



Evaluation of Biomass, Physiological Traits, and Advantages of Maize (*Zea mays* L.)-Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Intercropping in the Cultivation of Barley Residues and Nitrogen Fertilizer

Ali Heidarzadeh¹ | Yousef Rouzbehan^{2✉} | Ali Mokhtassi-Bidgoli³ | Javad Rezaei⁴ |
Mohammad Mehrabadi⁵

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir, ORCID: 0000-0001-6680-9257.
2. Corresponding author, Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: rozbeh_y@modares.ac.ir, ORCID: 0000-0001-6818-4465.
3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran. Email: mokhtassi@modares.ac.ir, ORCID: 0000-0002-3330-1198.
4. Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: rezaei.j@modares.ac.ir, ORCID: 0000-0001-7956-7832.
5. Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: m.mehrabadi@modares.ac.ir, ORCID: 0000-0003-2981-7308.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: November 21, 2023

Received in revised form:

December 09, 2023

Accepted: December 11, 2023

Published online: June 21,

2024

Keywords:

Amaranth,
fodder plants,
photosynthesis,
stomatal conductance,
transpiration rate.

ABSTRACT

To evaluate the biomass, physiological traits, and advantages of maize-amaranth intercropping in the cultivation in barley residues and different levels of nitrogen in 2020-2021, an experiment was implemented in the research farm of Tarbiat Modares University. This study was conducted as a split-split plot experiment in a randomized complete block design with three replications. The studied factors included: 1- Cultivation in two levels (cultivation in barley residues and cultivation without barley residues) as the main plots, 2- the type of cultivation in two levels (monoculture and intercropping) as subplots, 3- different levels of nitrogen (N) in four levels (0, 100, 200, and 300 kg N ha⁻¹ for maize and 0, 40, 80, and 120 kg N ha⁻¹ for amaranth) as sub-subplots. The results showed that the highest total dry weight of amaranth was observed in the treatment of 80 kg N ha⁻¹ of nitrogen application in the conditions of amaranth monoculture and without the use of barley residues with a production of 8031 kg ha⁻¹. The highest dry weight of maize (11187 kg ha⁻¹) was obtained from the treatment of maize monoculture in barley residues with the application of 300 kg N ha⁻¹. The highest photosynthesis rate of amaranth was observed in the treatments of 40 kg N ha⁻¹ application in the conditions of monoculture without barley residues and N fertilizer, and application of 40 kg N ha⁻¹ in the conditions of intercropping with maize and without barley residues. In addition, the results showed that the highest maize photosynthesis rate was achieved with the application of 300 kg N ha⁻¹, and the photosynthesis rate also significantly decreased with the reduction of nitrogen application. Land equivalent ratio (LER) showed an increase of 30% in the intercropping of maize and amaranth in the cultivation of barley residues with the application of 100 kg N ha⁻¹ for maize and 40 kg N ha⁻¹ for amaranth, which indicated the advantage of intercropping. According to the results of this research, if the goal was to produce amaranth, barley residues should not be used, but in maize cultivation, the use of barley residues is recommended. Also, the use of 40 and 300 kg N ha⁻¹ is recommended to increase biomass of amaranth and maize, respectively.

Cite this article: Heidarzadeh, A., Rouzbehan, Y., Mokhtassi-Bidgoli, A., Rezaei, J., & Mehrabadi, M. (2024). Evaluation of biomass, physiological traits, and advantages of maize (*Zea mays* L.)-amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) intercropping in the cultivation of barley residues and nitrogen fertilizer. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(2), 105-121. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.367885.655041.





ارزیابی زیست‌توده، صفات فیزیولوژیک و سودمندی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays L.*) – تاج‌خروس (*Amaranthus hypochondriacus*) در کشت بقایای جو و کود نیتروژن

علی حیدرزاده^۱، یوسف روزبهان^۲، علی مختصی بیدگلی^۳، جواد رضائی^۴، محمد مهرآبادی^۵

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0001-6680-9257
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: rozbeh_y@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0001-6818-4465
۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: amokhtassi@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0002-3330-1198
۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: rezaei.j@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0001-7956-7832
۵. گروه حشره‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: m.mehrabadi@modares.ac.ir. ORCID: 0000-0003-2981-7308

چکیده

اطلاعات مقاله

به منظور ارزیابی زیست‌توده، صفات فیزیولوژیک و سودمندی‌های کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس در کشت بقایای جو و سطوح مختلف نیتروژن، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. این آزمایش به صورت اسپلیت‌اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی عبارت بودند از: ۱- عامل کشت در دو سطح کشت (در بقایای جو و کشت بدون بقایای جو) به عنوان کرت‌های اصلی، ۲- نوع کشت در دو سطح (کشت خالص و کشت مخلوط) به عنوان کرت‌های فرعی، ۳- سطوح مختلف نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص برای ذرت و صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای تاج‌خروس) به عنوان عامل فرعی نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک کل تاج‌خروس در تیمار استفاده از ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط کشت خالص تاج‌خروس و بدون استفاده از بقایای جو با تولید ۸۰۳۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیشترین وزن خشک کل ذرت (۱۱۱۸۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص ذرت در بقایای جو با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین سرعت فتوسنتز تاج‌خروس در تیمارهای استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت خالص و بدون استفاده از بقایای جو و عدم استفاده از کود نیتروژن و استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت مخلوط با ذرت و بدون استفاده از بقایای جو مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین سرعت فتوسنتز ذرت با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد و با کاهش کاربرد نیتروژن، سرعت فتوسنتز نیز کاهش معنی‌داری داشت. نسبت برابری زمین نشان داد که افزایش ۳۰ درصدی در کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس در کشت بقایای جو با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ذرت و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای تاج‌خروس مشاهده شد که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس می‌باشد. طبق نتایج این پژوهش، اگر هدف تولید تاج‌خروس بود از بقایای جو استفاده نشود ولی در کشت ذرت کاربرد بقایای جو توصیه می‌شود. همچنین، استفاده از ۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب برای تاج‌خروس و ذرت برای افزایش زیست‌توده توصیه می‌شود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

تاج‌خروس، فتوسنتز، گیاهان علوفه‌ای، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای.

استناد: حیدرزاده، ع.، روزبهان، ی.، مختصی بیدگلی، ع.، رضائی، ج. و مهرآبادی، م. (۱۴۰۳). ارزیابی زیست‌توده، صفات فیزیولوژیک و سودمندی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays L.*)-تاج‌خروس (*Amaranthus hypochondriacus*) در کشت بقایای جو و کود نیتروژن. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۱۰۵-۱۲۱. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.367885.655041



۱. مقدمه

کشت مخلوط با افزایش تعداد گونه در واحد سطح به عنوان یک راه حل برای حفظ و افزایش تولید در کشاورزی شناخته می‌شود (Brummer, 1998). کشت مخلوط روشی برای افزایش تنوع در بوم‌نظام‌های زراعی است که باعث افزایش و پایداری عملکرد و استفاده بهتر از منابع محیطی می‌شود (Arlauskiene *et al.*, 2011); به‌طوری‌که از آن به عنوان عملیاتی برای اقتصادی کردن استفاده از منابع رشدی، افزایش تولید و سودمندی در واحد سطح و زمان نیز یاد می‌شود (Beheshti *et al.*, 2012) و به دلیل شباهت این نظام به زیست‌بوم‌های طبیعی، روابط و اصول اکولوژی آن نیز اثرگذارتر از نظام‌های تک‌کشتی است (Hulet & Gosseye, 2000). مزایای زیادی برای کشت مخلوط بیان شده است که از جمله آن می‌توان به افزایش کیفیت خاک (Roohi *et al.*, 2022; Wolińska *et al.*, 2022)، افزایش جمعیت میکروبی (Obi *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2022)، کاهش جمعیت آفات (Yang *et al.*, 2022)، راندمان بالای جذب مواد غذایی (Zhu *et al.*, 2022)، بهبود پارامترهای زراعی و فیزیولوژیک (Jo *et al.*, 2022)، و افزایش عملکرد نهایی محصول (Brahimi *et al.*, 2022) اشاره کرد. ذرت در سیستم‌های کشت مخلوط با حبوبات، فلفل، بادام‌زمینی، یونجه و سایر محصولات به دلیل تأثیر مثبت آن بر عملکرد محصول و کارایی مصرف مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Gao *et al.*, 2021; Jiao *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021; Ben-chuan *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). ذرت بزرگترین محصول غذایی فله‌ای در جهان است (Wu *et al.*, 2022).

ذرت (*Zea mays* L.) یک محصول طلایی است و بومی‌های آمریکایی از آن به‌عنوان محصولی که زندگی را حفظ می‌کند؛ یاد می‌کنند (Layuk & Lintang, 2021). ذرت گیاهی یکساله از خانواده غلات است و تقریباً در همه نقاط دنیا رشد می‌کند (Phiarais & Arendt, 2008). ذرت نه تنها به عنوان غذا برای مصرف انسان، بلکه به عنوان خوراک حیوانات نیز استفاده می‌شود و ماده خام اصلی برای بسیاری از صنایع مانند سوخت زیستی است (Wallington *et al.*, 2012; Courtois *et al.*, 1991). بررسی گیاهانی کم‌آشنا مانند زرین گیاه (Heidarzadeh *et al.*, 2021) به‌عنوان علوفه باکیفیت و در عین حال در دسترس می‌تواند در تأمین علوفه مورد نیاز دام کمک شایانی می‌کند. از جمله گیاهانی که هم در دسترس است و هم می‌تواند در جیره علوفه مورد استفاده قرار گیرد شبه‌غله‌ای (Pseudo cereal) به نام تاج‌خروس (*Amaranthus* sp.) می‌باشد که به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای و سازگاری منحصر به فرد پتانسیل ورود به تناوب زراعی کشور را دارد. توانایی سازش با شرایط نامناسب و سازگاری با محدوده وسیع حرارتی و تابش به‌همراه مقاومت به تنش خشکی، استفاده از این گیاه را به عنوان یک محصول سبز مغذی در مناطق معتدل تا نیمه‌خشک کشور ممکن ساخته است (Moshaver *et al.*, 2016).

رویکرد امروزه در دنیا به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. خاک‌ورزی حفاظتی یکی از مهم‌ترین راهکارهای نیل به کشاورزی پایدار است که در آن علاوه بر کاهش شدت خاک‌ورزی، حداقل ۳۰ درصد زمین در زمان کاشت گیاه، پوشیده از بقایای گیاهی می‌باشد (Sainju *et al.*, 2006; Imaz *et al.*, 2010). باقی نگه‌داشتن بقایای گیاهی در سطح خاک برای فراهم‌آوردن محیطی مناسب برای دستیابی به اهدافی مانند نفوذ آب در خاک، کاهش تبخیر از سطح خاک، ایجاد ساختمان مناسب و به دام‌انداختن برف در سطح مزرعه برای ذخیره آب مخصوصاً در مناطق دیم می‌تواند بسیار مؤثر باشد (Younesi al-Mawati *et al.*, 2015). حفظ بقایا و اصلاح فیزیکی خاک‌ورزی از روش‌های مدیریتی مهم حفظ آب و کاهش فرسایش خاک است که سبب عدم سله‌بندی و انسداد سطحی شده و نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهند (Gangwar *et al.*, 2006). افزودن بقایای گیاهی به خاک و حفظ آن‌ها در فراهمی نیتروژن و افزایش عملکرد دانه گندم و ذرت نقش مؤثری دارد (Fischer Santiveri & Vidal, 2002). محققان گزارش کردند که استفاده از مالچ کاه در مناطق خشک موجب افزایش متوسط عملکرد گندم می‌شود (Peng *et al.*, 2015).

نیتروژن یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. کاربرد آن مستقیماً بر رشد گیاه، فرآیندهای توسعه، چرخه مواد غذایی گیاه و کربن فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2007). پاسخ گیاهان به کاربرد نیتروژن وابسته به مقدار کاربرد آن می‌باشد (Liang *et al.*, 2019). به عنوان مثال، در مطالعه اخیر، Wang *et al.* (2022) نشان داد که افزایش میزان نیتروژن باعث کاهش مصرف کود نیتروژن توسط گیاهان زراعی شد. مدیریت صحیح مصرف نیتروژن برای افزایش عملکرد گیاه بسیار مهم است، زیرا نیتروژن نقش حیاتی در گیاهان بازی می‌کند (Karami *et al.*, 2018; Taheri *et al.*, 2021). کمبود نیتروژن باعث کاهش

اندازه برگ می‌شود که به دنبال آن جذب نور و بازده استفاده از نور برای فتوسنتز گیاه کاهش یافته و در نهایت منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Nasim et al., 2012). نیتروژن مصرفی باید متناسب با نیاز گیاه باشد. استفاده بیش از حد از نیتروژن به دلیل آشفته‌ی راندمان کم نیتروژن، عدم استفاده گیاه از نیتروژن اضافی باعث افزایش تلفات نیتروژن در خاک می‌شود (Ghobadi et al., 2018). محتوای کلروفیل و محتوای نیتروژن گیاهی ارتباط نزدیکی با هم دارند؛ زیرا ۷۰ درصد نیتروژن برگ در کلروپلاست‌ها که رنگدانه‌های کلروفیل را تولید می‌کنند انباشته می‌شود (Fathi & Zeidali, 2021; Moeinirad et al., 2021). در طول چند سال گذشته، بیشتر مطالعات تأثیر نیتروژن روی محصولات کشت‌شده در مزرعه، در سیستم تک‌کشتی مورد بحث قرار گرفته است و با این حال، توجه کمتری به تأثیر نیتروژن بر رشد و صفات فیزیولوژیک در کشت مخلوط شده است. با توجه به موارد بالا، این پژوهش با هدف بررسی زیست‌توده، صفات فیزیولوژیک و سودمندی‌های کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس در کشت بقایای جو و سطوح مختلف نیتروژن اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران، واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران-کرج با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. سه عامل در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت: ۱- عامل کشت در بقایای جو در دو سطح کشت در بقایای جو و کشت بدون بقایای جو در کرت‌های اصلی قرار گرفتند، ۲- نوع کشت عامل دوم مورد بررسی بود که در دو سطح کشت خالص و کشت مخلوط به عنوان کرت فرعی قرار گرفت، و ۳- سطوح مختلف نیتروژن در چهار سطح صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص برای ذرت و صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای تاج‌خروس به عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت اسپلیت پلات با سه تکرار اجرا شد. جو در کرت‌های مربوط به بقایای جو در آبان ماه ۱۳۹۹ کشت شد و در تیرماه ۱۴۰۰ برداشت شد. کشت در اوایل تیرماه ۱۴۰۰ با توجه به نقشه آزمایش انجام شد. قبل از کشت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه اندازه‌گیری شد و نیازهای غذایی هر گیاه (ذرت و تاج‌خروس) با توجه به آنالیز خاک (جدول ۱) تأمین شد. سطوح تیمارهای نیتروژن برای هر گیاه با توجه به نیاز آن گیاه متفاوت بود که به صورت سرک در سه مرحله چهاربرگی، قبل از گلدهی و بعد از گلدهی هر گیاه اعمال شد. کشت مخلوط مورد استفاده به صورت جایگزینی ۱:۱ بود. برداشت نهایی تاج‌خروس در اواخر شهریورماه (مرحله اوایل پرشدن دانه و قبل از خشکی‌شدن) و برداشت نهایی ذرت در اواخر مهرماه (مرحله شیری دانه) انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه.

Depth of soil	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture	pH	EC (dSm ⁻¹)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Organic carbon (%)
0-30	24	32	44	Loam	7.34	0.82	0.12	18.04	446.92	1.22

صفات مورد اندازه‌گیری برای بررسی علمی تأثیر عوامل مورد بررسی شامل وزن تر تاج‌خروس، وزن تر ذرت، وزن خشک تاج‌خروس، وزن خشک ذرت، میزان سبزیگی (SPAD)، میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، ارتفاع و سودمندی‌های نسبی کشت مخلوط بود.

در برداشت نهایی، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای دو متر مربع از هر کرت (هشت متر مربعی) برای اندازه‌گیری وزن‌های خشک از فاصله پنج سانتی‌متری کف‌بر و در هوای آزاد و سایه خشک شدند. سپس با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. یک هفته قبل از برداشت نهایی، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق با دستگاه فتوسنتز متر LI-COR 6400 (مدل Li-Cor Inc، ساخت کشور آمریکا) از آخرین برگ جوان کامل با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای به صورت نمونه‌برداری غیر تخریبی اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق برای پی‌بردن به سودمندبودن یا نبودن کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی شاخص رقابت و نسبت برابری زمین برآورد شدند. هر گاه N_A گیاه از گونه A با N_B گیاه از گونه B در واحد سطح به صورت مخلوط کشت شوند و محصول گونه A در مخلوط برابر محصول N'_A در تک‌کشتی باشد و همچنین محصول هر گیاه از گونه B در مخلوط برابر محصول N'_B در تک‌کشتی باشد، شاخص رقابت (CI) طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{(N'_A - N_A)(N'_B - N_B)}{N_A N_B}$$

N'_A : محصول گیاه A در کشت خالص، N_A : محصول گیاه A در کشت مخلوط، N'_B : محصول گیاه B در کشت خالص، N_B : محصول گیاه B در کشت مخلوط. اگر $CI < 1$ باشد، ارزش کشت مخلوط بیش از خالص بوده و سودمندتر است. اگر $CI > 1$ باشد، میزان سوددهی کشت مخلوط پایین‌تر از کشت خالص است.

نسبت برابری زمین بیانگر سطحی از زمین مورد نیاز برای تولید در شرایط تک‌کشتی است که کمیت تولید آن مشابه با تولید هر یک از گیاهان زراعی، در شرایط مخلوط باشد. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه می‌شود و مجموع آنها میزان LER را نشان می‌دهد:

$$LER = \sum_c \frac{Y C_i}{Y C_m}$$

در این معادله $Y C_i$ عملکرد جزء c ام در مخلوط و $Y C_m$ حداکثر عملکرد تک‌کشتی جزء c ام است. $LER = 1$ نشان می‌دهد که محصول زراعت‌های تک‌کشتی و مخلوط یکسان می‌باشد. $LER > 1$ نشان می‌دهد که بازده بیولوژیکی مخلوط بیش از تک‌کشتی است. $LER < 1$ نشان از عدم سودمندی مخلوط دارد.

قبل از انجام عمل تجزیه واریانس از نرمال‌بودن توزیع باقی‌مانده‌ها با استفاده از رویه (Univariate) اطمینان حاصل شد. اثرات اصلی و برهمکنش عوامل مورد بررسی از تجزیه واریانس (ANOVA) با استفاده از روش مدل خطی عمومی (GLM=General Linear Model) با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بررسی شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی، آزمون LSD (Least Significant Difference) یا حداقل تفاوت معنی‌دار) به کار رفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل، میانگین حداقل مربعات (LS Means) با گزینه‌ی Lines استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. شاخص سبزینگی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی شاخص سبزینگی تاج‌خروس در سطح احتمال پنج درصد گذاشت (جدول ۲). در بررسی برهمکنش عوامل مورد بررسی مشاهده شد که بیش‌ترین میزان سبزینگی تاج‌خروس در شرایط کشت بدون بقایای جو در کشت مخلوط با ذرت در سطح کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار (۵۴/۳)، ۴۰ کیلوگرم در هکتار (۵۲/۰) و صفر کیلوگرم در هکتار (۵۲/۹) به‌دست آمد که با تیمارهای کشت بدون بقایای جو در کشت خالص تاج‌خروس با سطح کودی ۴۰ کیلوگرم در هکتار (۵۳/۵) در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱). جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی شاخص سبزینگی ذرت نشان نداد؛ درحالی‌که اثر متقابل نوع کاشت و محل کاشت و همچنین برهمکنش محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی شاخص سبزینگی داشت (جدول ۲). نمودار مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیش‌ترین شاخص سبزینگی ذرت در تیمارهای کشت بدون بقایای جو و با کاربرد سطوح مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کشت در بقایای جو با کاربرد سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۲-ا). همچنین شاخص سبزینگی ذرت در کشت بدون بقایای جو بیشتر از کشت در بقایای جو بود (شکل ۲-ب). کاربرد نیتروژن می‌تواند به افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها منجر شود. با افزایش میزان کلروفیل، شاخص سبزینگی نیز افزایش می‌یابد. کشت مخلوط نیز ممکن است به بهترین استفاده از نیتروژن منجر شود که باعث افزایش کلروفیل و شاخص سبزینگی شود (Gunes et al., 2007). همچنین، در کشت مخلوط، گیاهان مختلف با انواع مختلفی از نیازهای معدنی و مواد غذایی رشد می‌کنند که این ممکن است به تعادل غذایی

بهتری در اکوسیستم منتهی شود. این تعادل غذایی می‌تواند به جذب و استفاده بهینه از نیتروژن و دیگر مواد غذایی و در نهایت به افزایش شاخص سبزی‌نگی منتهی شود (Lithourgidis *et al.*, 2011). کشت مخلوط ممکن است به بهبود شرایط رشد گیاهان مانند تعاملات ریشه-خاک و تبادل گازی کمک کند. این بهبود در شرایط رشد گیاهان به افزایش شاخص سبزی‌نگی و نهایتاً افزایش عملکرد گیاهان منتهی می‌شود (Goss & Howse, 2011).

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی از صفات تاج‌خروس و ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن در کشت مخلوط و کشت در بقایای جو.

Amaranth						
Source of Variation	df	Mean squares				
		SPAD	Height	Total fresh weight	Total dry weight	
Block (R)	2	22.67 ^{ns}	171*	336705 ^{ns}	35994 ^{ns}	
Place of cultivation (P)	1	2278**	60350**	7520889526**	179695711**	
R×P	2	2.00	52.52	158408	59049	
Type of cultivation (T)	1	248**	784**	1612876127**	118613688**	
P×T	1	39.78*	271*	463757117**	10433743**	
R×T(P)	4	7.71	170	318587	20275	
Nitrogen (N)	3	265**	685**	107793985**	2124009**	
P×N	3	244**	1257**	110148372**	2912764**	
T×N	3	34.40*	680**	98240590**	1947279**	
P×T×N	3	34.40*	122 ^{ns}	40361962**	349014**	
Error	24	7.35	41.75	524415	11314	
CV (%)	-	6.21	9.37	4.66	3.35	

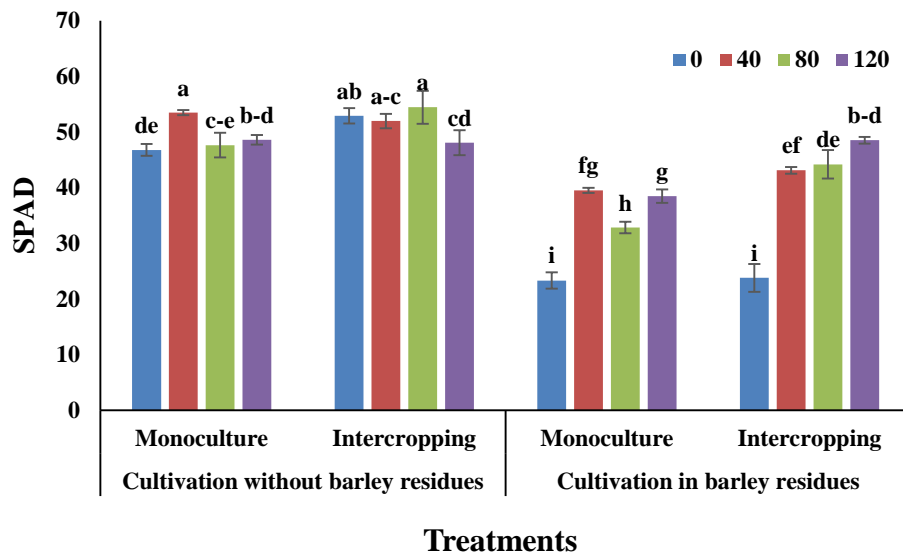
Maize						
Source of Variation	df	Mean squares				
		SPAD	Height	Total fresh weight	Total dry weight	
Block (R)	2	1.46 ^{ns}	36.06 ^{ns}	79130408**	43706333**	
Place of cultivation (P)	1	136**	11813**	541094700**	31525208**	
R×P	2	9.68	65.69	53782725	3971433	
Type of cultivation (T)	1	144**	744**	1703130133**	54315075**	
P×T	1	132**	567**	466502700**	12916875**	
R×T(P)	4	10.08	12.62	49969967	1808800	
Nitrogen (N)	3	484**	2055**	924486489**	43226542**	
P×N	3	62.04**	283**	161275589**	6657853**	
T×N	3	15.50 ^{ns}	306**	182608267**	6606475**	
P×T×N	3	12.12 ^{ns}	165**	45441456*	3246675*	
Error	24	9.41	34.67	13275867	775728	
CV (%)	-	7.42	3.56	13.70	16.81	

^{ns}، *، و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

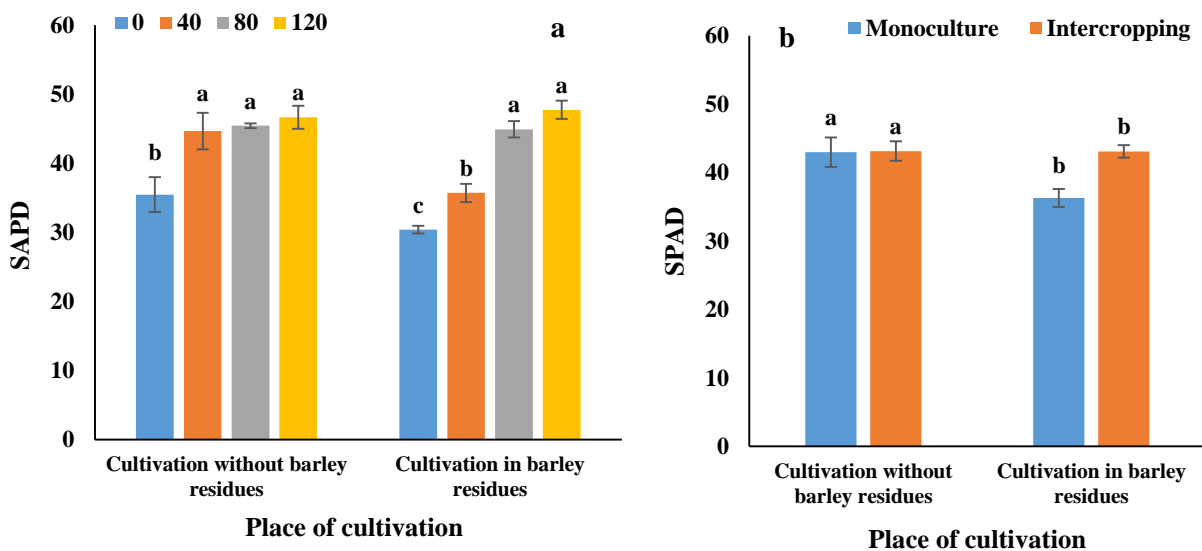
۲-۳. ارتفاع بوته

برهمکنش سه‌گانه عوامل مورد بررسی نتوانستند ارتفاع تاج‌خروس را تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۲)؛ ولی اثر متقابل محل کاشت با نوع کشت در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل محل کشت با سطوح کودی مختلف نیتروژن و اثر متقابل محل کاشت و نوع کشت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری روی ارتفاع تاج‌خروس گذاشتند (جدول ۲). جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری اثر سه‌گانه نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع ذرت می‌باشد (جدول ۲). نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کشت و سطوح مختلف کود نیتروژن نشان داد که تیمارهای کشت خالص تاج‌خروس با سطوح کودی ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار کشت مخلوط تاج‌خروس با ذرت در سطح کودی ۴۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها ارتفاع بیش‌تری داشت (شکل ۳-ا). برهمکنش محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن نشان داد که ارتفاع بوته تاج‌خروس به‌طور معنی‌داری در شرایط کشت بدون بقایای جو بیشتر از شرایط کشت در بقایای جو شد و این نشان‌دهنده

وجود خاصی دگرآسیبی جو در شرایط کنترل علف‌های هرزی مانند تاج‌خروس می‌باشد. اثر متقابل محل و نوع کشت نشان داد که تیمارهای کاشت بدون بقایای جو در هر دو کشت خالص و مخلوط نسبت به کشت در بقایای جو ارتفاع بوته بیشتری داشت (شکل ۳-ب). شکل ۳-ج نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع تاج‌خروس در شرایط کاشت بدون بقایای جو با سطوح کودی ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. شکل ۴ نشان داد که بیشترین ارتفاع ذرت در تیمار کشت مخلوط ذرت با تاج‌خروس در کشت بقایای جو با میزان کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که با تیمار استفاده از ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در کشت مخلوط ذرت با تاج‌خروس در محل کاشت بقایای جو در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴).



شکل ۱. تأثیر برهمکنش نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن بر شاخص سبزیگی تاج‌خروس.



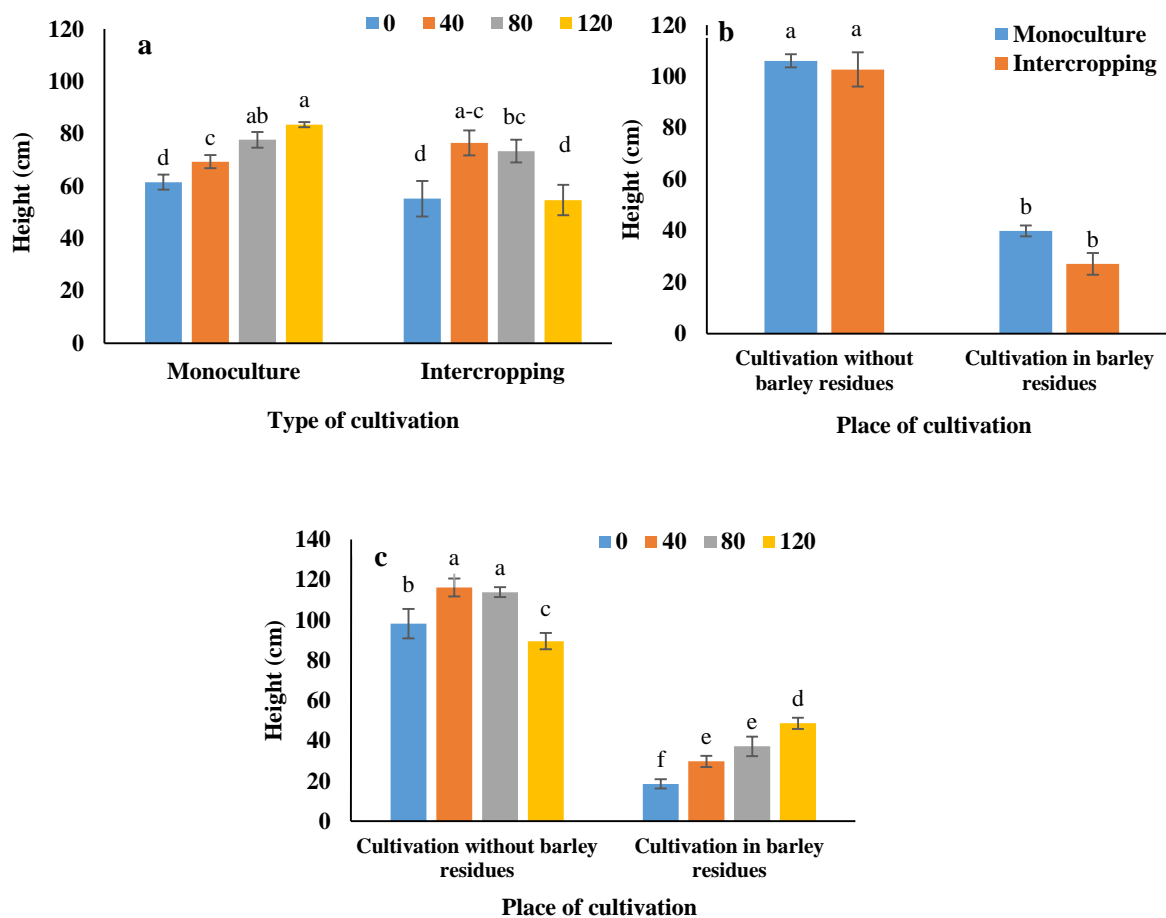
شکل ۲. تأثیر متقابل نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن (a) و اثر متقابل نوع کشت و محل کاشت (b) بر شاخص سبزیگی ذرت.

افزایش ارتفاع بوته در کشت مخلوط و کاربرد نیتروژن به عوامل مختلفی برمی‌گردد. نیتروژن به عنوان یکی از عناصر مغذی اصلی گیاهان، نقش مهمی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می‌کند؛ زیرا نیتروژن عنصری اساسی برای تولید پروتئین‌ها و اسیدهای

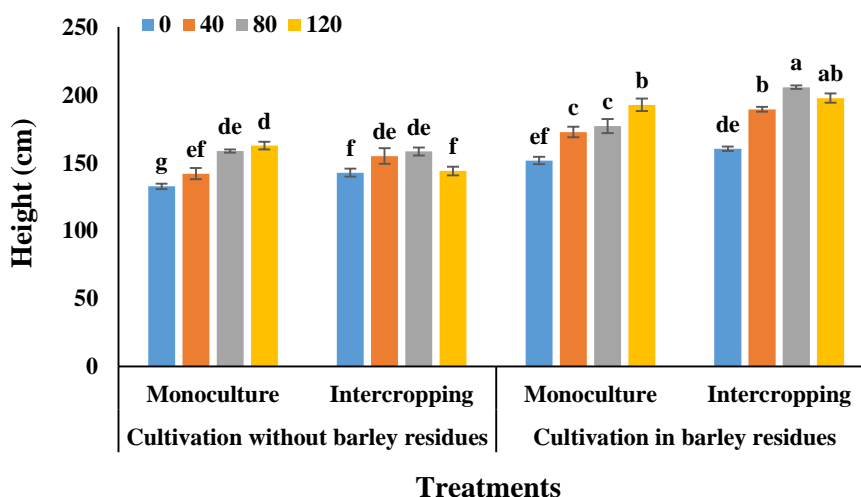
آمینه می‌باشد، افزودن نیتروژن به خاک می‌تواند به بهبود رشد گیاهان و افزایش ارتفاع بوته کمک کند. این اقدام باعث افزایش فعالیت سلولی و میزان سلول‌ها در گیاه می‌شود که نتیجه آن افزایش ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌ها می‌شود (Havlin *et al.*, 2014). همچنین، کشت مخلوط ممکن است به بهترین توزیع نیازهای معدنی مختلف برای گیاهان منتهی شود. این توزیع مواد غذایی می‌تواند به تعادل بهتری در تأمین نیازهای معدنی گیاهان منجر شود. این تعادل می‌تواند به افزایش تولید پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه کمک کند که به تنظیم رشد و ارتفاع بوته گیاهان کمک می‌کند. همچنین، کشت مخلوط ممکن است به بهبود شرایط رشد گیاهان، مانند تعاملات ریشه-خاک و تبادل گازی کمک کند که در نهایت به افزایش ارتفاع بوته منتهی می‌شود (Lithourgidis *et al.*, 2011). افزودن بقایای گیاهی به خاک می‌تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش تخلخل آن کمک کند. این اقدام منجر به نفوذ بهتر آب و هوا در خاک و افزایش عمق ریشه‌ها شده و در نتیجه به افزایش ارتفاع بوته ذرت منجر می‌شود (Blanco-Canqui *et al.*, 2014). همچنین، بقایای گیاهی حاوی مواد آلی می‌باشند که به تغذیه گیاهان کمک می‌کنند. مواد آلی به عنوان منبع کربن و مواد غذایی برای گیاهان عمل کرده و ممکن است به افزایش رشد و ارتفاع بوته ذرت منجر شود (Angadi *et al.*, 2002). از طرفی، بقایای گیاهی به عنوان یک پوشش روی خاک عمل کرده و از جوانه‌زنی علف‌های هرز جلوگیری می‌کنند. این موضوع به گیاهان ذرت امکان دسترسی به نور و منابع غذایی بیشتری را داده و از رقابت با علف‌های هرز جلوگیری می‌کند که آن نیز به افزایش ارتفاع بوته ذرت کمک می‌کند (Mohler, 1996). همچنین، بقایای گیاهی ممکن است مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را در دسترس گیاهان قرار دهند. این امر به تغذیه بهتر گیاهان و بهبود شرایط رشد آن‌ها منجر شده که به افزایش ارتفاع بوته ذرت کمک می‌کند (Ngwira *et al.*, 2010). حفظ رطوبت به وسیله بقایای گیاهی نیز می‌تواند یکی از دلایل افزایش ارتفاع بوته ذرت در کشت در بقایای گیاهی باشد. با انتقال بقایای گیاهی به خاک، این بقایا به عنوان یک پوشش خاک عمل کرده و می‌توانند از تبخیر زیاد آب از خاک جلوگیری کنند؛ این اقدام به حفظ رطوبت در خاک کمک کرده و در نتیجه به رشد و افزایش ارتفاع بوته ذرت منجر می‌شود (Blanco-Canqui, 2015).

۳-۳. زیست‌توده (علوفه)

برهمکنش سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و رژیم‌های کودی نیتروژن تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد روی وزن تر کل تاج‌خروس گذاشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیش‌ترین وزن تر کل تاج‌خروس در شرایط کشت خالص و بدون بقایای جو و با کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن اثر معنی‌داری روی وزن خشک کل تاج‌خروس در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج حاصل نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک کل تاج‌خروس در تیمار استفاده از ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط کشت خالص تاج‌خروس و بدون استفاده از بقایای جو با تولید ۸۰۳۱ کیلوگرم در هکتار زیست‌توده مشاهده شد (جدول ۳). برهمکنش اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی وزن تر کل ذرت در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن تر کل ذرت (۵۳۶۲۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص ذرت در بقایای جو با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، برهمکنش اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی وزن خشک کل ذرت در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک کل ذرت (۱۱۱۸۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص ذرت در بقایای جو با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). جو دارای خواص دگرآسیبی (آللوپاتی) می‌باشد. از خواص دگرآسیب جو می‌توان به کنترل علف‌های هرز از طریق مالچ‌های کاربردی جو اشاره کرد (Jabran *et al.*, 2015). علاوه بر کنترل علف‌های هرز، استفاده از مالچ جو می‌تواند فواید دیگری مانند حفاظت از خاک و آب را نیز به دنبال داشته باشد (Novak *et al.*, 2000; Prosdoci *et al.*, 2016).



شکل ۳. تأثیر متقابل نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن (a)، نوع کشت و محل کاشت (b)، و محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن (c) بر ارتفاع بوته تاج خروس.



شکل ۴. تأثیر برهمکنش نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن بر ارتفاع ذرت.

مطالعه‌ای در یونان نشان داد که مالچ جو نه تنها می‌تواند علف‌های هرز را به‌طور مؤثر تحت فشار قرار دهد، بلکه ۴۵ درصد عملکرد دانه ذرت را نسبت به شاهد (بدون مالچ) افزایش داد. همچنین، عملکرد ذرت در تیمارهایی که مالچ جو داشت با عملکردی

که از تیمار علف‌کش برای کنترل علف‌های هرز آن استفاده می‌شد مشابه بود (Dhima *et al.*, 2006). جو دارای بالاترین مقادیر ترکیبات فنلی مانند اسیدسینامیک و اسیدفرولیک است (Hura *et al.*, 2006) که به‌عنوان مواد دگرآسیب شناخته می‌شوند. لذا می‌توان دلیل عدم رشد تاج‌خروس در شرایط کشت در بقایای جو را به خصوصیات دگرآسیبی جو نسبت داد.

جدول ۳. وزن تر و خشک کل (کیلوگرم در هکتار) تاج‌خروس و ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن در کشت مخلوط و کشت در بقایای جو.

Treatments		Total fresh weight		Total dry weight			
		N for maize	N for amaranth	Amaranth	Maize	Amaranth	Maize
Cultivation without barley residues	Monocou 111111	0	0	31200±180c	18307±2030ef	6555±38d	3160±289f-h
		40	100	35467±1158b	35173±7011c	7271±93b	6707±1507b-d
		80	200	46693±718a	34427±4687c	8031±68a	6293±976cd
		120	300	34507±13b	41373±2056b	6740±145d	7880±508b
	Intercrop 111111	0	0	16653±266f	10307±2159g	2415±54h	2000±332h
		40	100	29320±533d	14673±809fg	4631±45e	2653±107gh
		80	200	20960±288e	17673±1137f	3436±66f	3300±253f-h
		120	300	9693±97g	14033±514fg	1809±11ij	3427±990f-h
Cultivation in barley residues	Monocou 111111	0	0	3032±25k	17773±908f	1680±12j	3520±288fg
		40	100	4452±283j	24173±3971de	1945±63i	4627±678ef
		80	200	6918±114i	35627±1575bc	2540±193h	7040±205bc
		120	300	8460±211h	53627±3657a	3223±65g	11187±1090a
	Intercrop 111111	0	0	126±21	14533±123fg	84±1k	2820±46gh
		40	100	752±17i	26033±1172c	251±3k	5233±301de
		80	200	233±7i	33580±3119c	104±2k	6907±642bc
		120	300	243±21	34340±900c	102±1k	7053±284bc

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

۴-۳. سرعت فتوستت

جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد روی سرعت فتوستت تاج‌خروس گذاشت (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که سرعت فتوستت در شرایط کشت تاج‌خروس بدون بقایای جو نسبت به کشت در بقایای جو به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۵-ا)؛ به‌طوری‌که بیشترین سرعت فتوستت تاج‌خروس در تیمارهای استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت خالص و بدون استفاده از بقایای جو و عدم استفاده از کود نیتروژن و استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت مخلوط با ذرت و بدون استفاده از بقایای جو مشاهده شد (شکل ۵-ا). جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن نتوانستند تأثیر معنی‌داری روی سرعت فتوستت ذرت داشته باشند (جدول ۴). همچنین اثر متقابل محل کاشت و نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن و نوع کشت و سطوح مختلف کشت تأثیر معنی‌داری روی سرعت فتوستت نداشت (جدول ۴). جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف نیتروژن روی سرعت فتوستت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف نیتروژن نشان داد که بیشترین سرعت فتوستت ذرت با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد و با کاهش کاربرد نیتروژن، سرعت فتوستت نیز کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۵-ب). نیتروژن به‌عنوان جزء سازنده کلروفیل (رنگیزه مهم در فرآیند فتوستت) عمل می‌کند. با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، تولید کلروفیل افزایش می‌یابد که منجر به افزایش توانایی گیاه در جذب نور خورشیدی و انجام فرآیند فتوستت می‌شود. از طرفی، نیتروژن یک جزء اساسی در ساختار پروتئین‌ها است. پروتئین‌ها در فرآیند فتوستت برای انتقال الکترون‌ها و ایجاد اتصال‌های مهم در سلول‌های گیاهی نقش دارند. افزایش نیتروژن منجر به افزایش تولید پروتئین‌ها می‌شود که از جمله مؤلفه‌هایی برای متابولیسم و فتوستت هستند. همچنین، نیتروژن به‌عنوان یک جزء از مولکول‌های آمینواسیدها عمل می‌کند که انرژی را برای گیاه فراهم می‌کنند. این انرژی به مواد

غذایی تبدیل می‌شود و در فرآیند فتوسنتز به عنوان منبع انرژی برای ترکیب کلروفیل و کربوهیدرات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fageria, 2014).

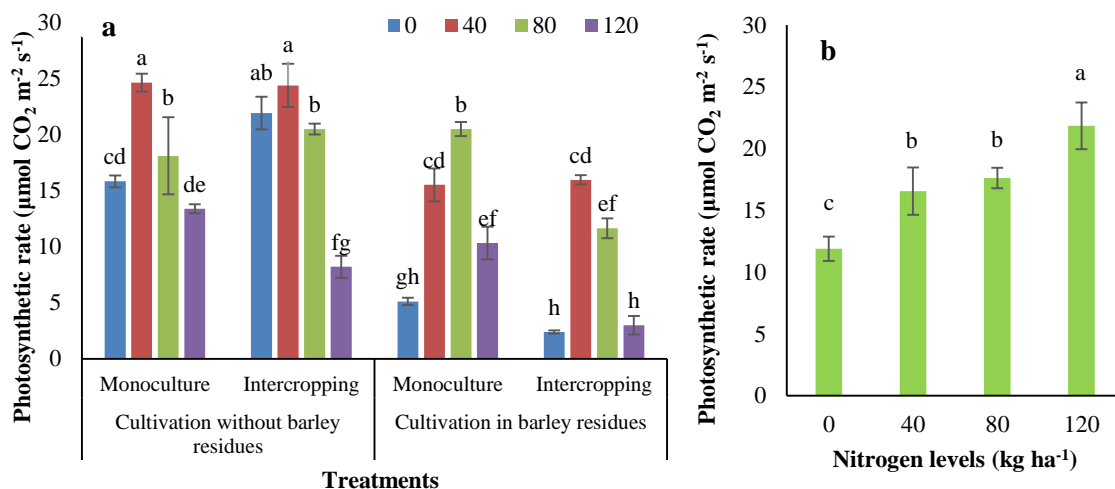
جدول ۴. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک تاج‌خروس و ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن در کشت مخلوط و کشت در بقایای جو.

Amaranth				
Source of Variation	df	Mean squares		
		Photosynthetic rate	Conductance to H ₂ O	Transpiration rate
Block (R)	2	0.57 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Place of cultivation (P)	1	734**	0.002**	12.11**
R×P	2	5.72	0.0004	0.03
Type of cultivation (T)	1	44.54**	0.08**	0.03 ^{ns}
P×T	1	86.99**	0.00001 ^{ns}	0.91**
R×T(P)	4	5.24	0.0002	0.04
Nitrogen (N)	3	342**	0.9**	4.65**
P×N	3	89.09**	0.01**	0.99**
T×N	3	37.69**	0.01**	1.06**
P×T×N	3	23.31*	0.01**	0.49**
Error	24	5.22	0.0002	0.05
CV (%)	-	15.78	9.91	13.95
Maize				
Source of Variation	df	Mean squares		
		Photosynthetic rate	Conductance to H ₂ O	Transpiration rate
Block (R)	2	0.78 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.006 ^{ns}
Place of cultivation (P)	1	0.05 ^{ns}	0.02**	0.02 ^{ns}
R×P	2	21.08	0.002	0.18
Type of cultivation (T)	1	7.44 ^{ns}	0.02**	0.22 ^{ns}
P×T	1	22.83 ^{ns}	0.006**	0.17 ^{ns}
R×T(P)	4	9.96	0.004	0.08
Nitrogen (N)	3	201**	0.01**	1.44**
P×N	3	8.12 ^{ns}	0.003**	0.17 ^{ns}
T×N	3	10.51 ^{ns}	0.004**	0.02 ^{ns}
P×T×N	3	1.57 ^{ns}	0.003**	0.02 ^{ns}
Error	24	8.38	0.0007	0.09
CV (%)	-	17.05	22.75	18.01

^{ns}، *، ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

۳-۵. هدایت روزنه‌ای

در بررسی نتایج تجزیه واریانس مشاهده شد که هدایت روزنه‌ای تاج‌خروس تحت تأثیر برهمکنش سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای تاج‌خروس با ۳۵۹ مول H₂O در متر مربع در ثانیه در تیمار عدم کاربرد بقایای جو در کشت خالص تاج‌خروس و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد روی هدایت روزنه‌ای ذرت می‌باشد (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای ذرت در تیمار استفاده از ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در کشت خالص ذرت در بقایای جو (۲۶۴/۰ مول H₂O در متر مربع در ثانیه) به‌دست آمد (جدول ۵).



شکل ۵. تأثیر برهمکنش نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن بر سرعت فتوسنتز ذرت (a) و سطوح مختلف نیتروژن بر سرعت فتوسنتز ذرت (b).

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک ذرت خروس تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) در کشت مخلوط با ذرت در شرایط کشت در بقایا و بدون بقایای جو.

Treatments				Conductance to H ₂ O		Transpiration rate (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Conductance to H ₂ O	
				(mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			(mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	
		N for maize	N for amaranth	Amaranth		Maize		
Cultivation without barley residues	Monoculture	0	0	0.064±0.001g	1.39±0.02gh	0.084±0.004c-e		
		40	100	0.359±0.009a	2.66±0.05bc	0.087±0.007c-e		
		80	200	0.214±0.010d	2.28±0.16cd	0.106±0.006c-e		
		120	300	0.109±0.004f	1.84±0.23ef	0.126±0.003c		
	Intercropping	0	0	0.125±0.011f	2.71±0.24b	0.071±0.003de		
		40	100	0.154±0.004e	3.28±0.07a	0.077±0.009de		
		80	200	0.107±0.001f	2.12±0.16de	0.09±0.002c-e		
		120	300	0.044±0.006g	0.95±0.13i	0.11±0.015cd		
Cultivation in barley residues	Monoculture	0	0	0.062±0.003g	0.47±0.02j	0.067±0.008e		
		40	100	0.263±0.008c	1.71±0.03fg	0.122±0.034c		
		80	200	0.320±0.017b	1.97±0.12d-f	0.185±0.045b		
		120	300	0.155±0.009e	1.09±0.21hi	0.264±0.014a		
	Intercropping	0	0	0.016±0.003h	0.14±0.02j	0.077±0.005de		
		40	100	0.236±0.019d	1.89±0.04d-f	0.105±0.005c-e		
		80	200	0.169±0.009e	1.41±0.07gh	0.103±0.005c-e		
		120	300	0.056±0.005g	0.50±0.03j	0.121±0.007c		

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

۳-۶. سرعت تعرق

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن بر سرعت تعرق تاج‌خروس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت تعرق تاج‌خروس در تیمار عدم استفاده از بقایای جو در شرایط کشت مخلوط و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار با ۳/۲۸ میلی‌مول H₂O در متر مربع در ثانیه مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه‌گانه محل کاشت، نوع کشت و سطوح مختلف نیتروژن نتوانستند تأثیر معنی‌داری روی سرعت تعرق در ذرت داشته باشند (جدول ۴). همچنین اثر متقابل محل کاشت و نوع کشت، محل کاشت و سطوح مختلف نیتروژن و نوع کشت و سطوح مختلف کشت تأثیر معنی‌داری روی سرعت تعرق ذرت نداشت (جدول ۴). جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف نیتروژن روی سرعت تعرق ذرت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین سرعت تعرق ذرت با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۶).

جدول ۶. اثر اصلی سطوح مختلف نیتروژن روی سرعت تعرق ذرت.

Different levels of nitrogen (Kg ha ⁻¹)	Transpiration rate (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
0	1.203c
40	1.565b
80	1.672b
120	2.044a

۳-۷. شاخص‌های سودمندی

۳-۷-۱. نسبت برابری زمین

این شاخص بیانگر سطحی از زمین مورد نیاز برای تولید در شرایط تک‌کشتی است که کمیت تولید آن مشابه با تولید هر یک از گیاهان زراعی در شرایط مخلوط باشد. اگر نسبت برابری زمین برابر یک باشد نشان می‌دهد که محصول زراعت‌های تک‌کشتی و مخلوط یکسان می‌باشد و اگر $LER > 1$ باشد نشان می‌دهد که بازده بیولوژیکی کشت مخلوط بیش از تک‌کشتی است؛ درحالی‌که $LER < 1$ نشان از عدم سودمندی مخلوط دارد. طبق نتایج جدول ۷، تیمارهای کشت مخلوط در شرایط بدون بقایای جو با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن برای ذرت و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن برای تاج‌خروس، هفت درصد عملکرد بیش‌تری نسبت به تک‌کشتی هر کدام داشت و لذا سودمند بود. همچنین افزایش عملکرد ۳۰ درصدی در کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس در کشت بقایای جو با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ذرت و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای تاج‌خروس مشاهده شد که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس می‌باشد (جدول ۷). جیدرزاده و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی سودمندی کشت مخلوط ذرت شیرین و بامیه نشان دادند بالاترین نسبت برابری زمین از تیمار نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ تحت سیستم تغذیه‌ای ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (Heidarzadeh et al., 2019).

۳-۷-۱. شاخص رقابت

این شاخص نیز میزان مفیدبودن و سودمندی کشت مخلوط را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که اگر کمتر از یک باشد، ارزش کشت مخلوط بیش از خالص بوده و سودمندتر است. اگر مقدار آن بیشتر از یک باشد، میزان سوددهی کشت مخلوط پایین‌تر از کشت خالص است. طبق نتایج جدول ۷، تیمارهای برتر و سودمند معرفی شده در نسبت برابری زمین با این شاخص نیز تأیید می‌شود؛ به‌طوری‌که در تیمارهای کشت مخلوط ذرت و تاج‌خروس با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ذرت و ۴۰ کیلوگرم در هکتار برای تاج‌خروس در کشت بدون بقایای جو و کشت در بقایای جو شاخص رقابت پایین‌تری از یک داشت و لذا ارزش کشت مخلوط بیش از کشت خالص تک‌تک اجزای کشت مخلوط می‌باشد و کشت مخلوط سودمندتر است (جدول ۷).

جدول ۷. عملکرد نسبی ذرت و تاج خروس، نسبت برابری زمین و شاخص رقابت ذرت در کشت مخلوط با تاج خروس.

	Treatments		Relative yield of maize	Relative yield of amaranth	LER	CI	
	N for maize	N for amaranth					
Monoculture of maize	Cultivation without barley residue	0	-	1.00	-	1.00	-
		100	-	1.00	-	1.00	-
		200	-	1.00	-	1.00	-
		300	-	1.00	-	1.00	-
	Cultivation in barley residue	0	-	1.00	-	1.00	-
		100	-	1.00	-	1.00	-
		200	-	1.00	-	1.00	-
		300	-	1.00	-	1.00	-
Intercropping of maize + amaranth	Cultivation without barley residues	0	0	0.63	0.37	1.00	1.07
		100	40	0.44	0.64	1.07	0.89
		200	80	0.54	0.43	0.97	1.19
		300	120	0.42	0.27	0.69	4.29
	Cultivation in barley residues	0	0	0.81	0.05	0.86	4.70
		100	40	1.17	0.13	1.30	-0.79
		200	80	0.99	0.04	1.03	1.01
		300	120	0.65	0.03	0.68	18.05
Monoculture of amaranth	Cultivation without barley residues	-	0	-	1.00	1.00	-
		-	40	-	1.00	1.00	-
		-	80	-	1.00	1.00	-
		-	120	-	1.00	1.00	-
	Cultivation on in barley residues	-	0	-	1.00	1.00	-
		-	40	-	1.00	1.00	-
		-	80	-	1.00	1.00	-
		-	120	-	1.00	1.00	-

۴. نتیجه گیری

رویکرد امروزه، حرکت به سمت کشاورزی پایدار است. این آزمایش در همین راستا اجرا شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین وزن خشک کل تاج خروس در تیمار استفاده از ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط کشت خالص تاج خروس و بدون استفاده از بقایای جو با تولید ۸۰۳۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و بیشترین وزن خشک کل ذرت (۱۱۱۸۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص ذرت در بقایای جو با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به علاوه، بیشترین سرعت فتوسنتز تاج خروس در تیمارهای استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت خالص و بدون استفاده از بقایای جو و عدم استفاده از کود نیتروژن و استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کشت مخلوط با ذرت و بدون استفاده از بقایای جو مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین سرعت فتوسنتز ذرت با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد و با کاهش کاربرد نیتروژن، سرعت فتوسنتز نیز کاهش معنی داری داشت. نسبت برابری زمین نشان داد افزایش عملکرد ۳۰ درصدی در کشت مخلوط ذرت و تاج خروس در کشت بقایای جو با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ذرت و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای تاج خروس مشاهده شد که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط ذرت و تاج خروس می باشد. این سودمندی با شاخص رقابت نیز تأیید شد. طبق نتایج این پژوهش، اگر هدف تولید تاج خروس بود از بقایای جو استفاده نشود؛ چون جو به دلیل خواص دگرآسیب روی عملکرد تاج خروس تأثیر منفی

گذاشته و از رشد آن ممانعت می کند. ولی در کشت ذرت، کاربرد بقایای جو توصیه می شود. همچنین، استفاده از ۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن به ترتیب برای تاج خروس و ذرت برای افزایش زیست توده توصیه می شود.

۵. منابع

- Angadi, S.V., Cutforth, H.W., McConkey, B.G., Gan, Y., & Potts, D. (2002). Response of leaf photosynthesis and transpiration to soil water content and leaf water potential in field-grown soybean. *Photosynthetica*, 40(3), 341-347.
- Arlauskiene, A., Maikstieniė, S., Sarunaite, L., Kadziuliene, Z., Deveikyte, I., Zekaite, V., & Cesnuleviciene, R. (2011). Competitiveness and productivity of organically grown pea and spring cereal intercrops. *Journal of Agriculture*, 98(4), 339-348.
- Beheshti, A.R., & Soltanian, R. (2012). Assessment of the inter-and intra-specific competition of sorghum-bean intercropping using reciprocal yield approach. *Seed and Plant Improvement Journal*, 28(1), 1-17. (In Persian).
- Ben-Chuan, Z., Ying, Z., Ping, C., Xiao-Na, Z., Qing, D.U., Huan, Y., Xiao-chun, W., Feng, Y., Te, X., Long, L., Wen-Yu, Y., & Tai-wen, Y. (2022). Maize-legume intercropping promote N uptake through changing the root spatial distribution, legume nodulation capacity, and soil N availability. *Journal of Integrative Agriculture*, 21, 1755-1771.
- Blanco-Canqui, H. (2015). Crop residue harvest for bioenergy: Effects on soil and environmental quality. *Agronomy Journal*, 107(1), 259-268.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., Owens, L., Post, W.M., & Izaurralde, R.C. (2014). Corn and soybean residue placement and tillage effects on total and corn-derived soil organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 78(4), 1312-1319.
- Brahimi, S., Toumatia, O., Drevon, J.J., Zitouni, A., & Lazali, M. (2022). Intercropping legumes and cereals increases resource use efficiency and crop productivity in low phosphorus soils under semi-arid Mediterranean conditions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(10), 1482-1501.
- Brummer, E.C. (1998). Diversity, stability, and sustainable American agriculture. *Agronomy Journal*, 90, 1-2.
- Courtois, F., Lebert, A., Duquenois, A., Lasseran, J.C., & Bimbenet, J.J. (1991). Modelling of drying in order to improve processing quality of maize. *Drying Technology*, 9(4), 927-945.
- Dhima, K., Vasilakoglou, I., Eleftherohorinos, I., & Lithourgidis, A. (2006). Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and corn development. *Crop Science*, 46, 345-352.
- Fageria, N.K. (2014). *The use of nutrients in crop plants*. CRC Press.
- Fathi, A., & Zeidali, E. (2021). Conservation tillage and nitrogen fertilizer: A review of corn growth, yield and weed management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(3), 121-142.
- Fischer Santiveri, F., & Vidal, I. (2002). Crop rotation, tillage and crop residue management for wheat and maize in the sub-humid tropical highlands: I. Wheat and legume performance. *Field Crops Research*, 79, 2-3, 107-122.
- Gangwar, K., Singh, K., Sharma, S., & Tomar, O. (2006). Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. *Soil and Tillage Research*, 88, 1-2: 242-252.
- Gao, Y., Ren, C., Liu, Y., Zhu, J., Li, B., Mu, W., & Liu, F. (2021). Pepper-maize intercropping affects the occurrence of anthracnose in hot pepper. *Crop Protection*, 148, 105750.
- Ghobadi, R., Ghobadi, M., Honarmand, S.J., Farhadi, B., & Mondani, F. (2018). Study the responses of some leaf physiologic characteristics to different water and nitrogen levels in grainy maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(3), 583-597. (In Persian).
- Goss, M.J., & Howse, K.R. (2011). The effect of time and rate of growth and frequency of harvest on the root and rhizome structure of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* swards. *Grass and Forage Science*, 44(4), 433-441.
- Gunes, A., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S., & Sahin, O. (2007). Silicon increases phosphorus (P) uptake and transport from the roots to the shoots in cucumber plants. *Plant and Soil*, 290(1-2), 1-7.
- Heidarzadeh, A., Aghaalkhani, M., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2019). Effect of vermicompost and urea on yield and profitability indices of sweet corn (*Zea mays* var. Saccharata) and okra (*Abelmoschus esculentus*) intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(2), 35-45. (In Persian).
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Investigate different nutritional regimens on some forage quantitative and qualitative traits of *Dracocephalum kotschy* Boiss under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 15-27. (In Persian).
- Hulet, H., & Gosseye, P. (2000). *Effect of intercropping cowpea on dry – matter and grain yield of millet in the semi-arid zone of Mali*. Available online at: <http://www.fao.org>

- Hura, T., Dubert, F., D'bkowska, T., Stupnicka-Rodzynekiewicz, E., Stoklosa, A., & Lepiarczyk, A. (2006). Quantitative analysis of phenolics in selected crop species and biological activity of these compounds evaluated by sensitivity of *Echinochloa crus-galli*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 28, 537-545.
- Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez, O., & Karlen, D.L. (2010). Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*, 107, 17-25.
- Jiao, N., Wang, J., Ma, C., Zhang, C., Guo, D., Zhang, F., & Jensen, E.S. (2021). The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. *The Crop Journal*, 9, 1460-1469.
- Jo, S.G., Kang, Y.I., Om, K.S., Cha, Y.H., & Ri, S.Y. (2022). Growth, photosynthesis and yield of soybean in ridge-furrow intercropping system of soybean and flax. *Field Crops Research*, 275, 108329.
- Jobidon, R., Thibault, J., & Fortin, J. (1989). Phytotoxic effect of barley, oat, and wheat-straw mulches in eastern Quebec forest plantations 1. Effects on red raspberry (*Rubus idaeus*). *Forest Ecology and Management*, 29, 277-294.
- Karami, H., Maleki, A., & Fathi, A. (2018). Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(3), 15-29.
- Layuk, P., & Lintang, M. (2021). Post harvest corn handling for improving quality and competitiveness. In E3S Web of Conferences. *EDP Sciences*, 232, p 03018.
- Liang, Y.F., Khan, S., Ren, A.X., Lin, W., Anwar, S., Sun, M., & Gao, Z. (2019). Subsoiling and sowing time influence soil water content, nitrogen translocation and yield of dryland winter wheat. *Agronomy*, 9(1), 37.
- Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., & Vlachostergios, D.N. (2011). Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396-410.
- Moeinirad, A., Zeinali, A., Galeshi, S., Afshin, S., & Eganepour, F. (2021). Investigation of fluorescence chlorophyll sensitivity, chlorophyll index, rate of chlorophyll (a,b), nitrogen concentration and nitrogen nutrition index under under nitrogen and phosphorus nutrition in wheat. *Journal of Crop Production*, 14(1), 1-18. (In Persian).
- Mohler, C.L. (1996). Ecological bases for the cultural control of annual weeds. *Journal of Production Agriculture*, 9(4), 468-474.
- Moshaver, E., Madani, H., Emam, Y., Nour Mohamadi, G., & Heidari Sharifabad, H. (2016). Effect of planting date and density on amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) growth indices and forage yield. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(5), 541-547.
- Nasim, W., Ahmad, A., Hammad, H.M., Chaudhary, H.J., & Munis, M.F.H. (2012). Effect of nitrogen on growth and yield of sunflower under semi-arid conditions of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 44(2), 639-648.
- Ngwira, A.R., Aune, J.B., & Mkwinda, S. (2010). Effect of maize plant density and nitrogen application rate on maize yield in Malawi. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(2), 101-111.
- Novak, M.D., Chen, W., & Hares, M.A. (2000). Simulating the radiation distribution within a barley-straw mulch. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 173-186.
- Obi, E.A., Agele, S.O., Aiyelari, O.P., Adejoro, S.A., & Agbona, A.I. (2022). Nutrient uptake and use efficiencies of strip intercropped cassava, maize and pepper as affected by fertilizer type and age of oil palm fields in an oil palm-based intercropping system. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 13(2), 23-35.
- Peng, Z., Ting, W., Haixia, W., Min, W., Xiangping, M., Siwei, M., & Qingfang, H. (2015). Effects of straw mulch on soil water and winter wheat production in dryland farming. *Scientific Reports*, 5, 107-125.
- Phiarais, B.P.N., & Arendt, E.K. (2008). *Malting and brewing with gluten-free cereals*. In *gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press, pp. 347-372.
- Prosdocimi, M., Jordan, A., Tarolli, P., Keesstra, S., Novara, A., & Cerda, A. (2016). The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 547, 323-330.
- Roohi, M., Arif, M.S., Guillaume, T., Yasmeen, T., Riaz, M., Shakoob, A., Farooq, T.H., Shahzad, S.M., & Bragaza, L. (2022). Role of fertilization regime on soil carbon sequestration and crop yield in a maize-cowpea intercropping system on low fertility soils. *Geoderma*, 428, 116152.
- Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., & Wang, S. (2006). Carbon supply and storage in tilled and non-tilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1507-1517.
- Taheri, F., Maleki, A., & Fathi, A. (2021). Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, 13(50), 135-149.
- Wallington, T.J., Anderson, J.E., Mueller, S.A., Kolinski Morris, E., Winkler, S.L., Ginder, J.M., & Nielsen, O.J. (2012). Corn ethanol production, food exports, and indirect land use change. *Environmental Science & Technology*, 46(11), 6379-6384.

- Wang, J., Hussain, S., Sun, X., Zhang, P., Javed, T., Dessoky, E.S., Ren, X., & Chen, X. (2022). Effects of nitrogen application rate under straw incorporation on photosynthesis, productivity and nitrogen use efficiency in winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Wolińska, A., Kruczyńska, A., Podlewski, J., Słomczewski, A., Grządziel, J., Gałązka, A., & Kuźniar, A. (2022). Does the use of an intercropping mixture really improve the biology of monocultural soils? A search for bacterial indicators of sensitivity and resistance to long-term maize monoculture. *Agronomy*, 12(3), 613.
- Wu, K., Jiang, C., Zhou, S., & Yang, H. (2022). Optimizing arrangement and density in maize and alfalfa intercropping and the reduced incidence of the invasive fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in southern China. *Field Crops Research*, 287, 108637.
- Younesi al-Mawati, M. Y., Solh Jou, A.A., Sharifi, A., Javadi, A., Ashrafizadeh, S.R., & Taki, A. (2015). *Guidance for Conservation Tillage and its Application*. Agricultural Education Publication. Tehran, Iran. 10-16. (In Persian).
- Zhang, C.J., Chu, H.J., Chen, G.X., Shi, D.W., Zuo, M., Wang, J., Lu, C., Wang, P., & Zhen, L. (2007). Photosynthetic and biochemical activities in flag leaves of a newly developed super high-yield hybrid rice (*Oryza sativa*) and its parents during the reproductive stage. *Journal of Plant Research*, 120, 209–217.
- Zhang, W., Li, S., Shen, Y., & Yue, S. (2021). Film mulching affects root growth and function in dryland maize-soybean intercropping. *Field Crops Research*, 271, 108240
- Zhao, X., Dong, Q., Han, Y., Zhang, K., Shi, X., Yang, X., Yuan, Y., Zhou, D., Wang, K., Wang, X., Jiang, C., Liu, X., Zhang, H., Zhang, Z., & Yu, H. (2022). Maize/peanut intercropping improves nutrient uptake of side-row maize and system microbial community diversity. *BMC Microbiology*, 22(1), 1–16.
- Zhu, S.G., Zhu, H., Cheng, Z.G., Zhou, R., Yang, Y.M., Wang, J., Wang, W., Wang, B.Z., Tao, H.Y., & Xiong, Y.C. (2022). Soil water and phosphorus availability determines plant-plant facilitation in maize-grass pea intercropping system. *Plant and Soil*, 482, 451–467.