ها (تفاوت در عمق و پراکنش ریشه‌ها) اشاره نمود که یکی از مهم‌ترین دلایل برتری کشت مخلوط، کاهش رقابت بر سر منابع زیرزمینی مانند آب و مواد غذایی است. کرچک و بالنگوی شهری دارای سیستم ریشه‌ای متفاوتی می‌باشند، کرچک گیاهی با ریشه‌های عمیق‌تر و گسترده‌تر است که می‌تواند به منابع آبی و مواد غذایی در لایه‌های زیرین خاک دسترسی پیدا کند. بالنگوی شهری دارای سیستم ریشه‌ای کم‌عمق‌تر و فیبروز است که بیش‌تر از مواد غذایی و آب موجود در لایه‌های سطحی خاک استفاده می‌کند. این تفاوت در عمق و پراکنش ریشه‌ها باعث می‌شود که هر دو گیاه بتوانند به‌صورت مکمل از منابع خاک استفاده کنند و رقابت بین آن‌ها کاهش یابد. در نتیجه، بازدهی کلی زمین افزایش می‌یابد، به این معنی که از یک واحد زمین، محصول بیش‌تری نسبت به کشت خالص هر یک از گیاهان به‌دست می‌آید (لی و همکاران^۲، ۲۰۰۹؛ واندرمیر^۳، ۱۹۸۹). از نظر تفاوت در جذب نور و کارایی استفاده از آن در کشت مخلوط کرچک و بالنگوی شهری، این تفاوت‌ها به مزیت تبدیل شوند، زیرا کرچک گیاهی بلندقامت است که می‌تواند به‌خوبی نور خورشید را در لایه‌های بالایی کانوپی جذب کند. بالنگوی شهری گیاهی با ارتفاع کم‌تر است که می‌تواند از نوری که از لایه‌های بالایی کانوپی کرچک عبور می‌کند یا به کناره‌ها می‌رسد، استفاده کند. این تقسیم‌بندی عمودی فضای کانوپی منجر به جذب کارآمدتر نور خورشید در کل سطح زمین می‌شود. به این ترتیب، کارایی استفاده از نور افزایش یافته و انرژی خورشیدی بیش‌تری به زیست‌توده تبدیل می‌شود. علاوه بر مکمل‌بودن ریشه‌ها و تفاوت در جذب نور، کشت مخلوط کرچک و بالنگوی شهری می‌تواند مزایای دیگری نیز از جمله کنترل علف‌های هرز، افزایش تنوع زیستی، بهبود سلامت خاک، کاهش خطر آفات و بیماری‌ها و پایداری بیش‌تر تولید داشته باشد، با توجه به این دلایل، کشت مخلوط کرچک و بالنگوی شهری می‌تواند یک رویکرد پایدار و کارآمد برای تولید کشاورزی باشد که به افزایش بهره‌وری و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند (واندرمیر، ۱۹۸۹). مطالعات مختلفی به‌منظور بررسی امکان‌سنجی کشت مخلوط بالنگوی شهری با سایر گیاهان زراعی انجام شده است. در این راستا، شکرانی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی کشت مخلوط بالنگوی شهری + نخود گزارش دادند که نسبت برابری زمین در شرایط کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود + بالنگو (۱/۷۴) بود که نشان‌دهنده ۷۴ درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه داشت. قمری^۴ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی کشت مخلوط خرفه و بالنگو گزارش دادند که کشت مخلوط باعث افزایش ارتفاع ساقه هر دو گیاه زراعی شد. خوش‌قدم پیریوسفان^۵ و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط بالنگو و نخود گزارش دادند که بیش‌ترین عملکرد بالنگو از الگوی کشت ۶۰ درصد بالنگو + نخود به‌دست آمد و نسبت برابری زمین برای تقریباً در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیش‌تر از یک بود. نیکدل و همکاران (۱۴۰۲) نیز در ارزیابی کشت مخلوط نخود دیم با بالنگوی شهری گزارش دادند که نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیش‌تر از یک بود که نشان‌دهنده برتری الگوی کشت مخلوط نخود و بالنگو نسبت به کشت خالص است. کلوانق^۶ و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش دادند که الگوی کشت مخلوط ۱۰۰:۳۰ (گلرنگ-بالنگوی شهری)

1. Weih

2. Li

3. Vandermeer

4. Ghamari

5. Khoshghadam Pireyousefan

6. Kolvanagh

به دلیل بالاترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و سود اقتصادی و همچنین بیش‌ترین نسبت برابری زمین به عنوان الگوی مناسب کشت مخلوط پیشنهاد شد.

همچنین مطالعات مختلف حاکی از تأثیرپذیری مثبت بالنگوی شهری نسبت به مقدار کود اوره مصرفی می‌باشد. در این راستا، احمدی و فراهانی (۱۴۰۰) گزارش دادند که افزایش مصرف کود نیتروژن نسبت به شرایط عدم مصرف کود موجب افزایش کارایی جذب و استفاده نیتروژن در هر دو گونه بالنگو (شهری و شیرازی) شد. مصطفوی و جلیلیان (۱۳۹۸) نیز گزارش دادند که تیمار کود شیمیایی با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و وزن هزاردانه منجر به افزایش ۳۱ و ۲۴ درصدی عملکرد دانه و بیولوژیک بالنگوی شهری شد. باقری و پیرزاد (۱۴۰۱) نیز بیان کردند که کود نیتروژنه باعث افزایش میزان قندهای موجود در بذرهاي بالنگوی شهری شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به منظور بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی بالنگوی شهری در کشت مخلوط افزایشی با کرچک در سطوح مختلف کود نیتروژن، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اجرا شد. آمار هواشناسی در محدوده زمانی انجام آزمایش در جدول (۱) و نتایج تجزیه آزمون خاک مزرعه آزمایشی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین ماهانه شرایط آب‌وهوایی در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

ماه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	۳۲/۳	۲۶/۵	۲۵	۲۶	۲۹/۷	۳۶/۱	۴۶/۹	۴۹/۹
دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	۱۱/۱	۵/۶	۲/۹	۶/۱	۷/۱	۱۰/۷	۱۹/۴	۲۵/۸
میانگین دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۹/۴	۱۵/۳	۱۴/۲	۱۵/۵	۱۸/۳	۲۴/۳	۳۳/۵	۳۹
بارندگی (میلی متر)	۱۵/۹	۲۰/۵	۴۵/۱	۱۳/۸	۱۷/۲	۲۰	۲	۰

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	بافت خاک	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن (درصد)	مواد آلی (درصد)
۰-۳۰ سانتی‌متر	لومی شنی	۱۳۰/۸	۱۱/۳	۷/۴۵	۳/۲	۰/۰۹۸	۰/۴۳

آزمایش به صورت کرت‌های یکبار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی مقادیر کود در سه سطح شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود. فاکتور فرعی تراکم‌های مختلف کشت در پنج سطح شامل کشت خالص کرچک، کرچک + ۲۰، ۴۰، ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری و کشت خالص بالنگوی شهری بود. این آزمایش به صورت کشت مخلوط افزایشی اجرا شد. گیاه اصلی کرچک، تراکم آن ثابت و معادل هشت بوته در مترمربع بود. پس از عملیات تهیه زمین، هنگام آماده‌سازی بستر کاشت ترکیبات فسفره به صورت سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در خاک مصرف شد. زمان‌بندی مصرف کود نیتروژن براساس مراحل حساس رشد بیولوژیک هر دو گیاه و براساس مطالعات پیشین (باقری و پیرزاد، ۱۴۰۱) در نظر گرفته شد. مقدار کود مصرفی به صورت یک سوم قبل از کاشت با هدف تأمین نیتروژن پایه برای استقرار اولیه گیاهچه‌ها از منبع اوره با پوشش گوگردی و دو سوم به صورت سرک و در سه مرحله (مرحله ۴-۶ برگی در کرچک و شروع ساقه‌دهی در بالنگو به میزان

یک سوم کل نیتروژن هم‌زمان با شروع رشد سریع رویشی که حداکثر نیاز به نیتروژن برای توسعه سایه‌انداز برگ‌ها می‌باشد و شروع گلدهی در هر دو گیاه به میزان یک سوم باقیمانده در جهت تأمین نیتروژن برای توسعه اندام‌های زایشی و جلوگیری از تنش نیتروژنی در دوره پرشدن دانه‌ها مصرف شد. بالنگوی کشت‌شده از توده‌های محلی خراسان جنوبی که با شرایط آب‌وهوایی نیمه‌گرم و خشک سازگاری دارد؟ انتخاب گردید. عملیات کشت در تاریخ ۲۷ خردادماه انجام شد. برای کشت کرچک، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل شش ردیف اصلی کاشت کرچک به طول سه متر (به مساحت ۱۸ متر) بود و سپس کشت بالنگوی شهری در بین خطوط کرچک براساس تیمارهای آزمایشی انجام شد. برای کاشت بالنگوی شهری در روی خطوط، فاصله بین بوته‌های بالنگوی شهری برای تراکم‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۱۰، ۵ و ۳/۲۵ سانتی‌متر بود. معیار انتخاب تراکم‌ها در این پژوهش مطالعات قبلی (باقزری و پیرزاد، ۱۴۰۱؛ مصطفوی و جلیلیان، ۱۳۹۸) و داده‌های پایلوت (در سال قبل از آزمایش، طی یک مطالعه پایلوت، تراکم‌های ۱۰-۸۰ بوته در مترمربع در کشت مخلوط با کرچک ارزیابی شد. نتایج نشان داد تراکم‌های بالاتر از ۶۰ بوته در مترمربع موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر دو گیاه و افزایش تنش رقابتی می‌گردد) و ایجاد تراکم مناسب انتخاب شدند. اولین آبیاری نیز بلافاصله پس از عملیات کشت انجام شد. طی دوره آزمایش، تمام آفات، در طول دوره آزمایش، آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد و با علف‌های هرز مبارزه شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و از سه تا چهار برگی آغاز و به‌دلیل اختلافات مورفولوژیکی (اندازه و شکل ساقه و اختلاف ارتفاع دو گیاه) به‌صورت مستمر تا زمان برداشت ادامه داشت. عملیات برداشت محصول نیز در تاریخ دوم خردادماه ۱۴۰۲ انجام شد. در نهایت پس از ارزیابی نرمالیتی و تشخیص داده‌های پرت و بررسی همگنی واریانس‌ها مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۱ در سطح ۵ درصد انجام شد.

۳.۱. صفات مورد اندازه‌گیری

۳.۱.۱. ارتفاع بوته و اجزای عملکرد دانه کرچک و بالنگوی شهری

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، از هر واحد آزمایشی پنج بوته کرچک به‌طور تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری ارتفاع ساقه، کفبر و به‌طور جداگانه به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سپس تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی و تعداد کپسول در بوته شمارش شد. در ادامه تعداد پنج کپسول به‌طور تصادفی در هر بوته انتخاب و تعداد دانه‌های درون هر کپسول مورد شمارش قرار گرفت و در نهایت میانگین‌گیری صورت گرفت. برای تعیین وزن هزاردانه از دانه‌های برداشت‌شده از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی یک نمونه ۵۰۰ تایی شمارش شد و با ترازوی دقیق با دقت چهار رقم وزن شدند و با استفاده از عمل تناسب وزن هزاردانه برای هر واحد آزمایشی به‌دست آمد.

۳.۱.۲. صفات عملکرد دانه و زیست‌توده کرچک و بالنگوی شهری

به‌منظور برآورد عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل (زمانی که ۷۰ درصد دانه‌ها در کپسول‌ها قهوه‌ای شدند) با در نظر گرفتن حذف اثر حاشیه، دو مترمربع از هر کرت برداشت شد، سپس بوته‌های کرچک و بالنگو به‌طور جداگانه برداشت و به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند و سپس توزین و وزن ماده‌خشک (عملکرد زیست‌توده) نمونه‌های آزمایشی محاسبه گردید. پس از جدانمودن بذرها و توزین دانه‌های هر کرت، عملکرد دانه در واحد مترمربع محاسبه شد. صفت شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده و برحسب درصد محاسبه شد.

1. Least Significant Different (LSD)

۳.۱.۳. ارزیابی سودمندی کشت مخلوط

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین (LER)^۱ استفاده شد (آفه^۲ و آتندا^۳، ۲۰۱۵). این نسبت براساس سطح زیر کشت محاسبه می‌شود و نشان می‌دهد که برای به‌دست‌آوردن محصول یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به‌صورت تک‌کشتی موردنیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود. برای تعیین این شاخص عملکرد نسبی هر جزء محاسبه می‌شود و مجموع آن‌ها بیانگر میزان LER می‌باشد (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳).

$$LER_t = LER_a + LER_b \quad \text{رابطه ۱}$$

$$LER_a = Y_{ab}/Y_a \quad \text{رابطه ۲}$$

$$LER_b = Y_{ba}/Y_b \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این روابط، LER_t مجموع کل نسبت برابری زمین بین دو گونه؛ LER_a و LER_b به‌ترتیب نسبت برابری زمین برای گونه a و گونه b؛ Y_{ab} و Y_{ba} به‌ترتیب عملکرد گونه a و گونه b در کشت مخلوط و Y_a و Y_b به‌ترتیب عملکرد گونه a و گونه b در کشت خالص است.

کارایی زراعی نیتروژن که با تقسیم عملکرد دانه به نیتروژن مصرفی به‌دست می‌آید، برای هر یک از دو گیاه در کشت خالص و مخلوط با استفاده از رابطه (۴) زیر محاسبه خواهد شد:

$$AEN = (Y_n - Y_0)/N_f \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه، AEN، کارایی زراعی مصرف نیتروژن؛ Y_n، عملکرد دانه در تیمارهای مصرف کود (۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)؛ Y₀، عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف کود (شاهد) و N_f، مقدار کود نیتروژن مصرف شده هستند (لوپز-بلیدو^۴ و همکاران، ۲۰۰۵).

در یک نظام کشت مخلوط، ضریب ازدحام نسبی (RCC)^۵ معیاری از تسلط نسبی یک محصول بر دیگری است. برای گیاه a در رابطه با گیاه b،

$$K_{ab} = \frac{Y_{ab} X_{ba}}{(Y_{aa} - Y_{ab}) X_{ab}} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در این معادله، X_{ab}، نسبت ردیف‌های کاشته‌شده گیاه a در مخلوط با گیاه b (فراوانی گونه a در مخلوط با گونه b) و X_{ba}، نسبت ردیف‌های کاشته‌شده گیاه b در مخلوط با گیاه a (فراوانی گونه b در مخلوط با گونه a) است (رابطه ۵). برای گیاه b در رابطه با گیاه a، K_{ba} به‌روش مشابهی با تابع بالا محاسبه خواهد شد. چنانچه حاصل ضرب دو ضریب K_{ab} و K_{ba} معادل با K در نظر گرفته شود، اگر K به‌دست‌آمده در نظام کشت مخلوط بزرگ‌تر از ۱ باشد، مزیت عملکردی وجود دارد. اگر K به‌دست‌آمده برابر با ۱ باشد، مزیت عملکردی وجود ندارد و اگر K کمتر از ۱ باشد، بیانگر وجود کاهش عملکرد در نظام کشت مخلوط است (گوش^۶ و همکاران، ۲۰۰۶).

نسبت رقابت (CR)^۷ نیز بیانگر میزان تفاوت ماده خشک هر گونه، هنگامی که به‌صورت مخلوط کشت‌شده در مقایسه با کشت خالص آن می‌باشد و با استفاده از سهم نسبی آن‌ها در حالت مخلوط تصحیح می‌گردد. به این ترتیب می‌توان سطح رقابت را تعیین نمود (ویلی^۸ و رائو^۹، ۱۹۸۰). این معیار با استفاده از معادله زیر تعیین می‌شود:

1. Land Equivalent Ratio
2. Afe
3. Atanda
4. Lopez-Bellido
5. Relative crowding coefficient
6. Ghosh
7. Competition ratio
8. Willey
9. Rao

$$CR_a = \left(\frac{LER_a}{LER_b} \right) \left(\frac{X_{ba}}{X_{ab}} \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

که در این معادله CR_a نسبت رقابت محصول غالب است. اگر $CR_a < 1$ باشد، مزیت عملکردی مثبتی در کشت مخلوط برای گیاه a وجود دارد، اگر $CR_a > 1$ باشد، مزیت عملکردی گیاه a در کشت مخلوط منفی است. شاخص مزیت پولی (MAI)^۱ به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$MAI = \frac{\text{value of combined intercrops} \times (LER - 1)}{LER} \quad \text{رابطه ۷}$$

هرچه مقدار شاخص MAI بالاتر باشد، نظام کشت مخلوط سود بیش‌تری دارد (Ghosh et al., 2006). علاوه بر معیارهای بالا، شاخص برداشت دانه با تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک و بیان آن به‌صورت درصد محاسبه شد.

در نهایت تجزیه آماری با استفاده از برنامه آماری SAS (نسخه ۹/۴) و ترسیم نمودارها با استفاده برنامه‌های وورد^۲ و اکسل^۳ انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهشی

۴.۱. ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که اثرات اصلی سطوح نیتروژن و تراکم به‌ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته بالنگوی شهری داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح نیتروژن نشان داد که کم‌ترین میانگین ارتفاع بوته (۳۴/۳ سانتی‌متر) در تیمار بدون کود نیتروژن (شاهد) مشاهده شد که تحت سطوح تیماری ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب با ۶۸ و ۹۱ درصد افزایش به مقادیر ۷۴/۵ و ۸۴/۷ سانتی‌متر رسید (جدول ۴). سطوح تیماری ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم هکتار کود نیتروژن با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند، اما نسبت به تیمار شاهد برتری آماری معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر اصلی تراکم نشان داد که میانگین ارتفاع بالنگوی شهری در کشت خالص و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب برابر با ۶۳ و ۶۳/۷ سانتی‌متر بود که با افزایش تراکم به ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع به‌صورت مخلوط به با کرچک به‌ترتیب به مقادیر ۶۹/۷ و ۷۴/۹ سانتی‌متر رسید که افزایش نه و ۱۸ درصدی را نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع نشان دادند. ارتفاع بالنگو در تراکم ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع اختلاف آماری معنی‌داری نداشت، اما تراکم ۶۰ بوته در مترمربع نسبت به کشت خالص بالنگو و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع، به‌طور معنی‌داری ارتفاع ساقه بیش‌تری را نشان دادند (جدول ۴).

۴.۲. تعداد برگ در بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس، مشاهده شد که تعداد برگ در بوته بالنگوی شهری به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر اثرات اصلی نیتروژن و تراکم قرار گرفت (جدول ۳). به‌طور مشخص، کاربرد نیتروژن موجب تحریک رشد برگ‌ها از دو مسیر فیزیولوژیک شد. مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد که میانگین تعداد برگ در تیمار شاهد (بدون کود) برابر با ۱۸/۵ برگ در بوته بود که تحت شرایط کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب با ۳۶/۸ و

1. Monetary advantage index

2. Word

3. Excel

۹۰/۳ درصد افزایش به مقادیر ۲۵/۳ و ۳۵/۲ برگ در بوته رسید (جدول ۴). این افزایش و رشد تصاعدی در سطح کاربرد نیتروژن نسبت به عدم کاربرد نشان از توسعه مورفولوژیک داشته و بهبود کارکرد فیزیولوژیک از جمله افزایش ۴۰ درصدی سطح برگ ویژه و توسعه ۳۵ درصدی مدت عمر برگ‌ها را در پی داشت. مقایسه میانگین سطوح تراکم نیز نشان داد که در کشت خالص بالنگوی شهری بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۲۹/۷ برگ) مشاهده شد که البته از این نظر با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (۲۸/۸ برگ) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل کم‌ترین تعداد برگ در بوته مربوط به تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (۲۱/۰ برگ) بود که اختلاف آماری معنی‌داری سایر سطوح تیماری داشت (جدول ۴). در شرایط کشت خالص، بالنگو با تولید ۲۹/۷ برگ در بوته، حداکثر توان فتوسنتزی خود را نشان داد. این در حالی بود که در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع، کاهش ۳۰ درصدی تعداد برگ (۲۱ برگ در بوته) مشاهده شد که نشان‌دهنده رقابت درون‌گونه‌ای برای منابع نور و نیتروژن است، این یافته‌ها از نظریه سلسله‌مراتب پاسخ‌های رشد (پورتر و همکاران، ۲۰۱۲) حمایت می‌کند که پیش‌بینی می‌کند نیتروژن ابتدا رشد برگ‌ها را تحریک (مرحله رویشی) و سپس منابع به سمت اندام‌های زایشی هدایت می‌شوند (مرحله زایشی). این نتایج با یافته‌های قمری و همکاران (۲۰۲۳) همسو است که نشان دادند بالنگوی شهری در پاسخ به هر ۵۰ کیلوگرم نیتروژن اضافی، به‌طور متوسط ۱۸-۲۰ برگ جدید تولید می‌کند.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات کمی گیاه بالنگوی شهری تحت سطوح مختلف نیتروژن و الگوی‌های مختلف کشت مخلوط کرچک- بالنگوی شهری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع کل بوته	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد کیسول در بوته	تعداد دانه در کیسول	وزن هزاردانه	میانگین مربعات	
								عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده
بلوک	۲	۱۶/۴	۱۵/۴	۶/۵۸	۳۸/۴	۰/۹۰	۰/۱۱	۵۱۸۸	۶۶۹۷۸
نیتروژن	۲	۵۳۱۰**	۸۴۰**	۶۰/۲۱**	۹۹۱۵**	۰/۵۱*	۰/۴۸*	۹۱۸۰۷۷**	۵۰۷۹۴۸۰**
خطا	۴	۱۹۷	۲۸/۸	۱/۹۱	۴۰۸	۰/۰۳۸	۰/۲۲	۱۴۷۷۲	۳۱۱۱۰
تراکم	۳	۲۸۳*	۱۳۶**	۲۴/۵**	۲۷۶۶**	۰/۳۶*	۱/۲۱**	۹۳۵۵۲۴**	۴۶۸۶۷۹۷**
نیتروژن × تراکم	۶	۶/۸۷ ^{ns}	۵/۸۶ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	۱۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۲۴ ^{ns}	۶۶۱۵۰**	۳۸۲۶۵۱**
خطا	۱۸	۸۱/۴	۱۳/۷	۲/۹۰	۳۵۷	۰/۱۵	۰/۱۳	۱۶۰۶۵	۶۱۸۹۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۳۰	۱۴/۰۶	۱۹/۱۶	۱۱/۸۲	۱۷/۳۳	۷/۹۵	۲۱/۰۱	۱۷/۴۶

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات کمی گیاه بالنگوی شهری در سطوح مختلف نیتروژن و الگوی‌های مختلف کشت مخلوط کرچک- بالنگوی شهری

سطوح نیتروژن	ارتفاع کل بوته	تعداد برگ	تعداد شاخه	تعداد کیسول	تعداد دانه در کیسول	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت
(کیلوگرم در هکتار)	(سانتی‌متر)	در بوته	فرعی	در بوته	کیسول	(گرم)	(کیلوگرم در هکتار)	(کیلوگرم در هکتار)	(درصد)
صفر	۴۴/۲b	۱۸/۵c	۷/۲۵b	۱۳۱/۳c	۲/۱۱b	۴/۲۸b	۳۴۱/۸c	۸۴۴/۴c	۳۸/۹a
۵۰	۷۴/۵a	۲۵/۲b	b/۰۸	۱۵۹/۳b	۲/۱۱b	۴/۴۹b	۵۷۴/۴b	۱۳۰۱/۳b	۴۳/۹a
۱۰۰	۸۴/۷a	۳۵/۲a	۱۱/۴۵a	۱۸۸/۸a	۲/۴۷a	۴/۶۸a	۸۹۲/۸a	۲۱۲۸a	۴۲/۲a
LSD	۱۶/۰۰۳	۶/۱۳۳۱	۱/۴۰۱	۲۲/۸۰۵	۰/۱۸۸۹	۰/۳۳۷۲	۱۳۷/۵۳	۱۹۹/۹۲	۶/۲۸۴
تراکم (بوته در مترمربع)									
۲۰	۶۳/۷b	۲۸/۸ab	۹/۹۳a	۱۷۲ab	۲/۳ab	۴/۵۶ab	۲۴۲/۹d	۶۱۲/۲d	۳۸/۸a
۴۰	۶۹/۷ab	۲۵/۷b	۸/۶۷a	۱۵۴/۸bc	۲/۷ab	۴/۴۶b	۴۷۵/۲۷c	۱۰۶۸/۲c	۴۳/۹a
۶۰	۷۴/۹a	c/۰۲۱	۶/۶۷b	۱۳۷/۲c	۱/۹۷b	۴/۰۱c	۶۹۳/۸b	۱۷۹۳/۷b	۳۹/۳a
کشت خالص	b/۰۶۳	۲۹/۷a	۱۰/۳۳a	۱۷۵/۲a	۲/۴۴a	۴/۹a	۱۰۰۰a	۲۲۲۴a	۴۴/۶a
LSD	۹/۰۳۳۴	۳/۵۶۷۱	۱/۷۸۵۴	۱۸/۷۳۳	۰/۴۴۷	۰/۳۱۶۱	۱۲۵/۴۶	۲۴۶/۳۹	۶/۱۰۹۶

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

۳.۴. تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه فرعی بالنگو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که تعداد شاخه فرعی در سطوح کودی صفر و ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن (به‌ترتیب ۷/۲ و ۸/۰ شاخه بود و با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در مقابل در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن تعداد شاخه فرعی به‌طور معنی‌داری (۱۱/۵ شاخه) بالاتر از سایر سطوح تیماری بود (جدول ۴).

در بین سطوح تراکم نیز مشاهده شد که میانگین تعداد شاخه فرعی در کشت خالص (۱۰/۳ شاخه فرعی) و تراکم‌های ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط (به‌ترتیب ۹/۹ و ۸/۷ شاخه فرعی) اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل تراکم ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری میانگین تعداد شاخه فرعی (۶/۷ شاخه فرعی) کم‌تری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت (جدول ۴).

۴.۴. تعداد کپسول در بوته

مقایسه میانگین صفت تعداد کپسول در بوته بالنگو نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی نیتروژن نشان داد که میانگین تعداد کپسول در بوته در تیمار صفر کیلوگرم کود نیتروژن برابر با ۱۳۱/۳ کپسول بود که تحت تیمار کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب با ۲۱ و ۴۴ درصد افزایش به‌ترتیب به مقادیر ۱۵۹/۳ و ۱۸۸/۸ کپسول در بوته رسید و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثرات اصلی تراکم نیز نشان داد که میانگین تعداد کپسول در بوته در کشت خالص و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط با کرچک به‌ترتیب برابر با ۱۷۵/۲ و ۱۷۲ کپسول در بوته بود و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۴). تحت تراکم‌های ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع میانگین تعداد کپسول در بوته به مقادیر ۱۵۴/۸ و ۱۳۷/۲ کپسول رسید و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

۵.۴. تعداد دانه در کپسول

فاکتورهای کود نیتروژن و تراکم تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول بالنگو در سطح یک درصد داشتند (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین صفت تعداد دانه در کپسول تحت سطوح کود نیتروژن مشخص شد که تیمارهای صفر و ۵۰ کیلوگرم به‌ترتیب دارای ۲/۱۱ دانه بودند و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در مقابل تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول (۲/۵ دانه) را داشت و از این نظر نسبت به دو سطح تیماری دیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۴).

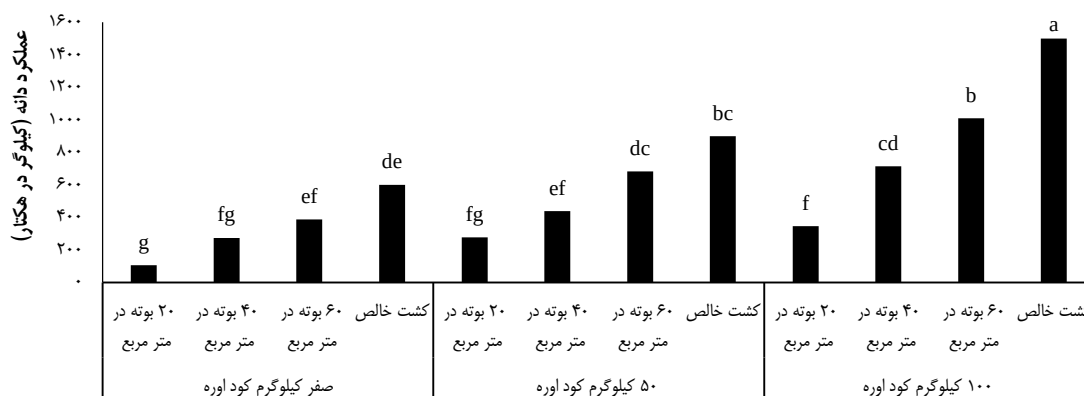
مقایسه میانگین اثرات اصلی تراکم نیز نشان داد که میانگین تعداد دانه در کشت خالص بالنگوی شهری برابر با ۲/۴۴ بود که با تراکم ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط با کرچک (به‌ترتیب ۲/۳ و ۲/۲ دانه در کپسول) اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل کم‌ترین تعداد دانه در کپسول مربوط به تراکم ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری (۱/۹۷ دانه در کپسول) بود (جدول ۴).

۴.۶. وزن هزاردانه

فاکتورهای نیتروژن در سطح پنج درصد و تراکم بوته در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه بالنگو داشت (جدول ۳). بر این اساس مشاهده شد که میانگین وزن هزاردانه در سطوح صفر و ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب برابر با ۴/۲۸ و ۴/۴۹ گرم بود که از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در مقابل بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۴/۶۸ گرم) بود و از این نظر با دو تیمار دیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۴). افزایش ۹ درصدی وزن هزاردانه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن حاصل بهینه‌سازی تخصیص کربن به دانه‌ها تحت تأثیر کاهش رقابت درون‌گیاهی می‌باشد، مکانیسمی که توسط گریم (۱۹۷۷) در نظریه CSR توضیح داده شده است. براساس مدل CSR، در گیاهان سه نوع استراتژی اولیه شامل استراتژی رقابتی (C)، تحمل تنش (S) و خرابه‌زی (R) و چندین استراتژی ثانویه که تلفیقی از استراتژی‌های اولیه هستند، قابل تشخیص است (گریم، ۱۹۷۷؛ هودسون و همکاران، ۱۹۹۹). تحت سطوح تراکم نیز مشخص شد میانگین وزن هزاردانه در کشت خالص و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط برابر با ۴/۹ و ۴/۵۶ گرم بود و اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). کم‌ترین میانگین وزن هزاردانه مربوط به تراکم ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در کشت مخلوط با کرچک (۴/۰۱ گرم) بود که از این نظر با سایر سطوح تیماری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۴). یوسفیان قهفرخی و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند کود شیمیایی به تنهایی و یا ترکیب کود دامی با کود شیمیایی به‌دلیل معدنی‌شدن تدریجی عناصر، دسترسی و فراهمی بیش‌تر عناصر با نیاز گیاه در تک‌کشتی و کشت مخلوط می‌تواند نقش مهمی در جذب و غلظت عناصر گیاه و به‌دنبال آن افزایش عملکرد ایفا کند با استناد به نتایج کریمی و همکاران (۱۳۹۸) مشخص شد که حذف آلودگی علف‌های هرز موجب تأثیر معنی‌دار روی وزن هزاردانه شد، نتایج نشان داد تیمار با مصرف کود می‌تواند به‌دلیل تحریک فرایندهای متابولیسمی گیاه در مرحله رشد زایشی برای تولید مقادیر بالای کربوهیدرات و انتقال آن‌ها به دانه و در نتیجه افزایش تأثیر بر روی وزن هزاردانه باشد. قاسمی و همکاران (۲۰۱۱) در ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) و بهاری و پیردشتی (۲۰۱۳) در گندم گزارش کردند که وزن هزاردانه گیاهان مذکور تحت تأثیر مصرف نوع کود افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد با ایجاد شرایط رقابتی سهم هر گیاه از منابع کاهش می‌یابد. مطابق مدل رقابتی و اندرمیر (۱۹۸۹)، کاهش وزن هزاردانه در تراکم‌های بالا (۴/۰۱ گرم در ۶۰ بوته) نشان‌دهنده رقابت درون‌گونه‌ای بر سر منابع نور و نیتروژن است. این موضوع با کاهش ۲۶ درصدی در نسبت برابری زمین (LER) در تراکم‌های پایین‌تر تأیید می‌شود.

۴.۷. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که اثرات اصلی فاکتورهای کود و تراکم و برهم‌کنش کود×تراکم در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر میانگین عملکرد دانه داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی از نظر این صفت نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به کشت خالص بالنگوی شهری بود و از این نظر با سایر سطوح تیماری اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۱). نتایج همبستگی بین صفات موردبررسی نشان داد که بین عملکرد دانه با عملکرد زیست‌توده ($r=0.96^{**}$)، تعداد کپسول در بوته ($r=0.77^{**}$) و تعداد شاخه فرعی ($r=0.44^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵).



شکل ۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود × تراکم از نظر صفت عملکرد دانه بالنگوی شهری. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

جدول ۵. نتایج همبستگی بین صفات مورد بررسی در گیاه بالنگوی شهری

ارتفاع کل بوته (۱)	تعداد برگ در بوته (۲)	تعداد شاخه فرعی (۳)	تعداد کپسول در بوته (۴)	تعداد دانه در کپسول (۵)	وزن هزارانه (۶)	عملکرد دانه (۷)	عملکرد زیست‌توده (۸)	شاخص برداشت (۹)
۱/۰۰								
۰/۵۷**	۱/۰۰							
۰/۳۱ ns	۰/۷۱**	۱/۰۰						
*۰/۴۲	۰/۸۱**	۰/۷۹**	۱/۰۰					
۰/۲۶ ns	۰/۵۹**	۰/۵۴**	۰/۵۸**	۱/۰۰				
۰/۱۸ ns	۰/۶۴**	۰/۵۷**	۰/۷۰**	۰/۴۷*	۱/۰۰			
۰/۰۲ ns	۰/۲۶ ns	۰/۵۱**	۰/۷۷**	۰/۰۵ ns	۰/۲۸ ns	۱/۰۰		
۰/۰۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۲۴ ns	۰/۲۱ ns	۰/۷۰**	۰/۳۱ ns	۰/۹۶**	۱/۰۰	
۰/۳۷ ns	۰/۳۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۱۴ ns	۰/۱۲ ns	۰/۰۹ ns	۰/۲۳ ns	۰/۰۰ ns	۱/۰۰

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

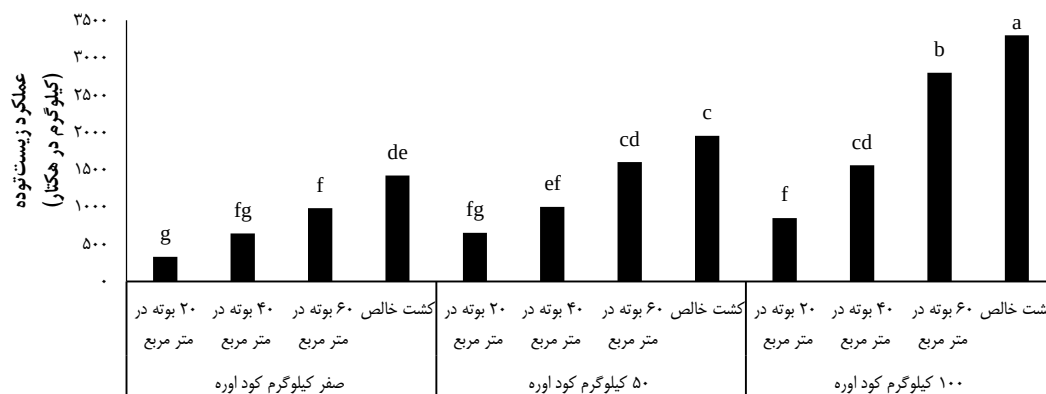
۴.۸. عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که عملکرد زیست‌توده تحت تأثیر اثرات اصلی و برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و کشت خالص بالنگوی شهری (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود و از این نظر با سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری داشت (شکل ۲).

۴.۹. شاخص برداشت

مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر هیچ‌یک از فاکتورهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات آزمایشی، میانگین شاخص برداشت در سطوح تیماری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به ترتیب برابر با ۳۸/۹، ۴۳/۹ و ۴۲/۲ درصد بود و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). تحت سطوح تراکم نیز مشخص شد که میانگین شاخص برداشت در کشت خالص و تراکم‌های ۲۰،

۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری در مخلوط با کرچک به‌ترتیب برابر با ۴۴/۶، ۳۸/۸، ۴۳/۹ و ۳۹/۳ درصد بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴).



شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود× تراکم از نظر صفت عملکرد زیست‌توده بالنگوی شهری. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

۴.۱۰. شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

۴.۱۰.۱. عملکرد دانه مخلوط

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد کل مخلوط نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر اثر اصلی کود نیتروژن در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کود نیتروژن، میانگین عملکرد کل مخلوط در تیمار بدون کود نیتروژن (شاهد) برابر با ۱۴۷۷ کیلوگرم بود که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب با ۵۷ و ۱۰۵ درصد افزایش به مقادیر ۲۳۱۶ و ۳۰۲۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۷).

در مقابل تحت سطوح مختلف تراکم بالنگوی شهری مخلوط با کرچک، میانگین عملکرد دانه با یکدیگر اختلافی معنی‌داری نداشتند. این نتایج بیانگر این نکته است که هر چند با افزایش تراکم بالنگوی شهری با کرچک میانگین عملکرد کرچک کاهش یافت، اما به‌دلیل افزایش عملکرد بالنگوی شهری در شرایط افزایش تراکم این گیاه، کاهش عملکرد کرچک جبران شده و به‌طور مجموع عملکرد دو محصول افزایش یافته اما اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۷).

۴.۱۰.۲. نسبت برابری زمین (جزئی و کلی)

شاخص نسبت برابری زمین نشانگر سودمندی کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس صفت نسبت برابری زمین جزئی بالنگوی شهری در الگوی کشت مخلوط کرچک و بالنگوی شهری تنها تحت تأثیر اثرات اصلی تراکم قرار گرفت (جدول ۶).

بنابر نتایج مقایسه میانگین صفات، نسبت برابری زمین جزئی کرچک مخلوط با بالنگوی شهری نشان داد که تحت تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری-کرچک، میانگین نسبت برابری زمین کرچک برابر با ۰/۹۲ بود که با افزایش تراکم بالنگوی شهری به ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع، میانگین این صفت به‌ترتیب به مقادیر ۰/۸۵ و ۰/۷۷ کاهش یافت و از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۷). نسبت برابری زمین جزئی بالنگوی شهری نیز نشان داد با افزایش تراکم

این گیاه میانگین این صفت افزایش معنی‌داری یافت. به گونه‌ای که میانگین نسبت برابری زمین جزئی بالنگوی شهری در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع برابر با ۰/۲۵ بود که با افزایش تراکم این گیاه به تراکم‌های ۴۰ و ۶۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب به مقادیر ۰/۴۸ و ۰/۷ افزایش یافت و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۷).

نسبت برابری زمین کلی نشان داد که در سطوح مختلف کشت مخلوط افزایشی کرچک-بالنگوی شهری، با افزایش تراکم بالنگوی شهری نسبت برابری زمین کلی افزایش یافت. نسبت برابری زمین کلی مخلوط در تیمار ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک برابر با ۱/۱۷ بود که در تیمارهای ۴۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک و ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک به‌ترتیب با ۱۴ و ۲۶ درصد افزایش به مقادیر ۱/۳۴ و ۱/۴۷ رسید (جدول ۷).

جدول ۶. تجزیه واریانس صفات شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط تحت سطوح مختلف نیتروژن و الگوی‌های مختلف کشت مخلوط کرچک-بالنگوی شهری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						شاخص مزیت پولی		
		عملکرد دانه		نسبت برابری زمین		ضریب ازدحام نسبی				
		کرچک	کل مخلوط	کرچک	بالنگوی شهری	کل مخلوط	رقابت			
بلوک	۲	۷۲۳۲	۸۸۴۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۵۰	۰/۰۳۲	۰/۶۸	۲/۶۳	۰/۰۵	۵۰۰۵
نیتروژن	۲	۲۸۰۸۷۸۱**	۵۴۱۰۱۶۵**	۰/۰۰۱۴ ns	۰/۰۲۰ ns	۰/۰۳ ns	۰/۱۷ ns	۱/۹۸ ns	۰/۹۳**	۳۸۶۵۵۲**
خطا	۴	۱۹۳۹۶	۱۵۱۶۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۳۶	۰/۰۴	۱/۸۵	۰/۰۸	۵۵۸۲
تراکم	۲	۲۰۹۶۸۰**	۴۸۴۸۱ ns	۰/۰۵**	۰/۴۵۳**	۰/۲۰**	۰/۲۰ ns	۱۹۱**	۸/۵۷**	۴۱۴۰۰۷**
نیتروژن × تراکم	۴	۱۷۳۶۹ ns	۲۶۶۱۱ ns	۰/۰۰۵۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۱۵ ns	۱۰/۶**	۰/۴۸**	۳۶۴۱۴**
خطا	۱۲	۲۳۹۰۱	۴۶۲۹۶	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۵	۰/۰۸۷	۰/۶۵	۰/۰۷۹	۴۵۶۱
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۵۷	۹/۴۶	۷/۰۳	۱۸/۸۲	۹/۳۹	۲۳/۲۸	۱۰/۲۱	۲۳/۱۴	۱۲/۳۷

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط تحت سطوح مختلف نیتروژن و الگوی‌های مختلف کشت مخلوط کرچک-بالنگوی شهری

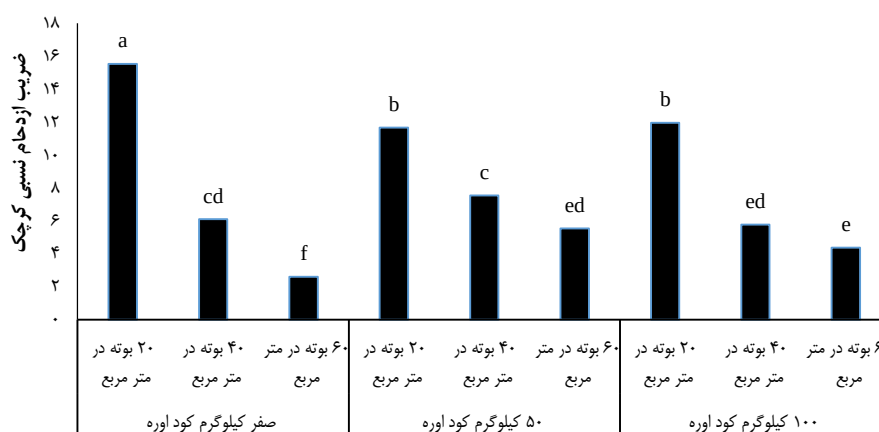
سطوح نیتروژن	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)			نسبت برابری زمین		ضریب ازدحام نسبی		شاخص
	کرچک	کل مخلوط	کرچک	بالنگوی شهری	کل مخلوط	کرچک	بالنگوی شهری	مزیت پولی
صفر	۱۲۲۲ c	۱۴۷۷ c	-/۸۴ a	-/۴۳ a	۱/۲۷ a	۸/۰۸ a	-/۹۸ b	۳۰۹ b
۵۰	۱۸۵۰ b	۲۳۱۶ b	-/۸۶ a	-/۵۲ a	۱/۳۹ a	۸/۲۵ a	۱/۵۸ a	۶۳۶ a
۱۰۰	۲۳۳۶ a	۳۰۲۶ a	-/۸۴ a	-/۴۷ a	۱/۳۲ a	۸/۳۷ a	۱/۱ b	۶۹۳ a
LSD	۱۸۲/۲۸	۱۶۱/۱۹	-/۱۴۶	-/۱۵۷۳	-/۲۵۰۴	۱/۷۸۴۷	-/۳۷۱۵	۹۷/۷۹۱
تراکم (بوته در مترمربع)								
۲۰	۱۹۵۲ a	۲۱۹۵ a	-/۹۲ a	-/۲۵ c	۱/۱۷ c	۱۳/۰۵ >	-/۳۵ c	۳۳۱ c
۴۰	۱۸۰۸ a	۲۲۸۳ a	-/۸۵ b	-/۴۸ b	۱/۳۴ b	۶/۴۷ b	۱/۰۴ b	۵۶۹ b
۶۰	۱۶۴۷ b	۲۳۴۱ a	-/۷۷ c	-/۷ a	۱/۴۷ a	۴/۱۷ c	۲/۲۸ a	۷۴۸ a
LSD	۱۵۸/۷۹	۲۲۱	-/۰۶۱۴	-/۰۹۱۹	-/۱۳۷۹	-/۰۸۲۸۸	-/۲۹۰۱	۳۷۲/۶

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

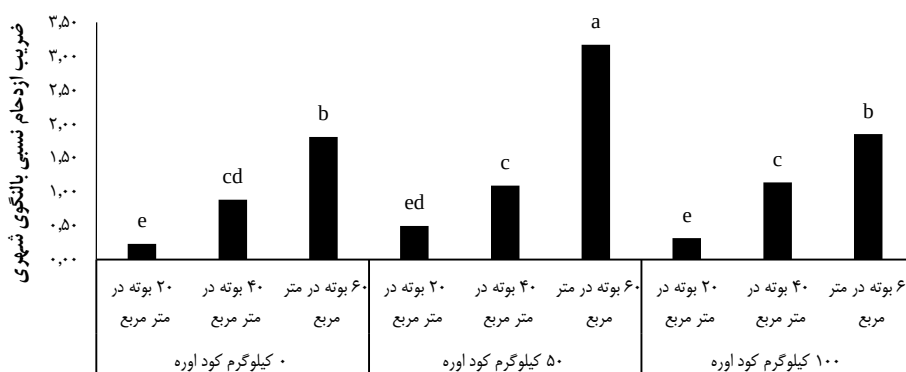
۴.۱۰.۳. ضریب ازدحام نسبی کرچک و بالنگوی شهری

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که صفت ضریب ازدحام نسبی کرچک تحت تأثیر اثر اصلی تراکم و اثر متقابل کود نیتروژن × تراکم در سطح یک درصد قرار گرفت. ضریب ازدحام نسبی بالنگوی شهری تحت تأثیر اثرات اصلی کود نیتروژن، تراکم و اثر متقابل کود نیتروژن × تراکم در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۷).

مقایسه میانگین برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی از نظر ضریب ازدحام نسبی گیاه کرچک در کشت مخلوط نشان داد که میانگین این شاخص در تیمار صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و کرچک + ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری برابر با ۱۵/۵ بود که از نظر آماری میانگین بالاتری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل کم‌ترین میانگین ضریب ازدحام نسبی کرچک مربوط به تیمار بدون کاربرد کود نیتروژن و کرچک + ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری (۲/۶) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (شکل ۳). به‌طور کلی نتایج بررسی صفت ضریب ازدحام نسبی کرچک نشان داد که در همه سطوح کود نیتروژن، با افزایش تراکم بالنگوی شهری در مخلوط با کرچک، ضریب ازدحام نسبی کرچک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). مقایسه میانگین ضریب ازدحام نسبی بالنگوی شهری نشان داد که بیش‌ترین میانگین ضریب ازدحام نسبی بالنگوی شهری مربوط به تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن و کرچک + ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری بود (۳/۱۷) و از این نظر با سایر سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری داشت (شکل ۴). کم‌ترین میانگین ضریب ازدحام نسبی بالنگوی شهری مربوط به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک در هر سه سطح کاربرد کود نیتروژن بود که از این نظر با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (شکل ۴).



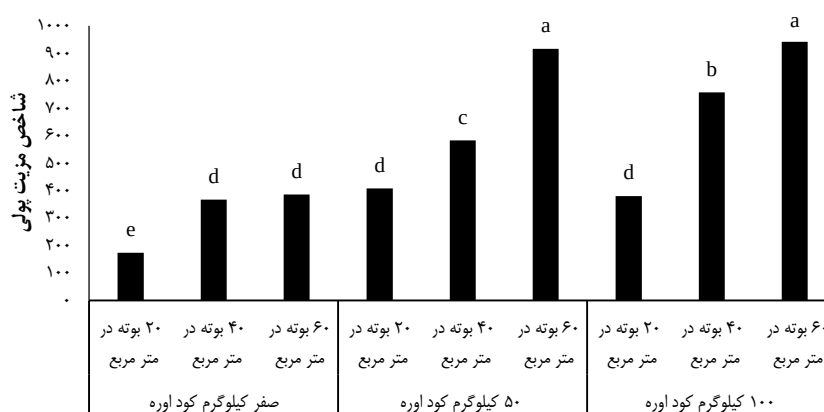
شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود × تراکم از نظر صفت ضریب ازدحام نسبی کرچک. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).



شکل ۴. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود × تراکم از نظر صفت ضریب ازدحام نسبی بالنگوی شهری. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

۴.۱۰.۴. شاخص مزیت پولی (MAI)^۱

شاخص مزیت پولی کشت مخلوط تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۷). مقایسه میانگین صفات آزمایشی نشان داد بیش‌ترین میانگین شاخص مزیت پولی مربوط به تیمارهای ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری+ کرچک در شرایط کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن (به‌ترتیب ۹۱۶ و ۹۴۲) بود که نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری را نشان دادند. در مقابل، کم‌ترین میانگین این شاخص مربوط به تیمار ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری+ کرچک در شرایط بدون کاربرد کود نیتروژن (۱۷۴) بود که نسبت به سایر سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری داشت (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود× تراکم از نظر صفت شاخص مزیت پولی. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح پنج درصد).

۴.۱۰.۵. کارایی زراعی مصرف نیتروژن

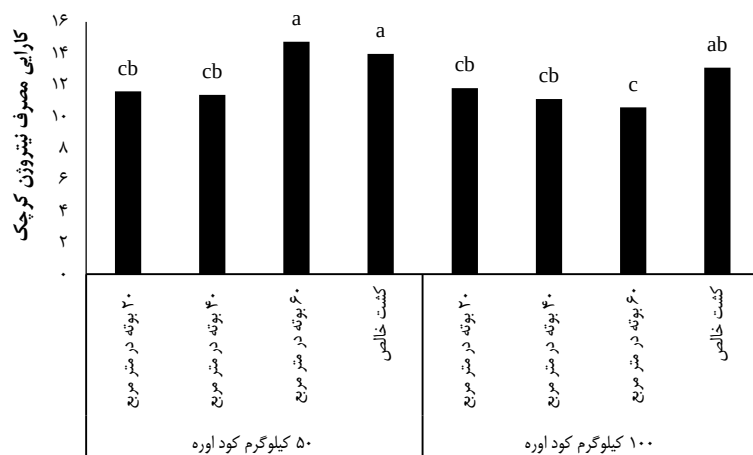
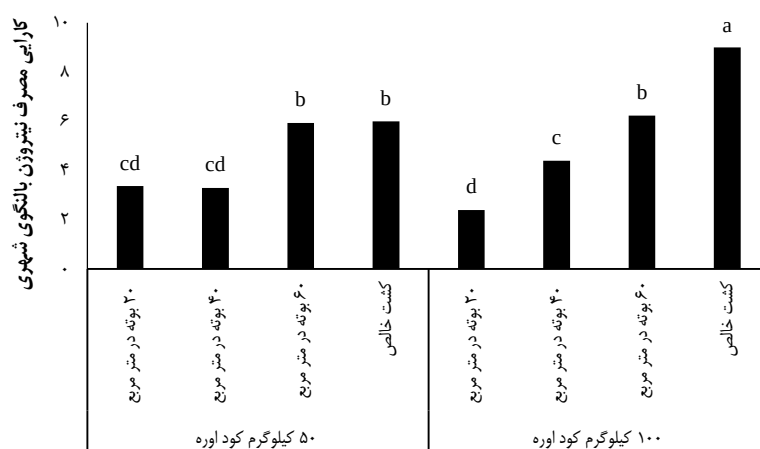
بررسی نتایج تجزیه واریانس صفت کارایی زراعی مصرف نیتروژن در کرچک و بالنگوی شهری نشان داد که این صفت در هر دو گیاه تحت تأثیر اثرات اصلی کود نیتروژن و تراکم و برهم‌کنش فاکتورهای کود نیتروژن و تراکم قرار گرفت (جدول ۸). در گیاه زراعی کرچک، مقایسه میانگین برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که بالاترین میانگین کارایی مصرف نیتروژن مربوط به سطوح کشت خالص و تراکم ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری+ کرچک در شرایط کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب با میانگین ۱۳/۹ و ۱۴/۷ و کشت خالص در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۱۳/۱) بود که با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در مقابل بین سایر سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶).

بررسی مقایسه میانگین کارایی مصرف نیتروژن در بالنگوی شهری نیز نشان داد که بیش‌ترین میانگین این صفت مربوط به تیمار کشت خالص در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن (۹) بود که نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی برتری آماری معنی‌داری داشت. به‌طوری‌نتایج نشان داد که در هر دو سطح کاربرد کود نیتروژن با افزایش تراکم بالنگوی شهری، کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت. به گونه‌ای بیش‌ترین میانگین مربوط به تیمار کشت خالص و کم‌ترین میانگین این صفت مربوط به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بود (شکل ۶).

جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس کارایی زراعی مصرف نیتروژن سطوح کشت مخلوط کرچک-بالنگوی شهری تحت سطوح مختلف نیتروژن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	کارایی زراعی مصرف نیتروژن کرچک	کارایی زراعی مصرف نیتروژن بالنگوی شهری
بلوک	۲		۰/۴۶	۰/۷۲
نیتروژن	۱		۹/۷۵*	۴/۴۲*
خطا	۲		۰/۹۸	۰/۴۱
تراکم	۳		۶/۲۷*	۲۶/۴**
نیتروژن × تراکم	۳		۵/۸۶*	۴/۱۴**
خطا	۱۲		۱/۳۵	۰/۵۳
ضریب تغییرات (درصد)		9/47		14/4

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۶. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود × تراکم از نظر صفت کارایی مصرف نیتروژن کرچک و بالنگوی شهری. ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD در سطح ۵ درصد).

۵. بحث

بالنگوی شهری نسبت به کاربرد کود نیتروژن پاسخ مثبت نشان داد. به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن از

طریق افزایش دوام و شاخص سطح برگ باعث شده تا شرایط مطلوب‌تری برای استفاده از نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی فراهم گردد که در نهایت سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گردیده است (نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). گزارش شده است که عنصر غذایی نیتروژن با تأثیری که بر رشد رویشی و زایشی گیاه دارویی بالنگو دارد، باعث تغییراتی در عملکرد محصول می‌شود و کمیت، کیفیت و کارایی مصرف و استفاده از نیتروژن این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (مالکی فرهانی و همکاران، ۲۰۱۹). مفاخری و همکاران (۱۳۹۵) هم گزارش دادند بالاترین ارتفاع بالنگوی شهری در تیمار کاربرد کود شیمیایی مشاهده گردید، با افزایش تراکم بالنگوی شهری (به‌ویژه تراکم ۶۰ بوته در مترمربع) در مخلوط با کرچک، ارتفاع بالنگوی شهری نیز افزایش یافت. پژوهش‌ها نشان داده است که دلیل اصلی افزایش ارتفاع بوته در کشت‌های متراکم رقابت برای دسترسی به نور و نسبت پایین نور قرمز به قرمز دور (R/FR) است که سبب رشد طولی ساقه گیاهان در سایه می‌شود (روبرتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). براساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده هنگامی که دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به‌صورت هم‌زمان در کشت مخلوط قرار می‌گیرند، کم‌ترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند. این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود (بورژای^۲ و همکاران ۲۰۱۳).

از نظر تعداد شاخه فرعی نیز مشاهده شد که در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن تعداد شاخه فرعی به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر سطوح تیماری بود. این نتایج با یافته‌های قبادی و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت داشت که گزارش دادند با اعمال ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن، تعداد شاخه فرعی گلرنگ ۱۶/۷ درصد بیش‌تر از شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن تولید شد. مطالعات مختلف نشان داده است که عنصر نیتروژن بیش‌ترین تأثیر را بر رشد اندام‌های هوایی دارد و به‌واسطه افزایش جذب خالص مواد فتوسنتزی، می‌تواند منجر به افزایش شاخه و برگ و درنهایت زیست‌توده گیاه شود (لقاری و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین کاهش تعداد شاخه فرعی در تیمارهای کشت مخلوط بالنگوی شهری-کرچک می‌تواند به‌دلیل ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای باشد. در واقع ارتفاع بیش‌تر کرچک و سایه‌اندازی آن روی بالنگوی شهری سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی شده است.

از طرفی کاربرد کود نیتروژن توانسته است سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی بالنگوی شهری شود که خود می‌تواند زمینه را برای تعداد کپسول بیش‌تر فراهم نماید. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد افزایش تعداد کپسول در کشت خالص و ۲۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری+ کرچک به‌دلیل افزایش تعداد شاخه‌های جانبی و افزایش فضا و منابع محیطی در دسترس گیاه و کاهش رقابت گیاه باشد. در واقع کاهش تعداد کپسول در بوته تحت الگوهای مختلف کشت را می‌توان به افزایش رقابت بین‌گونه‌ای نسبت داد که به‌علت کاهش دسترسی به نور و درنهایت کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی رخ داده است. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های کوهی (۱۳۹۶) و قادری (۱۳۹۸) مطابقت داشت. نتایج پژوهش‌گران نشان داد که در تیمار کشت مخلوط، با افزایش تراکم بالنگوی شهری از تعداد شاخه فرعی خرفه کاسته شد، به‌طورکلی در تراکم‌های پایین، به‌دلیل کم‌تربودن رقابت و نیز وجود فضای بیش‌تر برای توسعه انشعابات بوته، گیاهان با استفاده از منابع موجود مقدار بیش‌تری شاخه فرعی تولید می‌نمایند، اما با افزایش تراکم گیاهی از تعداد شاخه فرعی کاسته می‌شود (پیترس و ویلسون، ۱۹۸۱).

علت افزایش تعداد دانه در کپسول بالنگوی شهری احتمالاً به‌دلیل فراهم‌شدن تولید مواد پرورده برای فتوسنتز و ماده‌سازی بیش‌تر از طریق کاربرد کود نیتروژن می‌باشد (محسن‌نیا^۳ و جلیلیان^۴، ۲۰۱۲). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های حسینی و

همکاران (۱۴۰۰) مطابقت داشت که گزارش دادند کاربرد نیتروژن باعث افزایش تعداد دانه در بوته و در نهایت افزایش عملکرد دانه کتجد شد. از طرفی، دلیل کاهش تعداد دانه در کپسول در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که با افزایش تراکم و رقابت بین‌گونه‌ای از نفوذ نور به داخل کانوپی کاسته می‌شود و محدودیت در مورد دریافت تشعشع توسط برگ‌ها در نهایت تعداد اندام‌های زایشی را کاهش می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد کود نیتروژن توانسته است از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و شاخه‌های فرعی زمینه را برای افزایش قدرت منبع و در نتیجه آن افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه فراهم نماید. گزارش شده است که کودهای نیتروژن موجب افزایش سطح برگ و تولید ماده خشک می‌شوند، بنابراین همان‌طور که نتایج نشان داد، دانه بالنگوی شهری با افزایش مصرف نیتروژن سنگین‌تر شده و وزن هزاردانه افزایش می‌یابد. مصرف نیتروژن سبب تحریک توسعه سطح برگ می‌شود و افزایش ظرفیت فتوسنتزی را به دنبال خواهد داشت. افزایش فتوسنتز در اثر مصرف نیتروژن، از عوامل مؤثر بر عملکرد دانه می‌باشد (وزیری و همکاران، ۱۴۰۱). بیش‌ترین عملکرد بالنگوی شهری مربوط به تیمار کشت خالص بوده است. در بین سطوح کشت مخلوط نیز مشخص شد که با افزایش تراکم بالنگو از ۲۰ بوته به ۶۰ بوته در مترمربع میانگین عملکرد دانه افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که در اثر افزایش تراکم و در نتیجه افزایش رقابت بین‌بوته‌ای و نیز محدودیت منابع، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه کاهش یافته است، ولی به دلیل افزایش تعداد بوته‌ها، عملکرد دانه افزایش یافته است. همچنین همبستگی بین عملکرد دانه با عملکرد زیستی بیش از همبستگی بین عملکرد دانه با سایر صفات‌ها بود. این بدان معنی است که نقش عملکرد زیستی در افزایش عملکرد دانه از همه عوامل بیش‌تر بوده است. بالنگوی شهری به دلیل عملکرد زیستی بالاتر توانسته است با استفاده از شرایط محیطی مطلوب و با تولید شاخ و برگ بیش‌تر، از منابع فتوسنتزی استفاده مناسب‌تری نماید و از این طریق زمینه افزایش عملکرد دانه را فراهم آورند. نیکدل و همکاران (۱۴۰۲) در ارزیابی ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی نخود دیم در کشت مخلوط بالنگوی شهری در سقر در بین الگوهای کشت مخلوط نیز بعد از الگوی کشت خالص، الگوی کشت ۲۵ درصد بالنگو و ۱۰۰ درصد نخود دارای بیش‌ترین عملکرد بود.

نتایج صفت عملکرد کل مخلوط نشان داد که در شرایط کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به ترتیب با ۵۷ و ۱۰۵ درصد افزایش یافت. در مقابل در سطوح مختلف تراکم بالنگوی شهری مخلوط با کرچک، میانگین عملکرد دانه اختلافی معنی‌داری نداشتند. این نتایج نشان می‌دهد که هرچند با افزایش تراکم بالنگوی شهری در کشت مخلوط کرچک، میانگین عملکرد کرچک کاهش یافت، اما به دلیل افزایش عملکرد بالنگوی شهری در شرایط افزایش تراکم این گیاه، کاهش عملکرد کرچک جبران شده و در مجموع عملکرد دو محصول افزایش یافته است، اما اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مطالعات نشان داده است که نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود، چرا که نیتروژن نقش اساسی در تشکیل کلروفیل دارد و از طرفی مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی سبب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها، گیاه مواد فتوسنتزی بیش‌تری به توسعه سطح برگ، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع و سایر اندام‌های رویشی تخصیص می‌دهد که افزایش این صفات، منجر به افزایش قدرت منبع می‌شود و مواد فتوسنتزی بیش‌تری نیز تولید خواهد شد (لقاری و همکاران، ۲۰۱۶). خوش‌قدم و همکاران (۱۴۰۰) اثر الگوهای مختلف کاشت بر خصوصیات زراعی دو رقم نخود در کشت مخلوط با بالنگوی شهری گزارش دادند که در تیمار کشت خالص نخود آرمان، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، عملکرد دانه و وزن صدانه بیش‌ترین میزان و در تیمار کشت مخلوط ۸۴ درصد بالنگوی شهری و تراکم مطلوب نخود آزاد کم‌ترین می‌باشد. کریمی جلیله وندی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با توجه به نیاز بالای بالنگو به نیتروژن، کاربرد سطوح بالاتر کود نیتروژن در شرایط مطلوب زراعی سبب بهبود رشد، افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت می‌گردد.

افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بالنگوی شهری در نتایج عبدالهی و مالکی فرهانی (۲۰۱۹) و امیدی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

شاخص نسبت برابری زمین نشانگر سودمندی کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین می‌باشد. نتایج نشان داد که مقادیر کلی نسبت برابری زمین در تمامی تیمارها کشت مخلوط بالاتر از یک بود. این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک ممکن است به دلیل وجود اختلافات مورفولوژیکی دو گونه و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های مختلف خاک باشد. هم‌راستا با این نتایج، رضایی ارجمند (۱۳۹۵) در بررسی ارزیابی عملکرد بالنگوی شهری و شویید در الگوهای مختلف کشت گزارش داد که مقادیر کلی نسبت برابری زمین در تمامی تیمارها کشت مخلوط بالاتر از یک بود و علت آن را به اختلافات مورفولوژیکی دو گیاه نسبت داد. شفق کلوانق و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در کشت مخلوط افزایشی با بالنگوی شهری گزارش دادند بیش‌ترین تعداد طبق در بوته و نسبت برابری زمین به کشت مخلوط افزایشی ۳۰:۱۰۰ (بالنگوی شهری - گلرنگ) تعلق داشت. با توجه به نتایج الگوی کشت مخلوط افزایشی ۳۰:۱۰۰ (بالنگوی شهری - گلرنگ) از کارایی بیش‌تری برخوردار بوده و جهت کشت به کشاورزان توصیه گردید. بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از کشت خالص گلرنگ به‌دست آمد. آن‌ها گزارش دادند می‌توان الگوهای کشت مخلوط افزایشی ۳۰:۱۰۰ (بالنگوی شهری - گلرنگ) را به‌علت دارا بودن عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و سودمندی اقتصادی بیش‌تر به‌عنوان الگوی کشت مناسب مخلوط پیشنهاد نمود. نیکدل و همکاران (۱۴۰۲) الگوی کشت مخلوط ۱۰۰:۲۵ بالنگوی شهری و رقم نخود نصرت در کشت انتظار در شرایط آب‌وهوایی شهرستان سقز به‌عنوان الگوی کشت مخلوط مناسب پیشنهاد شد. بررسی نتایج صفت ضریب ازدحام نسبی نیز نشان داد که در گیاه بالنگوی شهری با افزایش سهم آن در کشت مخلوط، میانگین ضریب ازدحام نسبی افزایش یافت. هر اندازه مقدار ضریب ازدحام نسبی بزرگ‌تر باشد بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کم‌تری بر یکدیگر دارد و در مجموع کارایی سیستم افزایش می‌یابد. در کشت مخلوط گیاه برخوردار ضریب ازدحام نسبی کم‌تر و ضریب غالبیت منفی‌تر، به‌عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر در کشت مخلوط به‌عنوان جزء غالب تلقی می‌گردد. هم‌راستا با این نتایج، قنبری و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی شاخص‌های رقابتی و کارایی کشت مخلوط جو و سنبله در شرایط مصرف کود دامی گزارش دادند که ضریب ازدحام نسبی نیز با افزایش سهم نسبی هر جزء در مخلوط افزایش یافت.

نتایج صفت شاخص مزیت پولی نیز نشان داد که بیش‌ترین میانگین این صفت مربوط به تیمارهای ۶۰ بوته در مترمربع بالنگوی شهری + کرچک در شرایط کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود که نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری را نشان دادند. هم‌راستا با این نتایج، جوانمرد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش دادند که در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیش‌ترین مزیت پولی را در نسبت کاشت ۱:۱ نخود - گندم مشاهده شد. هم‌چنین خیپال^۱ و همکاران (۲۰۱۶) نیز حداکثر شاخص مزیت پولی را در سیستم کشت مخلوط نیشکر با نخودفرنگی مشاهده و اجرای این سیستم کاشت را به‌دلیل درآمد بیش‌تر، توصیه کردند.

در بررسی صفت کارایی مصرف نیتروژن نیز مشخص شد که در هر دو سطح کاربرد کود نیتروژن با افزایش تراکم بالنگوی شهری، کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت. به گونه‌ای که بیش‌ترین میانگین مربوط به تیمار کشت خالص و کم‌ترین میانگین این صفت مربوط به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بود. به‌طور کلی، کارایی استفاده از نیتروژن در کشت مخلوط کم‌تر از کشت خالص هر دو گیاه بود. این موضوع از تراکم پایین بالنگوی شهری و هم‌چنین افزایش رقابت در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گیاه ناشی می‌شود و موجب کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش کارایی استفاده از نیتروژن

1. Khippal

می‌گردد. این نتایج با یافته‌های کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. این پژوهش‌گران نیز در بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه گزارش دادند که کارایی زراعی استفاده از نیتروژن در سطوح کشت مخلوط کم‌تر از کشت خالص بود و علت آن را به تراکم کم‌تر پنبه و ذرت در سطوح کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، نسبت دادند. نتایج مطالعات در بررسی اثر کود نیتروژن بر رشد بالنگو نشان دادند تیمارهایی که بالاترین جذب نیتروژن را داشتند بیش‌ترین عملکرد را نیز تولید کردند (کریمی جلیله‌وندی، ۲۰۱۷) و از سویی افزایش سطح نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود (اصغری چمنی و همکاران، ۲۰۱۰).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج بررسی صفات آزمایشی در بالنگوی شهری نشان داد که با افزایش مقدار کود مصرفی نیتروژن میانگین صفات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن مشاهده شد. همچنین سطوح کشت مخلوط افزایشی کرچک و بالنگوی شهری سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در هر دو گیاه شد، اما عملکرد کل مخلوط و همچنین نسبت برابری زمین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که حاکی از موفقیت کشت مخلوط این دو گیاه بود و می‌توان کشت این دو گونه گیاهی کم توقع را جهت افزایش بهره‌برداری از منابع و نهاده‌های در دسترس، در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری توصیه نمود. با توجه به نتایج این آزمایش کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی ۳۴ درصد کارایی بالاتر دارد و برای کشاورزی پایدار مناسب است، از نظر میزان تراکم بهینه و مقدار کود نیتروژن مصرفی ترکیب ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن با تراکم ۴۰ بوته بالنگوی شهری بهترین نتیجه را از نظر عملکرد کل، سودآوری و بهره‌وری زمین دارد که به کشاورزان جهت اجرا توصیه می‌گردد. پیشنهاد می‌شود تأثیر تنش‌های محیطی (مانند خشکی) بر کشت مخلوط این دو گیاه در پژوهش‌های دیگری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در همکاری برای اجرای این پروژه پژوهشی و حمایت مالی از طریق پژوهانه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- احمدی، رضا و ملکی فراهانی، سعیده (۱۴۰۰). اثر تاریخ کاشت و کود نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی و کارایی نیتروژن در بالنگو، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۷(۱)، ۶۵-۸۲.
- باقری، نیلوفر و پیرزاد، علیرضا (۱۴۰۱). پاسخ آنزیمی، ترکیبات موسیلاژ و اسیدهای چرب گیاه بالنگوی شهری به منابع شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن در شرایط تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۵(۲)، ۲۷۹-۲۹۲.
- پورکرمی، اسحق؛ دهمرده، مهدی؛ گلوی، محمد و خمیری، عیسی (۱۴۰۲). بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد بادام زمینی در کشت مخلوط با چای ترش در سطوح مختلف کود نیتروژن. به‌زراعی کشاورزی، ۲۵(۴)، ۸۸۷-۸۹۹.

جوانمرد، عبدالله؛ رستمی، امیر؛ نورآیین، مجتبی و قره خانی، غلامحسین (۱۳۹۵). ارزیابی زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی کشت مخلوط گندم با نخود در شرایط دیم مراغه. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۶ (۱)، ۳۷-۱۹.

حسینی، سیده سمیه؛ مجیدیان، مجید و اصفهانی، مسعود (۱۴۰۰). اثر مصرف کود نیتروژن و ورمی کمپوست بر خصوصیات زراعی، عملکرد و کیفیت دانه کنگد، نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۴ (۴)، ۹۷-۷۴.

خوشقدم، ولی؛ زهتاب سلماسی، سعید و شفق کلوانق، جلیل (۱۴۰۰). اثر الگوهای مختلف کاشت بر خصوصیات زراعی دو رقم نخود در کشت مخلوط با بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*). *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱ (۳)، ۳۰-۱۹.

رضایی ارجمند، احمد (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد و تولید مواد مؤثره بالنگوی شهری و شوید در الگوهای مختلف کشت مخلوط، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

زعفریان، فائزة؛ کریمی، هما و عمادی، مصطفی (۱۳۹۸). تأثیرگذاری سامانه‌های مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد کنگد (*Sesamum indicum L.*) در شرایط رقابت و عدم رقابت با علف‌های هرز. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۶ (۴)، ۶۱-۷۷.

سیدی، سید محسن؛ افتخاری، مهدی و غدیری، عادل (۱۴۰۱). اثر کشت مخلوط با جو بر عملکرد، کارایی مصرف زمین و کنترل علف هرز نخود دیم، *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۱)، ۱-۱۸.

شفق کلوانق، جلیل؛ نصراله زاده، صفر؛ سرخی، فرشاد و قادری، محمد (۱۴۰۱). بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در کشت مخلوط افزایشی با بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*). *دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)*، ۳۲ (۴)، ۳۸۵-۳۹۷.

شکرانی، فهیمه؛ جلیلیان، جلال؛ پیرزاد، علیرضا و رضائی چپانه، اسماعیل (۱۳۹۶). تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد و اجزای آن در بالنگوی شهری و نخود در حالت تک‌کشتی و مخلوط. *زراعت دیم/ایران*، ۲۶ (۲)، ۲۰۹-۲۲۸.

قادری، محمد (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد کشت مخلوط گلرنگ و بالنگوی شهری (قره‌زرک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

قبادی، فاطمه؛ مجنون حسینی، ناصر؛ اویسی، مصطفی و اکبری، غلامعباس (۱۴۰۱). اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ارقام گلرنگ در استان البرز. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۳)، ۷۶۱-۷۷۵.

قنبری، سارا؛ مرادی تالوت، محمدرضا و سیادت، سیدعطاءالله (۱۳۹۵). ارزیابی شاخص‌های رقابتی و کارایی کشت مخلوط جو و شنبلیله در شرایط مصرف کود دامی، *به‌زراعی کشاورزی*، ۱۸ (۴)، ۸۲۱-۸۳۴.

کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ مرادی، روح‌الله و علیزاده، یاسر (۱۳۹۴). اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه. *پژوهش‌های زراعی/ایران*، ۱۳ (۱)، ۱-۱۳.

کوهی، الهام (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد در کشت مخلوط باقلا و بالنگوی شهری (قره‌زرک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

مصطفوی، روناک و جلیلیان، جلال (۱۳۹۸). بررسی تغییرات عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیک و کیفیت بالنگوی شهری، تحت تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی-آلی و دفعات آبیاری. *زراعت دیم/ایران*، ۱۸ (۱)، ۱-۱۹.

مفاخری، سودابه؛ اصغری، بهور و شلتوکی، ملیحه (۱۳۹۵). تأثیر کود های زیستی، شیمیایی و نانو بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی بالنگو شهری. *دوماه‌نامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۳ (۴)، ۶۶۷-۶۷۷.

نیک‌نژاد، یوسف؛ زمانی، محمدحسین؛ فلاح، الهیار و نصیری، مرتضی (۱۳۹۵). بررسی مقادیر کود نیتروژن و فاصله کاشت بر ویژگی‌های زراعی برنج، *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۹ (۳)، ۱-۸.

نیکدل، هیوا؛ شفق کلوانق، جلیل؛ نصرالله‌زاده، صفر؛ راعی، یعقوب و کانونی، همایون (۱۴۰۲). ارزیابی ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی نخود دیم در کشت مخلوط بالنگوی شهری در سقز. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۶۲ (۲)، ۲۱۱-۲۲۶.

وزیری، حسین؛ داداشی، محمدرضا؛ عجم نوروژی، حسین؛ سلطانی، افشین و یاراحمدی، سعید (۱۴۰۱). تأثیر مقادیر مصرف نیتروژن و زمان‌های مختلف آبیاری تکمیلی بر عملکرد و صفات اگرومورفولوژیک گندم بهاره. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳ (۱)، ۱۷۵-۱۸۸.

References

- Abdolahi, M., & Maleki Farahani, S. (2015). Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31, 676-688.
- Afe, A. I., & Atanda, S. (2015). Percentage yield difference, an index for evaluating intercropping efficiency. *American Journal of Experimental Agriculture*, 5(5), 459-465.
- Ahmadi, R., & Maleki Farahani, S. (2021). Effects of sowing date and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics, and nitrogen efficiency in *Lallemantia iberica* and *Lallemantia royleana* Benth, *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 65-82. (In Persian).
- Albornoz, F. (2016). Crop responses to nitrogen overfertilization, a review. *Scientia horticulturae*, 205 (1), 79-83.
- Bahari Saravi, S., & Pirdashti, H.A. (2013). Evaluation of phosphate solubilizing bacteria stimulating plant growth and yield of wheat in nirtogen and phosphorus levels in greenhouse. *Iranian Journal of Filed Crop Research*, 4(10), 681-689. (In Persian)
- Bagheri, N., & Pirzad, A. (2022). Enzymatic Response, Mucilage Compounds, and Fatty Acids of *Lallemantia* to Chemical and Biological Nitrogen Sources under Salinity Stress Conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(2), 279-292. (In Persian).
- Borghi, E., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Sousa, V.V., & Martins, P.O. (2013). Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, 51, 130-139.
- Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., & Jensen, E.S. (2011). The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Journal of Field Crops Research*, 122 (10), 264-272.
- Fan, Z., Chai, Q., Yu, A., Zhao, C., Yin, W., Hu, F., Chen, G., Cao, W., & Coulter, J.A. (2020). Water and radiation use in maize–pea intercropping is enhanced with increased plant density. *Agronomy Journal*, 112(1), 257-273.
- Ghamari, h., Kolvanagh, j. S., Sabaghpour, s. H., & Nassab, A. D. M. (2016). The effect of intercropping and Nitroxin biofertilizer on yield components and relative yield total of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch., & CA Mey). *Notulae Scientia Biologicae*, 8(4), 472-476.
- Ghanbari, S., Moradi Telavat, M., & Siadat, S. A. (2017). Evaluation of Competitive Indices in Barley Intercropped with Fenugreek under Manure Applications. *Journal of Crops Improvement*, 18(4), 821-834. doi: 10.22059/jci.2017.56654. (In Persian).
- Ghasemi, S., Siavashi, K., Choukan, R., Khavazi, K., & Rahmani, A. (2011). Effect of biofertilizer phosphate on grain yield and its components of maize (*Zea mays* L.) cv. KSC704 under water deficit stress conditions. *Seed Plant Pro. J.*, 2(27), 219-233.
- Ghobadi, F., Majnoun Hosseini, N., Oveisi, M., & Akbari, G. (2022). Effect of Different Levels of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Yield and Yield Components of Some Safflower Cultivars in Alborz Province. *Journal of Crops Improvement*, 24(3), 761-775. (In Persian).
- Ghosh, P.K., Manna, M.C., Bandyopadhyay, K.K., Ajay, Tripathi, A.K., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., & Subba Rao, A. (2006). Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98(4), 1097-1108.
- Hoseini, S. S., Majidian, M., & Esfahani, M. (2022). Effect of nitrogen fertilizer and vermicompost application on agronomic characteristics, seed yield and quality of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Applied Field Crops Research*, 34(4), 97-74. doi: 10.22092/aj.2022.351393.1494. (In Persian).
- Jawanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., & Ghrakhani, G.H. (2015). Agronomic, ecological and economic evaluation of wheat - chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(1), 19-37. (In Persian).
- Karimi Jalilehvandi, T., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. (2017). Effects of sowing date and chemical fertilizer on seed vigor and qualitative and quantitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33, 127-133.
- Karimi Jalilehvandi, T., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. (2020). Effects of sowing date and chemical fertilizer on the flavonoid content and quantitative and qualitative characteristics of lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.) seed. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34, 1059-1075.

- Khippal, A., Singh, S., Chand, M., Sheokand, R., Singh, J., Verma, R., & Kumar, R. (2016). Mechanized and profitable intercropping of legumes in autumn planted sugarcane. *Legume Research*, 39(3), 411-418.
- Khoshghadam Pireyousefan, V., Zahtab Salmasi, S., & Shafagh-Kolvanagh, J. (2022). Yield, yield components, and essential oil content of dragon's head (*Lallemantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 12(2), 33-43.
- Kochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Moradi, R., & Alizadeh, Y. (2014). The effects of different levels of nitrogen on the yield and efficiency of nitrogen use in mixed crops of corn and cotton. *Agricultural Research of Iran*, 13(1), 1-13. doi: 10.22067/ijpr.v10i1.59699. (In Persian).
- Kohi, A. (2016). *Evaluation of performance in mixed cultivation of urban beans and sorghum (Qara Zark)*, Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Kolvanagh, J. S., Nasrollahzadeh, S., Sorkhi, F., & Ghaderi, M. (2022). Investigating the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius*) in intercropping with dragon head (*Lallemantia iberica*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), 385-397.
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development, A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Christie, P., & von Wirén, N. (2009). Root interactions in intercropping systems. *Plant and Soil*, 322(1-2), 1-12.
- Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., & Redondo, R. (2005). Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean condition as affected by split nitrgen application. *Field Crops Research*, 94, 86-97.
- Maleki Farahani, S., Fayyaz, F., & Paravar, A. (2019). Effects of sowing date, nitrogen and phosphorus on grain yield, mucilage production, and nitrogen and phosphorus efficiency in *Lallemantia royleana* Benth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35, 351-365.
- Mohsen Nia, O., & Jalilian, J. (2012). Effect of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 4(3), 235-245.
- Mostafavi, R., & Jalilian, J. (2019). Evaluation of yield, physiological characteristics and forage quality of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) affected by chemical, bio-organic fertilizers and irrigation frequencies. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 8(1), 1-19. (In Persian).
- Nasar, J., Alam, A., Nasar, A., & Khan, M. Z. (2019). Intercropping induce changes in above and below ground plant compartments in mixed cropping system. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 17(5), 13043-13050.
- Nikdel, H., Shafagh-Kolvanagh, J., Nasrollahzadeh, S., Raei, Y., & Kanouni, H. (2023). Evaluation of biochemical and agronomic traits of dryland chickpea intercropped with dragon's Head (*Lallemantia iberica*) in Saqqez. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(4), 211-226. (In Persian).
- Niknejad, Y., Zamani, M. H., Falah, A., & Nasiri, M. (2016). Evaluation of nitrogen fertilizer rates and planting space on agronomic traits of 8615 rice line. *Applied Field Crops Research*, 29(3), 1-8. (In Persian).
- Omidi, H., Shams, H., Sahandi, M.S., & Rajabian, T. (2018). Dragon's Head (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 641-646.
- Peters, N.C.B., & Wilson, J.B. (1981). Some studies on the competition between (*Avena fatua* L.) and spring barley. II variation of *A. fatua* emergence and development and its influence on crop yield. *Journal of Weed Research*, 23, 305-311.
- Pourkarami, E., Dahmardeh, M., galavi, M., & khmmari, I. (2023). Evolution of yield and yield components of peanut in intercropping with Roselle in different levels of nitrogen. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 887-899. (In Persian).
- Qadri, M. (2018). *Performance evaluation in intercropping of faba bean (Vicia faba L.) and dragons head (Lallemantia iberica Fischer & C.A. Meyer)*, Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Raseduzzaman, M., & Jensen, E.S. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91(1), 25-33.
- Rezaei-Arjomand, A. (2015). Evaluation of yield and active substances production of lallemantia and dill in different intercropping patterns. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Ruberti, I., Sessa, G., Ciolfi, A., Possenti, M., Carabelli, M., & Morelli, G.J.B.A. (2012). Plant adaptation to dynamically changing environment, the shade avoidance response. *Biotechnology Advances*, 30(5), 1047-1058.

- Severino, L.S., & Auld, D.L. (2013). A framework for the study of the growth and development of castor plant. *Industrial Crops and Products*, 46(1), 25-38.
- Seyedi, S. M., Etekhari, M., & Ghadiri, A. (2022). Effect of intercropping with barley (*Hordeum vulgare* L.) on dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, land use efficiency and weed control. *Journal of Crop Production*, 15(1), 1-18. doi: 10.22069/ejcp.2022.18676.2388. (In Persian).
- Shokrani, F., Jalilian, J., Pirzad, A., & Rezaei-Chiyaneh, E. (2018). Effect of phosphate solubilizing bacteria inoculation on yield's characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*) and chickpea (*Cicer aritinum* L.) in monoculture and intercropping conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 6(2), 209-228. doi: 10.22092/idaj.2018.116307. (In Persian).
- Sinclair, T., & Rufty, T. W. (2023). Plant Nitrogen Use Efficiency. In *Bringing Skepticism to Crop Science* (pp. 25-30). Cham: Springer International Publishing.
- Vaziri, H., Dadashi, M. R., AjamNorozi, H., Soltani, A., & Yarahmadi, S. (2022). Effects of nitrogen rate and supplemental irrigation time on yield and agro-morphological traits of spring wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 175-188. (In Persian).
- Weih, M., Mínguez, M. I., & Tavoletti, S. (2022). Intercropping systems for sustainable agriculture. *Agriculture*, 12(2), 291-302.
- Willey, R.W., & Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16(2), 117-125.
- Yang, F., Wang, X., Liao, D., Lu, F., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wu, X., Du, J., Liu, J., & Yang, W. (2015). Yield response to different planting geometries in maize-soybean relay strip intercropping systems. *Agronomy Journal*, 107(1), 296-304.