J. Crop Product. Process. 2025, 15(1), 33-53; DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37744

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Effect of Different Planting Patterns on Yield, Yield Components, and Essential Oil of Dill (*Anethum graveolens* L.) Grains in Additive and Replacement Intercropping with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.)

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1*], Seyed Zehtab Salmasi[1], Kazem Ghassemi-Golezani[1], Mina Amani[2], Behzad Shokati Amrollah[3]

1. and 3. Professor and MSc, Respectively, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Horticultural, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Extended Abstract

Introduction: Intercropping is a vital strategy in sustainable agriculture; it enhances production sustainability by improving both the yield and quality of crop plants. This strategy increases biodiversity and capitalizes on the interactions among different plant species, including their morphological and ecophysiological differences. Such diversity can lead to more efficient use of resources, reduced production costs, and ultimately, an increase in net farm income. The integration of legumes in intercropping systems is particularly beneficial, as these species have the ability to fix atmospheric nitrogen, enriching the soil and supporting the growth of neighboring plants from a different crop species like dill (*Anethum graveolens* L.). This study aims to identify the optimal mixed treatment combinations for dill, focusing on both grain yield and essential oil yield in intercropping versus monoculture systems. By systematically evaluating various intercropping treatments, the research seeks to uncover the most effective plant combinations that enhance the performance of dill as an edible vegetable. The findings will not only contribute to the understanding of sustainable agricultural practices but provide also practical recommendations for farmers, promoting the adoption of intercropping systems that can lead to improved ecological benefits and economic viability in farming.

Materials and Methods: In order to achieve the most appropriate planting combination in terms of spatial arrangement and to investigate its effects on yield, yield components, as well as the percentage and efficiency of essential oil, an experiment was conducted using a randomized complete block design with seven treatments and three replications at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabbriz, northwest Iran. The different cultivation patterns included a pure stand and six mixed cultivation patterns of the two plants, comprising three additive ratio patterns (1:20, 1:40, and 1:60) and three replacement ratio patterns (1:1, 1:2, and 1:3).

Received: Apr. 06, 2024; Revised: Oct. 27, 2024; Accepted: Oct. 14, 2024; Published Online: Mar. 15, 2025.
* Corresponding Author: Shafagh.jalil@gmail.com

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Results and Discussion: The results of the study revealed that dill plants cultivated in various mixed cropping patterns exhibited remarkable performance, particularly in the 1:20 and 1:60 planting ratios. These specific intercropping arrangements resulted in the highest inflorescences/plant, indicating a strong reproductive capacity that is essential for maximizing seed production. Additionally, these ratios also led to an increased grains/plant, which is a critical factor for final grain yield. The biological yield, which encompasses the total biomass produced, was also significantly enhanced in these mixed cropping patterns, suggesting that the synergistic interactions between the crops in these ratios contributed positively to growth and productivity. Moreover, the study found that the percentage and yield of essential oil were significantly influenced by the different mixed cropping patterns. The 1:20 and 1:60 ratios not only yielded the highest essential oil content but consistently performed well also across all three stages of oil extraction: flowering, milky, and maturity. This finding underscores the importance of selecting appropriate intercropping ratios to optimize essential oil production. Among the three stages of oil extraction, the milky stage emerged as the most productive, yielding the highest essential oil quantity. This stage is characterized by the plant's investment in the grain constituents, which likely enhances the biosynthesis of essential oil compounds. These insights suggest that schedueling the harvest to coincide with the milky stage can significantly benefit essential oil yield, providing valuable information for farmers aiming to maximize both grain and oil production in dill cultivation. Taken to gether, the findings highlight the advantages of utilizing specific mixed cropping patterns, particularly the 1:20 and 1:60 ratios, to enhance the agronomic and economic viability of dill as an edible and aromatic crop. This research not only contributes to the understanding of intercropping benefits but offers also practical recommendations for farmers seeking to improve their production practices through sustainable agricultural methods.

Conclusions: Our findings suggest that intercropping can significantly enhance dry matter accumulation and improve the overall quality of dill products. This strategy can result in a more efficient use of land and resources, ultimately contributing to higher yields compared to monoculture systems. The specific observation that the 1:1 treatment and sole cropping demonstrated favorable performance in dry matter accumulation indicates that there is a potential for both mixed and single cropping systems to be effective. The 1:1 ratio suggests a balanced competition between the two species, allowing them to complement each other's growth requirements. In this scenario, both dill and fenugreek can benefit from shared resources while minimizing competition, leading to enhanced growth and productivity.

Keywords: Additive cultivation, Biological yield, Dry matter accumulation, Replacement cultivation.

How to Cite: Shafagh-Kolvanagh J., Salmasi S. Z., Ghassemi-Golezani K., Amani M., Shokati Amrollah B. Effect of different planting patterns on yield, yield components, and essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.) grains in additive and replacement intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *J. Crop Product. Process*. 2025, 15(1), 33-53 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37744

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۱، ص. ۵۳-۳۳، DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37744

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر الگوهای مختلف کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس بذر شوید (*Anethum graveolens* L.) در کاشت مخلوط افزایشی و جایگزینی با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.)

جلیل شفق کلوانق[۱*]، سعید زهتاب سلماسی[۱]، کاظم قاسمی گلعذانی[۱]، مینا امانی[۲]، بهزاد شوکتی امراله[۳]

چکیده– به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین ترکیب کاشت از لحاظ آرایش مکانی و بررسی اثر آن روی عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین درصد و عمکرد اسانس، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا شد. الگوهای مختلف کاشت شامل الگوی کاشت خالص شوید و شش الگوی کاشت مخلوط این دو گیاه شامل سه الگوی نسبت افزایشی (۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله حفظ شد (۵۰ بوته در مترمربع) و در فاصله بین ردیف‌ها در هر مترمربع ۲۰ گیاه شوید کاشت شد) و ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۴۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:۶۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۶۰ گیاه شوید در هر متر مربع)) و سه الگوی مختلف نسبت جایگزینی (۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که گیاه شوید در الگوهای مختلف کاشت مخلوط نسبت‌های افزایشی و به‌خصوص نسبت‌های ۱:۲۰ و ۱:۶۰ بیشترین تعداد گل آذین، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت بذر را داشتند. درصد و عملکرد اسانس بذر تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط قرار گرفتند و در هر سه مرحله اسانس‌گیری، نسبت‌های ۱:۲۰ و ۱:۶۰ دارای بیشترین اسانس بودند. در بین سه مرحله انجام اسانس‌گیری (گلدهی، خمیری و رسیدگی) بیشترین اسانس از مرحله خمیری به‌دست آمد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاشت مخلوط می‌تواند به افزایش تجمع ماده خشک و بهبود کیفیت محصول کمک کند. به‌طور خاص، تیمارهای ۱:۱ و کاشت خالص نیز عملکرد مناسبی در تجمع ماده خشک داشتند. بنابراین، استفاده از الگوهای کاشت مخلوط با نسبت‌های بهینه، به‌ویژه در کاشت شوید و شنبلیله، می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات زراعی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، کاشت افزایشی، کاشت جایگزینی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷، اولین انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

۱و ۳. به‌ترتیب استاد و کارشناسی ارشد، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: Shafagh.jalil@gmail.com

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد حیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

کشاورزی به‌عنوان مهمترین روش تأمین غذای انسان، ساختمان و عمل اکوسیستم‌های طبیعی را به شدت تغییر داده است (۱۹). بهره‌برداری انسان از منابع طبیعی همواره به‌صورت یک جانبه و بی‌رویه بوده و بهره‌برداری از این منابع بدون رعایت جنبه‌های حفاظتی آن و تنها بر اساس تأمین منافع کوتاه مدت انجام می‌گیرد. رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، سبب بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع طبیعی و درنتیجه برهم خوردن توازن بیولوژیکی شده‌است (۱۹). کشاورزی پایدار به مدیریت صحیح منابع کشاورزی اطلاق می‌شود که در جهت رفع نیازهای درحال تغییر بشر به‌کار برده شود و در عین حال، منابع طبیعی و نیز کیفیت محیط زیست را حفظ کرده و حتی بهبود بخشد. کشاورزی پایدار سودمند و مستمر، متکی بر حفظ منابع طبیعی است. این شیوه کشاورزی، اقتصادی‌ترین و در عین حال، سودمندترین نحوه تولید محصولات کشاورزی، بدون تخریب حاصلخیزی خاک و کیفیت محیط زیست است. در گذشته چنانچه زمین تخریب می‌شد، انسان می‌توانست به جای دیگر نقل مکان کند، ولی امروزه با افزایش جمعیت این امر غیرممکن شده است. بدین ترتیب گرایش به سمت کشاورزی پایدار اجتناب ناپذیر است (٦).

امروزه چالش اصلی در کشاورزی پایدار این است که استفاده از نهاده‌های خارج از اکوسیستم به حداقل کاهش یابد، درحالی‌که منابع درون اکوسیستم، به نحو بهتر و با راندمان بیشتری مورد استفاده قرار گیرد. برای دستیابی به هدف فوق، باید به‌دنبال شناخت روش‌های مدیریت زراعی بود که باعث بهبود و یا حفظ تولید در گذر زمان شود و کمترین خسارت به محیط زیست وارد آید. از جمله این مدیریت‌های زراعی می‌توان به استفاده از گیاهان پوششی، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها، تناوب زراعی، جنگل – زراعی و کاشت مخلوط اشاره کرد (٦). کاشت مخلوط به‌عنوان یک سیستم تولید محصولات کشاورزی بر پایه تنوع زیستی، قابلیت افزایش پایداری در سیستم‌های کشاورزی را دارد. این سیستم اشاره به الگویی از کاشت دارد که با بهره‌گیری از تفاوت آشیان اکولوژیکی گونه‌های گیاهی و یا با فراهم کردن منابع محیطی برای گونه دیگر، سبب اختلاف در نیازهای محیطی در زمان و مکان می‌شود که استفاده بهینه‌تری از محیط رشد را فراهم می‌نماید. البته سیستم کاشت مخلوط مزایای دیگری همچون کاهش خطر تولید و خسارت ناشی از آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، آبشویی عناصر غذایی و هدر رفت نیترات و فرسایش خاک داشته و می‌تواند موجب بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی شود (۱۲ و ۲۳). برخی از محققان معتقدند یکی از اهداف اصلی و مهم کاربرد سیستم کاشت مخلوط در کشاورزی پایدار، کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها توأم با حفظ کیفیت و بازارپسندی محصول است (۱۳).

پژوهشگران متعددی برتری کاشت مخلوط را بر کاشت خالص گزارش کرده‌اند، از آن جمله می‌توان به ارزیابی کاشت مخلوط گیاه سیر (*Allium sativum* L.) با گیاهان اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)، سیاهدانه (*Nigella sativa* Linn.)، زنیان (*Trachyspermum copticum* L.)، رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill,)، همیشه بهار (*Calendula officinalis* Linn.) و شوید به‌صورت کاشت بینابینی به نسبت ۵۰:۵۰ و در مقایسه با تک کاشتی اشاره نمود که در این تحقیق مشاهده شد، بالاترین مزیت نسبی از لحاظ شاخص مجموع ارزش نسبی در کاشت مخلوط سیر و همیشه بهار بوده است (۹). آزمایشی که در زمینه ارزیابی الگوهای مختلف کاشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شنبلیله انجام شد، تیمار کاشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد جو + ۵۰ درصد شنبلیله بالاترین مقدار علوفه خشک و بهترین کیفیت علوفه و همچنین بالاترین مقدار نسبت برابری زمین را حاصل کرد (١٤). در پژوهشی در ارتباط با مقایسه کاشت خالص و کاشت مخلوط گیاه جو با زنیان مشخص شد الگوی کاشت مخلوط اثرات مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد جو داشته است که این تأثیر مثبت در سیستم کاشت مخلوط

درهم نسبت به کاشت مخلوط ردیفی بیشتر بوده است (۲۷). عباسیان و همکاران (۱) درنتیجه بررسی الگوهای مختلف گیاه سیر با نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) اظهار داشتند، عملکرد سیر در کاشت خالص نسبت به کاشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. درحالی‌که شاخص‌های نسبت برابری زمین و ارزش نسبی کل نشان‌دهنده برتری کاشت مخلوط نسبت به کاشت خالص بود. رضایی چیانه و همکاران (۳٤) با مطالعه الگوهای مختلف کاشت مخلوط شنبلیله و شوید گزارش کردند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شنبلیله در کاشت خالص آن نسبت به تیمارهای کاشت مخلوط بیشتر بود. نسبت برابری زمین جزئی شنبلیله در تمامی تیمارهای کاشت مخلوط از شوید بیشتر بود. همچنین نسبت برابری زمین کلیه الگوهای مختلف کاشت مخلوط بیشتر از یک بود. با توجه به این که کاشت مخلوط به‌عنوان یک راهبرد اصولی از کشاورزی پایدار از طریق افزایش تنوع زیستی و بهره‌مندی از روابط متقابل و اختلافات مورفولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی می‌تواند نقش کلیدی در جهت بهبود پایداری تولید و ارتقاء عملکرد کمّی و کیفی محصول، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد خالص مزرعه داشته باشد، به طور کلی با توجه به اهمیت کاشت‌های مخلوط در جهت تحقیق کشاورزی پایدار و نقش لگوم‌ها در تأمین نیتروژن مورد نیاز سایر گیاهان، این پژوهش به‌منظور یافتن بهترین ترکیب تیماری مخلوط از نظر عملکرد دانه و اسانس در سیستم‌های کاشت مخلوط و تک‌کاشتی در گیاه شوید به‌عنوان سبزی خوراکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در هشت کیلومتری شرق تبریز اجرا شد. فصل تابستان در این منطقه علی‌رغم بارندگی‌های پراکنده، خشک است. این مکان در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در ارتفاع ۱۳٦۰ متری از سطح دریا، در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی واقع شده است. بر اساس اطلاعات هواشناسی، این منطقه جزء اقلیم‌های نیمه استپی و نیمه خشک سرد محسوب می‌شود. در این منطقه بارندگی در فصل تابستان خیلی به ندرت اتفاق می‌افتد، به‌همین‌دلیل دارای فصل خشک در تابستان است، در کل می‌توان گفت دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم بوده و دما در زمستان کم و بیش سرد و تا زیر صفر تنزل می‌کند. میزان بارندگی سالیانه آن ۲۸۵ میلی‌متر است. میانگین دمای سالیانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای سالیانه ۱٦/٦ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای سالیانه ٤/۲ درجه سانتی‌گراد است. مشخصات خاک زمین مورد کاشت بر اساس نتایج آزمایش گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در یک پروفیل تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با بافت خاک لومی- شنی، شامل ماده آلی به میزان ۱/٤ درصد، میزان آهک مزرعه ۹/۵ درصد، میزان نیتروژن خاک ۰/۱۵ درصد، میزان فسفر خاک ۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان پتاسیم به مقدار ۳۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع معادل ۰/۸۹ دسی‌زیمنس بر متر و pH خاک در حدود ۷/٦۳ بود. در این آزمایش انواع کاشت مخلوط جایگزینی و افزایشی بررسی شد. شوید به‌عنوان گیاه اصلی و شنبلیله به‌عنوان گیاه ثانویه در نظر گرفته شد و در این آزمایش هدف بررسی عملکرد و اجزای عملکرد شوید بود. کاشت مخلوط جایگزینی شامل ۱) $I_{1(1:1)}$: کاشت مخلوط ردیفی (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید)، ۲) $I_{2(1:2)}$: کاشت مخلوط نواری (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید)، ۳) $I_{3(1:3)}$: کاشت مخلوط نواری (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)، کاشت مخلوط افزایشی، ٤) $I_{4(1:20)}$: کاشت مخلوط ردیفی (تراکم مطلوب شنبلیله حفظ شد (۵۰ بوته در مترمربع) و در فاصله بین ردیف‌ها در هر متر مربع ۲۰ گیاه شوید کاشت شد)، ۵) $I_{5(1:40)}$: کاشت مخلوط ردیفی (تراکم مطلوب شنبلیله حفظ شد و در فاصله بین ردیف‌ها در هر مترمربع ٤۰ گیاه شوید کاشت شد)، ٦) $I_{6(1:60)}$: کاشت مخلوط ردیفی (تراکم مطلوب شنبلیله حفظ

شد و در فاصله بین ردیف‌ها در هر مترمربع ٦٠ گیاه شوید کاشت شد) و کاشت خالص، ٧) I_7: کاشت خالص شوید (تراکم ١٠٠ بوته در مترمربع) می‌باشد (٣٤).

زمین مورد آزمایش پس از گاورو شدن در اواسط فروردین‌ماه شخم زده شد. سپس زمین تسطیح و به‌دنبال آن کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش از تاریخ ٢٤ تا ٢٦ فروردین‌ماه صورت پذیرفت. کاشت در کرت‌هایی به ابعاد دو متر عرضی در سه متر طولی انجام گرفت و در هر کرت ١٠ ردیف کاشت شد. عملیات کاشت بذرهای هر دو گیاه به‌طور همزمان از تاریخ اول تا پنجم اردیبهشت ماه انجام شد. در این پژوهش رقم مورد کاشت شوید ورامین و رقم مورد کاشت شنبلیله اردستانی بود. تراکم مطلوب برای گیاه شوید ١٠٠ بوته در مترمربع و برای گیاه شنبلیله ٥٠ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها نیز ٢٠ سانتی‌متر بود. بذرهای شوید در فاصله ٢-١ سانتی‌متری و بذرهای شنبلیله در فاصله ٣-٤ سانتی‌متری زمین کاشته شدند، روی بذرهای شوید با توجه به ریز بودن بذرها با مقدار مناسب ماسه بادی پوشانده شد تا جوانه‌زنی آن‌ها به طور یکنواخت انجام گیرد. باتوجه به بارندگی‌های متداول و پیاپی که قبل و بعد از کاشت صورت گرفت، گیاهان مورد کاشت سبز شدند و سپس با توجه به نیاز آبی گیاهان، آبیاری هر هفته تا اواخر دوره رشد گیاهان انجام پذیرفت. با اتمام بارش‌های بهاری اولین آبیاری در ٢٥ اردیبهشت ماه انجام گرفت و بعد از آن هر هفته یک بار آبیاری به‌صورت غرقابی انجام شد. با توجه به رشد کند گیاه شوید در اوایل دوره رشد، مبارزه با علف‌های هرز به طور مرتب انجام گرفت. در طول دوره رشد دو بار کود نیتروژن (٢٥ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت سرک اضافه شد. در مرحله پنج برگی گیاه شوید همراه با شنبلیله تنک شدند تا تراکم مورد نیاز حاصل شود. در طول دوره رشد هر هفته پنج بوته از هر کرت برداشت و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی آن‌ها انجام گرفت.

تجزیه رشد

تجمع ماده خشک (Dry Matter Accumulation) (DMA)

برای انجام تجزیه رشد از ردیف‌های میانی هر واحد آزمایشی تعداد پنج بوته در هر نوبت کف‌بر شدند. با حذف اثر حاشیه‌ها (به طول ٥٠ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر ردیف و ردیف‌های ابتدایی و انتهایی هر کرت) نمونه‌برداری‌ها انجام شد. نمونه‌برداری به روش تخریبی و هر هفت روز یک بار انجام گرفت. بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی به‌طور جداگانه پس از قرار گرفتن در پاکت به آزمایشگاه منتقل و به مدت ٤٨ ساعت در داخل آونی با دمای ٧٥ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌های خشک شده توزین و وزن خشک آن‌ها ثبت شد. روند تجمع ماده خشک برای گیاه شوید با استفاده از رابطه (١) برآورد شد (ضریب تبیین (r2)، ضریب رگرسیون درجه سه (d)، ضریب رگرسیون درجه دو (c)، ضریب رگرسیون خطی (b) و عرض از مبدأ (a):

$$DMA = \exp(a + bx + cx^2 + dx^3)$$ رابطه (١)

سرعت رشد گیاه زراعی (Crop growth rate) (CGR) و سرعت رشد نسبی (Relative growth rate) (RGR)

به‌منظور برآورد سرعت رشد گیاه شوید، رابطه (٢) مورد استفاده قرار گرفت:

$$CGR = (b + 2cx + 3dx^2).\exp\ (a + bx + cx^2 + dx^3)$$

رابطه (٢)

برای برآورد سرعت رشد نسبی گیاه شوید از رابطه (٣) بهره‌گیری شد:

$$RGR = b + 2cx + 3dx^2$$ رابطه (٣)

عملکرد و اجزای عملکرد

به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد در شوید تعداد ١٠ بوته شوید از هر واحد آزمایشی برداشت و وزن تر و خشک، تعداد گل آذین در بوته، تعداد چترک، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه تعیین و میانگین‌گیری شد.

وزن هزاردانه

به‌منظور تعیین وزن هزاردانه شوید مقداری از بذر شوید به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی جدا و هشت تکرار ۱۰۰ بذری با استفاده از دستگاه بذرشمار شمارش شدند. پس از شمارش بذرها، نمونه‌ها توزین و وزن هزار دانه شوید محاسبه شد.

عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در واحد سطح

به هنگام رسیدگی محصول با حذف ردیف‌های حاشیه و بوته‌های ابتدا و انتهای ردیف‌های وسط، کلیه بوته‌های شوید در هر کرت برداشت شدند و در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌های خشک شده با ترازوی حساس توزین و عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه آن‌ها تعیین شد.

شاخص برداشت بذر شوید

شاخص برداشت بذر شوید از رابطه (٤) برای گیاه شوید به‌دست آمد.

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} \times 100 \qquad \text{رابطه (٤)}$$

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

استخراج اسانس در مرحله گلدهی، خمیری و رسیدگی

برای استخراج اسانس از گیاه شوید در مرحله گلدهی، خمیری و رسیدگی، برداشت از ردیف‌های وسط بعد از حذف ردیف‌های حاشیه‌ای به‌صورت دستی صورت گرفت. پس از برداشت ۱۰ بوته، نمونه‌ها جهت اسانس‌گیری به آزمایشگاه منتقل شدند و در سایه، هوا خشک شدند. گل‌ها و دانه‌ها به‌صورت دستی از بوته‌ها جدا و توزین شده و سپس در آسیاب پودر شدند. برای اندازه‌گیری رطوبت، دو گرم از نمونه پودر شده در دستگاه رطوبت سنج قرار داده شد و میزان رطوبت آن یادداشت شد. پس از تعیین میزان رطوبت نمونه‌های هر واحد آزمایشی، نمونه‌ها در بالن‌های یک لیتری مجزا ریخته شده و در حدود ۵۰ درصد بالن‌ها با آب مقطر پر شدند.

پس از اطمینان از نحوه مناسب قرار گرفتن بالن‌ها و آب خروجی از لوله‌های متصل به کلونجرها، عمل اسانس‌گیری با حرارت دادن بالن‌ها در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع شد. از لحظه به جوش آمدن، عمل اسانس‌گیری به مدت ۲/۵ ساعت ادامه یافت. در اثر حرارت، فشار بخار آب افزایش می‌یابد و اسانس همراه با بخار آب وارد مبرد می‌شود. در مبرد به‌علت ورود آب عمل میعان صورت گرفته و قطرات اسانس درون آب به‌صورت دو فاز مشخص به طرف لوله مدرج حرکت می‌کنند و در آنجا به علت سبک‌تر شدن، روی آب تجمع می‌یابند. در لوله مدرج امکان اندازه‌گیری اسانس به روش حجمی وجود دارد. بعد از مدت زمان یاد شده (۲/۵ ساعت) دستگاه خاموش شده و پس از ۳۰ دقیقه، برای جمع آوری اسانس، شیر دستگاه به آرامی باز می‌شود تا آب خارج شود. به‌علت چسبندگی اسانس شوید به جداره لوله شیشه‌ای اسانس‌گیر، قبل از باز کردن شیر خروجی و پس از یادداشت مقدار اسانس، مقدار کمی از حلال پترولیوم بنزن استفاده شد که به‌راحتی اسانس را در خود حل کرده و خود به آرامی تصعید می‌شود و اسانس برجای می‌ماند. سپس اسانس حاصل در شیشه‌های کوچک که از قبل آماده کرده و اتیکت گذاری شده بودند، ریخته شد. برای این که در هنگام جمع‌آوری اسانس مقداری از آب همراه اسانس در لوله مدرج باقی می‌ماند و با وجود آب همراه اسانس، پس از مدتی خاصیت اسانس از بین می‌رود، از این رو برای آب‌گیری از سولفات سدیم خشک استفاده شد و با سرنگ اسانس خالص جمع آوری شد (۷).

اندازه‌گیری شاخص‌های اسانس

درصد اسانس بر مبنای وزن خشک ۱۰ بوته شوید با توجه به رابطه (۵) محاسبه شد.

$$\text{درصد اسانس} = \frac{\text{وزن اسانس حاصل از نمونه(g)}}{\text{وزن نمونه(g)}} \times 100 \qquad \text{رابطه (۵)}$$

برای اندازه‌گیری عملکرد اسانس از رابطه (٦) استفاده شد.

جدول ۱. ضرایب رگرسیون تجمع ماده خشک اندام هوایی

تیمار	عرض از مبدأ (a)	ضریب رگرسیون خطی (b)	ضریب رگرسیون درجه دو (c)	ضریب رگرسیون درجه سه (d)	ضریب تبیین (r^2)
۱:۱	−۱۳/٤	۰/۳٦	−۰/۰۰۲۷	−۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۹۰۲
۱:۲	−۷/۷۱	۰/۱۵	−۰/۰۰۰٦	−۰/۰۰۰۰۰۰٤	۰/۹۰۹
۱:۳	−۱۰/۳	۰/۲۵	−۰/۰۰۱۳	−۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۹۵۲
۱:۲۰	−۸/۱٤	۰/۱۷	−۰/۰۰٦	−۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۹۵۱
۱:٤۰	−۷/۳۱	۰/۱۳	−۰/۰۰۰۹	−۰/۰۰۰۰۰۰٤	۰/۹۳۸
۱:٦۰	−۱۰/۸	۰/۲۸	−۰/۰۰۱۹	−۰/۰۰۰۰۰۰٤	۰/۹۱٦
کاشت خالص شوید	−۷/۵٦	۰/۱۵	−۰/۰۰۰۲	−۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۹۲۵

شکل ۱. مقایسه حداکثر میزان تجمع ماده خشک شوید در بین تیمارهای مختلف کاشت

۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:٤۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٤۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:٦۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٦۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

درصد اسانس × عملکرد ماده خشک = عملکرد اسانس

رابطه (٦)

تجزیه و تحلیل داده‌ها

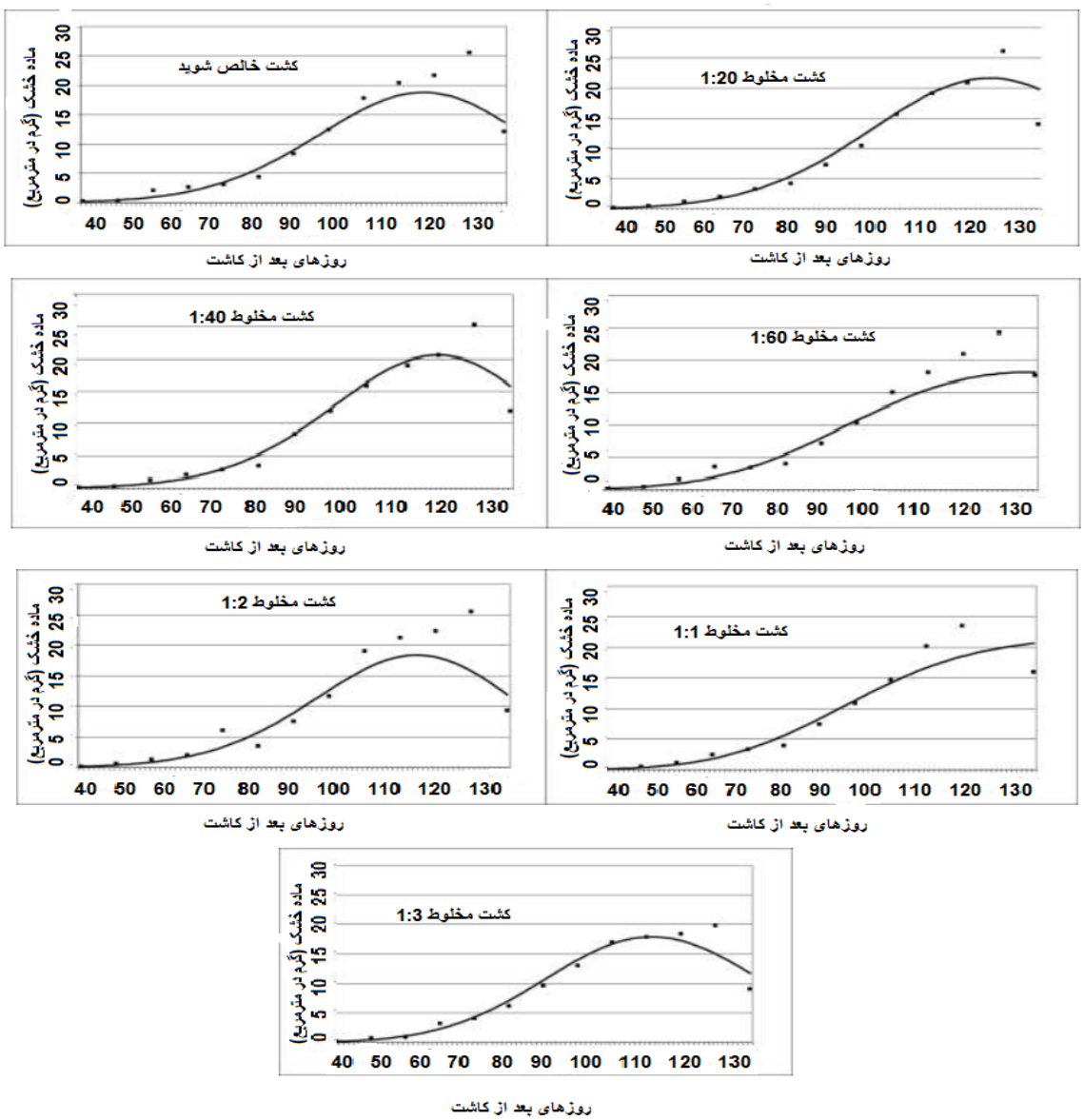
در ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری انجام شده و مورد تأیید قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از MSTAT-C و SPSS 16 استفاده و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

تجمع ماده خشک

تجمع ماده خشک شوید در الگوهای مختلف کاشت با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده شد. ضرایب a، b، c و d نیز ضرایب تبیین معادلات برای تیمارهای مختلف در هر هفت تیمار محاسبه شده و

در جدول ۱ آمده است. منحنی‌های پیش‌بینی تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی برای کلیه تیمارها نشان می‌دهند که روند افزایش ماده خشک در تمام تیمارها به‌صورت سیگموئیدی است (شکل ۱ و ۲).

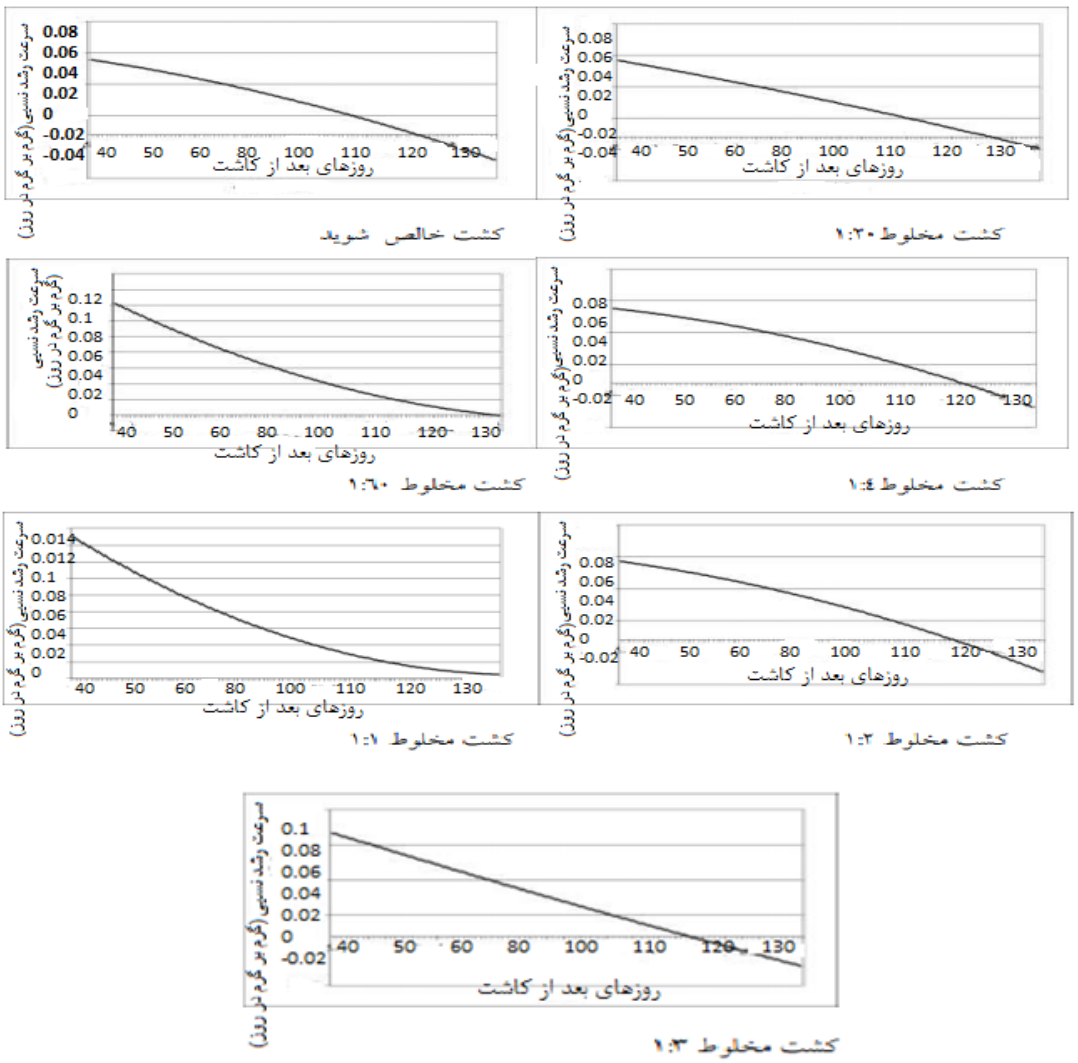


شکل ۲. روند تجمع ماده خشک شوید در الگوهای مختلف کاشت

۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر متر مربع)، ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۴۰ گیاه شوید در هر متر مربع) و ۱:۶۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۶۰ گیاه شوید در هر متر مربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

سرعت رشد نسبی

تغییرات میزان رشد نسبی در الگوهای مختلف کاشت نشان می‌دهد که مقدار آن در اوایل فصل رشد در کلیه تیمارها بالا بوده و به‌تدریج با رشد گیاه و افزایش سن آن کاهش می‌یابد. روند این کاهش در تمام الگوهای کاشت یکسان نیست. به‌طور کلی در تمامی تیمارها سرعت رشد نسبی با یک سرعت ثابت کاهش نشان نمی‌دهد. بیشترین میزان سرعت رشد نسبی در الگوهای جایگزینی مربوط به تیمار ۱:۱ و در بین الگوهای افزایشی مربوط به تیمار ۱:۶۰ بود (شکل ۳).

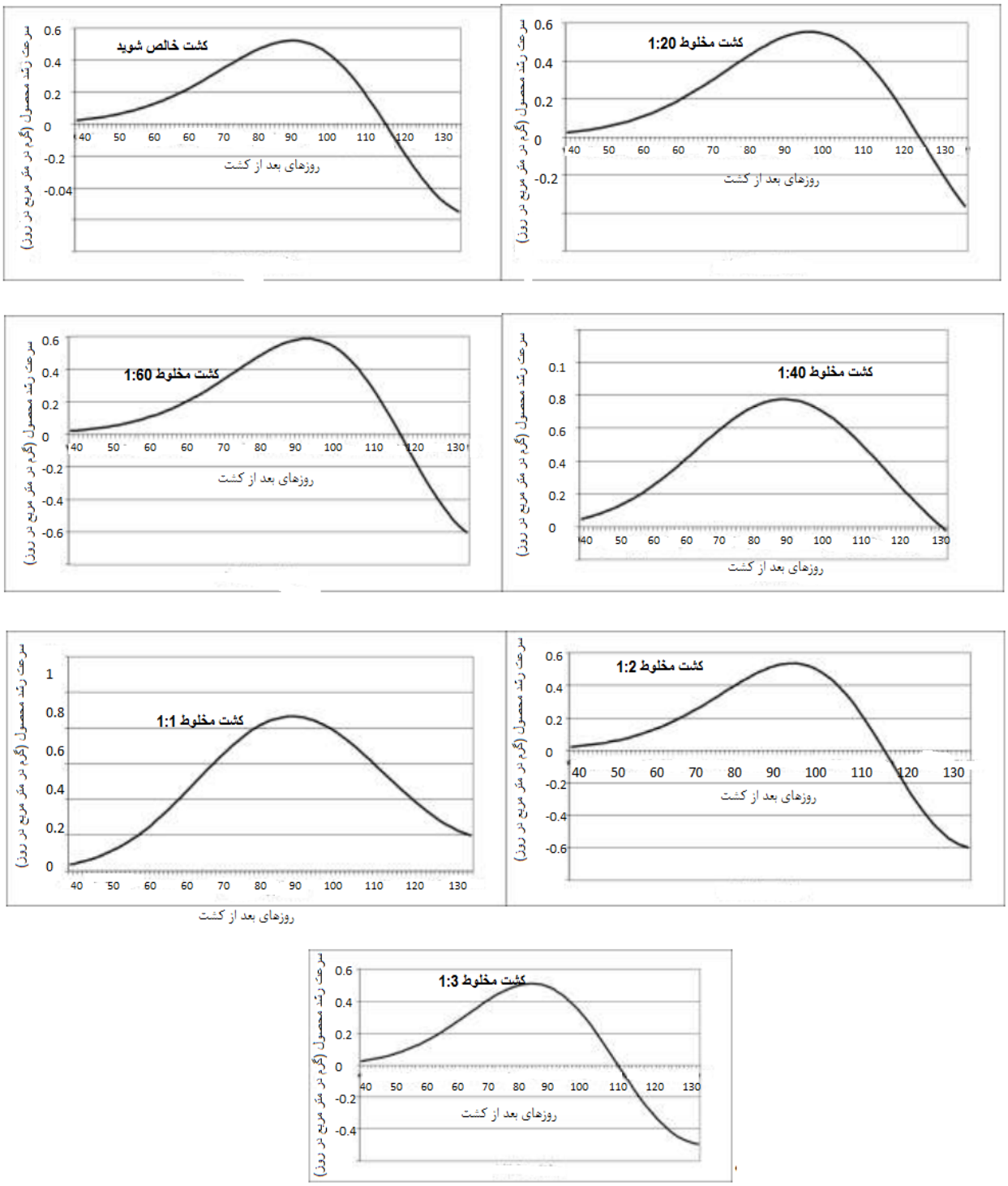


شکل ۳. تغییرات سرعت رشد نسبی شوید در الگوهای مختلف کاشت

۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۴۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:۶۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۶۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

سرعت رشد محصول

تغییرات سرعت رشد محصول نشان داد که در الگوهای مختلف کاشت طی فصل رشد، سرعت رشد شوید ابتدا با سرعت کمی افزایش یافته و بعد از رسیدن به مقدار حداکثر با شیب نسبتاً شدیدی کاهش می‌یابد. افزایش سرعت رشد محصول در ابتدای فصل رشد به بزرگ شدن برگ‌ها و نیز تجمع زیاد ماده خشک در ساقه نسبت داده می‌شود. کاهش سرعت رشد محصول تا صفر را می‌توان به کاهش فتوسنتز خالص و منفی شدن آن را به ریزش برگ‌ها و احتمالاً بذرها نسبت داد. تغییرات سرعت رشد محصول شوید در الگوهای مختلف کاشت مخلوط نشان داد که حداکثر سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف متفاوت است. بیشترین مقدار سرعت رشد محصول در تیمار کاشت ۱:۱ مشاهده شده است، اما این میزان با مقادیر کاشت مخلوط ۱:۲ و کاشت‌های افزایشی اختلاف زیادی نداشت (شکل ٤).



شکل ٤. تغییرات سرعت رشد گیاه شوید در الگوهای مختلف کاشت

۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:٤۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٤۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:٦۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٦۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نشان می‌دهد که الگوهای مختلف کاشت بر روی صفات وزن تر و خشک، تعداد چتر، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت بذر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش مذکور و مطالعات اخیر به‌نظر می‌رسد صفت تعداد چترک در گیاه تحت عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود و عوامل محیطی تأثیری بر تعداد چترک نداشته است (جدول ۲).

وزن تر و خشک

با توجه به نتایج حاصل، بیشترین وزن تر گیاه شوید از کاشت مخلوط با نسبت‌های افزایشی به‌دست آمد. بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۱:۲۰ و سپس ۱:٦۰ بودند. الگوهای مختلف کاشت مخلوط تأثیر معنی‌داری بر روی وزن خشک گیاه در سطح احتمال پنج درصد داشتند. نسبت‌های افزایشی ۱:۲۰ و ۱:٦۰ دارای حداکثر میزان وزن خشک بودند و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۱:۳ نسبت جایگزینی بود. با توجه به وزن تر بیشتر در کاشت مخلوط افزایشی، وزن خشک نیز در این نوع تیمار بیشترین مقادیر بودند. در کاشت خالص و ۱:۳ به‌علت تراکم زیاد گیاه شوید و افزایش رقابت بر سر منابع و افزایش رقابت درون گونه‌ای رشد کاهش یافته و حتی این امر در صفت ارتفاع گیاه نیز مؤثر بوده و کمترین میزان از نسبت کاشت جایگزینی و کاشت خالص به‌دست آمد (جدول ۳).

تعداد گل‌آذین در بوته (چتر)

به‌نظر می‌رسد با کاهش رقابت درون گونه‌ای و ایجاد کانوپی موجی در سیستم کاشت مخلوط تک ردیفی، نور در کانوپی شوید بیشتر و به طور یکنواخت‌تری نفوذ کرده و باعث افزایش گلدهی و تعداد دانه در این سیستم نسبت به سایر سیستم‌های کاشت شده است. در اینجا نیز کاشت مخلوط افزایشی ۱:٦۰ و ۱:۲۰ دارای حداکثر تعداد گل آذین بودند. در بین کاشت مخلوط جایگزینی نیز نسبت ۱:۲ دارای بیشترین تعداد چتر و نسبت ۱:۳ دارای کمترین تعداد گل آذین در بوته بودند (جدول ۳).

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در بوته شوید نشان می‌دهد که تعداد دانه در بوته تحت تأثیر نوع کاشت قرار گرفت. بیشترین تعداد دانه در بوته از تیمار ۱:٦۰ و ۱:۲ به‌دست آمد. همچنین کمترین تعداد از تیمار جایگزینی ۱:۳ و کاشت خالص به دست آمد (جدول ۳).

وزن هزاردانه

بر اساس تجزیه واریانس الگوهای مختلف کاشت، وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفت. با مقایسه میانگین‌های تیمارهای آزمایشی مشخص شد که نسبت افزایشی ۱:۲۰ دارای حداکثر مقدار وزن هزار دانه بودند، هرچند که این اختلاف از نظر آماری با نسبت ۱:۲ جایگزینی غیرمعنی‌دار بود به‌نظر می‌رسد با افزایش تراکم شوید از وزن هزار دانه آن کاسته شده است (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیکی

عملکرد بیولوژیکی شوید در تمام نسبت‌های افزایشی بیشتر از نسبت‌های جایگزینی و کاشت خالص بود. حداکثر میزان مربوط به تیمار ۱:۲۰ و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۱:۳ بود. به‌نظر می‌رسد هر چه عرض نوارهای کاشت افزایش و میزان تداخل شنبلیله و شوید کمتر شود، عملکرد بیولوژیکی شوید کاهش پیدا می‌کند و کاهش رقابت درون گونه‌ای برای کسب منابع رشد مانند آب و نور می‌تواند باعث برتری عملکرد و افزایش بیوماس کل سیستم کاشت مخلوط شود (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		وزن تر	وزن خشک	تعداد گل آذین در بوته	تعداد چترک	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت بذر
تکرار	۲	۰/۹۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۱/۱۹^{ns}	۳۷۰^{ns}	۴۱۰۶^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۳۰۹۱۲۱۰۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۴۶/۳^{ns}
الگوی کاشت	۶	۲/۷۱*	۱/۹۱*	۲/۵۹*	۲۷۴^{ns}	۵۷۸۸۵**	۰/۰۵**	۳۰۹۶۳۶۳۸^{ns}	۱/۹۱*	۷۵/۱*
خطا	۱۲	۰/۷۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۲۱۵	۳۸۹۵	۰/۰۰۸	۹۱۹۲۱۳۳	۰/۵۶	۱۷/۳
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۹/۰	۲۳/۸	۱۲/۳	۲۲/۰	۸/۸۲	۶	۷/۹۱	۲۳/۸	۱۱/۱

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات الگوهای کاشت بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد

تیمار	میانگین مربعات						
	وزن تر (گرم)	وزن خشک (گرم)	تعداد گل آذین در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد بیولوژیکی (تن در هکتار)	شاخص برداشت بذر (درصد)
۱:۱	۴/۶۰^{bc}	۲/۸۸^{cd}	۵/۶۳^{cd}	۶۶۶^{b}	۱/۳۷^{d}	۲/۸۸^{bc}	۴۱/۵^{a}
۱:۲	۴/۹۳^{b}	۲/۸۰^{cd}	۶/۵^{abc}	۸۸۷^{a}	۱/۶۳^{ab}	۲/۸۳^{bc}	۳۸/۷^{abc}
۱:۳	۳/۵۲^{c}	۲/۱۳^{d}	۴/۶۶^{e}	۵۴۳^{c}	۱/۳۹^{cd}	۲/۱۳^{c}	۳۳/۶^{bc}
۱:۲۰	۶/۵۱^{a}	۴/۴۷^{a}	۶/۷۳^{ab}	۷۲۹^{b}	۱/۷۴^{a}	۴/۴۷^{a}	۴۴/۳^{a}
۱:۴۰	۳/۹۵^{bc}	۳/۱۶^{bc}	۵/۹۶^{bcd}	۶۵۴^{b}	۱/۵۵^{bc}	۳/۱۶^{abc}	۳۲/۵^{c}
۱:۶۰	۴/۳۶^{bc}	۳/۳۹^{ab}	۷/۴^{a}	۸۹۳^{a}	۱/۵^{bcd}	۳/۹۳^{ab}	۴۰/۷^{a}
خالص شوید	۴/۸۲^{b}	۲/۶۶^{cd}	۵/۲۶^{de}	۵۷۷^{c}	۱/۴۴^{cd}	۲/۶۶^{bc}	۳۱/۶^{c}

میانگین‌هایی دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۴۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:۶۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۶۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

شاخص برداشت بذر

بین تیمارهای کاشت خالص و مخلوط از نظر شاخص برداشت بذر شوید در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین شاخص برداشت بذر از تیمارهای افزایشی مربوط به نسبت ۱:۲۰ و ۱:٦۰۱ بود. در بین تیمارهای جایگزینی نیز نسبت ۱:۱ و ۱:۲ دارای حداکثر مقدار شاخص برداشت بودند. این درحالی است که کاشت خالص و نسبت ۱:٤۰ کمترین شاخص برداشت بذر را دارا بودند (جدول ۳).

همبستگی بین صفات

نتایج حاصل از همبستگی صفات شوید نشان می‌دهد که وزن خشک گیاه با ارتفاع، وزن خشک ساقه، تعداد چتر، وزن خشک ساقه و وزن دانه در بوته رابطه معنی‌دار مثبت مستقیم داشت. این درحالی است که وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و وزن تر هیچ رابطه همبستگی با سایر صفات ندارد. همچنین در بین این صفات نیز ارتفاع گیاه با وزن خشک ساقه و تعداد چتر دارای رابطه معنی‌دار مثبت بود و با وزن دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. قطر ساقه نیز با تعداد چتر و چترک رابطه مثبت معنی‌دار داشت. وزن خشک ساقه نیز با تعداد چتر در گیاه دارای رابطه مثبت و معنی‌داری بود. می‌توان گفت که با وجود رابطه مثبت بین قطر و وزن ساقه و تعداد چتر می‌توان با افزایش فواصل کاشت و به تبع آن افزایش ارتفاع و ایجاد شرایط مناسب برای رشد بهتر گیاه می‌توان عملکرد بذری بیشتری را ایجاد کرد. اثر این امر در نسبت‌های افزایشی و به‌خصوص در تیمارهای ۱:۲۰ و ۱:٦۰ بیشتر نشان داده شده است. وزن هزار دانه نیز تحت – تأثیر وزن خشک، تعداد چتر و قطر ساقه است، اما وزن دانه در بوته تحت تأثیر وزن خشک گیاه، ارتفاع، تعداد چتر و وزن خشک ساقه قرار گرفت. با توجه به این که صفت تعداد چترک تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت قرار نگرفت و با توجه به عدم همبستگی این صفت با شاخص‌های دیگر، به نظر می‌رسد این صفت بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود (جدول ٤).

ویژگی‌های کمی اسانس شوید

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده اسانس شوید در کاشت مخلوط با شنبلیله در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان داد که اثر الگوهای مختلف کاشت مخلوط، اثر زمان و اثر متقابل الگوهای مختلف کاشت مخلوط در اثر زمان بر درصد اسانس و عملکرد اسانس شوید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

درصد اسانس

بیشترین درصد اسانس در مرحله گلدهی به میزان ۰/٦۷ درصد از نسبت افزایشی ۱:٦۰ به‌دست آمد. این درحالی است که نسبت‌های ۱:۲ و ۱:٤۰ به‌ترتیب در رتبه بعدی قرار گرفتند (۰/۵۳ و ۰/٦٤ درصد). کمترین درصد اسانس از نسبت ۱:۱ و کاشت خالص شوید به‌دست آمد. هر چند که اختلاف معنی– داری بین این تیمارها وجود نداشت. بیشترین درصد اسانس در مرحله خمیری از نسبت ۱:۱ به‌دست آمد (۲/۷۵ درصد) و تیمارهای ۱:۲، ۱:۲۰ و ۱:٦۰ در درجه دوم قرار گرفتند. در مرحله رسیدگی بذر کمترین میزان درصد اسانس مربوط به کاشت خالص و نسبت ۱:٤۰ بود. بیشترین درصد اسانس از مرحله خمیری بذور شوید به‌دست آمد. به‌طوری‌که در میان نسبت‌های جایگزینی نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ بیشترین درصد و در بین تیمارهای افزایشی تیمارهای ۱:۲۰ و ۱:٦۰ بیشترین درصدها را داشتند. مرحله رسیدگی نیز نسبت به مرحله گلدهی دارای برتری نسبی است. به‌طوری‌که بیشترین مقادیر از تیمارهای ۱:۲۰ و ۱:۳ به‌دست آمد. در مرحله گلدهی نیز تیمارهای ۱:٤۰، ۱:٦۰ و ۱:۲ دارای بیشترین درصد اسانس بودند (شکل ۵).

جدول ٤– ضرایب همبستگی بین صفات شوید

	وزن تر	وزن خشک	ارتفاع	تعداد چتر	تعداد چترک	تعداد گره	قطر ساقه	وزن خشک ساقه	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه	وزن دانه در بوته
وزن تر	۱										
وزن خشک	۰/۰٤	۱									
ارتفاع	۰/۳۳-	۰/٦٦**	۱								
تعداد چتر	۰/۱۱	۰/۷٤**	۰/٦۱**	۱							
تعداد چترک	۰/۱٤	۰/۱۷	۰/۰٦-	۰/۱۷	۱						
تعداد گره	۰/۰٦	۰/۱۲-	۰/۲٤	۰/۱٤-	۰/۱۳-	۱					
قطر ساقه	۰/۰۰۳	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۵۱*	۰/۰٤	۰/۰۷	۱				
وزن خشک ساقه	۰/۱۱-	۰/۵٦**	۰/۷۱**	۰/۷۳**	۰/۰۱	۰/۰٦	۰/۳٦	۱			
تعداد دانه در بوته	۰/۰۳	۰/۳٤	۰/۳۷	۰/۵۹**	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/٦۵**	۰/٦۵**	۱		
وزن هزاردانه	۰/۰۲	۰/۵٤*	۰/۳٤	۰/٤۹*	۰/۳٦	۰/۰٤	۰/٤۹*	۰/۱۲	۰/۳۸	۱	
وزن دانه در بوته	۰/۱٦	۰/٦٦**	۰/۵٤*	۰/٦۹**	۰/۳۰	۰/۰۲	۰/۳۸	۰/۵۵*	۰/٤۱	۰/۲٤	۱

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

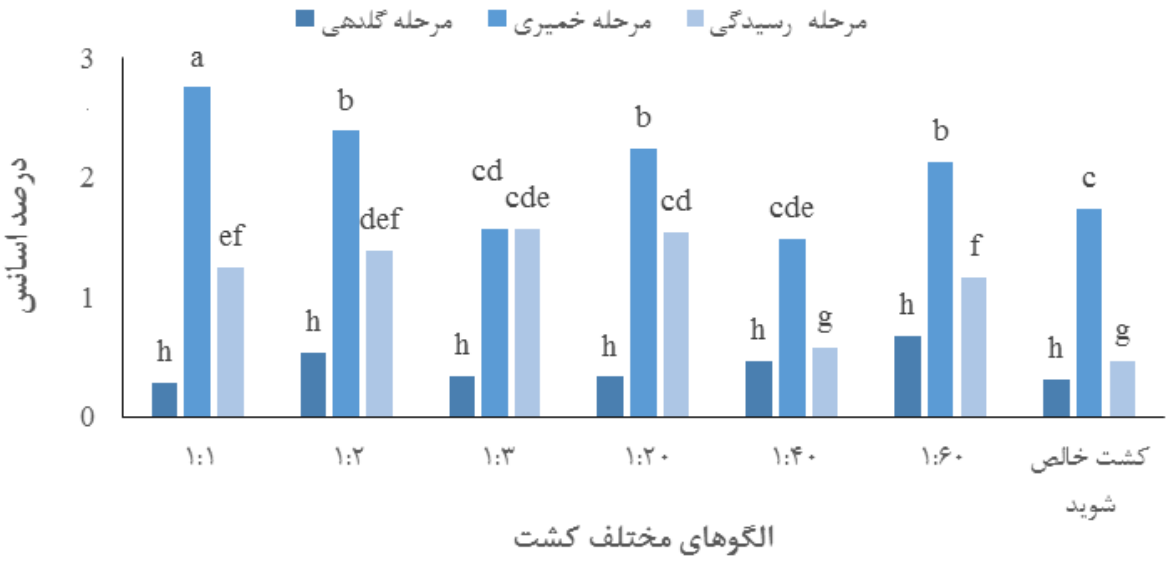
جدول ۵. جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های کمی اسانس شوید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۰/۰٦	۰/۸۳
فاکتور اصلی (تیمار)	٦	۰/٦**	۳/۳۵**
خطای فاکتور اصلی	۱۲	۰/۰٦	۰/٤٤
فاکتور فرعی (زمان)	۲	۲۲/۱**	۸٤/۱**
اثر متقابل	۱۲	۰/۳۱**	۱/۸٦**
خطای فاکتور فرعی	۲۸	۰/۰٦	۰/٤۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۲۳/۵	۲۱/۸

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

عملکرد اسانس

در بین الگوهای مختلف کاشت مخلوط در مورد صفت عملکرد اسانس، بیشترین میزان عملکرد اسانس از نسبت‌های ۱:۲ و ۱:٦۰ به‌ترتیب با ۰/۲۹ و ۰/۲۷ گرم در مترمربع به‌دست آمد. این درحالی است که بین الگوهای کاشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین شاخص برداشت بذر نیز مربوط به الگوی کاشت جایگزینی ۱:۲ بود (۰/۱۰ درصد) و کمترین



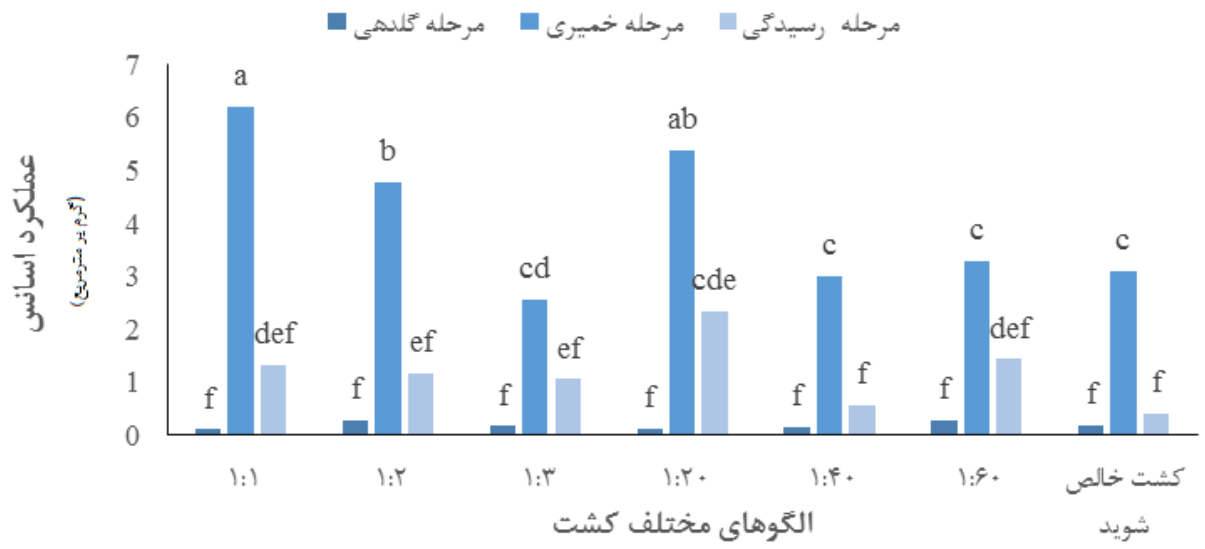
شکل ۵. مقایسه میانگین‌های درصد اسانس در سه مرحله گلدهی، خمیری و رسیدگی

میانگین‌هایی دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۴۰ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:۶۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ۶۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

میزان آن مربوط به نسبت ۱:۲۰ بود. هر چند که اختلافات بین سایر تیمارها بسیار کم و غیرمعنی‌دار بود. عملکرد اسانس در مرحله خمیری نیز در الگوهای کاشت جایگزینی و افزایش معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در بین تیمارهای جایگزینی نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ بیشترین عملکرد اسانس و تیمار ۱:۲۰ در بین تیمارهای افزایشی بیشترین عملکرد اسانس را داشتند. همچنین در مرحله رسیدگی بذور بیشترین میزان عملکرد اسانس از نسبت ۱:۲۰ به‌دست آمد (۲/۳۳ گرم در مترمربع) و تیمارهای ۱:۶۰، ۱:۱ و ۱:۲ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. همانند درصد اسانس بیشترین میزان عملکرد اسانس در دوره خمیری شوید به‌دست آمد و تیمارهای ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۲۰ بیشترین میزان عملکرد را به خود اختصاص دادند. در مقایسه با دوره گلدهی، دوره رسیدگی دارای عملکرد اسانس بیشتری است و در بین الگوهای مختلف کاشت مخلوط تیمارهای ۱:۲۰ و ۱:۶۰ بیشترین عملکرد اسانس را در این مرحله داشتند (شکل ۶).

بحث

وزن خشک اندام‌های هوایی شوید در طول فصل رشد در کلیه تیمارها به صورت یک تابع نمایی و با گرم‌تر شدن هوا افزایش می‌یابد و پس از دستیابی به حداکثر مقدار خود، در بیشتر موارد کاهش یافته و برخی تیمارها تغییری نمی‌کند (۲۰). در همه تیمارها سرعت تجمع ماده خشک در اوایل فصل رشد به‌طور آرام و تدریجی است، ولی با گذشت زمان بر اثر گسترش کانوپی گیاهی و افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش می‌یابد و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری به خود می‌گیرد. پس از رسیدن ماده خشک به بیشترین مقدار، با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی این مقدار درنهایت کاهش می‌یابد (۱۵). ماده خشک تجمعی، نشانگر فتوسنتز خالص گیاه، شاخصی برای برآورد عملکرد گیاه زراعی است (۳۹). ماده فتوسنتزی تولید شده گیاه می‌تواند توسط گیاه برای مقاصد رشد یا نگهداری مصرف شده یا در اندام‌های



شکل ٦. مقایسه میانگین‌های عملکرد اسانس در سه مرحله گلدهی، خمیری و رسیدگی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
۱:۲۰ (تراکم مطلوب شنبلیله (۵۰ بوته در مترمربع) و ۲۰ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۴۰ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٤٠ گیاه شوید در هر مترمربع) و ۱:٦٠ (تراکم مطلوب شنبلیله و ٦٠ گیاه شوید در هر مترمربع)، ۱:۱ (یک ردیف شنبلیله + یک ردیف شوید) و ۱:۲ (یک ردیف شنبلیله + دو ردیف شوید) و ۱:۳ (یک ردیف شنبلیله + سه ردیف شوید)

ذخیره‌ای تجمع یابد. افزایش سطح برگ، توان فتوسنتزی و تولید ماده خشک را افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (۳۸). در کاشت مخلوط دو گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و موسیر (*Allium stipitatum* Regel.) بر روند شاخص‌های رشدی نشان داده شد که ماده خشک تجمعی در کاشت خالص نسبت به نسبت‌های مختلف کاشت مخلوط بیشتر بود (۲۹). در مراحل اولیه و هنگامی که گیاه هنوز کوچک است، افزایش واقعی وزن خشک اندک است، ولی همزمان با بزرگتر شدن گیاه، وزن گیاه افزایش می‌یابد (۲٦). با کاهش سهم هریک از تیپ‌های رشدی در کاشت مخلوط میزان تجمع ماده خشک و روند افزایشی کندتر بود (۱۷ و ۲۲). سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است، اما با این وجود توصیف‌کننده یک سرعت رشد ثابت در طول یک چارچوب زمانی مشخص نیست و می‌تواند با مقادیر لحظه‌ای سرعت رشد نسبی متفاوت باشد (۲٤). به‌عنوان مثال، دو گیاه که دارای وزن اولیه نابرابر، اما نسبت افزایش برابر در طول یک دوره زمانی یکسان هستند دارای سرعت رشد نسبی یکسانی هستند. بنابراین سرعت رشد نسبی به‌تنهایی نمی‌تواند در تجزیه و تحلیل شرایط رشد گیاهان و به‌ویژه جامعه‌های گیاهی استفاده شود. بنابراین توصیه محققان بر استفاده از شاخصی دیگر است که بتواند داوری درستی از رشد گیاه در کاشت‌زار به‌دست دهد. بنابراین، برای این کار استفاده از سرعت رشد محصول توصیه می‌شود (۱۵). علت کم بودن میزان سرعت رشد در کاشت خالص شوید نسبت به تیمار ۱:۱ را می‌توان به بالا بودن رقابت درون گونه‌ای در مقایسه با رقابت برون گونه‌ای نسبت داد (۳۰، ۳۷ و ۳۸).

در کاشت مخلوط افزایشی به‌دلیل اینکه تعداد گیاه نسبت به کاشت خالص و جایگزینی کم است؛ بنابراین گیاه توانسته با استفاده بیشتر از فضا و نیتروژن تثبیت شده توسط ریشه‌های شنبلیله و کاهش رقابت درون گونه‌ای، رشد بهتری نماید و حداکثر مقادیر را در این نوع کاشت به دست آورد (۲۸). این

درحالی است که گیاه در کاشت جایگزینی (۱:۲ و ۱:۳) فاصله ردیفی بیشتری با گیاه شنبلیله دارد و رقابت درون گونه‌ای زیادی وجود دارد. از این رو گیاه از نظر رشدی در رتبه دوم نسبت به کاشت افزایشی قرار گرفت. در بین تیمارهای جایگزینی نیز تیمار ۱:۲ بیشترین وزن تر را به خود اختصاص داد. در مطالعه‌ای که توسط علیزاده و همکاران (٤) انجام شده است، مشاهده شد که بیشترین تعداد گل آذین در بوته‌های کاشت خالص به‌دست آمده است. این یافته با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد و نشان‌دهنده این است که کاشت خالص می‌تواند شرایط بهینه‌تری برای رشد و توسعه گیاهان فراهم آورد. تعداد گل‌آذین به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین عملکرد نهایی گیاهان، به‌ویژه در گیاهانی مانند رازیانه، اهمیت زیادی دارد. تعداد چتر در بوته یکی از اجزای اصلی و تعیین‌کننده است که در نهایت پتانسیل عملکرد را نیز تعیین می‌کند. چترها به‌عنوان ساختارهایی که دانه‌ها را در خود جای می‌دهند، شامل تعداد چترک‌ها و تعداد دانه‌ها در هر چترک نیز هستند. به‌همین‌دلیل، هر گونه تغییر جزئی در تعداد چتر در بوته‌های رازیانه می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر عملکرد دانه داشته باشد. به عبارت دیگر، افزایش تعداد چترها به‌طور مستقیم می‌تواند منجر به افزایش تولید دانه و درنتیجه بهبود عملکرد کلی گیاه شود. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که کاشت خالص می‌تواند شرایط بهتری برای رشد و تولید چترها فراهم کند. در کاشت مخلوط، گیاهان مختلف ممکن است به‌دلیل رقابت برای منابعی نظیر نور، آب و مواد مغذی، از یکدیگر تأثیر بپذیرند و این رقابت می‌تواند منجر به کاهش تعداد چترها و در نهایت کاهش عملکرد دانه شود. به علاوه، کاشت خالص به گیاهان این امکان را می‌دهد که به‌طور کامل از پتانسیل ژنتیکی خود بهره‌برداری کنند و درنتیجه، به تولید بیشتری دست یابند. در مقابل، در کاشت‌های مخلوط، ممکن است تنوع در نیازهای اکولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان باعث شود که برخی از گیاهان نتوانند به‌خوبی رشد کنند و این امر می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد کلی داشته باشد (۵، ۲۱ و ۳۱).

به‌نظر می‌رسد فراهمی زیاد نیتروژن در کاشت مخلوط جایگزینی منجر به رشد رویشی زیاد شده و به‌همین‌دلیل وزن دانه‌ها در کاشت مخلوط افزایشی بیشتر از کاشت مخلوط جایگزینی شده است (۱۸). به‌نظر می‌رسد رشد رویشی زیاد شده و به‌همین‌دلیل وزن دانه‌ها در کاشت مخلوط افزایشی بیشتر از کاشت مخلوط جایگزینی شده است. گزارش شده است که فراهمی عنصر نیتروژن در سطح مطلوب از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال بیشتر فتوآسمیلات‌ها به سمت مخازن به افزایش وزن دانه منجر می‌شود. به‌عبارتی، وزن دانه به میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در زمان پر شدن دانه بستگی دارد (۲۵، ۳٦ و ۳۹). به‌نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر وجود شرایط مناسب برای رشد بوته‌های شوید از جمله فراهم‌شدن نیتروژن در شرایط مخلوط با شنبلیله، استفاده بهینه از عناصر غذایی موجود در خاک و توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی مخلوط دو گونه باعث بهبود رشد و فتوسنتز و درنهایت افزایش عملکرد زیست توده در مقایسه با کاشت خالص شده است (۱۸). بی‌گناه و همکاران (۱۰) گزارش کرده‌اند که برتری عملکرد در کاشت مخلوط ممکن است بر اثر تلفیقی از عوامل مختلف همچون استفاده بهتر از رطوبت خاک، نور و عناصر غذایی باشد، آن‌ها وجود اختلاف در ساختار ریشه، توزیع کانوپی و احتیاجات غذایی گیاهان در کاشت مخلوط را علت این کارآمدی تشخیص داده‌اند. هنگامی دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به‌صورت همزمان در کاشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر دارند که این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک در کاشت مخلوط در مقایسه با تک کاشتی می‌شود (۱۱ و ۳۵).

در این آزمایش نیز میزان اسانس تحت تأثیر الگوی کاشت قرار گرفت. درمقایسه با دوره گلدهی، دوره رسیدگی دارای عملکرد اسانس بیشتری است و در بین الگوهای مختلف کاشت مخلوط تیمارهای ۱:۲۰ و ۱:٦۰ بیشترین عملکرد اسانس را در این مرحله داشتند عملکرد اسانس برآیندی از وزن دانه و درصد اسانس در تیمارها است، بنابراین بالا بودن عملکرد اسانس در

هر تیمار می‌تواند به‌دلیل بالا بودن وزن دانه و یا درصد اسانس در این تیمارها باشد. از آنجایی که اسانس‌ها جزئی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند و میزان آن‌ها به شدت به میزان متابولیت‌های اولیه گیاهی بستگی دارد. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش فتوسنتز گیاهی شود، می‌تواند باعث بالا رفتن متابولیت‌های ثانویه گیاهی ازجمله اسانس‌ها شود (۳۲ و ۳٤). میزان تجمع اسانس تحت‌تأثیر عواملی چون ساختار ژنتیکی، تاریخ کاشت، ژنوتیپ، شرایط اقلیمی منطقه، حاصلخیزی خاک، تراکم و الگوی کاشت قرار می‌گیرد (۳، ۸ و ۳۳). در این آزمایش میزان اسانس تحت تأثیر الگوی کاشت قرار گرفت. عملکرد اسانس برآیندی از وزن دانه و درصد اسانس در تیمارها است، بنابراین بالا بودن عملکرد اسانس در هر تیمار می‌تواند به‌دلیل بالا بودن وزن دانه و یا درصد اسانس در این تیمارها باشد (۱٦).

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که کاشت خالص و کاشت مخلوط هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند که بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد. در کاشت خالص، گیاهان می‌توانند به‌طور کامل از پتانسیل ژنتیکی خود بهره‌برداری کنند و شرایط بهینه‌تری برای تولید گل‌آذین و عملکرد دانه فراهم می‌شود. با این حال، در کاشت مخلوط، به‌دلیل کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و استفاده بهینه از منابع مانند نور و نیتروژن، عملکرد زیست توده و ماده خشک تجمعی بهبود می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند که انتخاب نسبت‌های مناسب در کاشت مخلوط می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر روی سرعت رشد، عملکرد دانه و درصد اسانس داشته است. به‌طور کلی، برای بهینه‌سازی عملکرد گیاهان در کشاورزی، توجه به الگوی کاشت و نسبت‌های مخلوط، به‌ویژه در کاشت‌هایی که شامل گیاهان مختلف هستند، ضروری است. این امر می‌تواند به افزایش بهره‌وری و پایداری سیستم‌های زراعی کمک کند.

تشکر و قدردانی

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abbasian, A., A. Nakhzari Moghaddam, H. Pirdashti and E. Gholamalipour Alamdari. 2018. Evaluation the characteristics of additive and replacement series of garlic (*Allium sativum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping in Gonbad Kavoos and Sari regions. *Journal of Plant Production Research* 25: 101-117. (In Farsi).
2. Abdi, S. 2019. Evaluation of yield, essential oil percentage, and advantage indices in fenugreek and savory intercropping ratios. *Crops Improvement* 21: 75-92. (In Farsi).
3. Aghaei, M. A., M. H. Fotokian and M. Aghighi Shahverdi. 2016. Assessment of yield quantity and quality in intercropping of sorghum with soybean and green bean. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25: 115-130. (In Farsi).
4. Alizadeh, N., V. Sarabi and S. Hazrati. 2021. Evaluation of faba bean (*Vicia faba* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) intercropping advantage under row-replacement and additive series. *Journal of Plant Production Research* 28: 183-204.
5. Alizadeh, Y., A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati. 2010. Investigating of growth characteristics, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology* 3: 383-397. (In Farsi).
6. Altieri, M. A. 2008. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. West View Press, Inc.
7. Amani, M., M. Sabzi Nojadeh, S. Alizadeh-Salteh and M. Younessi Hamzekhanlu. 2023. Study of the effect of water stress and different species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on economic yield, essential oil yield and photosynthetic pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 33: 134-156. (In Farsi).

8. Ayanoglu, F., A. Mert, N. Aslan and B. Gurbuz. 2012. Seed yields, yield components andessential oil of selected coriander coriander (*Coriandrum sativum* L.) lines. *Journal Herbs Spices Medicinal Plants* 9: 71-77.
9. Bahador, M., A. Abdali-Mashhadi, A. Koochekzade, A. Lotfi and H. Yousefian. 2014. Evaluation of intercropping of garlic (*Allium sativum* L.) with some medicinal plants in Ahvaz climatic conditions. *Journal of Agroecology* 6: 488-494. (In Farsi).
10. Bigonah, R., P. Rezvani Moghaddam and M. Jahan. 2014. Effects of intercropping on biological yield, percentage of nitrogen and morphological characteristics of coriander and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 369-377. (In Farsi).
11. Borghi, E., C. A. C. Crusciol, A. S. Nascente, V. V. Sousa, P. O. Martins, G. P. Mateus and C. Costa. 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy* 51: 130-139.
12. Daryanto, S., B. Fu, W. Zhao, S. Wang, P. A. Jacinthe and L. Wang. 2020. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. *Agricultural System* 178: 102761.
13. Fernandez-Aparicio, M., J. C. Sillero and D. Rubials. 2007. Intercropping with cereals reduces infection be Orobanche crenata in legumes. *Crop Protection* 26: 1166-1172.
14. Ghanbari, S., M. Moradi Telavat and S. A. Siadat. 2016. Evaluation of competitive indices in barley intercropped with fenugreek under manure applications. *Journal of Crop Improvement* 18: 821-834. (In Farsi).
15. Ghotbe Sharif, M. S., M. J. Mostafavi and G. Asadi. 2021. Evaluation of growth indices advantages in intercropping of green bean and basil. *Journal of Crop Production* 14: 123-144.
16. Habibzadeh, F., S. Hazrati, B. Asghari, M. Gholamhoseini and M. Javad Nikjouyan. 2018. Evaluation of of yield, essential oil and productivity indices in different planting combinations in the intercropping of hyssop (*Hyssopus officinalis*) and lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Plant Production Research* 5: 83-99. (In Farsi).
17. Hajinia, S. and G. Ahmadvand. 2017. Effect of light radiation absorption and its use efficiency in intercropping of soybean and millet under water deficit stress. *Journal of Ecophysiology of Crops* 11: 721-742.
18. Hamzei, J. and M. Khishvand. 2023. Study of agronomic traits, yield performance and economical indices in intercropping of spinach with chickpea. *Journal of Horticultural Science* 37: 363-376.
19. Hong, Y., P. Berentsenc, N. Heerinkb, M. Shid and W. Van Der Werfe. 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices- A model analysis based on a case study in Northwest China. *Agricultural Systems* 176: 102661.
20. Iqbal, N., S. Hussain, Z. Ahmed, F. Yang, X. Wang, W. Liu and J. Liu. 2019. Comparative analysis of maize–soybean strip intercropping systems: a review. *Plant Production Science* 2: 131-142.
21. Kashiri, H., M. Kashiri, E. Zeinali and M. Bagheri. 2007. Investigating effects of row spacing and plant density on yield and yield components of three soybean cultivars in summer cultivation. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 13: 147-156. (In Farsi).
22. Khorramdel, S., G. Mahmoodi, F. Abdollahi and H. Hasanzadeh. 2014. Evaluation of growth indices and diversity of weeds in replacement and additive intercropping series of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Research in Crop Ecosystems* 1: 59-70. (In Farsi).
23. Khorramdel, S., A. Siahmargue and G. Mohmoodi. 2016. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. *Journal of Crop Production* 9: 1-24. (In Farsi).
24. Koocheki, A. and G. H. Sarmadniya. 2013. Crop physiology. JDM Press. Mashhad. (In Farsi).
25. Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati and M. H. Hatefi Farajian. 2021. Evaluation of yield and yield components of green bean and bell pepper under replacement and additive intercropping systems. *Iranian Journal of Pulses Research* 12: 127-143. (In Farsi).
26. Latati, M., P. Dokukin, A. Aouiche, N. Y. Rebouh, R. Takouachet, E. Hafnaoui and S. M. Ounane. 2019. Species interactions improve above-ground biomass and land use efficiency in intercropped Wheat and Chickpea under low soil inputs. *Agronomy* 11: 750-765.
27. Mahdavi Maraj, T., A. Ghanbari and M. R. Asghari Pour. 2015. Intercropping of barley and ajwain under different levels of manure and chemical fertilizers. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology* 1: 63-78. (In Farsi).
28. Mansoori, L., Kh. Jamshidi, M. Rastgoo, J. Saba and H. Mansoori. 2013. The Effect of additive intercropping of corn and bean on yield, yield components and weed control in climatic condition of Zanjan. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11: 483-492. (In Farsi).
29. Meshkani, J., M. Kafi, S. Khorramdel and F. Moallem Benhangi. 2019. Effect of intercropping rates of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) on their growth indices. *Journal of Agroecology* 11: 543-560. (In Farsi).
30. Nurbakhsh, F., A. R. Koocheki and M. Nassiri Mahallati. 2016. Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal Of Agroecology* 3: 111-123. (In Farsi).

31. Ranjbar, F., A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati. 2016. Effect of intercropping paterns of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Sesame (*Sesamum indicum*) and Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on growth, qualitative and quantitative characters and yield components. *Journal of Horticultural Sciences* 30: 406-416. (In Farsi).
32. Rastgo, S., A. Aynehband and E. Fateh. 2015. Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems. *Journal of Agroecology* 7: 356-367. (In Farsi).
33. Rezaei-Chiyaneh, E. and E. Gholinezhad. 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Black Cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology* 7: 381-396. (In Farsi).
34. Rezaei-Chiyaneh, E., M. Tajbakhsh, M. Jamali and M. Ghiyasi. 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of Dill (*Anethun graveolens* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Production Technology* 8: 15-27. (In Farsi).
35. Sadri, S., M. Poor Yousef and A. Soleimani. 2015. Evaluation of yield, essential oil and productivity indices in fennel and fenugreek intercropping. *Agricultural Crop Management* 16: 921-932**.** (In Farsi).
36. Soleimanpur, L., R. A. Naderi, A. Bijanzadehe and Y. Emam. 2017. Response of faba bean and pea yield components to cereal-legume intercropping under weed competitions. *Iranian Journal of Pulse Research* 8: 150-163. (In Farsi).
37. Valizadegan, A. 2015. Study of yield quality and quantiting in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) and species diversity and relative abundance of insects in row and strip intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25: 15-30. (In Farsi).
38. Valizadeh, S. 2017. Evaluation of agronomic criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with 40. some medicinal plants. M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran. (In Farsi).
39. Vrignon-Brenas, S., F. Celette, A. Piquet-Pissaloux, M. H. Jeuffroy and C. Davi. 2016. Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. *European Journal of Agronomy* 75: 89-98.