Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 2, 2025, p. 201-218

Effect of Replacement Intercropping Combinations on the Yield of Three Medicinal Plants of Black Cumin (*Nigella sativa* L.), Borage (*Borago officinalis* L.), and Marigold (*Calendula officinalis* L.)

Pegah Naghipour[1], Alireza Koocheki[2*], Mehdi Nassiri Mahallati[2], and Soroor Khorramdel[3]

1, 2, and 3- Ph.D. Student, Professor, and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively
(*- Corresponding author's Email: akooch@um.ac.ir)

Received: 01-08-2015
Revised: 07-09-2016
Accepted: 15-09-2016
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:
Naghipour, P., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2025). Effect of replacement intercropping combinations on the yield of three medicinal plants of black cumin (*Nigella sativa* L.), borage (*Borago officinalis* L.), and marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Agroecology 17*(2), 201-218. (in Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.48788

Introduction

Medicinal plants play major roles in human health services worldwide. Many people in both developing and developed countries are turning to herbal medicine. Iran has a long medical tradition and a traditional learning of plant remedies. Besides serving medical and cultural functions, medicinal plants have also played an important economic role across the country. The planting area of medicinal plants is about 166,527 ha, which is nearly 1% of the total planting area in Iran. Marigold (*Calendula officinalis*) is a medicinal plant of the Asteraceae family. It is popular for the verdant color and an aromatic perfume which is provided by this plant. It grows in sun or partial gloominess and is effortless to grow, requiring little cultivation.Borage is from the Boraginaceae family and has the proper name of *Borago officinalis*. Borage is also known as the Bee plant and Bee Bread because the blue, purplish, star-shaped flower attracts bees all summer long. Throughout history, Borage has been used to treat a multitude of ailments and to improve overall health. The Romans would mix Borage tea and wine prior to combat, most likely to fortify themselves for the battle. The leaves are robust and have medicinal properties, and the topper of the plant is a striking blue star-shaped flower, hence the name. The flowers are edible as well and are often used for cake decorations or sweet syrups. Black cumin (*Nigella sativa*) belongs to the Ranunculaceae family. It has been used as a herbal medicine for more than 2000 years. It is also used as a food additive and flavor in many countries. Black cumin volatile oil has recently been found to contain 67 constituents, many of which have the potential to induce beneficial pharmacological effects in humans. Intercropping involves the integration of various elements of organism interactions in ecosystems and can be categorized as a pro-ecological approach to plant cultivation. This method aims to minimize harmful human interference in the environment, particularly the use of chemicals. Additionally, intercropping enables the attainment of high yields, superior quality, and enhanced economic productivity. The relationship between the intercropped components has garnered significant interest among researchers, particularly in terms of environmental resource management and its impact on productivity and economic indicators.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.48788

Therefore, the objective of the present study was to quantitatively determine the yield of black cumin (*Nigella sativa* L.), borage (*Borago officinalis* L.), and marigold (*Calendula officinalis* L.) in replacement intercropping.

Materials and Methods

An experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, in the growth year of 2013-14. Treatments included 50:50 ratio of black cumin-marigold, black cumin-borage, and marigold-borage, and 33:33:33 ratio of black cumin-marigold-borage and monoculture of each of the three species. Economic and biological yield, harvest index, and yield components of three plants and LER were studied. For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and least significant difference test (LSD), Minitab 16.0 was used.

Results and Discussion

The results showed that, except for HI, applied treatments have a significant effect on the number of branches per plant, number of folliclesper plant, number of seeds per follicles, the percentage of hollow follicles, grain weight, and partial LER of black cumin has been affected by intercropping. Treatments also affected the number of flowers per plant, biological yield, flower yield, and flower harvest index of marigold, and they also had a significant effect on the number of flowers per plant, number of sub-branches, biological and flower yield of borage, but HI was not affected by the treatments. The highest biological and economic yield of the three plants was observed in monoculture of the studied plants, but theirs partial LER increased in all of the intercropping treatments. It could mean the improvement in land use efficiency and other economic resources for more production of biomass of the plants. According to these results, the highest total LER based on biological and economical yield, 1.3 and 1.41, were gained in triple intercropping treatment, respectively. Therefore, it seems that triple intercropping of black cumin-marigold-borage in the ratio of 33:33:33 can be beneficial in terms of ecological management.

Conclusions

Intercropping is an effective strategy for optimal use of available environmental factors for plants and can be very useful, especially in times of land limitation. The results of this experiment clearly showed the synergistic effects of intercropping species on each other. According to the findings of this experiment, in general, intercropping of three medicinal plant species has been able to improve the growth conditions, increase the efficiency of these plants in using land and other available resources, and increase the production of these plants, while ensuring the sustainability of production in these plants. Therefore, according to the results of this study, it seems that in order to maximize the biological and economic performance of black seed, European borage, and perennial ryegrass, along with benefiting from the health of the produced product and sustainability in the production of these species, it is recommended to consider the triple intercropping of black seed, European borage, and perennial ryegrass.

Acknowledgements

We are grateful to the Honorable Vice Chancellor of Research and Technology of Ferdowsi University of Mashhad for providing the costs of this research.

Keywords: Land equity ratio, Medicinal plants, Pure cultivation, Sustainable agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۲۱۸-۲۰۱

اثر ترکیب‌های کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد سه گونه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)

پگاه نقی‌پور دهکردی[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و سرور خرم دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد کمّی سه گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در کشت مخلوط جایگزینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان، ۵۰:۵۰ سیاهدانه با همیشه‌بهار، ۵۰:۵۰ گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار، کشت سه‌گانه ۳۳ درصد از هر گیاه و کشت خالص هر سه گونه بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد اقتصادی و زیستی، شاخص برداشت، اجزای عملکرد هر سه گیاه و ارزیابی نسبت برابری زمین (LER) بود. نتایج آزمایش نشان داد که به‌جز در مورد شاخص برداشت، تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه و نیز LER جزئی سیاهدانه در تیمارهای کشت مخلوط داشت. تیمارهای آزمایش همچنین بر تعداد گل در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد گل، شاخص برداشت گل گیاه همیشه‌بهار اثر معنی‌داری داشتند. در مورد گاوزبان نیز به غیر از شاخص برداشت، اثر تیمارهای آزمایش تعداد گل در بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد زیستی و عملکرد اقتصادی هر سه گیاه در تیمارهای کشت خالص گیاهان مورد بررسی به‌دست آمد، امّا LER جزئی آن‌ها در تمامی تیمارهای کشت مخلوط افزایش داشت که می‌تواند به‌معنای بهبود کارایی استفاده از زمین و سایر منابع در تولید عملکرد زیستی و اقتصادی این گیاهان باشد. بر این اساس، LER کل نیز در کلیه تیمارهای کشت مخلوط افزایش پیدا کرد و بالاترین LER ثبت شده در مورد عملکرد زیستی و اقتصادی به‌ترتیب با مقدار ۱/۳ و ۱/۴۱ به کشت مخلوط سه‌گانه گیاهان مورد بررسی تعلق داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد که کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه- گاوزبان- همیشه‌بهار در نسبت‌های ۳۳:۳۳:۳۳ به لحاظ مدیریت اکولوژیکی سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، کشت خالص، گیاه دارویی، نسبت برابری زمین

مقدمه

افزایش جمعیت جهان و تخریب منابع طبیعی و به دنبال آن نیاز مبرم به افزایش تولیدات غذایی از مشکلات اساسی دنیای امروز به شمار می‌رود. بنابراین، افزایش تولید محصولات کشاورزی برای هماهنگی با تقاضای روزافزون منابع غذایی اجتناب‌ناپذیر است (FAO, 2006). این امر موجب فشار بیش از حد بر محیط زیست گردیده و پایداری سیستم‌های کشاورزی را تهدید می‌کند (Heidari Sharifabad & Dorri, 2002). کشاورزی پایدار مدیریت صحیح منابع کشاورزی است که ضمن رفع نیازهای بشر، کیفیت محیط زیست و ظرفیت منابع آب و خاک را نیز حفظ می‌کند (Philipp, 2009). سیستم جنگل زراعی[۲]، مدیریت تلفیقی آفات، تناوب زراعی و کشت مخلوط چند مثال از اجزای کشاورزی پایدار است (Tsubo et

۱- ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.48788

2- Agroforestry

al., 2005). یکی از راهبردهای حفظ و افزایش تولید محصولات کشاورزی، کشت مخلوط گیاهان با یکدیگر، به‌منظور استفاده از مزایای آن است. به‌طور کلی، کشت مخلوط که یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین عملیات زراعی استفاده شده در سیستم‌های کم‌نهاده کشاورزی در بیشتر مناطق جهان است (Lithourgidis et al., 2011)، عبارت است از کشت توأم دو یا چند گونه گیاهی در یک زمان و مکان مشخص، به‌گونه‌ای که گیاه در اکثر دوره رویش خود در مجاورت گیاه دیگر باشد (Caballero et al., 2001). از بهترین و مؤثرترین راهبردهای نیل به پایداری تولید می‌توان به ایجاد تنوع در روش‌های مدیریت و افزایش تنوع کشاورزی اشاره کرد. از این رو، کشت مخلوط به‌عنوان مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی شناخته می‌شود (Koocheki et al., 2009). از کشت مخلوط به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی که منجر به بهبود کارایی مصرف منابع محیطی و افزایش عملکرد می‌شود، یاد می‌گردد (Rezaei-Chianeh et al., 2010). افزایش تولید در کشت مخلوط را می‌توان به دلایلی همچون کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها، سرعت رشد بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس نسبت داد (Dahmardeh & Keshtegar, 2014; Gustave et al., 2008). محققین مختلف، دلایل عمده موفقیت تولید در تراکم بالای کشت مخلوط را جذب بیشتر نور خورشید در اوایل فصل کاشت و امکان رقابت بهتر این سیستم با علف‌های هرز دانسته‌اند (Boquet et al., 2003). اصولاً وجود اختلافات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بین اجزای کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی موجب افزایش عملکرد می‌شود و به‌طور کلی، استفاده بیشتر و بهتر از عوامل محیطی قابل دسترس و افزایش عملکرد یکی از اهدافی است که در کشت مخلوط دنبال می‌شوند (Rezvani Moghadam et al., 2009)؛ از این رو، می‌توان بهبود عملکرد گونه‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را مهم‌ترین دلیل رویکرد به کشت مخلوط دانست. در کشورهای در حال توسعه، کشت مخلوط نقش مهمی در تولید غذا و معیشت مردم ایفا می‌کند و اغلب به‌صورت سنتی در مزارع کوچک توسط کشاورزان مدیریت می‌شوند (Tsubo & Walker, 2002).

کشت گیاهان دارویی در ایران از قدمت بسیاری برخوردار است و از دیرباز جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی سنتی، از نظر ایجاد تنوع و پایداری برخوردار بوده است. در ایران، وجود نور فراوان یکی از منابع مهم و بالقوه در تولید گیاهان دارویی است که باید با مناسب ترین روش‌ها از آن استفاده کرد (Omidbeygi, 2005). برای رفع نیازهای فزاینده به داروهای گیاهی، گیاهان دارویی بایستی در سطح وسیعی به‌صورت زراعی کشت شوند. گسترش کشت گیاهان دارویی علاوه‌بر اینکه می‌تواند نیاز داخلی به محصولات این گیاهان را مرتفع سازد، باعث تولید مواد خام باکیفیت نیز می‌گردد. از سوی دیگر، تأمین مواد اولیه برای منابع داروسازی نیاز به افزایش تولید محصول در واحد سطح دارد که علمی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش دستیابی به این مهم، افزایش کارایی نهاده‌های مورد استفاده در زراعت گیاهان دارویی می‌باشد (Thomas, 2000).

گیاه دارویی سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک‌ساله و علفی و متعلق به خانواده Ranunculaceae است. دانه این گیاه که به‌طور متوسط دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن، ۲۰ درصد پروتئین و بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد اسانس است (Mehta et al., 2009)، دارای خواصی همچون کاهش قند خون، ضد درد، ضد ویروس و باکتری، ضد نفخ، ضد انگل، مسهل و شیرآور است (Omidbeygi, 2005). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2009) گزارش دادند که کشت مخلوط سیاهدانه به همراه ماش (*Vigna radiata*) موجب افزایش برخی شاخص‌های رشدی سیاهدانه نظیر شاخص سطح برگ و وزن خشک آن شد. این محققین همچنین بیان داشتند که عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه همچون تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد فولیکول پر در بوته و تعداد دانه در فولیکول در کشت مخلوط با ماش افزایش داشت.

گاوزبان اروپایی با نام علمی *Borago officinalis*L. گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده Boraginaceae است که دارای خواص دارویی متعددی است و از آن برای درمان بیماری‌های قلبی، اگزما، دیابت، ورم مفاصل و بیماری MS استفاده می‌شود. دانه گاوزبان اروپایی منبع غنی گیاهی گامالینولنیک اسید است که خاصیت دارویی این گیاه به این ماده آنتی‌اکسیدانت نسبت داده می‌شود (Naghdi Badi et al., 2007). نتایج مطالعه کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) مؤید بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی گاوزبان اروپایی در شرایط مخلوط ردیفی با لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) *می‌باشد*.

همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی یک‌ساله و

علفی است که مواد مؤثره آن در گل‌ها ساخته شده و ذخیره می‌گردد. مهم‌ترین ترکیبات آن شامل فلاونوئیدهای محلول در آب، کارتنوئیدها، اسانس، مواد موسیلاژی و ویتامین E می‌باشد. گل‌های همیشه‌بهار همچنین حاوی کلندونین، ساپونین،کلسترول، استرول و استراسید لانوریک هستند و دارای موارد مصرف دارویی (مداوای بیماری‌های معدی و روده‌ای، مداوای زخم‌های پوستی، ضد التهاب)، آرایشی و بهداشتی (تهیه کرم‌های مختلف) و غذایی (رنگ کردن مواد غذایی از جمله پنیر وکره) است. این گیاه دارای خواص متعددی نظیر معرق، تصفیه‌کننده خون، ضد تشنج، التیام‌دهنده زخم، ضد سوختگی، درمان اگزما، سرمازدگی و رفع آکنه است (Ameri et al., 2012).

از آنجا که گیاهان دارویی معمولاً گیاهانی با نیاز غذایی اندک هستند، با روش‌های اکولوژیک و بدون مصرف کودهای شیمیایی به راحتی می‌توان به تولید آن‌ها پرداخت. از طرفی، در مورد تولید گیاهان دارویی، ارزش واقعی به کیفیت محصول و پایداری تولید داده شده و کمیت محصول در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. تحقیقات قبلی گویای آن است که استفاده از نظام کشاورزی پایدار به‌دلیل تطابق با شرایط طبیعی و اصالت کیفیت محصول، بهترین شرایط را برای تولید این گیاهان فراهم می‌آورد و حداکثر ماده مؤثره در چنین شرایطی تولید می‌شود (Darzi et al., 2008). همچنین لزوم سلامت محصولات گیاهان دارویی و عاری بودن آن‌ها از بقایای نهاده‌های شیمیایی، کشاورزان را به این امر تشویق می‌کند تا با استفاده از روش‌هایی همچون کشت مخلوط به تولید آن‌ها بپردازند. بنابراین، هدف از اجرای این آزمایش بررسی عملکرد زیستی، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت گیاهان سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در سیستم‌های کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه با تأکید بر روش جایگزینی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص هرکدام از سه گونه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان اروپایی، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با همیشه‌بهار، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار و کشت مخلوط جایگزینی سه‌گانه ۳۳:۳۳:۳۳ سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار بود. قبل از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری شد که نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

عملیات آماده‌سازی مزرعه در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۳، به‌صورت شخم و دیسک، ایجاد ردیف‌های کاشت نیم متری و سپس کرت‌بندی زمین انجام شد و پس از آن کاشت بذرها انجام پذیرفت. مساحت هر کرت شش مترمربع با ابعاد ۴×۱/۵ متر بود. فاصله بین هر کرت نیم متر و فاصله بلوک‌های مجاور نیز یک متر در نظر گرفته شد. کشت هم‌زمان گیاهان در تاریخ ۱۰ اردیبهشت‌ماه، به‌صورت خطوطی در دو طرف هر ردیف کاشت انجام شد (شکل ۱) که پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها، تنک و برای هر گیاه به تراکم مورد نظر رسید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

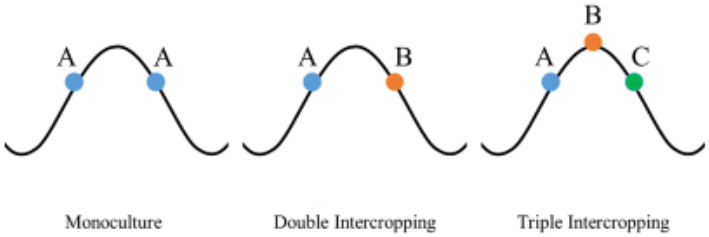
Table 1- Physical and chemical propertices of farm's soil

Texture	pH	Salinity ($dS.m^{-1}$)	Organic C (%)	Organic matter (%)	N ($mg.kg^{-1}$)	Total P ($mg.kg^{-1}$)	Total K ($mg.kg^{-1}$)
Silty loam	8.76	644	0.78	0.95	15.5	12.2	321

تراکم کاشت بر مبنای بررسی منابع و عرف رایج منطقه مشهد برای سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار به‌ترتیب برابر با ۳۵ (Torkaman-Nia, 1997)، ۱۰ و ۱۳ (Ameri et al., 2012) بوته در مترمربع بود. روش آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای بود. اولین و دومین آبیاری مزرعه به‌ترتیب در روز کاشت بذرها و سه روز پس از آن انجام و تا پایان فصل، دور آبیاری هفت روزه اعمال شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی بنا به ضرورت در طول فصل رشد انجام شد. به‌منظور بررسی آزمایش در شرایط کم نهاده در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از از هیچ نهاده شیمیایی نظیر سم و کود استفاده نشد و از طرفی نیز در طول فصل رشد، مزرعه با هیچ بیماری یا آفتی مواجه نگردید.

برداشت هر سه گیاه به‌صورت تقریباً هم‌زمان در اوایل شهریورماه

با حذف حاشیه‌ها و کف‌بر کردن گیاهان از سه مترمربع از هر کرت انجام شد. در پایان، اجزای عملکرد و شاخص برداشت هر گیاه شامل تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت برای سیاهدانه، تعداد گل در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد گل و شاخص برداشت گل برای همیشه‌بهار و تعداد گل در بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد زیستی، عملکرد گل و شاخص برداشت گل برای گاوزبان اروپایی اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- نحوه کاشت بذرهای گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه
Fig. 1- Swing pattern of plant seeds in different treatments of monoculture and double and triple intercropping
Curves and dots indicate seed bed and the place of the seed swing.

نسبت برابری زمین (LER) بر اساس عملکرد زیستی و اقتصادی از طریق معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Heidari Asl, 2014):

معادله (۱) $$LER_a = \frac{Y_{i,m(a)}}{Y_{i,s(a)}}$$

معادله (۲) $$LER_T = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}}$$

که در آن‌ها، LER_a: نسبت برابری زمین مربوط به گونه a، $Y_{i,m(a)}$ و $Y_{i,s(a)}$: به‌ترتیب عملکرد گونه a در کشت مخلوط و کشت خالص آن گونه، LER_T: نسبت برابری زمین کلی هر تیمار کشت مخلوط و $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$: به‌ترتیب عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشند.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها از برنامه‌های Minitab و MS Excel استفاده گردید و از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد جهت مقایسه میانگین‌ها بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده سیاهدانه حاکی از آن بود که اثر تیمارهای مختلف آزمایش بر تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه معنی‌دار بود، امّا شاخص برداشت سیاهدانه از تیمارهای این آزمایش اثری نپذیرفت (جدول ۲).

کمترین و بیشترین تعداد شاخه جانبی در هر گیاه مربوط به سیاهدانه در کشت مخلوط سه‌گانه (۵/۶ شاخه) و کشت خالص این گیاه (۸/۶ شاخه) بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین، تعداد شاخه‌های فرعی در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی و سیاهدانه- همیشه‌بهار در حد میانه دو تیمار قبل قرار داشتند و از نظر آماری با یکدیگر و با دو تیمار کشت مخلوط سه‌گانه و کشت خالص سیاهدانه اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲-A).

به نظر می‌رسد که تراکم گیاهان در تیمارهای کشت مخلوط و فضای کمتر قابل دسترس برای سیاهدانه (که از لحاظ جثه از همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی کوچک‌تر است) موجب کاهش تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به کشت خالص این گیاه شده باشد. در پژوهشی که توسط میزهاشمی (Mirhashemi, 2006) در مورد کشت مخلوط زنیان (*Carum copticum*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) انجام شد، مشاهده گردید که تیمارهای کاشت تأثیر معنی‌داری بر روی تعداد شاخه‌های جانبی زنیان داشتند. در آزمایش مذکور، زنیان در کشت مخلوط تک ردیفی بیشترین و در تک

کشتی کمترین تعداد شاخه جانبی را داشت. این محقق دلیل این یافته را دسترسی بیشتر به نور توسط زنیان در تیمار کشت مخلوط تک ردیفی عنوان کرد. در پژوهش حاضر نیز بیشترین مقدار نور در دسترس برای سیاهدانه، در تیمار کشت خالص این گیاه وجود داشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات سیاهدانه در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با همیشه‌بهارو گاوزبان اروپایی

Table 2- Analysis of variance for characteristics of black cumin in monoculture and double and triple intercropping with marigold and borage

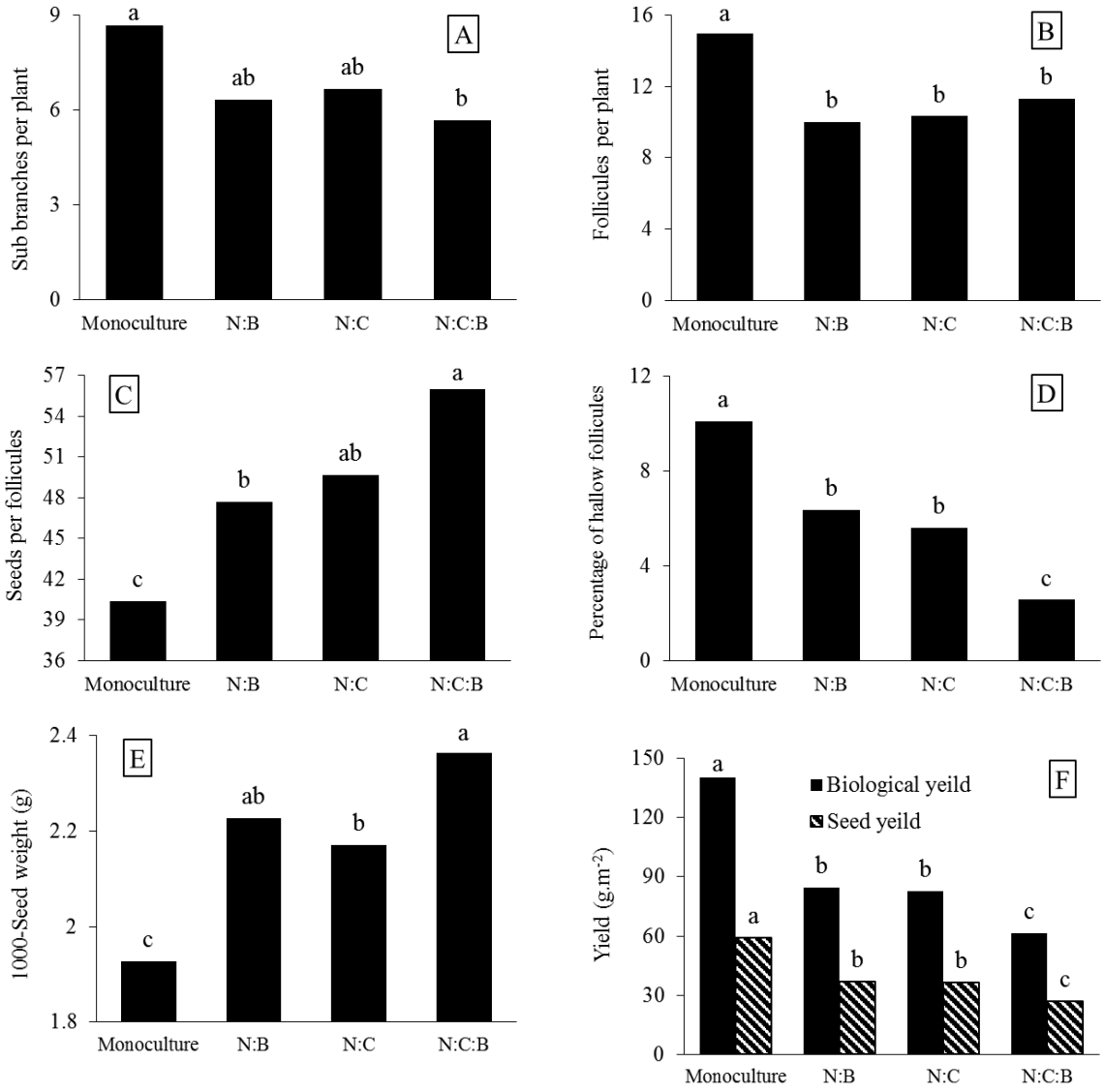
S.O.V.	d.f	Mean of squares							
		Sub branches per plant	Follicule per plant	Seeds per follicule	Percentage of hallow follicule	1000-seed weight	Biological yield	Seed yield	HI
Treatments	3	5*	15.77**	124.97**	28.57**	0.099**	3380.2**	560.6**	1.99ns
Replication	2	0.08ns	1.08ns	2.33ns	0.45ns	0.001ns	3.7ns	1.25ns	0.15ns
Error	6	0.75	0.86	5.22	0.48	0.003	6.3	1.75	0.59
CV (%)		12.67	7.95	4.71	11.33	2.57	2.72	3.32	1.92

**، * و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p\leq$۰/۰۱) و پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) و غیرمعنی‌دار است.

**, * and ns: means significant in probability level of 1 ($p\leq$0.01) and 5 percent ($p\leq$0.05) and not significant, respectively.

تعداد فولیکول در بوته جزئی مؤثر در تشکیل عملکرد نهایی محصول سیاهدانه است (Nowroozpoor & Rezvani Moghaddam, 2005). در این آزمایش، تیمار کشت خالص سیاهدانه حائز بیشترین مقدار ثبت شده برای تعداد فولیکول در بوته (۱۵ فولیکول در بوته) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-B). همچنین، هیچ‌کدام از تیمارهای کشت مخلوط از لحاظ تعداد فولیکول در بوته با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. امّا نتایج حاکی از آن بود که تیمار کشت خالص سیاهدانه کمترین مقدار دانه در فولیکول (۴۰/۳ عدد) را دارا بود که با تیمارهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-B). سیاهدانه کشت شده در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه با تعداد ۵۶ دانه در فولیکول، بیشترین مقدار مربوط به این صفت را به خود اختصاص داد. همچنین تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار با تعداد ۴۹/۶ دانه در فولیکول و تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی با تعداد ۴۷/۶ دانه در فولیکول در رده‌های بعدی داده‌های ثبت‌شده مربوط به این صفت قرار گرفتند (شکل ۲-C). روستایی و همکاران (Rostaei et al., 2014) ضمن بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی و کشت مخلوط بر شاخص‌های رشدی و عملکرد سیاهدانه و شنبلیله گزارش دادند که اثر کشت مخلوط به‌ترتیب بر تعداد غلاف و فولیکول شنبلیله و سیاهدانه و نیز تعداد دانه در غلاف و فولیکول آن‌ها معنی‌دار بود و موجب افزایش این صفت نسبت به کشت خالص این دو گیاه شد.

درصد فولیکول‌های پوک سیاهدانه در تیمار کشت خالص این گیاه ۱۰ درصد بود. این مقدار برای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی ۶/۳ درصد و برای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی ۵/۵ درصد بود که با تیمار کشت خالص سیاهدانه و همچنین سیاهدانه کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه (که با ۲/۵ درصد، دارای کمترین درصد فولیکول پوک بود) اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-D). با توجه به نتایج ذکر شده و همچنین نتایج مربوط به تعداد شاخه‌های جانبی سیاهدانه چنین به نظر می‌رسد که سیاهدانه در ابتدای رشد خود با رشد رویشی زیاد، ناشی از وجود فضای زیاد جهت رشد، تعداد شاخه‌های جانبی و فولیکول‌های زیادی تولید می‌کند که بعداً در موقع تولید دانه‌ها یا پر شدن آن‌ها به دلیلی همچون محدودیت منبع قادر به تولید دانه زیاد و حتی پر کردن فولیکول‌های خود نیست. به این ترتیب، می‌توان افزایش تعداد دانه در فولیکول و کاهش درصد فولیکول‌های پوک در تیمارهای کشت مخلوط را نسبت به تیمارهای کشت خالص توجیه کرد. از سویی دیگر، می‌توان اختلاف بین تیمارهای مختلف از لحاظ درصد فولیکول پوک و تعداد دانه در فولیکول را به سودمندی کشت مخلوط گیاهان مختلف در بهبود شرایط رشدی سیاهدانه نسبت داد.



شکل ۲-مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط با همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی بر A- تعداد شاخه‌های جانبی، B- تعداد فولیکول در بوته، C- تعداد دانه در فولیکول، D-درصد فولیکول پوک، E-وزن هزار دانه و F- عملکرد زیستی و عملکرد دانه سیاهدانه

Fig. 2- Means comparisons for the effect intercropping rations with marigold and borage on A- Sub branches per plant, B- Follicules per plant, C- Seeds per follicules, D- Percentage of hallow follicules, E- 1000-seed weight, F- biological and seed yield of black cumin

N, B and C indicate black cumin, marigold and borage, respectively.
Monoculture: Monoculture of black cumin, N:B: Black cumin in intercropping with borage, N:C: Black cumin in intercropping with marigold, N:C:B: Black cumin in intercropping with marigold and borage.
In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

زعفریان و باقری (Zafarian & Bagheri Shirvan, 2014) ضمن بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد سویا (*Glycine max*) ، ریحان (*Ocimum basilicum*) و گاوزبان اروپایی گزارش دادند که تعداد غلاف در بوته سویا به غیر از نسبت ۷۵:۲۵ سویا- گاوزبان اروپایی، در دیگر تیمارهای مخلوط بیشتر از کشت خالص بود.

بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار سیاهدانه کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه برابر با ۲/۳۶ گرم بود که با سایر تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-E). وزن هزار دانه در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی (۲/۲۲ گرم) و سیاهدانه- همیشه‌بهار (۲/۱۷ گرم) بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار کشت خالص سیاهدانه با مقدار ۱/۹۳ گرم ثبت شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-E). قلی‌نژاد و رضایی چیانه (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014) گزارش کردند که وزن هزار دانه سیاهدانه در کشت خالص این گیاه کمتر از کشت مخلوط با نخود بود. به اعتقاد این محققین کشت خالص گیاه می‌تواند با افزایش تعداد مخازن موجب کاهش سهم هرکدام از این مخازن از مواد فتوسنتزی شود و وزن هزار دانه را کاهش دهد.

عملکرد زیستی و عملکرد دانه سیاهدانه: از آنجا که در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی تراکم کاشت از تراکم کاشت کشت خالص کمتر هستند (تیمارهای کشت مخلوط دوگانه نصف و در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه یک سوم تراکم در کشت خالص)، بنابراین بالاترین عملکرد زیستی و دانه به‌دست آمده در تیمار کشت خالص، پس از آن در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و در نهایت، کمترین آن در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (شکل ۲-F)، امّا با این وجود، گزارش‌های بسیاری از برتری شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص (تک کشتی) در دسترس است (Bagheri et al., 2012). بنابراین، می‌بایست با توجه به نسبت برابری زمین (LER) به تفسیر نتایج حاصل از عملکردهای زیستی و دانه پرداخت. از طرفی، با مقایسه LER جزئی هر گونه در کشت مخلوط می‌توان به اثر رقابتی گونه‌ها با یکدیگر نیز پی برد (Nematollahi et al., 2009) که در ادامه به این مبحث پرداخته خواهد شد. نتایج پژوهش خاموشی (Khamooshi, 2014) در مورد کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) و لوبیا هم‌راستا با نتایج حاضر بود. بدین گونه که کمترین عملکرد زیستی هر دو گیاه رازیانه و لوبیا در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی و بیشترین آن‌ها در کشت خالص این گیاهان به‌دست آمد.

شاخص برداشت: شاخص برداشت سیاهدانه در تیمارهای مختلف آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۲). در این آزمایش، شاخص برداشت که نسبت عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیستی است، در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط سیاهدانه دامنه‌ای بین ۴۲/۱۹ تا ۴۴/۰۵ داشت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).به‌طور کلی، گیاهان اصلاح‌شده همانند گندم (*Triticum aestivum*) و ذرت (*Zea mays*) که به حد پتانسیل تولید اقتصادی خود نزدیک شده‌اند، با انجام امور مدیریتی، افزایش چندانی در شاخص برداشت نشان نمی‌دهند. امّا از طرفی، به نظر می‌رسد که افزایش شاخص برداشت در گیاهان دارویی همچون گیاهان مورد بررسی که هنوز امکان افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به بخش اقتصادی خود دارند، تحت تأثیر کاربرد تیمارهایی نظیر تغذیه (Khorramdel et al., 2008) قرار می‌گیرند، هر چند در این آزمایش، شاخص برداشت سیاهدانه تحت تأثیر نوع کشت قرار نگرفت که دلیل آن را می‌توان به افزایش نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی این گیاه نسبت داد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2009) گزارش کردند که ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط این گیاه با ماش، نسبت به کشت خالص این گیاه افزایش یافت. این محققان بیان داشتند که با کشت مخلوط سیاهدانه با سایر گیاهان فضای بهتری برای رشد این گیاه ضعیف به وجود می‌آید. به نظر می‌رسد که با استفاده بهتر سیاهدانه از منابع محیطی همچون نور و رطوبت در کشت مخلوط، شرایط برای رشد بیشتر این گیاه فراهم می‌شود. نتایج این آزمایش همچنین با یافته‌های کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) در مورد عدم تأثیرپذیری شاخص برداشت سیاهدانه در کشت مخلوط با لوبیا و نخود (*Cicer arietinum*) همسو است.

عملکرد و اجزای عملکرد همیشه بهار

تیمارهای آزمایش بر تعداد گل در بوته، عملکردهای زیستی، و عملکرد گل، شاخص برداشت گل و شاخص برداشت گل همیشه‌بهار اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

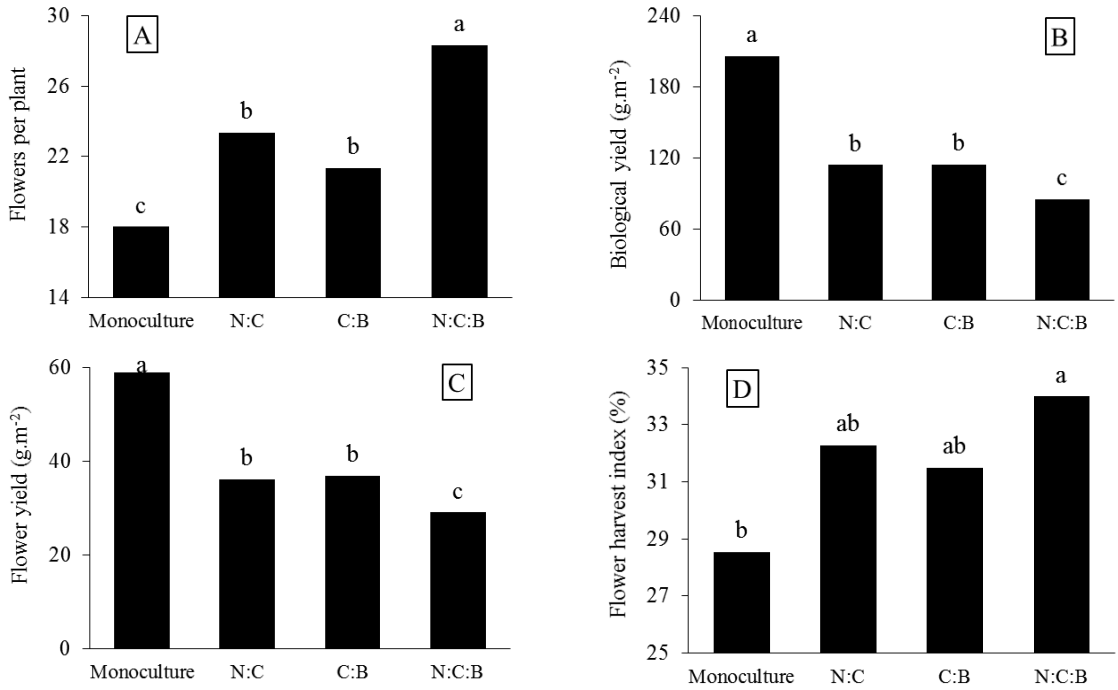
اجزای عملکرد: گیاه همیشه‌بهار کشت شده در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه دارای بالاترین تعداد گل در بوته (میانگین ۲۸/۳) بود و پس از آن همیشه‌بهار کشت شده در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه همیشه‌بهار- سیاهدانه و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب با تعداد ۲۳/۳ و ۲۱/۳ گل در بوته حد میانه تعداد گل در بوته را داشتند که با همیشه‌بهار در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه اختلاف معنی‌داری داشتند. کمترین تعداد گل در بوته نیز در تیمار کشت خالص همیشه‌بهار، با مقدار ۱۸ گل در بوته ثبت شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۳-A). سودمندی‌هایی همچون بهبود شرایط رشدی و کارایی بهتر استفاده از منابع در نتیجه کشت گونه‌های مختلف در کشت مخلوط را می‌توان دلیل این نتیجه دانست (Rezvani et al., 2014). یافته‌های حاضر با نتایج تحقیق حیدری اصل (Heidari ASL, 2014) در مورد تعداد گل‌آذین شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum*)در کشت مخلوط با گیاه برزک (*Linum usitatissimum*) مطابقت دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات همیشه‌بهار در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و گاوزبان اروپایی
Table 3- Analysis of variance for characteristic of marigold in monoculture and double and triple intercropping with black cumin and borage

S.O.V	d.f	Mean of squares			
		Flowers per plant	Biological yield	Flower yield	Flower H.I.
Treatments	3	56.08**	8271.1**	500.2**	15.58*
Blocks	2	2.25^{ns}	1.4^{ns}	3.69^{ns}	1.48^{ns}
Error	6	0.58	5.5	3.84	1.66
CV (%)		2.44	17.5	3.43	4.29

**، * و ns: به‌ترتیب به‌معنای معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p\leq$۰/۰۱) و پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) و غیرمعنی‌دار است.
**, * and ns: means significant in probability level of 1 ($p\leq$0.01) and 5 percent ($p\leq$0.05) and not significant, respectively.

عملکرد زیستی و عملکرد گل همیشه‌بهار: همانند سیاهدانه، عملکرد زیستی و عملکرد گل همیشه بهار به‌دلیل وجود تراکم بالاتر، به‌ترتیب در کشت خالص، کشت‌های مخلوط دوگانه و کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (شکل‌های ۲-B و ۲-C). کاروبا و همکاران (Carrubba et al., 2008) گزارش کردند که در کشت مخلوط رازیانه و شوید بیشترین عملکرد زیستی و اقتصادی هر دو گونه در کشت خالص آن‌ها به‌دست آمد و کمترین عملکرد زیستی رازیانه در تیمار ۳۳:۶۶ به‌دست آمد که در این تیمار، رازیانه تراکم کمتری نسبت به شوید داشت. غوش و همکاران (Ghosh et al., 2006) نیز مشاهده کردند که در کشت مخلوط سویا و دال‌عدس بالاترین میزان عملکرد در هر دو گیاه مربوط به کشت خالص بود و در کشت مخلوط، عملکرد سویا و دال عدس (*Cajanus cajan*) به ترتیب ۱۶ و ۲۶ درصد نسبت به خالص کاهش نشان داد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر کشت خالص همیشه‌بهار و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و گاوزبان اروپایی بر: A: تعداد گل در بوته، B: عملکرد زیستی، C: عملکرد گل، D: شاخص برداشت گل همیشه‌بهار

Fig. 3- Means comparisons of the effect of monoculture of marigold and its double and triple intercropping with black cumin and borage on: A: Flowers per plant, B: Biological yield, C: Flower yield, D: Flower harvest index of marigold

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively.
Monoculture: Monoculture of marigold, N:C: Marigold in intercropping with black cumin, C:B: Marigold in intercropping with borage, N:C:B: Marigold in intercropping with black cumin and borage.
In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

شاخص برداشت گل: از آنجا که بالاترین تعداد گل همیشه‌بهار در بوته در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد و همچنین درصد افزایش LER جزئی مربوط به عملکرد گل همیشه‌بهار (۴۸ درصد) از LER جزئی عملکرد زیستی آن (۲۴/۴ درصد) بیشتر بود، بنابراین بالاترین شاخص برداشت گل همیشه‌بهار نیز در این تیمار و با مقدار ۳۴ درصد به‌دست آمد که با شاخص برداشت تیمار کشت خالص همیشه‌بهار (۲۸/۵ درصد) اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین شاخص برداشت همیشه‌بهار در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی و سیاهدانه- همیشه‌بهار به‌ترتیب برابر با ۳۱/۴ و ۳۲/۲ درصد بود که با یکدیگر و همچنین تیمارهای کشت خالص همیشه‌بهار و نیز همیشه‌بهار کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳-D).

این نتایج همچنین با یافته‌های الهدادی و همکاران (Allahdadi et al., 2013) درباره ارزیابی عملکرد و سودمندی کشت مخلوط سویا و همیشه‌بهار همسو است. هرچند به نظر می‌رسید که کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار به‌دلیل کوچک‌تر بودن جثه سیاهدانه و در اختیار بودن فضای بیشتر برای رشد همیشه‌بهار سبب رشد رویشی بیشتر همیشه‌بهار و کمتر شدن سهم گل از کل ماده خشک گیاه شود، امّا این اتفاق رخ نداد و علاوه‌بر اینکه کشت مخلوط سیاهدانه و همیشه‌بهار موجب کاهش شاخص برداشت همیشه‌بهار نشد، موجب بهبود جزئی شاخص برداشت گل همیشه‌بهار نیز شد. دلیل این امر و به‌طور کلی، بهبود شاخص برداشت همیشه‌بهار را می‌توان در جنبه‌های اکولوژیک کشت مخلوط از جمله بهبود عوامل خاکی، تأثیر بر جمعیت آفات و بیماری‌ها و افزایش کارایی استفاده از منابع (Ayeneband, 2007; Koocheki et al., 2014) نسبت داد.

عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات گاوزبان اروپایی نشان داد که به‌جز شاخص برداشت گل، کلیه سایر صفات اندازه‌گیری شده این گیاه از تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری پذیرفتند (جدول ۴).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و همیشه‌بهار
Table 4- Analysis of variance for characteristic of borage in monoculture and double and triple intercropping with black cumin and marigold

S.O.V	d.f	Mean of squares				
		Flowers per plant	Sub branches per plant	Biological yield	Flower yield	Flower H.I.
Treatments	3	28.83*	5.25**	46280**	117.6**	0.2*
Blocks	2	0.23ns	0.35ns	18ns	0.08ns	0.002ns
Error	6	4.36	0.28	25	0.24	0.038
CV (%)		5.44	8.45	14.2	2.93	4

**، * و ns: به‌ترتیب به‌معنای معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p\leq$۰/۰۱) و پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) و غیرمعنی‌دار است.

**, * and ns: means significant in probability level of 1 ($p\leq$0.01) and 5 percent ($p\leq$0.05) and not significant, respectively.

تعداد گل در بوته: روندی مشابه آنچه در مورد گیاه همیشه‌بهار در تیمارهای مختلف آزمایش وجود داشت، در مورد گاوزبان اروپایی نیز صدق می‌کرد. بدین‌صورت که بالاترین تعداد گل در بوته در تیمار کشت سه‌گانه (۴۲/۴ گل در بوته) و حد میانه در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط گاوزبان اروپایی- همیشه‌بهار و (۳۸/۵ گل در بوته) و تیمار گاوزبان اروپایی- سیاهدانه (۳۷/۴ گل در بوته) که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، امّا با تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی با تعداد ۳۵ گل در بوته اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۴-A).به عقیده نگویرا و همکاران (Ngwira et al., 2012)، کشت مخلوط می‌تواند با کاستن از اثر تنش‌های مختلفی که در طول فصل رشد به گیاهانی که با یکدیگر کشت شده‌اند، وارد می‌شود، سبب کاهش کمتر شاخص‌های رشدی و اجزای عملکرد مؤثر در عملکرد نهایی آن گیاهان شود. بنابراین، بهبود تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص این گیاه را علاوه‌بر اینکه می‌توان به اثرات هم‌افزایی[1] گیاهان با یکدیگر دانست، بلکه

1- Synergistic

می‌توان آن را به اثر مثبت کشت مخلوط بر گیاه گاوزبان اروپایی در حفظ گل‌های تولید شده خود در آن تیمارها نسبت به کشت خالص دانست. نصیرپور (Nasirpoor, 2010) با بررسی تأثیر کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum*) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) بر شاخص‌های کمّی عملکرد این دو گیاه گزارش کرد که به‌طور کلی، در مورد لوبیا چشم بلبلی کشت مخلوط موجب افزایش افزایش پانیکول در بوته به‌دلیل تعداد گل‌های بارور در بوته شد. فیضی‌زاده (Feyzizadeh, 2012) نیز گزارش داد که تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط جایگزینی با ارزن معمولی افزایش یافت و دلیل این امر را مزیت کشت مخلوط نسبت به تک کشتی جهت دستیابی به درصد پوشش سبز بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس گیاهان بیان نمود.

تعداد شاخه جانبی: حداکثر تعداد شاخه جانبی گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی (هشت شاخه) و کشت خالص گاوزبان اروپایی (۶/۷ شاخه) ثبت شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. تعداد شاخه جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی ۵/۴ شاخه بود که با تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط این گیاه (۵/۱ شاخه) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-B). از این نتایج چنین برداشت می‌شود که احتمال تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در پاسخ به محیط در دسترس این گیاه تغییر کرده است. چنان‌که تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی که به‌دلیل جثه کوچک سیاهدانه برای گاوزبان اروپایی فضای بیشتری را نسبت به کشت خالص این گیاه می‌دهد، از سایر تیمارها بیشتر بوده و این صفت گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دلیل وجود حداقل فضای رشد، به حداقل خود رسیده است. بی‌گناه و همکاران (Bigonah et al., 2011) نیز ضمن بررسی خصوصیات گیاهان گشنیز (*Coriandrum sativum*)و شنبلیله در کشت مخلوط گزارش دادند که تعداد شاخه‌های هر دو گیاه در تیمارهای کشت مخلوط کاهش پیدا کرد. این محققین دلیل این امر را چنین بیان داشتند که در کشت خالص که گیاه از فضای بیشتری برخوردار بوده است، گیاه با دریافت نور بیشتر جهت افزایش تعداد شاخه‌های جانبی بیشتر تحریک می‌شود و در کشت مخلوط و کشت‌های غیرمتراکم‌تر نسبت به کشت خالص، به‌دلیل عدم وجود نور اضافی که موجب تحریک شاخه‌دهی می‌شود، ارتفاع گیاه افزایش و تعداد شاخه‌های جانبی آن کاهش پیدا کرده است.

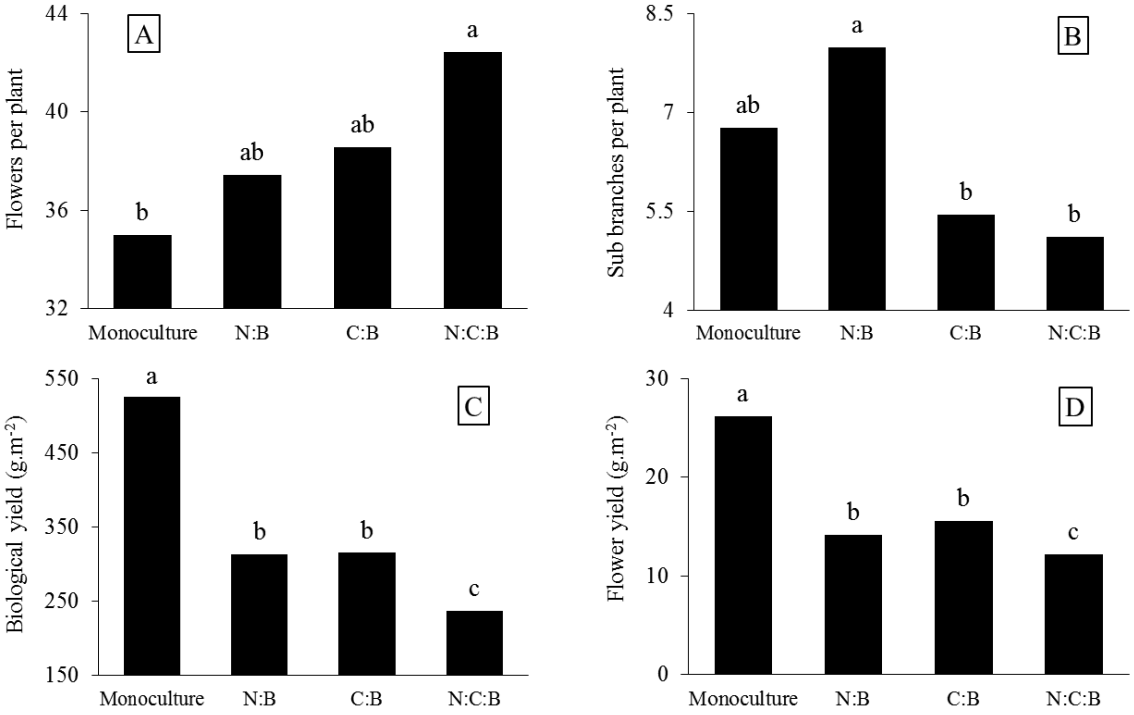
عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی: همچون سیاهدانه و همیشه‌بهار بیشترین عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی در تیمار کشت خالص به‌دست آمد، پس از آن، عملکردهای گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و سپس تیمار کشت مخلوط سه‌گانه قرار می‌گرفتند (شکل‌های ۳-D و ۳-E). پورامیر و همکاران (Poor Amir et al., 2010) نیز در تحقیقی بر روی کشت مخلوط جایگزینی کنجد (*Sesamum indicum*) و نخود اظهار داشتند که در بین نسبت‌های مختلف کاشت، تیمار تک کشتی کنجد به‌دلیل داشتن حداکثر مقدار تراکم بوته در بین سایر تیمارها، بیشترین عملکرد زیستی را دارا بود.

شاخص برداشت گل: اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص برداشت گل گاوزبان اروپایی معنی‌دار نبود. مقادیر ثبت شده برای صفت شاخص برداشت گل این گیاه برای کلیه تیمارها بازه‌ای از ۴/۵ تا ۵/۱ درصد و با میانگین ۴/۹ درصد را دارا بود (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در صفت تعداد گل در بوته و نیز افزایش توانمندی گیاه گاوزبان اروپایی در تولید وزن خشک در تیمارهای کشت مخلوط، به نظر می‌رسد، افزایش تعداد گل در بوته به موازات افزایش تولید وزن خشک توسط گیاه صورت گرفته باشد که منجر به کسب چنین نتیجه‌ای درباره شاخص برداشت گل گاوزبان اروپایی شده است.

نسبت برابری زمین (LER) در تیمارهای کشت مخلوط

LER جزئی سیاهدانه: با وجود اینکه تراکم گیاهان در تیمار کشت مخلوط دوگانه سیاهدانه- همیشه‌بهار نصف تراکم آن‌ها در تیمار کشت خالص بود، امّا با توجه به شکل ۴، LER جزئی مربوط به عملکرد زیستی و دانه سیاهدانه برابر با ۰/۶۱ و ۰/۵۹ بود که به‌ترتیب افزایشی ۲۳/۳ درصدی و ۱۸/۱ درصدی را نشان می‌داد. همچنین، LER جزئی مربوط به سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی برای عملکرد زیستی و دانه با مقادیر به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶، افزایشی ۲۴/۸ و ۲۰/۵ درصدی داشتند که بیشتر از تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار بود. اعداد مربوط به LER جزئی سیاهدانه در کشت مخلوط سه‌گانه (که سطح پوشش سیاهدانه یک‌سوم پوشش آن در کشت خالص بود)، برای عملکرد زیستی ۰/۴۵

و برای عملکرد دانه ۰/۴۳ بـود کـه افـزایش ۳۶/۲ درصـدی و ۳۱/۹ درصدی را نشان می‌داد.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر کشت خالص گاوزبان اروپایی و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه گاوزبان اروپایی با سیاهدانه و همیشه‌بهار بر: A: تعداد گل در بوته، B: تعداد شاخه‌های جانبی، C: عملکرد زیستیی، D: عملکرد گل گاوزبان اروپایی

Fig. 4- Means comparisons of the effect of monoculture of borage and its double and triple intercropping with black cumin and marigold on: A: Flowers per plant, B: sub branches per palnt, C: Biological yield, D: Flower yield of borage

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively.
Monoculture: Monoculture of borage, N:B: Borage in intercropping with black cumin, C:B: Borage in intercropping with marigold, N:C:B: Borage in intercropping with black cumin and marigold.
In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که به‌طور کلـی، LER جزئـی سیاهدانه در تیمارهای کشت مخلوط افزایش یافته اسـت و بیشـترین نسبت افزایش LER جزئی مربـوط بـه سـیاهدانه در بـین تیمارهـای مختلف کشت مخلوط، هم در مورد عملکـرد زیسـتی و هـم عملکـرد دانه، در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمده است که این امر به معنای کارایی بیشتر استفاده از زمین و بهبود توانمندی گیـاه در تولیـد ماده خشک و همچنین دانه، بر اثر کشـت مخلـوط اسـت. کـوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) به بررسی عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود و لوبیا پرداخته و بیان داشتند کـه کـه عملکـرد دانه هر سه گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و میـانگین این صفت در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بالاتر بود، ولی در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین بیش از یک بـود که نشان‌دهنده برتری تیمارهـای مخلـوط نسـبت بـه خـالص اسـت. قلی‌نژاد و رضـایی چیانـه (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014) نیز در آزمایشی به ارزیـابی عملکـرد کمّـی و کیفـی و نسـبت برابری زمین کشت مخلوط سیاهدانه و نخود در نسـبت‌های مختلـف کاشت و به‌روش جایگزینی پرداختند و ابراز داشـتند کـه نسـبت‌هـای مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه دو گیاه نخود (بـه جز ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف) و سیاهدانه (به‌جز میزان اسانس) داشتند. این محققان با بیان اینکه ارزیابی سـودمندی کشـت مخلـوط

نشان از برتری کشت مخلوط دو گونه نسبت به تک کشتی هر یک از آن‌ها داشت، گزارش دادند که در تمامی تیمارهای مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود.

LER جزئی همیشه‌بهار: بررسی LER جزئی همیشه‌بهار در کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه بهار نشان می‌دهد که مقدار این شاخص با ۰/۵۵ برای عملکرد زیستی و ۰/۶۱ برای عملکرد کل، افزایشی به‌ترتیب ۱۰/۷ و ۲۲/۶ درصدی داشتند. در مورد همیشه‌بهار در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی LER جزئی این گیاه برای عملکرد زیستی با افزایش ۱۱ درصدی، ۰/۵۵ و عملکرد گل با افزایش ۲۵ درصدی، ۰/۶۲ ثبت شد. در نهایت، در مورد تیمار کشت مخلوط سه‌گانه، LER جزئی همیشه‌بهار مربوط به عملکرد زیستی برابر با ۰/۴۱ (۲۴/۴ درصد افزایش) و LER جزئی مربوط به عملکرد گل ۰/۴۹ (۴۸ درصد افزایش) بود (شکل ۵). بنابراین، با توجه به افزایش LER جزئی همیشه‌بهار در کشت مخلوط، چنین به نظر می‌رسد که تیمارهای کشت مخلوط همانند اثری که بر سیاهدانه داشتند، موجب افزایش بهره‌وری از زمین و نیز بهبود تولید ماده خشک همیشه‌بهار نیز شدند. بهبود شرایط رشدی و اثرات هم‌افزایی گونه‌های مختلف حاضر در کشت مخلوط بر روی یکدیگر (Ayeneband, 2007) را می‌توان دلیل حصول چنین نتایجی دانست. از سویی دیگر، به عقیده فرناندزآپاریچیو و همکاران (Fernandez-Aparicio et al., 2008) اثر گونه کشت مخلوط شده بر کاهش آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز غالب بر گونه دیگر، می‌تواند موجب تغییر شرایط محیطی به نفع گونه کشت مخلوط شده و کاهش رقابت بین‌گونه‌ای شده و رشد آن گونه را بهبود بخشد.

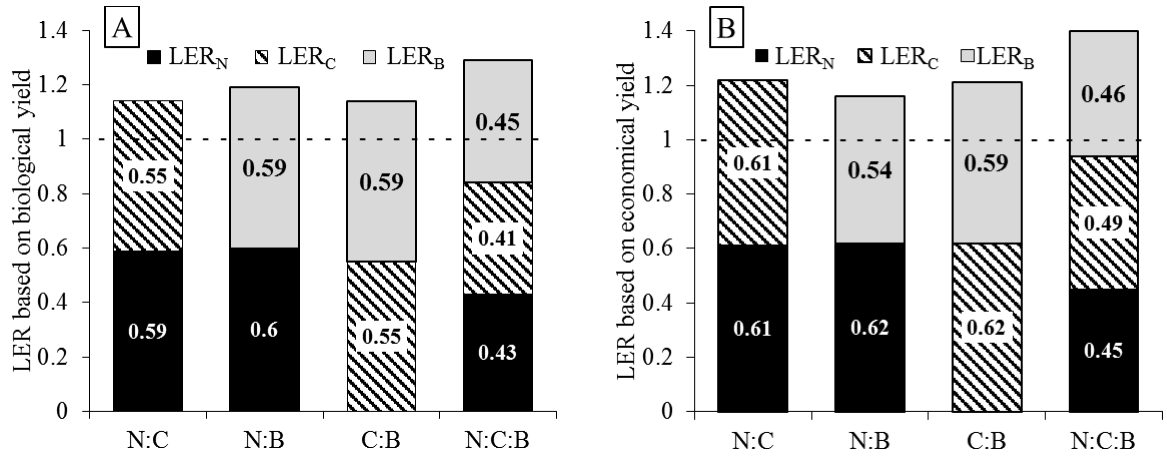
LER جزئی گاوزبان اروپایی: بیشترین درصد افزایش LER جزئی عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی نیز در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه گاوزبان اروپایی به‌ترتیب با مقادیر ۳۵/۲ درصد (LER=۰/۴۵) و ۳۹/۵ درصد (LER=۰/۴۶) به‌دست آمد. LER جزئی عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۰/۵۹ (۱۹/۷ درصد افزایش) و ۰/۵۹ (۱۹ درصد افزایش) و در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۰/۵۹ (۱۸/۹ درصد افزایش) و ۰/۵۴ (۸/۱ درصد افزایش) بود (شکل ۵). این نتایج با گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) در مورد کشت مخلوط گاوزبان اروپایی و لوبیا همسو است.

LER کلی عملکرد زیستی و اقتصادی: چنان‌که در مورد LER جزئی عملکرد زیستی و اقتصادی هر سه گیاه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی ذکر شد، LER جزئی کلیه گیاهان در کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه افزایش داشت. بنابراین، می‌توان چنین بیان داشت که در هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط، گونه‌ها بر روی یکدیگر اثر رقابتی نداشتند و همچنین می‌توان پیش‌بینی کرد که LER کلی عملکرد زیستی و اقتصادی کشت‌های مخلوط نیز افزایش یافته باشند. بر این اساس، با توجه به شکل ۵، LER عملکرد زیستی و اقتصادی برای کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۲۲، برای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱/۱۹ و ۱/۲۲، برای کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۲۲ و در نهایت، برای تیمار کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه- همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب برابر با ۱/۳ و ۱/۴۱ بود که بالاترین مقدار LER برای هر دو صفت عملکرد زیستی و عملکرد اقتصادی بود. نتایج اغلب آزمایشات حاکی از این است که مهم‌ترین مزیت کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، بالاتر بودن کارایی استفاده از منابعی همچون آب، نیتروژن و به‌ویژه نور است (Awal et al., 2006; Berntsena et al., 2004). از آنجا که سیاهدانه و همیشه‌بهار مورد مطالعه در این آزمایش، از جثه کوچکی برخوردار بودند و در کشت خالص و در تراکم مطلوب خود سطح زمین را کاملاً نمی‌پوشاندند، به نظر می‌رسد کشت مخلوط این گیاهان و به‌خصوص کشت مخلوط سه‌گانه این گیاهان سبب بهره‌وری بیشتر این گیاهان در استفاده از منابع قابل دسترس آن‌ها شده است. بنابراین، ازآنجا که در هر سه گیاه سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار، عملکرد زیستی و اقتصادی، در کشت مخلوط بهتر و بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می‌رسد، بهبود شاخص‌های مورد بررسی در نتیجه برهم‌کنش مثبت گیاهان در کشت مخلوط آن‌ها با یکدیگر بوده که منجر به کسب چنین نتایجی شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه بر روی عملکرد زیستی و عملکرد گل هر سه گیاه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی اثر مشابهی داشته است. بهبود عملکرد زیستی و اقتصادی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در آزمایش باقری و همکاران (Bagheri et al., 2012) نیز به‌دست آمده است. این محققان دلیل این امر را بهبود توانایی این گیاه در استفاده بیشتر از پتانسیل محیط در کشت مخلوط

در مقایسه با کشت خالص ذکر کرده‌اند. عباسی علی‌کمر و همکاران (Abbasi Ali Kamar et al., 2006) در طی آزمایشی، ضمن بررسی تراکم‌های مختلف کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum*) و نخود گزارش کردند که برای تمامی تیمارها نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود که این امر نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. این محققین همچنین گزارش کردند که هرچند در آزمایش زیره سبز از کشت مخلوط اثر مثبت پذیرفت، امّا این سیستم کاشت تأثیری بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد نخود نداشت.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط، راهبرد مؤثر استفاده بهینه از عوامل محیطی قابل دسترس گیاهان است و به‌خصوص در زمان محدودیت زمین می‌تواند بسیار مفید باشد. نتایج این آزمایش به‌خوبی اثرات هم‌افزایی گونه‌های کشت مخلوط بر یکدیگر را نشان داد. با توجه به یافته‌های این آزمایش، به‌طور کلی، کشت مخلوط سه‌گونه گیاه دارویی توانسته است با بهبود شرایط جهت رشد، کارایی این گیاهان در استفاده از زمین و سایر منابع در دسترس آن‌ها را افزایش داده و موجب افزایش تولید محصول این گیاهان، ضمن تضمین پایداری تولید در این گیاهان شود.در این آزمایش، به‌طور کلی، کشت مخلوط سه گونه گیاه دارویی سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی اغلب صفات این گیاهان شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزاردانه و نسبت برابری زمین جزئی سیاهدانه، تعداد گل در بوته و شاخص برداشت گل همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی را افزایش داد و بالاترین مقادیر مربوط به صفات مورد اشاره نیز به کشت مخلوط سه‌گانه گیاهان مورد مطالعه بود. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که جهت حصول حداکثری عملکرد زیستی و اقتصادی سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار، به همراه بهره‌مندی از سلامت محصول تولیدی و پایداری در تولید این گونه‌ها، توصیه می‌شود، کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه- گاوزبان اروپایی- همیشه‌بهار مد نظر قرار گیرد.



شکل ۵- LER جزئی گونه‌ها و LER کل مربوط به تیمارهای دوگانه و سه‌گانه کشت مخلوط:
A: بر اساس عملکرد زیستی، B: بر اساس عملکرد اقتصادی

Fig. 5- Partial and total LER of double and triple intercropping treatments based on:
A: biological yield, B: Economical yield

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively
N:C: Intercropping of black cumin and marigold, N:B: Intercropping of black cumin and borage, C:B: Intercropping of marigold and borage, N:C:B: Intercropping of black cumin, marigold and borage

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به‌خاطر تأمین بودجه این تحقیق از محل اعتبارات این معاونت (شماره ۳۱۶۸۷) و همچنین مسئولین و کارکنان محترم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abbasi Ali Kamar, R., Hejazi, A., Akbari, G., Kafi, M., & Zand, E. (2006). Evaluation of the effect of different swing plant density in intercropping of cumin and chikpea by emphasis on weed control. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(1), 83-94. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V4I1.1320
2. Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Amini, R. (2013). Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*(3), 47-58. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1618873
3. Ameri, A.A., Rabbani Nasab, H., Jalilvand, M.R., & Imani, M. (2012). The survey on phenological stages, the effect of nitrogen fertilizer levels and plant density and stage of flower harvest on flower production, active ingredients of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, *4*, 57-66. 10.29252/jnkums.4.5.S5.57 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jnkums.4.5.S5.57
4. Awal, M.A., Koshi, H., & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 139, 74–83. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.001
5. Ayeneband, A. (2007). Ecology of Agroecosystems. Chamran University Press, Ahvaz, Iran. p. 276-279, (In Persian)
6. Ayeneband, A. (2007). Ecology of Agroecosystems. Shahid Chamran University Publications., Ahvaz. p. 198-202. (In Persian)
7. Bagheri, M., Zafarian, F., Akbarpoor, V., Asadi, G.A., & Bichranloo, B. (2012). Evaluation of soybean basil and borage growth indexes in different intercropping ratios. *Plant Production Research*, *19*(3), 1-25. 20.1001.1.23222050.1391.19.3.1.1 (In Persian with English abstract)
8. Berntsena, J., Hauggard-Nielsen, H., Olesen, J.E., Petersena, B.M., Jensenb, E.S., & Thomsen, A. (2004). Modelling dry matter production and resource use in intercrops of pea and barley. *Field Crops Research*, *88*, 69–83.
9. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2011). The effect of intercropping of coriander and fenugreek on theirs some quantitative and qualitative characteristics. National Conference of Sustainable Agriculture, Varamin, Iran, 1 December 2011. (In Persian). https://civilica.com/doc/129042
10. Boquet, D.J., Koohce, K.L., & Walker, D.M. (1982). Selected determinate soybean cultivar yield responses to row spacings and planting dates. Agronomy Journal, 74, 136-138. https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400010035x
11. Caballero, R.C., Alzueta, L.T., Ortiz, M.L., Rodriguez, R.T., & Barro, C. (2001). Carbohydrate and protein fractions of fresh and dried common vetch in three maturity stages. *Agronomy Journal*, *93*, 1006-1013. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351006x.
12. Carrubba A., la Torre R., Di Prima A., & Saiano F. (2008) Bio-agronomical behaviour and seed composition of some Apiaceae grown in a Mediterranean semi-arid environment, *Agroindustria*, *2*, 81–86.
13. Dahmardeh, M., & Keshtegar, A. (2014). Evaluation of yield and yield Components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 311-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39371
14. Darzi, M.T., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2009). The effect of mycorriza, vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *24*(4), 396-413. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1387.10.1.7.0
15. FAO. (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at http://www.faostat.fao.org/faostat/.
16. Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A.A., & Rubiales, D. (2008). Control of *Orobanche crenata* in legumes intercropped with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Crop Protection*, *27*, 653-659. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.09.009.
17. Feyzizadeh, E. (2012). Intercropping of borage (*Borago officinalis*) and millet (*Panicum miliaceum*) affected by different plant density. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.64039.
18. Gholinezhad, E., & Rezaei-Chiyaneh, E. (2014). Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(3), 236-249. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1393.16.3.6.5.
19. Ghosh, P.K., Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, D.K., & Misra, A.K. (2006). Growth,

competition, yield advantage and economics in soybean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India. I. Effect of subsoiling. *Field Crops Research*, *96*, 80-89. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.010.

20. Gustave, N.M., Jean, F., Ois, L., & Xavier, D. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, *64*(2), 180-188. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008.
21. Heidari Asl, A. (2014). Effect of nitrogen, weed interference arugula (*Eruca sativa*) and different planting methods on the performance of the intercropping of flax and clover. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. (In Persian with English abstract).
22. Heidari Sharifabad, H., & Dorri, M. (2002). Forage Crops (Tunicates). 1nd Ed. Moasese Tahghighate Jangalha VA Marate Press, 311 pp. (In Persian with English abstract).
23. Khamooshi, A. (2014). Comparison of the diiferent ratio of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.) in addative and replacement series of intercropping. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract).
24. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2008). The effect of application of bio-fertilizers on growth indexes of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*(2), 285-294. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1803088.
25. Koocheki, A., Lalehgani, B., & Najibnia, S. (2009). Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *7*(2), 605-614. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.20081472.1388.7.2.27.7.
26. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., & Jafari, L. (2014). Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseoluse vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), 1-8. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36624
27. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., & Amin Ghafoori, A. (2012). Ecological study different patterns of row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of Agroecology*, *4*(1), 1-11. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v4i1.14951.
28. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, *34*, 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007.
29. Mehta, B.K., Pandit, V., & Gupta, M. (2009). New principle from seeds of *Nigella sativa*. *Natural Product Research*, *23*, 138-148. https://doi.org/10.1080/14786410801892078.
30. Mirhashemi, M. (2009). Study of the intercropping of bishop and fenugreek with emphasis on organic agriculture principles. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary). *Iranian Journal Agricultural Research*, Vol. 7,*2*, 685-694. https://civilica.com/doc/1475761.
31. Naghdi Badi, H.A., Sorooshzadeh, A., Rezazadeh, S., Sharifi, M., Ghalavand, A., & Omidi, H. (2007). A review on borage (valuable medicinal plant rich of gamalinolenic acid). *Journal of Medicinal Plants*, *24*, 1-17. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2717204.2007.6.24.1.8.
32. Nasirpoor, M. (2010). The effect of intercropping of millet and cowpea on grain yield and weed control. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran. (In Persian with English abstract)
33. Nematollahi, E., Jahansuz, M.R., Mazaheri, D., & Bannayan, M. (2013). Intercropping Sustainable Agriculture Reviews, *The Third Iranian Weed Science Conference babolsar*. 12, 119-142.
34. Ngwira, A.R., Aune, J.B., & Mkwinda, S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, *132*, 149-157. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014
35. Nowroozpoor, G., & Rezvani Moghaddam, P. (2005). The effect of different irrigation periods and plant density on yield and yield components of medicinal plant on black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *23*, 305-314. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1803182
36. Omidbeygi, R. (2005). Approaches of production and processing of medicinal plants (Vol. II). Astane Ghodse Razavi, Publishing Company, Mashhad, Iran. (In Persian)
37. Philipp, A. (2009). What is sustainable agriculture? Empirical evidence of diverging views in Switzerland and New Zealand. *Journal of Ecological Economics*, *68*(6), 1872-1882. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.016
38. Poor Amir, F., Koocheki., A., Nassiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2010). Evaluation of yield and yield components of sesame and cowpea in replacement serires of intercropping. I*ranian Journal of Field Crops Research*, *8*(5), 757-768. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i2.30942
39. Rezaei-Chianeh, E., Dabagh Mohammadinasab, A., Shakiba, M.R., Ghasemi Golazani, K., & Aharizade, S.

(2010). Evaluation of light interception and canopy characteristics in monocropping and intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(3), 437-447. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/663139

40. Rezvani Moghadam, P., Raoofi, M.R., Rashed Mohassel, M.H., & Moradi, R. (2009). Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek)- black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Journal of Agroecology*, *1*(1), 65-79. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2655
41. Rezvani, M., Abdali Mashhadi, A., & Aslani, V. (2014). Comparison of some yield characteristics of Black Cumin in intercropping with anise and black seed. 1st International Conference of New Frontiers in Agriculture, Natural Resources and the Environment, Tehran, Iran, 14 February 2015. (In Persian). https://civilica.com/doc/360256
42. Rostaie, M., Falah, S. and Souraki, A. (2015). Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. *Journal of Crop Production*, *7*(4), 222-197. https://doi.org/20.1001.1.2008739.1393.7.4.11.0
43. Joy, P. P., Thomas, J., Mathew, S., & Skaria, B. P. (1998). Medicinal plants. *Tropical horticulture*, *2*, 449-632.
44. Torkaman-Nia, A. (1997). Effect of swing time on the yield of black cumin in Torbat climate conditions. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University (Branch Torbat), Iran. (In Persian with English Summary)
45. Tsubo, M., & Walker, S. (2002). A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *110*(3), 203-215. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00287-8
46. Tsubo, M., Walker, S., & Ogindo, H. O. (2005). A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field crops research*, *93*(1), 10-22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.003
47. Zafarian, F., & Bagheri Shirvan, M. (2014). Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil and borage. *Journal of Crop Improvements*, *16*(1), 197-214. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2014.51952