

Research Paper

Stability Analysis of Dry Yield of *Z. multiflora* Boiss. under Drought Stress and Mycorrhizal Fungi Symbiosis

Ashraf Aghababapoor Dehkordi¹ , Sadollah Houshmand² and Shahram Mohammady²

1- Ph.D. Student of Genetics and Plant Race, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran,
(Corresponding author: aghababapor@yahoo.com)

2- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University,
Shahrekord, Iran

Received: 9 February, 2024

Accepted: 28 April, 2024

Extended Abstract

Background: In recent years, the use of medicinal plants has increased due to the side effects, lower cost, patient compatibility to these drugs, and the harmful effects of chemical drugs on human health. *Zataria multiflora* Boiss. is an important medicinal plant species in the Lamiaceae family, native to Iran, Pakistan, and Afghanistan. The essential oil of this plant has antioxidant, antifungal, and antimicrobial properties and is used as a preservative in the food industry. Water scarcity is a significant limiting factor for crop growth and production. Reduced efficiency of chemical fertilizer uptake under drought conditions and their negative environmental effects necessitate using sustainable agricultural practices. Studies have shown that using biofertilizers, including mycorrhiza fungi, can reduce the effect of drought stress. The effect of mycorrhiza fungi inoculation with plants under drought stress is due to physical, nutritional, physiological, and cellular effects. Considering the medicinal and nutritional value of *Z. multiflora*, it is very important to identify ecotypes with high production to achieve high economic productivity due to existing drought; this importance can only be investigated through research on the genotype $\times$ environment interaction. The performance of ecotypes largely depends on the genotype, environment, and the genotype $\times$ environment interaction. Due to the time-consuming stability and compatibility tests, it is usually possible to obtain some fixed or random effects of year and place from different agricultural managements, such as different planting dates, to reduce the length of the evaluation period. This study aims to investigate the mutual effect of *Z. multiflora* ecotypes under drought stress conditions and the use of mycorrhizal fungi in three planting dates using different stability parameters. Each of the stability parameters has strengths and weaknesses in identifying high-yielding and stable ecotypes. In this study, therefore, the combined aforementioned methods were used to determine the stability of *Z. multiflora* ecotypes.

Methods: This study was conducted on eight *Z. multiflora* ecotypes collected from Safashahr, Neyriz, Khanekhor, and Fasa from Fars Province, Fooladshahr, Baharestan, and Kolahghazi from Isfahan Province, and Qasregand from Sistan and Baluchestan Province. The seeds of the above-mentioned ecotypes were evaluated on three planting dates, including March 1, 2021, March 24, 2021, and April 22, 2022. In this study, the combination of the three mentioned planting dates, at two levels of non-stress and drought stress and two levels of application and non-application of mycorrhiza were determined as 12 different environments, and plant dry weights of the ecotypes were used for stability analysis. After examining the homogeneity of test errors in the environment, data were subjected to the combined analysis of variance (ANOVA) using SAS_{9.4} software. The stability analysis parameters were measured using SPSS₂₆, R, Minitab₁₈, and Excel software.

Results: The results of ANOVA indicated a very significant effect of the environment, ecotype, and the environment $\times$ ecotype interaction on plant dry weight. Drought stress reduced plant dry weight in all environments. The yield increased with mycorrhiza application. Mean comparisons showed significant differences among the ecotypes in each medium. The sowing date of 1 March 2021 was the best sowing date at a dry weight of 1.93 g. In this date, Safashahr ecotypes produced the highest yield in all treatment combinations. In Eberhart & Russell's method,

ecotype Khanekhorre ($b = -0.11$) had the closest slope to one; besides, this ecotype had a low regression deviation ($S^2_d = 1.80$). Based on this parameter, it is considered the most stable ecotype. The lowest rank mean belonged to the Fasa ecotype ($R = 2.67$), followed by the Khanekhorre ecotype ($R = 3.50$). The lowest standard deviation rank belonged to the Baharestan and Fooladshahr ecotypes (0.28 and 0.50, respectively), indicating the stability of these ecotypes based on these indicators. Baharestan ($CV = 26.57$) and Fooladshahr ($CV = 43.43$) ecotypes were considered stable ecotypes based on the coefficient of variance. According to environmental variance, Baharestan and Fooladshahr ($S_i^2 = 0.08$ and $S_i^2 = 0.25$, respectively) were identified as stable ecotypes. Based on Wricke's ecovalence, Fasa ($W_i^2 = 92.80$) and Kolahghazi ($W_i^2 = 92.49$) ecotypes were recognized as stable ecotypes. Based on Shukla's stability variance, Fasa ($\sigma_i^2 = 5.38$), Kolahghazi ($\sigma_i^2 = 5.34$), Fooladshahr, ($\sigma_i^2 = 5.65$), and Khanekhorre ($\sigma_i^2 = 5.93$) were considered stable ecotypes.

Conclusion: According to the results of comparing the averages, the best planting date for *Z. multiflora* was March 1. The results of the mean ranking, standard deviation, coefficient of variation, environmental variance, Wricke's ecovalence method, and Shukla's stability variance were similar in identifying stable ecotypes. As such, Safashahr and Neyriz ecotypes were identified as unstable ecotypes, and the others showed moderate stability. Based on Eberhart & Russell's method, Khanekhorre was the most stable ecotype.

Keywords: Environmental Variance, Rank Means, Shukla's Stability Variance Standard Deviation Rank, Wricke's Ecovalence

How to Cite This Article: Aghababapoor Dehkordi, A., Houshmand, S., & Mohammady, Sh. (2024). Stability Analysis of Dry Yield of *Z. multiflora* Boiss. under Drought Stress and Mycorrhizal Fungi Symbiosis. *J Crop Breed*, 16(4), 23-36. DOI: [10.61186/jcb.16.4.23](https://doi.org/10.61186/jcb.16.4.23)



مقاله پژوهشی

تجزیه پایداری تولید ماده خشک آویشن شیرازی تحت تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا

اشرف آقاباباپور دهکردی^۱، سعدالله هوشمند^۲ و شهرام محمدی^۲

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، (نویسنده مسئول: aghababapor@yahoo.com)

۲- استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰

صفحه: ۲۳ تا ۳۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در سال‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی با توجه به عوارض و هزینه کمتر و سازگاری بیماران به این داروها و به‌دلیل بروز اثرات زیان‌آور داروهای شیمیایی بر سلامت انسان، افزایش یافته است. آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) گیاهی دارویی از خانواده نعنائیان و بومی ایران، پاکستان و افغانستان است. اسانس این گیاه دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد قارچی و ضد میکروبی است و به‌عنوان نگهدارنده در صنایع غذایی استفاده می‌شود. کمبود آب عامل محدود کننده بسیار مهم برای رشد گیاه و تولید محصول است. کاهش کارایی جذب کودهای شیمیایی در شرایط تنش خشکی و اثرات منفی زیست محیطی آن‌ها لزوم استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار را ضروری می‌سازد. مطالعات نشان داده که با استفاده از کودهای زیستی از جمله قارچ‌های میکوریزا می‌توان اثر تنش خشکی را کاهش داد. اثر همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه در شرایط تنش خشکی ناشی از اثرات فیزیکی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و سلولی است. با توجه به ارزش دارویی و تغذیه‌ای آویشن شیرازی، شناسایی اکوتیپ‌هایی با تولید بالا در جهت نیل به بهره‌وری اقتصادی بالا با توجه به خشکسالی‌های موجود از اهمیت بالایی برخوردار است که این مهم تنها از طریق تحقیق در باره اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل بررسی است. عملکرد اکوتیپ‌ها تا حد زیادی به ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بستگی دارد. با توجه به زمان‌بر بودن آزمایش‌های پایداری و سازگاری معمولاً برای کاهش طول دوره ارزیابی می‌توان از مدیریت‌های مختلف زراعی مانند تاریخ‌های متفاوت کاشت تا حدودی به آثار ثابت یا تصادفی سال و مکان دست یافت. هدف از این مطالعه بررسی اثر متقابل اکوتیپ‌های آویشن شیرازی در شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا در سه تاریخ کاشت با استفاده از پارامترهای مختلف پایداری است و از آنجا که هر کدام از پارامترهای پایداری دارای نقاط ضعف و قوت در تشخیص اکوتیپ‌های پرمحصول و پایدار می‌باشند بنابراین در این مطالعه تلفیقی از روش‌های فوق‌الذکر جهت تعیین پایداری اکوتیپ‌های آویشن شیرازی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه روی هشت اکوتیپ آویشن شیرازی شامل اکوتیپ‌های صفاشهر، نی‌ریز، خانه‌خوره و فسا از استان فارس، فولادشهر، بهارستان و کلاه‌قازی از استان اصفهان و قصرقند از استان سیستان و بلوچستان انجام شد. این اکوتیپ‌ها در سه تاریخ کاشت شامل ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۹، ۴ فروردین ماه ۱۴۰۰ و ۲ اردیبهشت ماه ۱۴۰۱، در دو سطح تنش و عدم تنش خشکی و نیز دو سطح کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، جمعاً به‌عنوان ۱۲ محیط مورد ارزیابی قرار گرفتند. وزن خشک بوته (عملکرد بوته) اکوتیپ‌های ذکر شده در این محیط‌ها در بررسی تجزیه پایداری استفاده شد. داده‌ها پس از بررسی همگنی خطاهای آزمایش در محیط‌ها، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SAS^{9.4} مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند و سپس به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای تجزیه پایداری همچون میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه، ضریب تغییرات، واریانس محیطی، نسبت شاخص عملکرد، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و روش تجزیه رگرسیونی ابره‌ه‌ارت و راسل از نرم‌افزارهای R، SPSS²⁶ و Minitab¹⁸ و اکسل استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر بسیار معنی‌دار محیط، اکوتیپ و اثر متقابل محیط × اکوتیپ بر وزن خشک بوته بود. تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک بوته در کلیه محیط‌ها گردید و کاربرد میکوریزا افزایش عملکرد را به‌دنبال داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد ضمن تفاوت معنی‌دار اکوتیپ‌ها در هر محیط، تاریخ کاشت ۱۱ اسفند ماه با وزن خشک بوته ۱/۹۳ گرم بهترین تاریخ کاشت بود. در این تاریخ اکوتیپ صفاشهر در کلیه ترکیبات تیماری بالاترین عملکرد را داشت. در روش ابره‌ه‌ارت و راسل اکوتیپ خانه‌خوره ($b = -0.11$) دارای نزدیکترین شیب به یک است به‌علاوه این اکوتیپ دارای انحراف از رگرسیون پایین ($S^2_e = 1/80$) می‌باشد. لذا بر مبنای این پارامتر، پایدارترین اکوتیپ به‌شمار می‌آید. کمترین میانگین رتبه مربوط به اکوتیپ فسا ($R = 2/67$) و پس از آن اکوتیپ خانه‌خوره ($R = 3/50$) و کمترین انحراف معیار رتبه در اکوتیپ‌های بهارستان و فولادشهر (به‌ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۵۰) می‌باشد که بیانگر پایداری این اکوتیپ‌ها بر مبنای این شاخص‌ها می‌باشد. اکوتیپ‌های بهارستان ($CV = 26/57$) و فولادشهر ($CV = 43/43$) بر مبنای ضریب تغییرات به‌عنوان اکوتیپ‌های پایدار قلمداد شدند. طبق واریانس محیطی (S^2_e) اکوتیپ‌های بهارستان و فولادشهر (به‌ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۲۵) اکوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. بر مبنای اکووالانس ریک اکوتیپ‌های فسا ($W^2_i = 92/80$) و کلاه‌قازی ($W^2_i = 92/49$) اکوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. بر مبنای واریانس پایداری شوکلا اکوتیپ‌های فسا ($\sigma^2_i = 5/38$)، کلاه‌قازی ($\sigma^2_i = 5/34$)، فولادشهر ($\sigma^2_i = 5/65$) و خانه‌خوره ($\sigma^2_i = 5/93$) اکوتیپ‌های پایدار قلمداد شدند.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها تاریخ کاشت ۱۱ اسفندماه بهترین تاریخ کاشت برای آویشن شیرازی بود. نتایج آمارهای میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه، ضریب تغییرات، واریانس محیطی، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا در شناسایی اکوتیپ‌های پایدار مشابه بوده است به‌گونه‌ای که اکوتیپ‌های صفاشهر و نی‌ریز اکوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند و سایر اکوتیپ‌ها پایداری متوسطی دارند. بر مبنای روش ابره‌ه‌ارت و راسل اکوتیپ خانه‌خوره پایدارترین اکوتیپ به‌شمار می‌آید.

واژه‌های کلیدی: اکووالانس ریک، انحراف معیار رتبه، میانگین رتبه، واریانس پایداری شوکلا، واریانس محیطی

بسیار مهم است (Subira et al. 2015; Khalili & Pour-Aboughadareh, 2016). مناسب‌ترین ژنوتیپ، ژنوتیپی است که عملکرد متوسط و پایداری بالایی داشته باشد و در دامنه وسیعی از شرایط تنش محیطی عملکرد قابل‌قبولی تولید کند (Zali et al., 2015).

مقدمه

با توجه به تنوع آب و هوایی، شناخت اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط با هدف معرفی و تولید گیاهان اهمیت بالایی دارد (Yan et al., 2007). توسعه ارقام مقاوم به تنش خشکی و سازگار با محیط‌های مختلف، برای بهره‌وری بالا و پایدار

عملکرد و اجزای عملکرد با زمانی که منابع محیطی بیشتر در دسترس می‌باشند، می‌تواند منجر به حصول حداکثر عملکرد محصولات زراعی گردد. بنابراین تغییر در تاریخ کاشت به دلیل تغییر در پارامترهای آب و هوایی می‌تواند منجر به ایجاد محیط‌های رشدی متفاوت برای ارقام مختلف گیاهان زراعی گردد (Soleimani et al., 2011). سهم بالای اثر تاریخ کاشت و اثر ژنوتیپ در تاریخ کاشت در مطالعات دیگر نیز بررسی شده است (Ullah et al., 2002; de la Vega et al., 2007).

برای تجزیه و تحلیل و تفسیر عملکرد اکوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف روش‌های پایداری متعددی پیشنهاد شده است. با این حال هیچ روش واحدی نمی‌تواند عملکرد یک اکوتیپ را در محیط توضیح دهد (Dia et al., 2018). برای تعیین وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌توان از آنالیز واریانس استفاده کرد. محدودیت اصلی آنالیز واریانس ناتوانی در تشخیص تفاوت‌های ژنوتیپی در شرایط غیرافزایشی مانند اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است (Oladosu et al., 2017). سایر روش‌های تجزیه پایداری شامل سه دسته اصلی غیرپارامتری و پارامتری تک‌متغیره و چندمتغیره می‌باشند (Mohammadi et al., 2019; Vaezi et al., 2018). از جمله روش‌های غیرپارامتری می‌توان به میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه و نسبت شاخص عملکرد و از جمله روش‌های پارامتریک تک‌متغیره می‌توان به ضریب تغییرات، واریانس محیطی، اکووالانس ریک (Wricks, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) و روش تجزیه رگرسیون اشاره کرد. در روش رگرسیون ابرهات و راسل (Eberhart & Russell, 1966) پارامترهای آماری شیب خط رگرسیون و واریانس انحراف از خط رگرسیون برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شود.

در ایران اکوتیپ‌های محلی آویشن شیرازی از نظر عملکرد کمی و کیفی متفاوتند و به تغییرات محیطی پاسخ متفاوتی می‌دهند. عوامل طبیعی از جمله خشکسالی و عوامل انسانی از قبیل برداشت‌های بی‌رویه، تغییر کاربری اراضی و چرای بی‌رویه دام‌ها موجب انقراض این گیاه دارویی شده است. تحقیقات انجام شده بر روی این گیاه در خصوص اسانس و خواص دارویی این گیاه بوده است و عملکرد آن چندان موردتوجه قرار نگرفته است. با توجه به ارزش دارویی و تغذیه‌ای آویشن شیرازی، امروزه کشاورزان در مناطقی از کشور از جمله استان‌های فارس و کرمان اقدام به کشت این گیاه به صورت زراعی نموده‌اند و شناسایی اکوتیپ‌هایی با تولید بالا در جهت نیل به بهره‌وری اقتصادی بالا با توجه به خشکسالی‌های موجود از اهمیت بالایی برخوردار است. تجزیه پایداری روشی مناسب برای بررسی عملکرد نسبی اکوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است.

هدف از این مطالعه بررسی اثر متقابل اکوتیپ‌های آویشن شیرازی در شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا در سه تاریخ کاشت با استفاده از پارامترهای مختلف پایداری است و از آنجاکه هرکدام از پارامترهای پایداری دارای نقاط ضعف و

آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) گیاهی از خانواده نعنائیان و بومی ایران، پاکستان و افغانستان است. در طب سنتی ایران، این گیاه به نام ساتار یا زاتار شناخته شده است (Fazeli, 2007). این گیاه به عنوان طعم دهنده در مواد غذایی کاربرد فراوانی دارد (Burt, 2004). اسانس این گیاه دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد قارچی و ضد میکروبی است و به عنوان نگهدارنده در صنایع غذایی استفاده می‌شود (Mortazavi Moghaddam et al., 2020). این گیاه در رفع سرفه و اختلالات تنفسی بسیار مورد توجه بوده و به دلیل داشتن تیمول و کارواکرول بالا دارای اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضد عفونی کننده، ضدباکتری است (Hashemi et al., 2018; Ghorani 2022; Mahboubi et al., 2018).

مطالعات نشان داده که با استفاده از کودهای مختلف می‌توان اثر تنش خشکی را کاهش داد (et al., 2018). استفاده از کودهای زیستی یکی از روش‌هایی است که می‌توان برای تغذیه و بهبود رشد گیاه و حفظ بهداشت محیط زیست به کار گرفت. در شرایطی که گیاه با کمبود یا فقدان عناصر معدنی مواجه می‌شود روابط همزیستی ریشه گیاه با میکروارگانیسم مفید می‌باشد و موجب تولید پایدار می‌شود (Heydari & Maleki, 2014). ژنوتیپ‌های گیاهی تأثیر معنی‌داری بر همزیستی دارند (Mateus et al., 2019; Chialva et al., 2018). میزان همزیستی به طور معنی‌داری بسته به گیاه میزبان (Angelard et al., 2010) و واکنش قارچ (Koch et al., 2017) متغیر است. استفاده از قارچ میکوریزا باعث افزایش تحمل به تنش‌ها می‌گردد. اثر همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه در شرایط تنش خشکی ناشی از اثرات فیزیکی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و سلولی است (Miransari, 2010; Aroca et al., 2008). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Song, 2005).

انتخاب غیرمستقیم برای صفات مستلزم انجام آزمایش‌های تکراردار در مکان و زمان و روش‌های آماری مناسب برای اندازه‌گیری عملکرد، سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها است. توسعه ژنوتیپ‌های پایدار تنها از طریق تحقیق درباره اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل بررسی است. (Mohammadinejad & Rezai., 2005). عملکرد اکوتیپ‌ها تا حد زیادی به ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بستگی دارد (Abraha et al., 2019). با توجه به زمان‌بر بودن آزمایش‌های پایداری و سازگاری معمولاً برای کاهش طول دوره ارزیابی می‌توان از مدیریت‌های مختلف زراعی مانند تاریخ‌های متفاوت کاشت تا حدودی به آثار ثابت یا تصادفی سال و مکان دست یافت (Mohammadinejad & Rezai., 2005). به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل شناخته شده در مدیریت تولید تمام محصولات است. با توجه به نقش تعیین کننده عوامل اقلیمی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی، تاریخ کاشت مناسب با انطباق دوره‌های بحرانی

کلاهقازی (واقع در استان اصفهان) و قصرقند (واقع در استان سیستان و بلوچستان) انجام شد. بذور اکوتیپ‌های آویشن شیرازی فوق‌الذکر در ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۹، ۴ فروردین ماه ۱۴۰۰ و ۲ اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ در سینی نشاء، در بستری با ترکیب پیت‌ماس و کوکوپیت به‌نسبت ۴:۱ کشت شدند. پس از شش هفته نشاءها به گلدان پلاستیکی به ابعاد ۱۵×۱۲ سانتی‌متر حاوی خاکی با ویژگی‌های شیمیایی ذکر شده در جدول یک منتقل گردید. آبیاری با توجه به نیاز گیاه هر ۲-۳ روز یک‌بار انجام شد. پس از گرم شدن هوا و رشد مناسب گیاهچه‌ها، گلدان‌ها به بیرون از گلخانه انتقال داده شد.

قوت در تشخیص اکوتیپ‌های پرمحصول و پایدار می‌باشند بنابراین در این مطالعه تلفیقی از روش‌های فوق‌الذکر جهت تعیین پایداری اکوتیپ‌های آویشن شیرازی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، بر روی هشت اکوتیپ آویشن شیرازی (*Z. multiflora* Boiss.) شامل نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق صفاشهر، نی‌ریز، خانه‌خوره و فسا (واقع در استان فارس)، فولادشهر، بهارستان،

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Results of soil chemical analysis used in experiment

(%) O.C.	(Ds/m) E.C	pH	(mg/kg) Available K	(mg/kg) Available P	(%) Total N	Soil texture
0.58	0.97	7.84	329	18.8	0.04	Sandy clay loam

خاک، مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی گلدان موردنظر مشخص شد و با کاهش ۱۰ و ۵۰٪ این وزن از وزن گلدان، آبیاری صورت گرفت. یک ماه پس از اعمال تنش خشکی، وزن خشک بوته اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور گیاه از پنج سانتی‌متری خاک گلدان قطع شد و وزن آن به‌دست آمد. این وزن به‌عنوان عملکرد تر لحاظ گردید. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق و در سایه خشک شدند و وزن خشک بوته در هر واحد آزمایشی به‌دست آمد.

در این مطالعه ترکیب سه تاریخ کشت فوق‌الذکر، دو سطح تنش و عدم تنش خشکی و نیز دو سطح کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، به‌عنوان ۱۲ محیط مختلف در نظر گرفته شدند و وزن خشک بوته اکوتیپ‌های ذکر شده در این محیط‌ها در بررسی تجزیه پایداری استفاده شد. در این راستا از روش‌های میانگین رتبه (R)، انحراف معیار رتبه (SDR)، ضریب تغییرات (CV)، واریانس محیطی (Si^2) (Huhn, 1979)، نسبت شاخص عملکرد (YIR) (Fox & Wricks, 1982)، اکووالانس ریک (Wi^2) (Rosielle, 1982)، واریانس پایداری شوکلا (Si^2) (Shukla, 1972) و روش تجزیه رگرسیونی ابرهات و راسل (Eberhart & Russell, 1966) استفاده شد. داده‌ها پس از بررسی همگنی خطاهای آزمایش در محیط‌ها، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SAS9.4 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند و سپس به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای تجزیه پایداری از نرم‌افزارهای R، Minitab 18 و اکسل استفاده شد. در روش محاسبه میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه برای هر اکوتیپ میانگین وزن خشک بوته در مجموع اکوتیپ‌های مورد بررسی مشخص شد و بر اساس آن پارامترهای مذکور محاسبه شدند. نسبت شاخص عملکرد برای هر اکوتیپ و برای کلیه تاریخ‌های کاشت به‌عنوان معیار دیگری از پایداری عملکرد تعیین شد. به این‌منظور میانگین عملکرد هر اکوتیپ در کلیه محیط‌ها به میانگین عملکرد کل تقسیم و به‌صورت درصد نشان داده شد (Fox & Rosielle, 1982). پارامترهای تجزیه پایداری پیشنهاد شده توسط ابرهات و راسل (Eberhart & Russell, 1966) (میانگین عملکرد، ضریب

برای هریک از زمان‌های کشت ترکیب دو سطح قارچ میکوریز آربوسکولار (اعمال قارچ و عدم اعمال قارچ) و دو سطح تنش خشکی (اعمال تنش خشکی و بدون تنش) با سه تکرار در شرایط گلدانی ارزیابی گردید. سطوح تنش خشکی شامل دو سطح ۹۰٪ (بدون تنش خشکی) و ۵۰٪ (تنش خشکی) ظرفیت زراعی خاک بود. شیوه اعمال قارچ میکوریزا آربوسکولار برای واحدهای آزمایشی مربوطه به این‌صورت بود که در هر واحد آزمایش (گلدان)، سه حفره در اطراف ریشه ایجاد شد و در هر حفره ۲۰ گرم قارچ میکوریزا آربوسکولار (خریداری شده از شرکت زیست فناوران سبز) استفاده شد.

آبیاری کلیه گلدان‌ها تا زمان اعمال تنش خشکی، طبق روال معمول صورت گرفت. یک و نیم ماه بعد از مصرف قارچ میکوریز در گلدان‌ها، تنش خشکی به واحدهای آزمایشی مربوطه اعمال شد. تنش خشکی به‌روش وزنی صورت گرفت. برای مشخص کردن ظرفیت زراعی، نمونه‌ای از خاک داخل گلدان زهکش‌دار ریخته شد و آبیاری به‌طور سنگین صورت گرفت و با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری گلدان در فواصل مختلف وزن شد. زمانی که در دو فاصله زمانی میزان رطوبت با هم برابر بود از عمق موردنظر خاک نمونه‌گیری صورت گرفت و پس از به‌دست آوردن وزن آن، به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا خشک شود. با توزین میزان رطوبت پس از خشک شدن خاک، درصد جرمی رطوبت از طریق فرمول زیر مشخص شد که در این فرمول W_1 وزن نمونه مرطوب و W_2 وزن نمونه خشک شده است. نسبت جرمی و درصد جرمی رطوبت (Θ_m) عبارت بود از (Alizade, 2005):

$$\text{نسبت جرمی رطوبت} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \quad \text{درصد جرمی رطوبت} = \frac{\Theta_m = W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

با توجه به میزان رطوبت ظرفیت زراعی خاک، آبیاری گلدان‌ها صورت گرفت و سپس گلدان‌ها جهت انجام آبیاری‌های بعدی به‌صورت پی‌درپی وزن شدند. با رسیدن رطوبت خاک گلدان به سطوح ۹۰٪ (بدون تنش خشکی) و ۵۰٪ (تنش خشکی) ظرفیت زراعی آبیاری صورت گرفت. با ضرب میزان خاک گلدان در درصد رطوبت ظرفیت زراعی

خشکی و کاربرد میکوریزا (به عنوان محیط) می باشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین ها (جدول ۳) نشان داد ضمن تفاوت معنی دار اکوتیپ ها در هر محیط، تاریخ کاشت ۱۱ اسفند ماه با وزن خشک بوته ۱/۹۳ گرم بهترین تاریخ کاشت بود. تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک بوته در کلیه محیط ها گردید که میزان این کاهش در تاریخ کاشت های ۱۱ اسفند ماه، ۴ فروردین ماه و ۲ اردیبهشت ماه به ترتیب ۴۱/۳۹٪، ۴۸/۸۰٪ و ۸۴/۱۷٪ (به ترتیب در آبیاری نرمال ۲/۴۴، ۲/۵۲ و ۱/۵۸ گرم و در تنش خشکی ۱/۴۳، ۱/۲۹ و ۰/۲۵ گرم) بود. با کاربرد میکوریزا افزایش عملکرد به دست آمد. بالاترین افزایش وزن خشک بوته با کاربرد میکوریزا در تاریخ کاشت های ۱۱ اسفند ماه (در آبیاری معمول ۵۹/۷۷٪ و در تنش خشکی ۵۶٪/۲۸) و ۴ فروردین ماه (در آبیاری معمول ۶۱/۲۶٪ و در تنش خشکی ۵۹/۷۸٪) مشاهده شد. در دو تاریخ کاشت ۱۱ اسفند ماه و ۴ فروردین ماه در محیط های مختلف مورد بررسی اکوتیپ های صفاشهر و نی ریز از نظر تولید عملکرد حائز بالاترین رتبه بودند (جدول ۳).

رگرسیون خطی (b_i) و انحراف از رگرسیون (S^2d_i) با استفاده از نرم افزار $R_{3.6.2}$ محاسبه شد. آزمون معنی داری ضریب رگرسیون خطی و انحراف از رگرسیون به ترتیب توسط آزمون های t و F انجام شد. به منظور بررسی ارتباط بین آماره های مورد استفاده و اکوتیپ ها تجزیه به مؤلفه های اصلی با استفاده از نرم افزار Minitab 18 انجام شد. ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن بین آماره های مختلف با استفاده از نرم افزار SPSS 26 محاسبه گردید.

نتایج و بحث

تجزیه مرکب داده ها، پس از تأیید یکنواختی واریانس خطا در محیط از طریق آزمون بارتلت، انجام شد. نتایج این تجزیه حاکی از اثر معنی دار ($p < 0.01$) محیط و اکوتیپ بود که بیانگر تفاوت محیط ها و اکوتیپ ها از نظر تولید وزن خشک بوته می باشد. همچنین معنی دار ($p < 0.01$) بودن اثر متقابل محیط $\times$ اکوتیپ بیانگر روند متفاوت وزن خشک بوته اکوتیپ های آویشن شیرازی در ترکیب تاریخ کاشت، تنش

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد خشک بوته در اکوتیپ های آویشن شیرازی

Table 2. Combined analysis of variance for dry yield of *Z. multiflora* Boiss. ecotypes

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
Source of variation	df	Mean square
Env	11	29.41**
محیط		
Rep in Env	24	0.08
تکرار در محیط		
Ecotype	7	90.76**
اکوتیپ		
Ecotype $\times$ Env	77	7.58**
محیط $\times$ اکوتیپ		
Error	168	0.07
خطا		

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

** : significant at 1% probability level.

جدول ۳- میانگین وزن خشک بوته آویشن شیرازی در تاریخ های کشت، تحت تأثیر تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا

Table 3. Means comparison of *Z. multiflora* Boiss. ecotypes dry yield in sowing dates under drought stress and mycorrhiza fungi application

Drought stress and mycorrhiza fungi application								۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۹				اکوتیپ
۲ اردیبهشت ۱۴۰۱				۴ فروردین ۱۴۰۰				1 March 2021				Ecotype
تنش خشکی		آبیاری نرمال		تنش خشکی		آبیاری نرمال		تنش خشکی		آبیاری نرمال		
Drought Stress		Normal Irrigation		Drought Stress		Normal Irrigation		Drought Stress		Normal Irrigation		
تنش خشکی و میکوریزا	تنش خشکی	میکوریزا	شاهد	تنش خشکی و میکوریزا	تنش خشکی	میکوریزا	شاهد	تنش خشکی و میکوریزا	تنش خشکی	میکوریزا	شاهد	
Drought stress and Mycorrhiza	Drought stress	Mycorrhiza	Control	Drought stress and Mycorrhiza	Drought stress	Mycorrhiza	Control	Drought stress and Mycorrhiza	Drought stress	Mycorrhiza	Control	
a				za		a		za			†	
2.06b	0.9d	3.93a	2.66a	4.9a	0.49b	8.7b	2.9a	5.31a	2.11a	11.88a	3.24a	Safashahr
4.34a	0.62bc	9.27a	2.39a	0.49d	0.33b	1.88d	0.4d	1.11c	1.62b	0.58g	2.63b	صفاشهر
2.39b	1.85a	5.39c	0.57bc	1.37b	0.71ab	1.03e	1.15b	1.9b	0.35e	2.13c	1.03d	Qasreghand
1.11c	1.22b	1.22e	0.95b	1.04bc	0.75ab	1.32e	0.94bc	1.27c	1.19c	1.12e	0.56ef	قصر قند
1.49c	0.65bc	1.31de	2.19a	4.74a	0.99a	9.28a	2.3a	5.53a	0.26e	8.75b	2.07c	Fooladshahr
4.81a	0.34c	8.54b	0.26c	0.67cd	0.94a	2.99c	1.69a	0.3d	0.72d	1.01ef	0.28f	فولادشهر
0.2d	0.58c	1.49de	0.59bc	0.3d	0.64ab	2.9c	0.69cd	0.33d	0.35e	0.71fg	0.71de	Baharestan
0.36d	0.33c	0.58f	0.58bc	1.25b	1.09a	1.02e	1.23b	0.19d	0.35e	1.67d	0.66e	بهارستان
0.26d	0.25c	1.89d	1.27bc	1.84b	0.74c	3.64a	1.41b	1.99b	0.87d	3.48a	1.4c	Neyriz
												نی ریز
												Khanekhorre
												خان خوره
												Fasah
												فسا
												Kolahghazi
												کلاه قاضی
												Mean
												میانگین

بر اساس روش های غیرپارامتری رتبه بندی، اکوتیپ هایی که کمترین میانگین رتبه (Rank) و انحراف معیار رتبه (SDR) را داشته باشند به عنوان اکوتیپ های پایدار تلقی می شوند (Ketata, 1988; Kang, 1988). کمترین میانگین رتبه مربوط به اکوتیپ فسا ($R=2/67$) و پس از آن اکوتیپ خانه خوره ($R=3/50$) و کمترین انحراف معیار رتبه در اکوتیپ های بهارستان و فولادشهر (به ترتیب $0/28$ و $0/50$) می باشد که بیانگر پایداری این اکوتیپ ها بر مبنای این شاخص ها می باشد. میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه اکوتیپ صفاشهر ($R=7$ و $SDR=3/56$) و نی ریز ($R=6/25$ و $SDR=3/31$) بالا می باشد که حاکی از ناپایداری این اکوتیپ ها بر مبنای این پارامترها می باشد (جدول ۴). همبستگی رتبه بین میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه مثبت و غیرمعنی دار ($r=0/56$) به دست آمد بنابراین نتایج حاصله از این دو پارامتر، کاملاً منطبق برهم نیستند (جدول ۹).

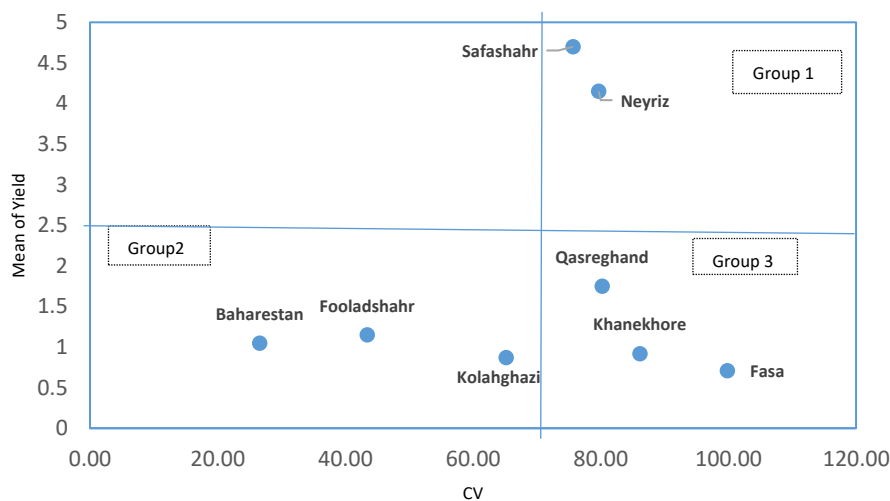
نسبت شاخص عملکرد روش غیرپارامتریک دیگری است که نسبت میانگین عملکرد هر اکوتیپ در تمام محیط ها را به میانگین عملکرد کل به صورت درصد بیان می کند. بر مبنای این پارامتر، اکوتیپ های صفاشهر ($245/42\%$) و نی ریز

($216/69\%$) با دارا بودن بیشترین میزان شاخص، در گروه اکوتیپ های پایدار قرار می گیرند و اکوتیپ های فسا ($37/10\%$) و کلاه قاضی ($45/60\%$) با کمترین میزان نسبت شاخص عملکرد به عنوان اکوتیپ های ناپایدار معرفی شدند (جدول ۴). این نتایج کاملاً عکس نتایج به دست آمده از آماره های میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه می باشد.

بر مبنای ضریب تغییرات، اکوتیپی پایدار است که CV کمتری داشته باشد لذا بر این اساس اکوتیپ های بهارستان ($CV=26/57$) و فولادشهر ($CV=43/43$) به عنوان اکوتیپ های پایدار قلمداد می شوند (جدول ۴). شکل ۱ نشان دهنده مقدار ضریب تغییرات و عملکرد اکوتیپ های آویشن شیرازی در ۱۲ محیط مورد بررسی می باشد (Francis & Kannenberg, 1978). این دیاگرام به سه گروه تقسیم می گردد. اکوتیپ های نی ریز و صفاشهر دارای عملکرد بالا و تغییرات زیاد، اکوتیپ های بهارستان و فولادشهر دارای عملکرد پایین و تغییرات کم و اکوتیپ های قصرقند، خانه خوره، کلاه قاضی و فسا دارای عملکرد پایین و تغییرات زیاد مشاهده شدند.

جدول ۴- پایداری وزن خشک بوته آویشن شیرازی به روش های غیرپارامتری

اکوتیپ Ecotype	میانگین رتبه Rank mean (R)	انحراف معیار رتبه Standard deviation rank (SDR)	نسبت شاخص عملکرد Yield index ratio (YIR)	ضریب تغییرات Coefficient of Variance (CV)
Safashahr صفاشهر	7.00	3.56	245.42	75.67
Qasreghand قصرقند	4.50	1.41	91.70	80.21
Fooladshahr فولادشهر	4.25	0.5	60.06	43.43
Baharestan بهارستان	4.25	0.28	54.98	26.57
Neyriz نی ریز	6.25	3.31	216.69	79.68
Khanekhore خانه خوره	3.50	0.8	48.46	86.12
Fasa فسا	2.67	0.71	37.10	99.84
Kolahghazi کلاه قاضی	3.58	0.57	45.60	65.20



شکل ۱- مقدار ضریب تغییرات و عملکرد هریک از اکوتیپ های آویشن شیرازی در ۱۲ محیط (خطوط از میانگین محورها می گذرند)
Figure 1. CV plot of dry yield of *Z. multiflora* Boiss. under twelve environment (lines shows the mean of axes)

تجزیه پایداری تولید ماده خشک آویشن شیرازی تحت تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا ۳۰

یک نداشته باشند دارای سازگاری عمومی هستند و اگر عملکرد آن‌ها بالا باشد سازگاری عمومی خوبی دارند. اکوتیپ‌هایی که ضریب رگرسیون کمتر از یک داشته باشند دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد و اکوتیپ‌هایی که دارای ضریب رگرسیونی بزرگتر از یک هستند دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد می‌باشند.

اکوتیپ خانه‌خوره ($b = -0.11$) دارای نزدیکترین شیب به یک است به علاوه این اکوتیپ دارای انحراف از رگرسیون پایین ($S^2_d = 1/80$) می‌باشد. لذا بر مبنای این پارامتر، پایدارترین اکوتیپ به شمار می‌آید. اکوتیپ قصرقند ($b = 20/30$) دارای شیبی بالاتر از یک است بنابراین دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد می‌باشند و اکوتیپ نیریز با داشتن ضریب رگرسیون معنی‌دار کوچکتر از یک و عملکرد بالا دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد است (جدول ۶).

در روش‌های غیرپارامتری تجزیه پایداری، اکوتیپ‌ها قابل تقسیم‌بندی برای سازگاری عمومی و سازگاری خصوصی نیستند لیکن با توجه به سادگی روش‌ها، در مطالعاتی که تعداد زیادی ژنوتیپ مورد بررسی قرار می‌گیرند به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های ناپایدار و کاهش تعداد آن‌ها برای بررسی با روش‌های گزینش مطلوب‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج تجزیه واریانس به روش ابره‌ه‌ارت و راسل (Eberhart & Russell, 1966) (جدول ۵) نشان داد میانگین مربعات اکوتیپ‌ها برای وزن خشک بوته بسیار معنی‌دار است که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها است. علاوه بر این اثر متقابل بسیار معنی‌دار اکوتیپ $\times$ محیط (خطی) برای وزن خشک بوته حاکی از آن است که در محیط‌های یکنواخت‌تر، واکنش اکوتیپ‌ها به محیط‌ها، نزدیک‌تر است. بر مبنای روش ابره‌ه‌ارت و راسل (Eberhart & Russell, 1966) اکوتیپی که شیبی معادل $b = 1$ داشته باشد دارای بیشترین پایداری در محیط‌های مختلف است. اکوتیپ‌هایی که ضریب رگرسیون آن‌ها اختلاف معنی‌داری با

جدول ۵- تجزیه واریانس به روش ابره‌ه‌ارت و راسل برای وزن خشک بوته اکوتیپ‌های آویشن شیرازی در دوازده محیط
Table 5. Analysis of variance by Eberhart and Russell method of *Z. multiflora* Boiss. ecotypes dry yield in twelve environments.

منابع تغییر (Source of variation)	میانگین مربعات (Mean square)	درجه آزادی (df)
اکوتیپ	0.70**	7
محیط + (اکوتیپ $\times$ محیط)	0.06 ^{ns}	16
Environment + (ecotype $\times$ environment)	0.006 ^{ns}	1
Environment (linear)	0.12**	7
محیط (خطی)	0.01	8
اکوتیپ $\times$ محیط (خطی)	0.002 ^{ns}	1
Ecotype $\times$ environment (linear)	0.0258 ^{ns}	1
انحراف مرکب	0.0186 ^{ns}	1
Combined deviation	0.0393 ^{ns}	1
Safashahr	0 ^{ns}	1
صفاشهر	0.0023 ^{ns}	1
Qasreghand	0.001 ^{ns}	1
قصرقند	0.0254 ^{ns}	1
Fooladshahr	7.23	48
فولادشهر		
Baharestan		
بهارستان		
Neyriz		
نیریز		
Khanekhor		
خانه‌خوره		
Fasa		
فسا		
Kolahghazi		
کلاه‌قازی		
اشتباه مرکب		
Combined error		

^{ns} و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} and ** are non-significant and significant at 1% respectively

جدول ۶- پارامترهای پایداری برای وزن خشک بوته اکوتیپ‌های آویشن شیرازی

Table 6. Stability parameters for *Z. multiflora* Boiss dry yield

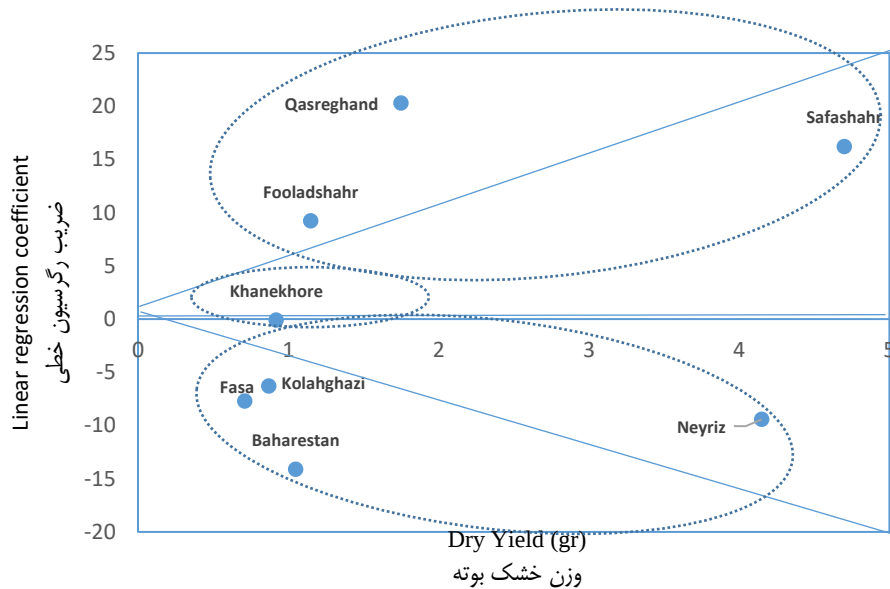
اکوتیپ	عملکرد خشک	واریانس محیطی	اکووالانس ریک	واریانس پایداری شوکلا	ضریب رگرسیون	انحراف از رگرسیون
Ecotype	Dry yield	Environmental Variance (S^2_e)	Wricke's ecovalence (W_i)	Shukla's stability variance ($\sigma^2_{\tau_i}$)	b†	S^2_d
Safashahr	4.7	12.70	1583.60	184.39	16.21**	1.80 ^{ns}
Qasreghand	1.75	2.01	156.71	13.05	20.3**	1.74 ^{ns}
Fooladshahr	1.15	0.25	95.11	5.65	9.22**	1.76 ^{ns}
Baharestan	1.05	0.08	102.75	6.57	-14.13**	1.70 ^{ns}
Neyriz	4.15	10.97	438.52	46.86	-9.43**	1.81 ^{ns}
Khanekhor	0.92	0.65	97.43	5.93	-0.11 ^{ns}	1.80 ^{ns}
Fasa	0.71	0.51	92.80	5.38	-7.73**	1.80 ^{ns}
Kolahghazi	0.87	0.33	92.49	5.34	-6.31**	1.74 ^{ns}

^{ns} و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، † نتیجه آزمون t برای فرض $H_0: b_i = 1$ در سطح احتمال ۵٪

^{ns} and ** are non-significant and significant at 1% respectively, † Result of t test for the hypothesis $H_0: b_i = 1$, at 5% probability level.

شیب نزدیک به یک است. اکوتیپ‌های قصرقند، صفاشهر و فولادشهر در یک گروه و دارای شیب معنی‌دار بالاتر از یک و اکوتیپ‌های بهارستان، فسا، کلاه‌قازی و نیریز در گروه دیگر و دارای شیب معنی‌دار منفی قرار گرفتند.

نمودار سازگاری اکوتیپ‌ها بر اساس میانگین وزن خشک بوته و ضرایب رگرسیون مربوط به هر اکوتیپ در شکل ۲ ترسیم گردیده است. شکل بیانگر آن است که اکوتیپ خانه‌خوره به تنهایی در یک گروه قرار گرفته است و دارای



شکل ۲- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین وزن خشک بوته و ضریب رگرسیون خطی (پارامتر اول) ابرهات و راسل (خط عمودی از نقطه میانگین وزن خشک بوته می‌گذرد).

Figure 2. Scatter plot of dry yield mean and linear regression coefficient (first parameter) of Eberhart and Russell. (Vertical line shows the dry yield mean)

آلاه خان و همکاران (Ullah Khan et al., 2020) (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای بر روی گندم نان، همبستگی رتبه اسپیرمن بین اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا مثبت و معنی‌دار بود. این محققان این دو آماره را به همراه شاخص پایداری آمی و CV برای معرفی ژنوتیپ‌های پایدار در گندم نان مناسب دانستند. در پژوهشی با بررسی تجزیه پایداری عملکرد دانه و علوفه در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه خلر (*Lathyrus sativa* L.) نتایج مشابهی بر مبنای اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا برای شناسایی پایدارترین لاین‌ها برای علوفه و بذر به دست آمد (Vaezi et al., 2023).

در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ذرت (*Zea mays* L.) همبستگی رتبه بین اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا مثبت و معنی‌دار بود (Anley et al., 2013). زالی و همکاران (Zali et al., 2015) با بررسی پارامترهای تجزیه پایداری بر روی ژنوتیپ‌های کلزا همبستگی مثبت بین انحراف از رگرسیون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک گزارش نمودند.

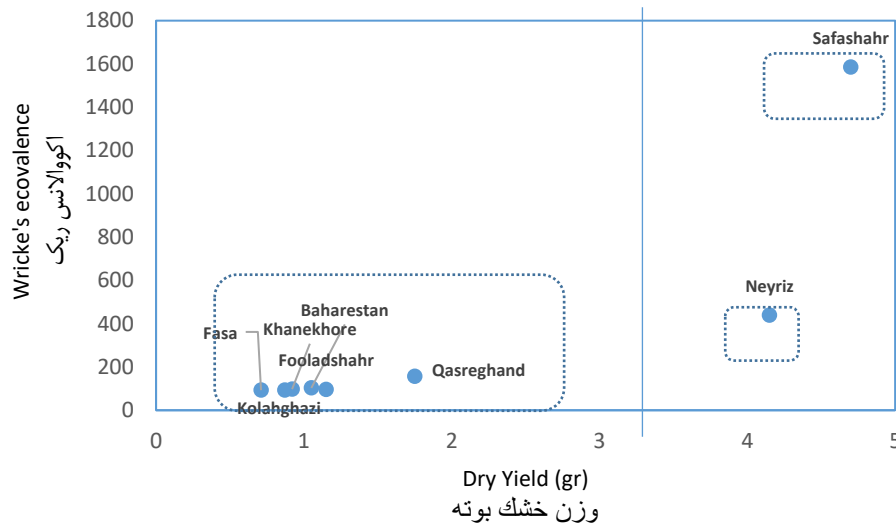
تجزیه خوشه‌ای بر مبنای اکووالانس ریک (شکل ۳) نشان داد اکوتیپ‌های فسا، بهارستان، خانه‌خوره، کلاه‌قازی، قصرقند و فولادشهر در یک گروه قرار گرفته‌اند و دارای پایداری بالاتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها می‌باشند. بر مبنای واریانس پایداری شوکلا نیز اکوتیپ‌های فوق‌الذکر در یک

طبق واریانس محیطی (S_i^2) اکوتیپ‌های بهارستان و فولادشهر (به ترتیب $S_i^2=0/25$ و $S_i^2=0/08$) با دارا بودن کمترین واریانس محیطی اکوتیپ‌های پایدار و اکوتیپ‌های قصرقند ($S_i^2=12/70$) و نیریز ($S_i^2=10/97$) با دارا بودن بالاترین واریانس محیطی به عنوان اکوتیپ ناپایدار شناسایی شدند (جدول ۶).

بر مبنای اکووالانس ریک اکوتیپ‌های فسا ($W_i^2=92/80$) و کلاه‌قازی ($W_i^2=92/49$) با دارا بودن کمترین اکووالانس و سهم کمتر در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اکوتیپ‌های پایدار و اکوتیپ صفاشهر ($W_i^2=1583/60$) با داشتن بالاترین اکووالانس و در نتیجه دارا بودن سهم بیشتر در مقدار اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اکوتیپ ناپایدار شناخته شدند. بر مبنای واریانس پایداری شوکلا اکوتیپ‌های فسا ($\sigma_i^2=5/38$) و کلاه‌قازی ($\sigma_i^2=5/34$) و فولادشهر ($\sigma_i^2=5/65$) و خانه‌خوره ($\sigma_i^2=5/93$) با دارا بودن پایین‌ترین واریانس، اکوتیپ‌های پایدار و صفاشهر ($\sigma_i^2=184/39$) با دارا بودن بیشترین واریانس اکوتیپ‌های ناپایدار قلمداد شدند (جدول ۶). همبستگی بین اکووالانس ریک با واریانس پایداری شوکلا مثبت و بسیار معنی‌دار ($r=0/99^{**}$) بود. علاوه بر این همبستگی اکووالانس ریک و میانگین رتبه ($r=0/86^{**}$) و نسبت شاخص عملکرد ($r=0/90^{**}$) نیز مثبت و بسیار معنی‌دار بود که بیانگر وجود ارتباط بین این پارامترهاست (جدول ۹).

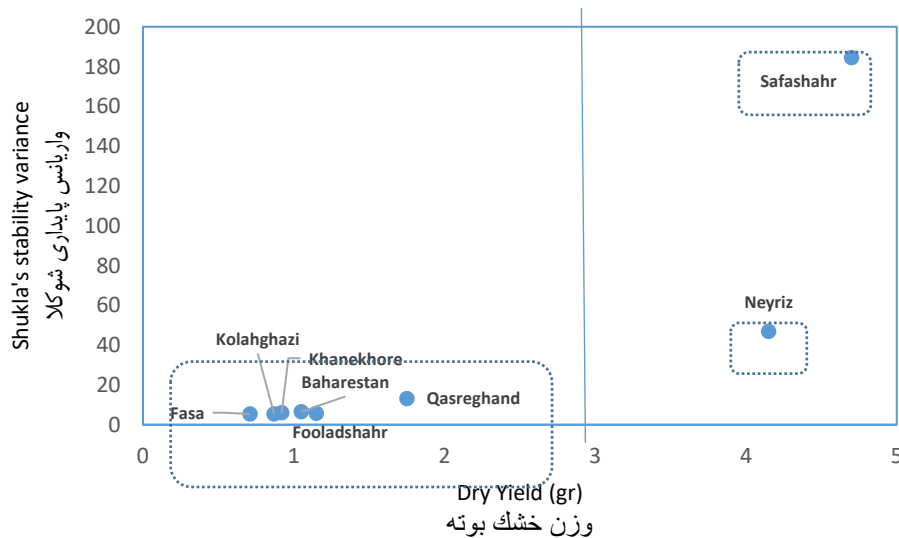
با کاربرد روش‌های واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2)، ضریب تغییرات محیطی (CV) و ضریب خط رگرسیون (b_i) در معرفی لاین‌های پایدار نتایج مشابهی گزارش نمود.

گروه قرار دارند که با داشتن پایین‌ترین واریانس در زمره اکوتیپ‌های پایدار قرار می‌گیرند (شکل ۴). محتمشمی (Mohtashami, 2023) با بررسی تجزیه پایداری عملکرد دانه در لاین‌های برنج (*Oryza sativa* L.)



شکل ۳- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین وزن خشک بوته و اکووالانس ریک (خط عمودی از نقطه میانگین وزن خشک بوته می‌گذرد)

Figure 3. Scatter plot of Wricke's ecovalence and dry yield mean (vertical line shows the dry yield mean)



شکل ۴- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین وزن خشک بوته و واریانس پایداری شوکلا (خط عمودی از نقطه میانگین وزن خشک بوته می‌گذرد)

Figure 4. Scatter plot of Shukla's stability variance and dry yield mean (vertical line shows the dry yield mean)

برای تشخیص بهتر اکوتیپ‌های پایدار از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی استفاده شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول در مجموع ۸۵/۱٪ از تنوع کل موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کنند (جدول ۷). اولین مؤلفه اصلی ۶۹/۱٪ از تغییرات بین داده‌ها را توجیه می‌کند و در این مؤلفه وزن خشک بوته، میانگین رتبه،

روش‌های غیرپارامتری مزایایی دارند از جمله این که اریب ناشی از داده‌های پرت را کاهش می‌دهند، فرضی در مورد توزیع مقادیر مشاهده شده نیاز ندارند، استفاده و تفسیر و حذف تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها در آن‌ها آسان است (Huehn, 1990). بنابراین برخی از محققان این روش‌ها را برای ارزیابی پایداری به کار می‌برند (Zali et al., 2011). در این مطالعه

گزینش می‌نماید (جدول ۷ و ۸). شکل ۵ ارتباط بین روش‌های مختلف پایداری و اکوتیپ‌ها را نشان داده است. بردارها در این دیاگرام مربوط به آماره‌های تجزیه پایداری است و طول، جهت و زاویه بین آن‌ها دربرگیرنده اطلاعاتی در خصوص همبستگی آماره‌ها و ویژگی‌های اکوتیپ‌ها می‌باشد که در گزینش اکوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بردارهای مربوط به ضریب تغییرات و میانگین مربعات انحراف از رگرسیون در یک راستا و سایر آماره‌ها در راستای دیگر قرار گرفتند.

انحراف معیار رتبه، نسبت شاخص عملکرد، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و واریانس محیطی اهمیت بالایی دارند که بیانگر همبستگی بالای این آماره‌ها می‌باشد (جدول ۸).

دومین مؤلفه اصلی ۱۶٪ از تنوع موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کند و این مؤلفه همبستگی منفی و بالا با میانگین مربعات انحراف از رگرسیون و ضریب تغییرات دارد. با توجه به اهمیت مؤلفه اول، انتخاب بر مبنای آماره‌هایی که اثر بالایی در این مؤلفه دارند اکوتیپ‌هایی با عملکرد بالا ولی ناپایدار را

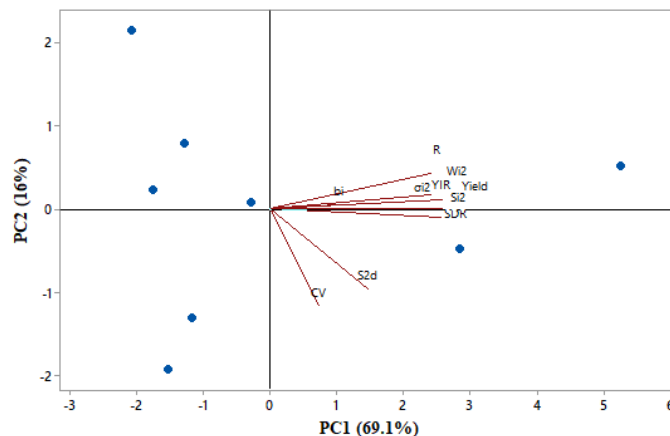
جدول ۷- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در اکوتیپ‌های آویشن شیرازی

Table 5. Analysis of principal components in *Z. multiflora* Boiss. ecotypes

شماره عامل PC number	واریانس (%) Variance %	واریانس تجمعی (%) Cumulative Variance %	وزن عامل PC weight
1	69.1	69.1	6.90
2	16	85.1	1.60
3	9.6	94.7	0.95
4	3.6	98.3	0.35
5	1.7	100	0.16

جدول ۸- اجزای تشکیل دهنده سه مؤلفه اول برای هر یک از آماره‌های تجزیه پایداری در اکوتیپ‌های آویشن شیرازی
Table 8. Component of the first three PC for each of the stability analysis statistics in the *Z. multiflora* Boiss. ecotypes

پارامتر (Parameter)	PC1	PC2	PC3
Dry Yield	0.373	0.073	-0.132
وزن خشک بوته	0.350	0.27	-0.068
Rank mean	0.372	-0.066	-0.114
میانگین رتبه	0.373	0.073	-0.132
Standard deviation rank	0.15	0.035	0.916
انحراف معیار رتبه	0.212	-0.600	-0.110
Yield index ratio	0.349	0.106	0.148
نسبت شاخص عملکرد	0.349	0.106	0.148
Regression coefficient	0.374	0	-0.182
ضریب رگرسیون	0.105	-0.727	0.136
Mean square of Linear regression deviation			
میانگین مربعات انحراف از رگرسیون خطی			
Wricke's ecovalence			
اکووالانس ریک			
Shukla's stability variance			
واریانس پایداری شوکلا			
Environmental Variance			
واریانس محیطی			
Coefficient of Variance			
ضریب تنوع			



شکل ۵- گروه‌بندی اکوتیپ‌های آویشن شیرازی و بردار آماره‌های تجزیه پایداری براساس مؤلفه اول و دوم
Figure 5. Grouping *Z. multiflora* ecotypes and vector of sustainability statistics based on the first and second components

بسیار معنی‌دار ($r=0.99^{**}$) بود که حاکی از نتایج مشابه این آماره‌ها در شناسایی اکوتیپ‌های پایدار می‌باشد. سایر نتایج همبستگی در متن بالا آورده شده است.

جدول ۹ همبستگی رتبه اسپیرمن بین آماره‌های مختلف پایداری را نشان می‌دهد که طبق آن همبستگی رتبه انحراف معیار رتبه با سایر آماره‌ها مثبت و با واریانس محیطی مثبت و

جدول ۹- ضرایب همبستگی رتبه اسپیرمن بین آماره‌های پایداری مختلف

Table 9. Spearman's rank correlations among the different statistics parameters

پارامتر	R	SDR	YIR	CV	b_i	S^2_d	W_i^2	σ_i^2	S_i^2
R	1								
SDR	0.56	1							
YIR	0.97**	0.61	1						
CV	-0.34	0.52	-0.23	1					
b_i	0.29	0.42	0.38	0.19	1				
S^2_d	0.12	0.67	0.24	0.57	-0.02	1			
W_i^2	0.86**	0.69	0.90**	-0.02	0.21	0.30	1		
σ_i^2	0.86**	0.69	0.90**	-0.02	0.21	0.30	0.99**	1	
S_i^2	0.56	0.99**	0.61	0.52	0.42	0.67	0.69	0.69	1

** : Significant at 1%

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

میانگین رتبه: R، انحراف معیار رتبه: SDR، نسبت شاخص عملکرد: YIR، ضریب تنوع: CV، ضریب رگرسیون: b_i ، انحراف از رگرسیون خطی: S^2_d ، اکووالانس ریک: W_i^2 ، واریانس پایداری شوکلا: σ_i^2 ، واریانس محیطی: S_i^2

rank means: R, standard deviation rank: SDR, yield index ratio: YIR, coefficient of variance: CV, regression coefficient: b_i , linear regression deviation: S^2_d , wricke's ecovalence: W_i^2 , shukla's stability variance: σ_i^2 , environmental variance: S_i^2 .

نتیجه‌گیری کلی

انجام آزمایشات چند محیطی به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و ایده‌آل با عملکرد بالا ضروری است. روش‌های مختلف پایداری پارامتریک و غیرپارامتریک برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تلفیق روش‌های محاسباتی و گرافیکی به شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار کمک می‌کند. در این مطالعه با توجه به اثر بسیار معنی‌دار اکوتیپ × محیط در هرکدام از شرایط مورد بررسی (تاریخ کشت، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا) یکی از اکوتیپ‌های مورد مطالعه عملکرد بالاتری داشته است. به‌استثنای تاریخ کاشت ۲ اردیبهشت ماه در سایر شرایط، اکوتیپ صفاشهر بالاترین عملکرد را داشته است. تاریخ کاشت ۱۱ اسفند ماه نسبت به دو تاریخ دیگر از نظر تولید وزن خشک بوته مناسب‌تر بود. نتایج آماره‌های میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه، ضریب تغییرات، واریانس محیطی، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا در شناسایی

اکوتیپ‌های پایدار مشابه بوده است به‌گونه‌ای که اکوتیپ‌های صفاشهر و نی‌ریز اکوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند و سایر اکوتیپ‌ها پایداری متوسطی دارند. بر مبنای روش ابره‌ارت و راسل اکوتیپ خانه‌خوره دارای نزدیک‌ترین شیب به یک و انحراف از رگرسیون پایین می‌باشد لذا پایدارترین اکوتیپ به‌شمار می‌آید. اکوتیپ‌های قصرقند، صفاشهر و فولادشهر سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد و سایر اکوتیپ‌ها دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد معرفی شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد اولین مؤلفه اصلی ۶۹/۱٪ از تغییرات بین داده‌ها را توجیه می‌کند و در این مؤلفه وزن خشک بوته، میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه، نسبت شاخص عملکرد، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و واریانس محیطی اهمیت بالایی دارند که بیانگر همبستگی بالایی این آماره‌ها می‌باشد. همبستگی رتبه اسپیرمن نیز مؤید این مطلب است.

References

- Abraha, M. T., Shimelis, H., Solomon, T., & Hailu, A. (2019). Genotype-by-environment interaction and selection of elite wheat genotypes under variable rainfall conditions in northern Ethiopia. *Journal of Crop Improvement*, 33(6), 797-813.
- Akbarpour, O. A., Dehghani, H., & Sorkhi-Lalehloo, B. (2012). Study of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Iran using regression methods. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 155-170. [In Persian]
- Alizade, A. (2005). The Relationship Between Water and Soil. Five Publication, Astan Ghods Razavi, 472p. [In Persian]
- Angelard, C., Colard, A., Niculita-Hirzel, H., Croll, D., & Sanders, I. R. (2010). Segregation in a mycorrhizal fungus alters rice growth and symbiosis-specific gene transcription. *Current Biology*, 20(13), 1216-1221.
- Anley, W., Zeleke, H., & Dessalegn, Y. (2013). Genotype X environment interaction of maize (*Zea mays* L.) across North Western Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(9), 171-181.
- Aroca, R., del Mar Alguacil, M., Vernieri, P., & Ruiz-Lozano, J. M. (2008). Plant responses to drought stress and exogenous ABA application are modulated differently by mycorrhization in tomato and an ABA-deficient mutant (sitians). *Microbial Ecology*, 56, 704-719.
- Becker, H. C., & Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101(1), 1-23.
- Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kassae, M. Z., Modares Sanavi, S. A. M., & Sorooshzadeh, A. (2018). Improving growth and yield of wheat under drought stress via application of SiO2 nanoparticles. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(7), 1479-1492.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Chialva, M., Salviole di Fossalunga, A., Daghighi, S., Ghignone, S., Bagnaresi, P., Chiapello, M., ... & Bonfante, P. (2018). Native soils with their microbiotas elicit a state of alert in tomato plants. *New Phytologist*, 220(4), 1296-1308.
- Cornelius, P. L., Seyedsadr, M., & Crossa, J. (1992). Using the shifted multiplicative model to search for "separability" in crop cultivar trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 84, 161-172.

- De la Vega, A. J., Hall, A. J., & Kroonenberg, P. M. (2002). Investigating the physiological bases of predictable and unpredictable genotype by environment interactions using three-mode pattern analysis. *Field Crops Research*, 78(2-3), 165-183.
- Dia, M., Wehner, T. C., Elmstrom, G. W., Gabert, A., Motes, J. E., Staub, J. E., Tolla, G. E., & Widders, I. E. (2018). Genotype x Environment interaction for yield of pickling cucumber in 24 US environments. *Open Agriculture*, 3(1), 1-16.
- Eberhart, S. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, 6(1), 36-40.
- Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., & Zali, H. (2012). Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 514-524.
- Fazeli, M. R., Amin, G., Attari, M. M. A., Ashtiani, H., Jamalifar, H., & Samadi, N. (2007). Antimicrobial activities of Iranian sumac and avishan-e shirazi (*Zataria multiflora*) against some food-borne bacteria. *Food Control*, 18(6), 646-649.
- Fox, P. N., & Rosielle, A. A. (1982). Reducing the influence of environmental main-effects on pattern analysis of plant breeding environments. *Euphytica*, 31, 645-656.
- Francis, T. R., & Kannenberg, L. W. (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58(4), 1029-1034.
- Ghorani, V., Beigoli, S., Khazdair, M. R., & Boskabady, M. H. (2022). The effect of *Zataria multiflora* on respiratory allergic and immunologic disorders, experimental and clinical evidence: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 36(3), 1135-1155.
- Hashemi, S. A., Azadeh, S., Nouri, B. M., & Navai, R. A. (2017). Review of pharmacological effects of *Zataria multiflora* Boiss. (thyme of Shiraz). *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 6(8), 78-84.
- Heydari, M. M., & Maleki, A. (2014). Effect of phosphorus sources and mycorrhizal inoculation on root colonization and phosphorus uptake of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(8), 235-248.
- Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47, 189-194.
- Huhn, M. (1979). Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationen beruhenden stabilitatsparameter. *EDV in Medizin Und Biologie*, 10, 112-117.
- Jafari, M., Asghari, Z.R., Alizadeh, B., Sofalian, O., & Zare, N. (2015). Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45, 585 -592. [In Persian]
- Kang, M. S. (1997). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62, 199-252.
- Kang, M. S., & Pham, H. N. (1991). Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. *Agronomy Journal*, 83(1), 161-165.
- Khan, M. A. U., Mohammad, F., Khan, F. U., Ahmad, S., Raza, M. A., & Kamal, T. (2020). Comparison among different stability models for yield in bread wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(1), 282-290.
- Ketata, H. (1988). Genotype× environment interaction. *Proceedings of Biometrical Techniques for Cereal Breeders. ICARDA, Aleppo, Syria*, 16-32.
- Khalili, M., Pour-Aboughadareh, A. (2016). Parametric and nonparametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 789-803.
- Khalili, M., Pour-Aboughadareh, A., & Naghavi, M. R. (2016). Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental & Experimental Biology*, 14(1).14:33-41.
- Koch, A. M., Antunes, P. M., Maherali, H., Hart, M. M., & Klironomos, J. N. (2017). Evolutionary asymmetry in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: conservatism in fungal morphology does not predict host plant growth. *New Phytologist*, 214(3), 1330-1337.
- Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 193-198.
- Lin, C. S., & Binns, M. R. (1991). Genetic properties of four types of stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 82, 505-509.
- Mahboubi, M. (2018). Management of acute cough by *Zataria multiflora* Boiss. as an alternative treatment. *Journal of Integrative Medicine*, 16(1), 20-25.
- Mahboubi, M. (2019). Therapeutic potential of *Zataria multiflora* Boiss. in treatment of irritable bowel syndrome (IBS). *Journal of Dietary Supplements*, 16(1), 119-128.
- Mateus, I. D., Masclaux, F. G., Aletti, C., Rojas, E. C., Savary, R., Dupuis, C., & Sanders, I. R. (2019). Dual RNA-seq reveals large-scale non-conserved genotype× genotype-specific genetic reprogramming and molecular crosstalk in the mycorrhizal symbiosis. *International Society for Microbial Ecology*, 13(5), 1226-1238.

- Miransari, M. (2010). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. *Plant Biology*, 12(4), 563-569.
- Mohammadi, R., & Amri, A. (2008). Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica*, 159, 419-432.
- Mohammadi, R., Roostaei, M., Ansari, Y., Aghaee, M., & Amri, A. (2010). Relationships of phenotypic stability measures for genotypes of three cereal crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 90(6), 819-830.
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghogh, H., Shahbazi, K., & Sharifi, P. (2018). Use of parametric and non-parametric methods for genotype× environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genetic Researches*, 4(2), 75-88. [In Persian]
- Mohammadinejad, G., & Rezai, A. M. (2005). Analysis of genotype× environment interaction and study of oat (*Avena sativa* L.) genotypes pattern. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 9(2), 77-89.
- Mohtashami, R. (2023). Genotype × environment interaction and grain yield stability analysis of rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 113-122. [In Persian]
- Mortazavi Moghaddam, S. G., Kianmehr, M., Khazdair, M. R. (2020). The possible therapeutic effects of some medicinal plants for chronic cough in children. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020(1), 2149328.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Magaji, U., Miah, G., Hussin, G., & Ramli, A. (2017). Genotype× Environment interaction and stability analyses of yield and yield components of established and mutant rice genotypes tested in multiple locations in Malaysia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 67(7), 590-606.
- Scapim, C. A., Oliveira, V. R., Braccini, A. D. L., Cruz, C. D., Andrade, C. A. D. B., & Vidigal, M. C. G. (2000). Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. *Genetics and Molecular Biology*, 23, 387-393.
- Soleimani, B., Khosh-Khui, M., & Ramezani, S. (2011). Planting date effects on growth, seed yield essential oil content and chemical composition of ajowan. *Journal of Applied Biological Sciences*, 5(3), 7-11.
- Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.
- Subira, J., Álvaro, F., del Moral, L. F. G., & Royo, C. (2015). Breeding effects on the cultivar× environment interaction of durum wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 68, 78-88.
- Tai, G. C. (1971). Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Science*, 11(2), 184-190.
- Ullah, I., Ayub, M., Khan, M. R., Ashraf, M., Mirza, M. Y., and Yousef, M. (2007). Graphical analysis of multi-environment trial (MET) data in sunflower (*Helianthus annuus* L.) through clustering and GGE biplot technique. *Pakistan Journal of Botany*, 39, 1639-1646.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., ... & Siddique, K. H. (2019). Integrating different stability models to investigate genotype× environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, 215, 1-18.
- Vaezi, B., Mohtashami, R., Jozian, A., & Mirzaei, A. (2023). Evaluation of genotype × environment interaction and stability analysis of grain and forage yield of grass pea (*Lathyrus sativa* L.) genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 15(45), 183-193. [In Persian]
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47, 643-655.
- Yue, G. L., Roozeboom, K. L., Schapaugh Jr, W. T., & Liang, G. H. (1997). Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. *Plant Breeding*, 116(3), 271-275.
- Zali, H., Farshadfar, E., & Sabaghpour, S. H. (2011). Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. *Crop Breeding Journal*, 1, 89-100.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. In *Biological Forum, An International Journal*, 7(2), 703-711.