Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 1, Page 37-65 (2024)

DOI:10.22092/ijmapr.2023.360446.3247

Empact of some ecological Factors on *Peganum harmala* L. structural and yield traits in Mazandaran

Khadijeh Talebi Qadiklai[1], Hossein Moradi[2]* and Razieh Azimi[3]

1- M.Sc. student, Department of Horticultural sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Mazandaran, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Mazandaran, Iran, E-mail: moradiho@yahoo.com
3- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: October 2022 Revised: February 2023 Accepted: May 2023

Abstract

Background and purpose: The *Peganum hamala* L. medicinal plant belongs to the Nitrariaceae family and is a native species of the Peganum genus in Iran. P. hamala possesses a wide range of unique biological and medicinal properties due to its valuable secondary metabolites like flavonoids, alkaloids, anthraquinones, and volatile oil compounds. Despite the widespread distribution of P. hamala in northern Iran, limited studies were conducted on this plant species adapted to arid and semi-arid ecological conditions. Therefore, in this regard, one of the goals of this research is to evaluate the ecological impact and the effect of fixed latitude and different geographical longitudes of the growing place along with the rhizosphere on some structural and yield traits of P. hamala under nine altitude gradients located in Mazandaran.

Methodology: To investigate the effect of ecological factors on the structural traits (wet and dry weight of vegetative organs, fresh and dry weight of root, dry matter percentage of vegetative organs, dry matter percentage of root, arch, plant height, plant canopy area, diameter and length of root, and maximum length of stem and crown) and yield traits (fruit diameter, fruit yield, fruit weight, seed weight, average number of seeds, number of fruits, and percentage of seeds in the fruit) of *P. hamala*, samples of whole plants in the seeding stage were collected from nine different altitude gradients in regions of Khatirkoh (700 and 1000 m), Chahardangeh (1300, 1500, 1700, and 1900 m), and Gadook (2100, 2300, and 2500 m), with three replications along with the substrate soil in a completely random design.

Results: Based on the results of the analysis, yield traits show a positive correlation with atmospheric Based on the analysis, yield traits are positively correlated with atmospheric factors. Furthermore, among the structural traits, stem vegetative traits are positively correlated with precipitation, evaporation, and radiation at the probability level of 5%. They also have a negative correlation with relative humidity at 1%. The increase in height above sea level causes an increase in humidity and a decrease in temperature in the Gadook and Khatirkoh areas. In contrast, it causes decreased humidity and temperature in the Chahardangeh area. Also, crop yield decreases with increasing altitude in all three regions. The maximum yield of the product

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

is observed at 2100 m and 1500 m altitudes. The increase is due to increased silty materials, moisture, EC, and pH. The altitude slope shows a positive correlation with grain yield at 1%. In each region, as height above sea level increases, the root length and diameter increase and decrease, respectively. Stem and root vegetative traits show a negative correlation with seed traits. Also, canopy level with plant height and maximum plant stem arch were positively correlated with plant yield at the 1% probability level. In general, based on the results, by increasing the height gradient from sea level, decreasing the temperature, and increasing the humidity and nutrients of the soil, there is a decrease in vegetative growth and an increase in crop yield. According to the performance feature regression model, as elevation increased, the amount of sand and clay, organic matter, and evaporation increased. This led to an increase in yield with a 60% determination factor. According to the regression model used, the effect of soil factors is higher than weather and climate. Therefore, climate factors change for this plant at a fixed latitude.

Conclusion: According to the results of examining the structural and yield traits of the collected *P. hamala* ecotypes, yield traits increase with the increase in altitude gradient, the amount of sand and clay, organic substances, evaporation, and decrease in temperature. On the other hand, vegetative traits decrease. Therefore, the Gadook region population is introduced as the superior ecotype with maximum yield traits among these studied regions in Mazandaran province.

Keywords: Espand (*Peganum harmala* L.), evaporation, radiation, drought, seed, structural and yield traits, organic substances.

ارزیابی تأثیر برخی از عوامل اکولوژیکی بر صفات ساختاری و عملکردی گیاه اسپند (*Peganum harmala* L.) در مازندران

خدیجه طالبی قادیکلائی[۱]، حسین مرادی[۲*] و راضیه عظیمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، پست الکترونیک: moradiho@yahoo.com

۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۱ تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: گیاه دارویی اسپند (*Peganum hamala* L.) متعلق به تیره قره‌داغیان (Nitrariaceae) و یکی از گونه‌های بومی جنس Peganum در ایران است. اسپند به دلیل داشتن متابولیت‌های ثانویه ارزشمند مانند فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، آنتراکینون‌ها و ترکیب‌های روغنی فرّار، دارای طیف وسیعی از خواص بیولوژیکی و دارویی منحصربه‌فرد می‌باشد. با وجود پراکنش وسیع گیاه اسپند در مناطق مرتفع شمال ایران، مطالعات محدودی روی این گونه گیاه سازگار با شرایط اکولوژیکی خشک و نیمه‌خشک کشور انجام شد. بنابراین در این راستا، ارزیابی تأثیر اکولوژیکی و اثر عرض ثابت و طول متفاوت جغرافیایی محل رویش به همراه ریزوسفر بر برخی از خصوصیات ساختاری و عملکردی گیاه اسپند در نه گرادیان ارتفاعی مختلف واقع در مازندران از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر عوامل اکولوژیکی بر صفات ساختاری (وزن تر و خشک اندام رویشی، وزن تر و خشک ریشه، ۵٪ ماده خشک اندام رویشی، ۵٪ ماده خشک ریشه، قوس، ارتفاع گیاه، مساحت کانوپی گیاه، قطر و طول ریشه، طول حداکثری ساقه و طوقه) و صفات عملکردی (قطر میوه، عملکرد میوه، وزن میوه، وزن دانه، تعداد متوسط دانه‌ها، تعداد میوه و ۵٪ دانه‌ها در میوه) گیاه اسپند، نمونه‌هایی از گیاه کامل در مرحله بذردهی از نه گرادیان ارتفاعی مختلف در مناطق خطیرکوه (۷۰۰ و ۱۰۰۰ متر)، چهاردانگه (۱۳۰۰، ۱۵۰۰، ۱۷۰۰ و ۱۹۰۰ متر) و گدوک (۲۱۰۰، ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰)) با ۳ تکرار به همراه خاک بستر در طرح کاملاً تصادفی جمع‌آوری شدند.

نتایج: براساس نتایج آنالیزها، صفات عملکردی همبستگی مثبت با عوامل جوی نشان دادند. همچنین از میان صفات ساختاری، صفات رویشی ساقه با بارش، تبخیر و تابش همبستگی مثبت در سطح احتمال ۵٪ و با رطوبت نسبی همبستگی منفی در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. افزایش ارتفاع از سطح دریا در مناطق گدوک و خطیرکوه موجب افزایش رطوبت و کاهش دما و در منطقه چهاردانگه منجر به کاهش رطوبت و دما می‌شود. همچنین، با افزایش ارتفاع از سطح دریا در هر سه منطقه، عملکرد محصول کاهش می‌یابد و حداکثر عملکرد محصول در ارتفاعات ۱۵۰۰ و ۲۱۰۰ متر با افزایش مواد سیلتی، رطوبت، EC و pH مشاهده می‌شود. گرادیان ارتفاعی، همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ با عملکرد بذر نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا در هر منطقه، طول و قطر ریشه به‌ترتیب افزایش و کاهش پیدا می‌کند. صفات رویشی ساقه و ریشه همبستگی منفی با صفات بذر نشان می‌دهد. همچنین، سطح کانوپی با ارتفاع گیاه و حداکثر قوس ساقه گیاه با عملکرد گیاه همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. به‌طور کلی براساس یافته‌ها، با افزایش گرادیان ارتفاعی از سطح دریا، با کاهش دما و افزایش رطوبت و مواد مغذی خاک، کاهش رشد اندام رویشی و افزایش عملکرد محصول وجود دارد. همچنین، طبق مدل رگرسیونی صفت عملکرد؛ با افزایش گرادیان ارتفاعی، میزان شن و رس، مواد آلی و تبخیر افزایش می‌یابد که به‌دنبال آن افزایش عملکرد با ضریب تعیین ۶۰٪ مشاهده می‌شود. با توجه به مدل رگرسیونی بکار برده شده، اثرگذاری عوامل خاک بیشتر از آب و هوا می‌باشد. بنابراین، برای این گیاه در یک عرض جغرافیایی ثابت، عوامل آب و هوایی دارای تغییرات جزئی هستند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از بررسی صفات ساختاری و عملکردی اکوتیپ‌های جمع‌آوری شده گیاه اسپند، صفات عملکردی؛ با افزایش گرادیان ارتفاعی، میزان شن و رس، مواد آلی و تبخیر و کاهش دما، افزایش یافته و در مقابل، صفات رویشی کاهش می‌یابد. بنابراین، جمعیت منطقه گدوک با دارا بودن حداکثر صفات عملکردی به عنوان اکوتیپ برتر از میان مناطق مورد بررسی در استان مازندران معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسپند (*Peganum harmala* L)، تبخیر، تابش، خشکی، دانه، صفات ساختاری، صفات عملکردی، مواد آلی.

مقدمه

اسپند با نام علمی *Peganum harmala* L. متعلق به تیره قره‌داغیان (Nitrariaceae) است. پیش‌تر این سرده را در تیره قیچیان (Zygophyllaceae) جای داده بودند. سرده اسپند دارای شش گونه است که در بخش‌های مختلف جهان پراکنده‌اند (Aslam *et al.*,). ایران نیز رویشگاه یک گونه با نام علمی *P. harmala* می‌باشد. گیاهان این سرده علفی، چندساله، پایا با ساقه‌های منشعب، فاقد کرک، به ارتفاع حداکثر ۱۰۰ سانتی‌متر، با برگ‌های متراکم، ریشه خزنده، گل‌های زرد و سفید کم‌رنگ با پنج گلبرگ و پنج کاسبرگ می‌باشد و میوه این گیاه کپسول است (Akhyani *et al.*, 2002). میوه کپسول کروی شکل و محتوای دانه‌های قهوه‌ای رنگ است. نافه آن دارای ۱۵ پرچم است که دارای میله‌هایی برهنه هستند که در قاعده پهن و عریض می‌باشد. پنج پرچم بیرونی مقابل گلبرگ‌ها و پنج پرچم داخلی مقابل کاسبرگ‌ها هستند. تخمدان پایه‌دار، کروی شکل، شامل سه یا چهار خانه، تخمک‌های متعدد و خامه‌ای سه پهلو است. فصل گلدهی و میوه‌دهی آن اواسط تا اواخر بهار و اواسط تابستان است. ابن سینا، دانشمند بزرگ ایرانی، اولین کسی بود که به خواص دارویی اسپند توجه زیادی کرد.

P. harmala معروف به اسفند، سداب سوری، سداب آفریقایی و هارمل است (Lamchouri *et al.*, 2013). این گیاه زروفیتی در بسیاری از نواحی بایر و حاشیه‌های کویر ایران می‌روید. به‌طور خودرو در شرایط نیمه‌خشک، مناطق استپی و خاک‌های شنی، بومی منطقه مدیترانه شرقی و به‌طور گسترده در خاورمیانه، هند، مغولستان، چین و ایران رشد می‌کند. با توجه به اینکه در مناطق کویری بارش باران‌هایی با شدت زیاد و مدت کوتاه بسیار رایج است، این گیاه می‌تواند از جاری شدن سیل جلوگیری کند. بنابراین، گیاه اسپند توانایی خوبی در حفظ و ذخیره خاک دارد (Ahmed & Khan, 2010). همچنین، گیاهی متحمل به خشکی بوده و می‌تواند طیف وسیعی از شرایط محیطی را تحمل کند (Aslam *et al.*,) و در بازسازی اکوسیستم محلی و جلوگیری از طوفان ریزگردها نقش مهمی ایفاء می‌کند (Khadem Moghadam Igdelo & Golchin, 2018). در رویشگاه این گیاه نمک‌های مختلفی مانند سولفات سدیم، سولفات منیزیم، کلرید منیزیم، کربنات سدیم و کلرید پتاسیم وجود دارد. بر این اساس در مطالعات مختلفی به بررسی عناصر و مواد مغذی خاک پرداخته شده و ارتباط این عناصر با عوامل مختلف محیطی بررسی شده است (Mohammadi Samani *et al.*, 2010).

گیاه *P. harmala* برای اهداف دارویی، پزشکی و طب سنتی ارزشمند بوده و در صنایع آرایشی و بهداشتی از قسمت‌های ریشه و دانه اسپند استفاده می‌شود (Asgarpanah & Ramezanloo, 2012؛ Li *et al.*, 2017؛ Bukhari *et al.*, 2008). دانه‌ها و ریشه‌های این گیاه حاوی آلکالوئیدهای بتا–کاربولین مختلف شامل هارمین، هارمالین، هارمالول و هارمول و آلکالوئیدهای کینولین مانند پگانین، وازسین و واسیسینون می‌باشد (Kartal *et al.*, 2003؛ Zayed & Wink, 2005). متوسط ترکیب شیمیایی این گیاه شامل ۵/۶۹٪ آب، ۱۷/۷۵٪ ماده خشک، ۱۸/۰۵٪ سلولز، ۳/۶۶٪ چربی، ۲۴/۱۳٪ پروتئین و ۳۰/۷۲٪ عصاره بدون نیتروژن است. اسپند، گیاه رنگ‌زا است. همچنین، خاصیت حشره‌کشی دارد و برای مقابله با حشرات استفاده می‌شود. وجود برخی ترکیب‌های اولیه مانند اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه ویژه و نیز ترکیبات ثانویه مانند فلاونوئیدها،

آلکالوئیدها، روغن‌های فرّار و آنتراکینون‌ها سبب بکارگیری آن در درمان بیماری‌های متعدد مانند آسم، مالاریا، سرطان خون، روماتیسم، بیماری‌های قلبی، کبد و ریه شده است (Li *et al*., 2017). همچنین، این گیاه دارای خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی، ضد ویروسی و ضد لیشمانیا (Leishmaniasis) است (Mirzaie *et al*., 2007؛ Li *et al*., 2017). دانه اسپند به دلیل داشتن روغن و اسیدهای چرب در صنعت ساخت صابون، لوازم آرایشی و بهداشتی، روان‌کننده و نرم‌کننده در کشور مصر استفاده می‌شود (Moussa & Almaghrabi, 2016).

حفاظت از تنوع زیستی، یکی از دغدغه‌های جوامع انسانیست. مطالعه گونه‌ها در سطح جمعیت در نتیجه افزایش بار تأثیرات انسانی در دوره مدرن، روشن کردن پاسخ گیاهان به عوامل غیرزنده، زیستی و انسانی را ممکن می‌کند. بنابراین، برای درک راهبرد یک گیاه باید رویکردی یکپارچه نسبت به آن داشت و آن را در سطح جامعه گیاهی کاوش کرد. عوامل محیطی که به‌طور مثبت یا منفی بر روی گیاه تأثیر می‌گذارد، منجر به ظهور علائم سازگاری با شرایط مختلف مؤثر گیاهان می‌شود. در نتیجه، این موضوع منجر به توسعه گونه در جمعیت یا انقراض کامل آن در جامعه گیاهی می‌شود.

با توجه به تغییرات آب و هوایی جهانی، مناطق مرتفع همیشه توجه اکولوژیست‌ها را به خود جلب کرده است. زیرا مناطق مرتفع نسبت به سایر مناطق حساس‌تر به تغییرات آب و هوایی هستند. بنابراین، محیط‌های کوهستانی به‌طور خاص بر بقاء و تکامل بیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارند. بیشتر گیاهان کوهستانی آب و هوای سخت را در ارتفاعات کوهستانی تجربه می‌کنند، مانند دمای بسیار پایین، غلظت کم اکسیژن، اشعه ماوراء بنفش (UV)، خشکی و اغلب شرایط باد شدید. بنابراین، گیاهان کوهستانی با سازوکارهای دفاعی زیادی تکامل یافته‌اند که به آنها کمک می‌کند تا در ارتفاعات بالا زنده بمانند. برای نمونه، برخی از گیاهان آلپ کوتولگی را با شاخص سطح برگ کوچک نشان می‌دهند که از تنش ناشی از باد شدید جلوگیری می‌کند (Xiong *et al*., 2002). یک کرک مویین، برگ‌ها و ساقه بیشتر گیاهان آلپ را می‌پوشاند تا از آنها در برابر دمای پایین محافظت کند. گیاهان با تعمیق ساختار ریشه و افزایش کنترل روزنه‌ای، مانع از دست دادن آب می‌شوند (Ma *et al*., 2015). بنابراین، گیاهان کوهستانی از چندین راهبرد مورفولوژیکی برای انطباق محیط با ارتفاع بالا استفاده می‌کنند که این پژوهش می‌تواند در راستای هدف دستیابی به گونه یا جمعیت مقاوم باشد.

تفاوت بین گونه‌های جنس اسپند، بجز اندازه و مورفولوژی میوه آنها ناچیز است (DeCraene *et al*., 1996). ارزیابی تنوع ژنتیکی به‌وسیله انواع مختلفی از نشانگرها شامل مورفولوژی، سیتولوژی، بیوشیمیایی و مولکولی انجام می‌شود (Singh *et al*., 2004). اختصاصات ساختاری و عملکردی جزء اولین و ساده‌ترین نشانگرهایی هستند که به‌دلیل عدم نیاز به تکنیک‌های مولکولی یا بیوشیمیایی و هزینه پایین در دسته‌بندی توده‌ها و ارقام گیاهی مورد توجه هستند (Farsi & Zolali, 2003). تاکنون تحقیقات زیادی برای ارزیابی تنوع ژنتیکی با استفاده از صفات ساختاری و عملکردی در گیاهان دارویی انجام شده است (Lal, 2013؛ Arriel *et al*., 2007). Atashgahi و همکاران (۲۰۱۸)، در طی پژوهشی به بررسی جوامع گیاهی دودانگه در گرادیان ارتفاعی ۹۰۰–۱۹۰۰ متر پرداختند. گزارش‌های بسیاری در زمینه اکولوژی این گیاه وجود دارد (Khatami Moghaddam *et al*., 2019؛ Abbott *et al*., 2008). Moghaddam Khatami و همکاران (۲۰۱۹)، طی پژوهشی به بررسی اکولوژیکی گیاه *P. harmala* در مناطق آمل (۳ گرادیان ارتفاعی) پرداختند. Han & An (۲۰۰۹)، پژوهشی به منظور جداسازی و شناسایی زیستگاه‌های ریزماهواره‌ای گیاه *P. harmala* برای بررسی ژنتیک جمعیت و واگرایی مورفولوژیکی بین این گونه و گونه *P. nigellastrum* انجام داده‌اند. Makhmudova (۲۰۲۱)، تأثیر عوامل اکولوژیکی بر چرخه زندگی گیاه *P.harmala* را در طول سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ در کشور آذربایجان بررسی کرد. DeCraene و همکاران (۱۹۹۶)، طی پژوهشی به مطالعه

مورفولوژی و ساختاری گل و آناتومی عروقی گیاه *P. harmala* پرداختند.

Magana-Ugarte و همکاران (۲۰۱۹)، تحقیقی جامع بر روی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان مرتفع مدیترانه‌ای و آلپی به تنش‌های غیرزیستی ترکیبی انجام دادند. همچنین، مورفولوژی میکروسکوپی ساختمان پوششی بذر گیاه *P. harmala* در عربستان (Soliman *et al*., 2010) و بلغارستان (Semerdjieva & Yankova., 2017) بررسی شده و براساس طبقه‌بندی ریخت‌شناسی Thompson (۱۹۹۳)، طبقه‌بندی دانه اسپند انجام شد. Rhazia Stricto که در ایران به Eshvarak معروف است، نزدیکترین ویژگی ساختاری و مورفولوژیکی را به *P. harmala* دارد (Amini- behbahani & Sadeghpour, 2019).

بااین‌حال، مطالعه زیست‌شناسی و اکولوژیکی این گونه به خوبی مستند نشده است و بسیاری از دانش ما در مورد این گیاه فرضی است (Michelmore, 1997). شمال ایران به‌ویژه رشته کوه البرز یکی از مهمترین مناطق فلوریستی ایران است که از تنوع زیستی گیاهان دارویی بالایی برخوردار است. از یک‌سو با توجه به مطالعات محدود انجام شده بر روی گیاه *P. harmala* در مناطق مرتفع شمال ایران و از سوی دیگر با توجه به نیاز کشور به گونه‌های گیاهان دارویی سازگار با شرایط اکولوژیکی خشک و نیمه‌خشک، در این پژوهش به بررسی تأثیر اکولوژیکی، اثر عرض ثابت و طول متفاوت جغرافیایی محل رویش به همراه ریزوسفر بر برخی از خصوصیات ساختاری و عملکردی گیاه اسپند پرداخته شد. تغییر ارتفاعی سبب تغییر در عوامل اقلیمی و اکولوژیکی در یک زمان مشخص شده و به لحاظ ایجاد تغییر در خصوصیات فیزیولوژیکی و نیز تنوع ژنتیکی، نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بنابراین در این تحقیق، سه منطقه رویشگاه اسپند از استان مازندران با اختلاف ۹ ارتفاع (مناطق خطیرکوه (۷۰۰ و ۱۰۰۰ متر)، چهاردانگه (۱۳۰۰، ۱۵۰۰، ۱۷۰۰ و ۱۹۰۰ متر) و گدوک (۲۱۰۰، ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰ متر)) انتخاب گردید و نمونه‌های خودرو اسپند به همراه خاک بستر جمع‌آوری شد و بعد خصوصیات مذکور ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق گیاه کامل *P. harmala* در مرحله بذردهی از سه منطقه با اختلاف ۹ ارتفاع در تابستان سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. مشخصات جغرافیایی اکوتیپ‌های *P. harmala* مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. اطلاعات هواشناسی نیز از طریق ایستگاه‌های هواشناسی ساری و فیروزکوه دریافت و در جدول ۲ گزارش گردید. همچنین، تصاویری از اکوتیپ‌های مورد مطالعه گیاه اسپند در شکل ۱ نمایش داده شده است.

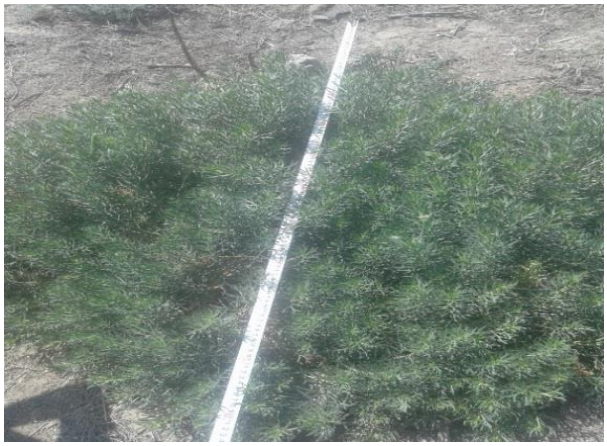
به‌منظور اندازه‌گیری صفات ساختاری و عملکردی گیاه اسپند (در هر گرادیان ارتفاعی نمونه‌ها با سه تکرار به فاصله ۲۰۰ متر از هم جمع‌آوری شده است و به نسبت یک هکتار تعمیم داده شده است)، نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل شد. وزن تر و خشک گیاه، وزن کپسول و دانه‌ها با ترازو و برحسب گرم، قوس، حداکثر ارتفاع و مساحت کانوپی گیاه با خط‌کش برحسب سانتی‌متر مربع (برحسب مساحت سایه‌اندازی تاج گیاه) و قطر کپسول‌ها و ریشه‌ها با کولیس برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Khatami *et al*., 2019؛ Moghaddam *et al*., 2019؛ Moradi *et al*., 2019؛ Makhmudova, 2021؛ Decraene *et al*., 1996). خشک کردن اندام رویشی در آون در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. کپسول‌ها به مدت یک هفته در دمای اتاق (۲۵°C) خشک شدند و ریشه‌ها هم بعد از ۲ هفته خشک شدن در دمای اتاق، در آون دمای ۴۲°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. نمونه‌برداری به صورت طرح کاملاً تصادفی آشیانه‌ای (نقطه‌گذاری شده) با ۳ تکرار به فاصله ۲۰۰ متر از هم در هر گرادیان ارتفاعی انجام شد. داده‌ها در نرم‌افزار Excel 2016 وارد شد و بعد با نرم‌افزار SPSS 19 اطلاعات توصیفی، همبستگی پیرسون و تجزیه به عامل‌ها براساس حداکثر چرخش Varimax بدست آمد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی اکوتیپ‌های ***Peganum harmala*** مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of *Peganum harmala* ecotypes studied

Region	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Khatirkuh	700 1000	53°59′16″ E	35°59′16″ N
Chahardangeh	1300 1500 1700 1900	36°24′35″ E	35°26′55″ N
Gadook	2100 2300 2500	52°55′43″ E	35°49′54″ N

Chahardangeh September



Khatirkuh August

Chahardangeh May

Gadook August

شکل ۱- اکوتیپ‌های مورد مطالعه گیاه دارویی ***Peganum harmala***

Figure 1. *Peganum harmala* ecotypes studied

نمونه‌برداری خاک

برای نمونه‌برداری خاک از گرادیان ارتفاعی، در هر سایت سه ترانسکت به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر مستقر شد و نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از ابتدا، انتها و میانه هر ترانسکت نمونه‌برداری شد. سپس نمونه‌های هر ترانسکت با یکدیگر مخلوط شده و پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شدند. در آزمایشگاه پارامترهای پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و فسفر قابل جذب به روش اولسن با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. اطلاعات ویژگی‌های خاک حمایت‌کننده گیاه *P. harmala* در جدول ۳ نشان داده شد. اختلاف معنی‌داری عناصر مورد بررسی بین طبقات ارتفاعی مختلف به روش دانکن در نرم‌افزار Spss.Ver.22 مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته و از نظر اختلاف معنی‌داری با میزان صفات ساختاری و عملکردی آنالیز شدند.

جدول ۳- ویژگی‌های خاک حمایت‌کننده در گرادیان‌های ارتفاعی مختلف اکوتیپ‌های مورد مطالعه گیاه *Peganum harmala*

Table 3. Soil characteristics supporting in different altitude gradients of *Peganum harmala* ecotypes studied

Region	Altitude (m)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OC (%)	OM (%)	pH	EC ($\mu S.cm^{-1}$)	TNV (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Khatirkuh	700	46	32	22	2.98	5.14	8.31	1.27	14.50	0.18	11.00	313
	1000	46	33	21	1.71	2.95	8.20	1.09	5.50	0.11	9.00	281
Chahardangeh	1300	20	40	40	0.58	1.01	8.44	0.65	41.00	0.04	5.50	250
	1500	64	28	8	0.16	0.27	8.34	2.30	10.00	0.02	4.00	138
	1700	28	45	27	0.29	0.50	8.35	1.91	39.00	0.03	5.50	145
	1900	30	36	34	0.13	0.23	8.55	0.41	38.50	0.03	6.00	199
Gadook	2100	60	24	16	0.66	1.14	8.55	0.97	41.50	0.03	6.00	253
	2300	35	41	24	2.24	3.86	8.27	0.85	22.50	0.12	11.00	270
	2500	40	42	18	2.04	3.53	8.40	0.71	38.50	0.11	17.00	282

TNV: Total neutralizing value, OM: Organic matter, OC: Organic carbon

نتایج

نتایج بررسی همبستگی پیرسون بین پارامترهای ساختاری و عملکردی گیاه اسپند با عوامل اکولوژیکی طبق جدول ۴، نشان می‌دهد که قطر میوه در سطح احتمال ۵٪ و میزان حداکثری ساقه در سطح احتمال ۱٪ با عامل رطوبت همبستگی منفی دارد. قطر و وزن میوه و دانه با دما در سطح احتمال ۵٪ و با میزان بارش، مدت تابش آفتاب و تبخیر در سطح احتمال ۱٪ همبستگی مثبت دارد. این هماهنگی نشان‌دهنده وابستگی و افزایش عملکرد این گیاه با افزایش پارامترهای آب و هوایی است. وزن دانه و تعداد دانه با دما، بارش، مدت تابش آفتاب و تبخیر همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. با توجه به مقدار عناصر غذایی و میزان بارندگی، ۵٪ ماده خشک اندام رویشی با رطوبت در سطح احتمال ۵٪، ۵٪ دانه در کپسول‌ها با دما در سطح احتمال ۱٪، بلندترین ساقه با بارش، مدت تابش آفتاب و تبخیر در سطح احتمال ۵٪ همبستگی مثبت نشان می‌دهند. بین دما و قطر ریشه همبستگی منفی در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد.

تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون عوامل خاک بستر و گرادیان ارتفاعی با پارامترهای ساختاری و عملکردی بین سه منطقه طبق جدول ۵ نشان می‌دهد که ۵٪ دانه در میوه با pH و گرادیان ارتفاعی، درصد ماده خشک با عوامل درصد سیلت خاک، میزان دانه و وزن میوه با EC همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ دارد. بنابراین، با افزایش گرادیان ارتفاع و همچنین با افزایش EC و pH خاک (مناسب‌ترین pH= 8)، افزایش عملکرد را شاهد هستیم. میزان حداکثری ساقه گیاه با P، درصد دانه در میوه با N و تعداد دانه در میوه نیز با OC، OM و N موجود در خاک، قطر کپسول و وزن

میوه با OM، OC، N و K موجود در خاک و وزن تر رویشی و کانوپی با گرادیان ارتفاعی همبستگی منفی در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهند. بنابراین، میزان افزایش N موجب افزایش رشد رویشی و کاهش عملکرد می‌شود و میزان رشد رویشی این گیاه با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد.

طبق آنالیز واریانس (جدول ۶)، در عامل گرادیان ارتفاع از سطح دریا؛ صفات مساحت کانوپی، ارتفاع گیاه، طول ساقه، تعداد میوه، عملکرد محصول، طول ریشه، پوشش کپسولی میوه، وزن خشک گیاه، وزن خشک ریشه، درصد ماده خشک گیاه، درصد دانه در میوه، قطر ریشه، وزن تازه ریشه و اندام رویشی، قطر میوه، وزن میوه، وزن بذر، طوقه و تعداد بذر تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان می‌دهند. بنابراین، گرادیان ارتفاعی تأثیر معنی‌داری بر بیشتر پارامترهای این گیاه بجز میزان قوس و درصد ماده خشک ریشه گذاشته است، که افزایش ضریب تغییرات در بعضی از پارامترها مانند وزن تر و خشک ریشه و اندام رویشی، طوقه و طول ریشه، میزان عملکرد و کانوپی نشان‌دهنده این تنوع و انتخاب ژنوتیپ برتر مناسب در این گیاه می‌باشد.

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین پارامترهای ساختاری و عملکردی گیاه *Peganum harmala* با عوامل اکولوژیکی

Table 4. Pearson correlation between structural and yield parameters of *Peganum harmala* with ecological factors

Ecological parameter	Structural and yield traits										
	Root diameter (mm)	Root length (cm)	Plant dry matter (%)	Root dry matter	Seed in fruit	Canopy (cm^2)	Arch (cm)	Plant height (cm)	Max stem (cm)	Fruit number	Product yield ($g.ha^{-1}$)
Temperature (°C)	-0.39*	0.12	0.305	-0.14	0.54**	-0.26	-0.02	-0.25	0.09	0.32	0.38
Relative wet (%)	-0.19	-0.02	0.411*	0.17	0.15	-0.26	-0.05	0.15	-0.58**	0.22	0.19
Rain (mm)	-0.20	0.11	0	-0.21	0.35	-0.05	0.01	-0.29	0.42*	0.13	0.19
Sun hours(h)	-0.20	0.11	-0.005	-0.21	0.34	-0.05	0.01	-0.29	0.43*	0.12	0.19
Evaporator (mm)	-0.20	0.11	-0.005	-0.21	0.34	-0.05	0.01	-0.29	0.43*	0.12	0.19

Ecological parameter	Structural and yield traits									
	Root dry weight (g)	Collar (mm)	Fresh plant weight (g)	Fresh root weight	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Seed number	Empty fruit weight (g)	Plant dry weight (g)
Temperature (°C)	-0.17	0.03	-0.24	-0.162	0.47*	0.43*	0.70**	0.53**	0.35	-0.09
Relative wet (%)	-0.19	-0.08	-0.37	-0.206	-0.42*	-0.28	-0.24	-0.36	0.35	-0.28
Rain (mm)	-0.02	0.08	0.02	-0.007	0.63**	0.52**	0.71**	0.65**	0.08	0.10
Sun hours (h)	-0.02	0.08	0.03	-0.004	0.63**	0.52**	0.71**	0.65**	0.07	0.10
Evaporator (mm)	-0.02	0.08	0.03	-0.004	0.63**	0.52**	0.71**	0.65**	0.07	0.10

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۵- همبستگی پیرسون بین پارامترهای ساختاری و عملکردی گیاه ***Peganum harmala*** با فاکتورهای خاک و ارتفاع از سطح دریا

Table 5. Pearson correlation between structural and yield parameters of *Peganum harmala* with soil and altitude factors

Ecological parameter	Structural and yield traits										
	Root diameter (mm)	Root length (cm)	Plant dry matter (%)	Root dry matter (%)	Seed in fruit	Canopy (cm^2)	Arch (cm)	Plant height (cm)	Max stem (cm)	Fruit number	Product yield ($g.ha^{-1}$)
Altitude	-0.46*	0.13	0.47*	0.12	0.62**	-0.52**	-0.14	-0.22	-0.41*	0.41*	0.47*
Sand (%)	-0.09	-0.12	-0.38*	-0.27	0.35	0.17	-0.14	-0.01	0.02	0.15	0.31
Silt (%)	-0.06	-0.09	0.53**	0.18	-0.37	-0.16	0.09	0.16	-0.13	-0.3	-0.25
Clay (%)	0.18	0.24	0.20	0.28	-0.27	-0.14	0.15	-0.10	0.04	-0.20	-0.30
OC (%)	0.40*	-0.09	-0.03	0.27	-0.48*	0.20	0.02	0.33	-0.37	-0.09	-0.16
OM (%)	0.40*	-0.09	-0.03	0.26	-0.48*	0.20	0.02	0.33	-0.37	-0.09	-0.16
pH	-0.09	0.47*	0.03	0.07	0.56**	-0.33	-0.29	-0.48*	-0.09	0.01	0.17
EC ($\mu S.cm^{-1}$)	-0.07	-0.47*	-0.07	-0.37	-0.23	0.45*	0.16	0.32	0.46*	0.18	0.10
TNV (%)	-0.07	0.29	0.30	0.15	0.24	-0.38*	-0.18	-0.44*	3-0.02	0.10	0.11
N (%)	0.43*	-0.078	-0.05	0.28	-0.55**	0.23	0.03	0.37	-.35	-0.17	-0.25
P (%)	0.10	0.06	0.12	0.19	-0.12	-0.16	-0.28	0.08	-0.58**	-0.17	-0.20
K (%)	0.41*	0.14	-0.20	0.26	-0.25	0.00	-0.09	-0.03	-0.33	-0.21	-0.18

Ecological parameter	Structural and yield traits									
	Root dry weight (g)	Collar (mm)	Fresh weight of the plant (g)	Root fresh weight (g)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Seed number	Empty capsule weight (g)	Plant dry weight (g)
Altitude	-0.25	0.05	-0.53**	-0.26	0.09	0.08	0.36	0.20	0.35	-0.36
Sand(%)	-0.05	-0.02	0.12	-0.05	0.15	-0.24	0.04	0.26	-0.15	0.04
Silt(%)	-0.16	-0.14	-0.29	-0.16	-0.10	0.40*	0.09	-0.12	0.46*	-0.17
Clay(%)	0.19	0.13	0.03	0.20	-0.16	0.07	-0.12	-0.31	-0.10	0.07
OC (%)	0.19	0.06	0.16	0.18	-0.75**	-0.56**	-0.82**	-0.69**	-0.14	0.09
OM (%)	0.19	0.06	0.16	0.18	-0.75**	-0.56**	-0.82**	-0.69**	-0.14	0.09
pH	0.13	0.34	-0.02	0.13	0.28*	0.09	0.43*	0.42*	0.05	0.05
EC ($\mu S.cm^{-1}$)	-0.18	-0.26	0.10	-0.17	0.33	0.53**	0.10*	0.52**	0.18	0.10
TNV (%)	0.07	0.34	-0.12	0.08	0.29	0.34	0.40*	0.28	0.32	0.02
N(%)	0.20	0.02	0.17	0.19	-0.73**	-0.52**	-0.81**	-0.67**	-0.19	0.09
P (%)	-0.03	0.43	-0.11	-0.05	-0.39*	-0.37	-0.44*	-0.40*	0.31	-0.13
K (%)	0.31	0.25	0.25	0.30	-0.64**	-0.74**	-0.87**	-0.79**	-0.24	0.16

TNV: Total neutralizing value, OM: Organic matter, OC: Organic carbon

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively

براساس نتایج آنالیز میانگین پارامترهای نشان داده شده در جدول ۷، حداکثر طول ساقه و ارتفاع و قوس گیاه تفاوت معنی‌داری در گرادیان ارتفاعی نشان می‌دهند (شکل ۲). بیشینه مقدار وزن تر و خشک اندام رویشی در دو ارتفاع ۷۰۰ و ۱۳۰۰ متر با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر ارتفاعات مشاهده می‌شود (شکل ۳). وزن میوه و تعداد دانه هر میوه در ارتفاع ۱۷۰۰ متر نسبت به سایر ارتفاعات به‌طور معنی‌داری افزایش نشان می‌دهد. افزایش وزن کپسول خالی از دانه در ارتفاع ۲۵۰۰ متر نسبت به سایر ارتفاعات با اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. طول ریشه در ارتفاع ۱۹۰۰ متر با مقدار بیشینه و ۱۷۰۰ متر با مقدار کمینه نسبت به سایر ارتفاعات اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهد (شکل ۴). طول ریشه در هر منطقه با افزایش گرادیان ارتفاعی افزایش یافته، اما قطر ریشه روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۴). حداکثر درصد ماده خشک ریشه در ارتفاعات ۱۷۰۰ و ۲۳۰۰ متر با اختلاف معنی‌دار با سایر ارتفاعات مشاهده می‌شود. کانوپی در ارتفاع ۷۰۰ متر نسبت به سایر ارتفاعات افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۵). میزان کانوپی با افزایش گرادیان ارتفاعی کاهش می‌یابد اما در هر منطقه در ابتدا روند افزایشی و بعد با افزایش گرادیان ارتفاعی کاهش پیدا می‌کند (شکل ۵). قطر ریشه در ارتفاع ۷۰۰ متر با سایر ارتفاعات به‌طور معنی‌داری افزایش نشان می‌دهد (شکل ۶). پارامتر عملکرد در هکتار با بیشینه مقدار در ارتفاعات ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰ متر نسبت به سایر ارتفاعات، اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۷). متوسط تعداد میوه هر بوته در هکتار در ارتفاع ۲۳۰۰ متر نسبت به سایر ارتفاعات اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر ارتفاع از سطح دریا بر صفات ساختاری و عملکردی گیاه ***Peganum harmala***

Table 6. ANOVA of altitude effects on structural and yield traits of *Peganum harmala*

S.O.V.	d.f.	Canopy (cm^2)	Arch (cm)	Plant height(cm)	Max stem (cm)	Fruit number	Product yield ($g.ha^{-1}$)	Root length (cm)
Altitude	8	45231062.00**	39.58^{ns}	119.29**	821.08**	155735.92**	78929.005	161.76**
Experiment	18	2671.24	4.20	6.04	12.38	85.59	54.04	4.74
C.V. (%)		28.33	24.70	18.14	19.48	28.96	29.70	21.34

S.O.V.	d.f.	Empty fruit weight (g)	Plant dry weight (g)	Root dry weight (g)	Plant dry matter (%)	Root dry matter (%)	Seed in fruit	Root diameter (mm)
Altitude	8	0.01**	3412.81**	3582.22**	118.86**	129.18ns	690.6258*	451.45*
Experiment	18	0	24.52	18.58	5.97	7.63	4.49	5.92
C.V. (%)		0	25.75	29.46	19.49	11.91	8.83	26.09

S.O.V.	d.f.	Root fresh weight (g)	Plant fresh weight (g)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Seed number	Collar (mm)
Altitude	8	77607.61**	5534.13**	1.95**	5.86**	0.87**	20556**	2057.31*
Experiment	18	89.42	25.00	2.81	2.43	0	0	15.06
C.V. (%)		27.14	27.60	2.88	1.11	0	0	27.80

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ارتفاع از سطح دریا بر صفات ساختاری و عملکردی گیاه ***Peganum harmala***

Table 7. Means comparison of altitude effects on structural and yield traits of *Peganum harmala*

Region	Structural and yield traits							
	Altitude (m)	**Weight fresh plant (g)**	**Weight dry plant (g)**	**Fruit diameter (mm)**	**Weight fruit (g)**	**Weight seed (g)**	**Seed number**	**Root length (cm)**
Khatirkuh	700	537.60^{a}	240.69^{a}	8.69^{h}	1.20^{g}	0.30^{h}	452^{f}	20.33^{ab}
	1000	308.00^{ab}	78.77^{a}	9.82^{f}	1.50^{f}	0.70^{f}	450^{g}	17.50^{ab}
Chahardangeh	1300	501.60^{a}	177.49^{a}	9.81^{g}	1.80^{e}	0.80^{e}	439^{h}	23.11^{ab}
	1500	338.70^{ab}	33.69^{a}	10.52^{a}	2.50^{b}	1.60^{b}	606^{b}	16.66^{ab}
	1700	235.10^{b}	79.29^{a}	10.46^{b}	5.70^{a}	1.9-^{a}	625^{a}	12.83^{b}
	1900	156.60^{b}	102.21^{a}	10.01^{e}	2.20^{c}	1.50^{c}	563^{c}	31.33^{a}
Gadook	2100	372.30^{ab}	178.61^{a}	10.04^{d}	1.80^{e}	1.20^{d}	551^{d}	22.67^{ab}
	2300	167.10^{b}	96.26^{a}	8.12^{i}	1.00^{h}	0.50^{g}	386^{i}	16.27^{b}
	2500	233.90^{b}	45.22^{a}	10.17^{c}	2.00^{d}	1.20^{d}	533^{e}	24.33^{ab}

Region	Structural and yield traits							
	Altitude (m)	**Empty fruit weight (g)**	**Plant dry weight (g)**	**Root dry weight (g)**	**Root dry matter (%)**	**Plant dry**	**Seed in fruit (%)**	**Root diameter**
Khatirkuh	700	0.50^{c}	136.27^{a}	165.50^{a}	26.48^{b}	69.48^{a}	25.00^{i}	44.53^{a}
	1000	0.50^{c}	70.97^{ab}	54.67^{a}	23.17^{b}	61.65^{ab}	46.67^{f}	18.77^{b}
Chahardangeh	1300	0.60^{b}	132.73^{a}	115.73^{a}	26.57^{b}	58.79^{ab}	44.44^{g}	28.33^{ab}
	1500	0.60^{b}	89.87^{ab}	17.23^{a}	26.23^{b}	51.97^{b}	64.00^{c}	11.47^{b}
	1700	0.60^{b}	86.67^{ab}	51.87^{a}	38.88^{a}	65.25^{ab}	33.33^{h}	19.11^{b}
	1900	0.50^{c}	53.70^{b}	72.80^{a}	34.72^{ab}	72.00^{a}	68.18^{a}	14.70^{b}
Gadook	2100	0.50^{c}	108.50^{ab}	124.47^{a}	26.62^{b}	64.27^{ab}	66.67^{b}	21.18^{b}
	2300	0.50^{c}	64.97^{ab}	69.07^{a}	40.87^{a}	72.11^{a}	50.00^{e}	17.61^{b}
	2500	0.70^{a}	70.80^{ab}	28.97^{a}	32.21^{ab}	61.62^{ab}	60.00^{d}	15.58^{b}

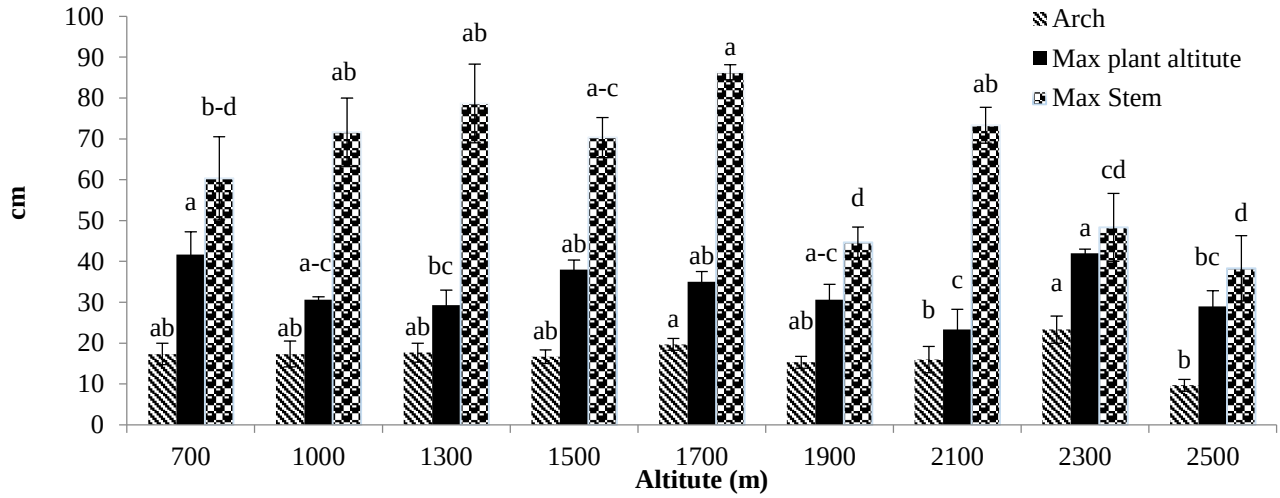
Region	Structural and yield traits							
	Altitude (m)	**Canopy (cm^2)**	**Arch (cm)**	**Plant height (cm)**	**Max stem (cm)**	**Fruit number**	**Product yield**	**Collar (mm)**
Khatirkuh	700	18017^{a}	17.33^{ab}	41.66^{a}	60.33^{b-d}	141.70^{cd}	35.42^{b}	62.91^{ab}
	1000	8483^{bc}	17.33^{ab}	30.66^{a-c}	71.67^{ab}	107.00^{d}	49.93^{b}	36.19^{ab}
Chahardangeh	1300	10950^{a-c}	17.66^{ab}	29.33^{bc}	78.67^{ab}	108.70^{d}	48.30^{b}	58.94^{ab}
	1500	13940^{ab}	16.66^{ab}	38.00^{ab}	70.33^{a-c}	360.70^{b-}	230.83^{ab}	20.88^{b}

ادامه جدول ۷- ...

Continued Table 7. …

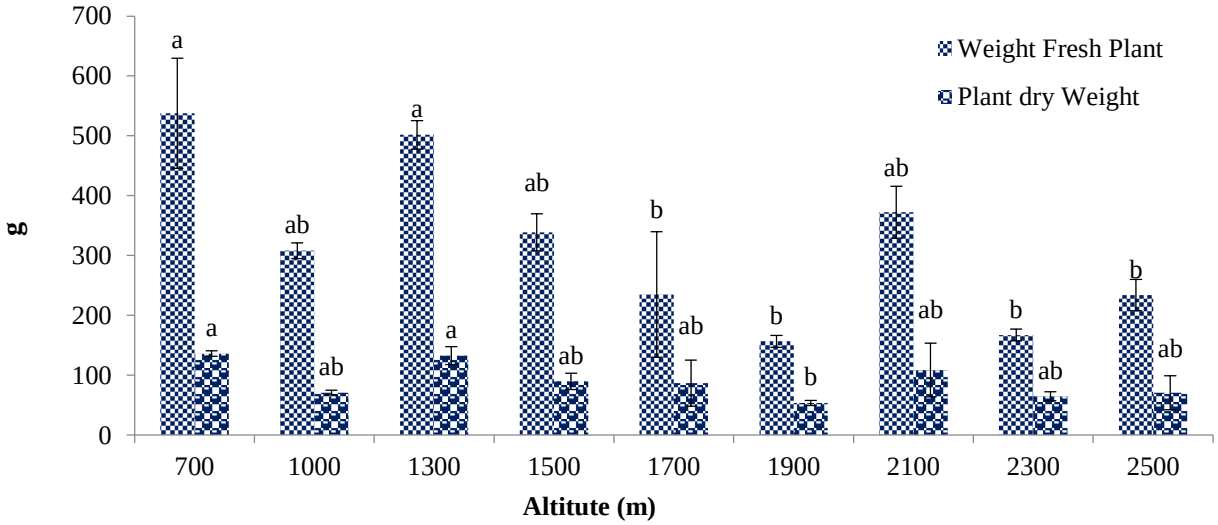
	1700	11013^{a-c}	19.66^{a}	35.00^{ab}	86.33^{a}	499.70^{a-}	166.56^{b}	46.51^{ab}
	1900	3867^{c}	15.33^{ab}	30.66^{a-c}	44.67^{d}	197.00^{cd}	134.32^{b}	49.23^{ab}
	2100	7733^{bc}	16.00^{ab}	23.33^{c}	73.33^{ab}	604.30^{ab}	402.89^{a}	85.73^{a}
Gadook	2300	9600^{a-c}	23.33^{a}	42.00^{a}	48.33^{cd}	777.00^{a}	388.50^{a}	39.74^{ab}
	2500	4283^{c}	9.66^{b}	29.00^{bc}	38.33^{d}	108.70^{d}	65.20^{b}	51.40^{ab}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۲- مقایسه میانگین صفات ساختاری، قوس بوته، حداکثر طول ساقه و ارتفاع گیاه ***Peganum harmala*** درگرادیان ارتفاعی

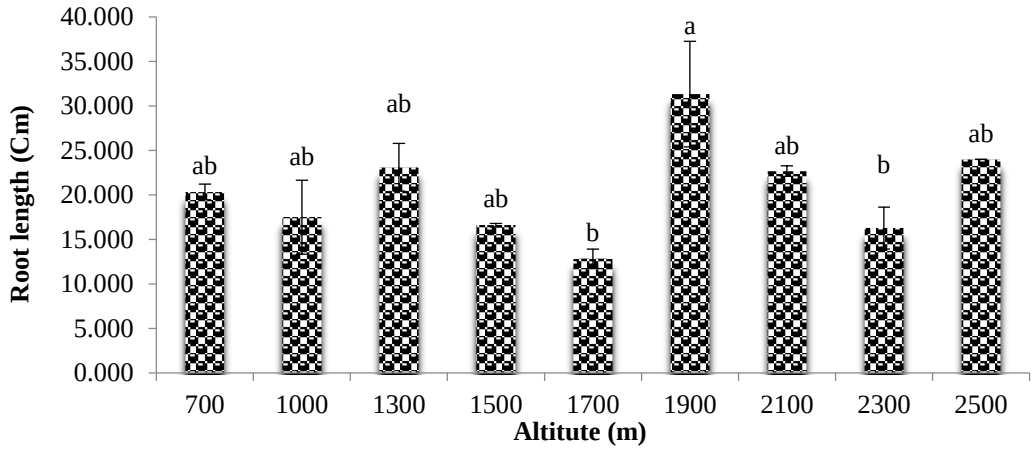
Figure 2. Comparison of average plant structural traits, arch, maximum stem length and height of



***Peganum harmala* in altitude gradient**

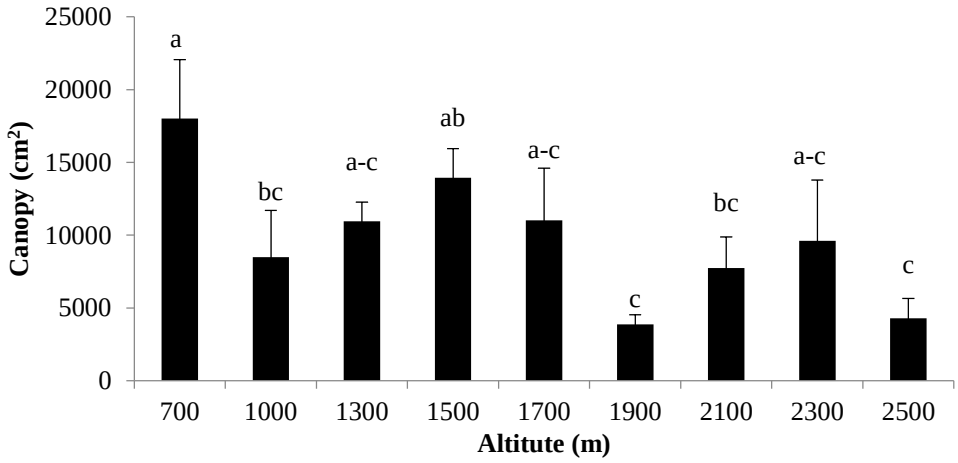
شکل ۳- مقایسه میانگین صفات ساختاری، وزن تازه و خشک گیاه ***Peganum harmala*** در گرادیان ارتفاعی

Figure 3. Comparison of average structural traits, fresh and dry weight of *Peganum harmala* in altitude gradient



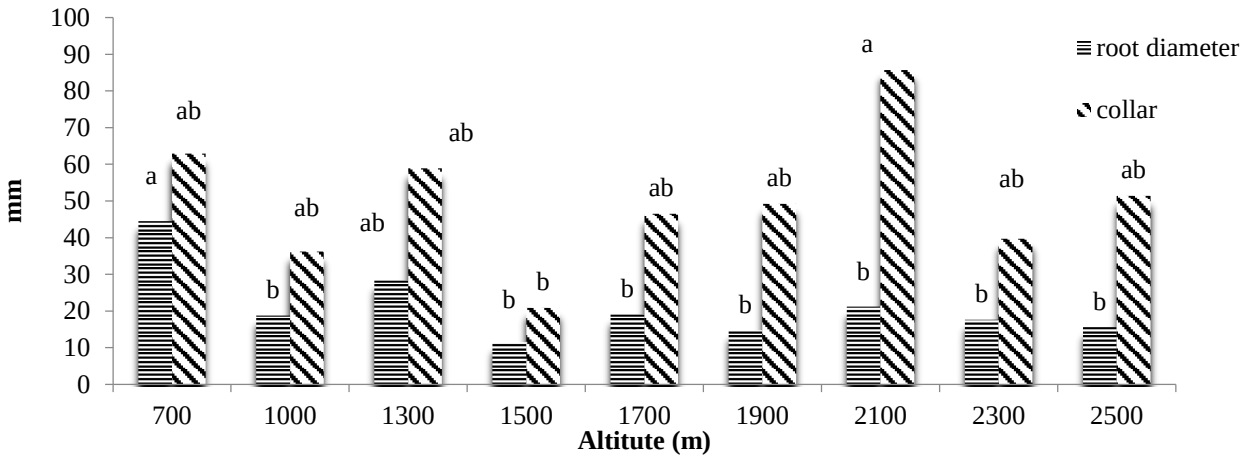
شکل ۴- مقایسه میانگین صفت ساختاری، طول ریشه گیاه ***Peganum harmala*** در گرادیان ارتفاعی

Figure 4. Comparison of average Structural trait, root length of *Peganum harmala* in altitude gradient



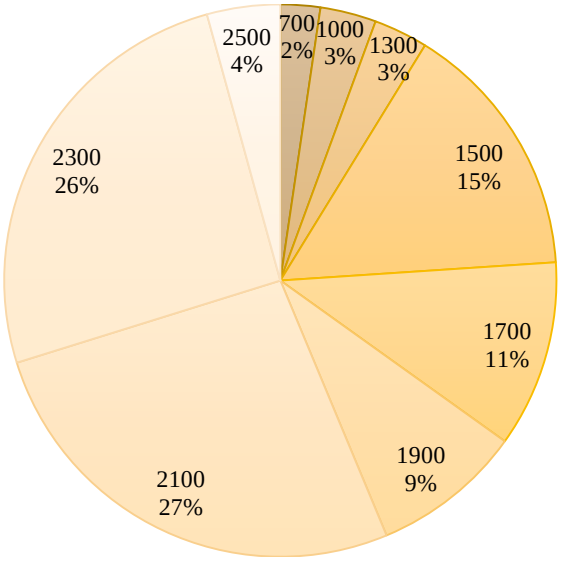
شکل ۵- مقایسه میانگین صفت ساختاری، مساحت کانوپی گیاه ***Peganum harmala*** در گرادیان ارتفاعی

Figure 5. Comparison of average structural trait, area of the canopy of *Peganum harmala* in altitude gradient



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های صفات ساختاری، طوقه و قطر ریشه گیاه ***Peganum harmala*** در گرادیان ارتفاعی

Figure 6. Comparison of averages structural traits, crown and root diameter traits of *Peganum harmala* in altitude gradient



شکل ۷- مقایسه درصد عملکرد محصول در هکتار گیاه ***Peganum harmala*** در ۹ گرادیان ارتفاعی (۲۵۰۰-۷۰۰ متر)

Figure 7. Comparison of percentage of product yield of *Peganum harmala in* 9 altitude gradient (700-2500m)

هدف از ارائه همبستگی‌ها (جدول ۸) بین پارامترها و عوامل خاک و اقلیم، بررسی موارد مؤثر در پرورش و عملکرد گیاه اسپند در رویشگاه آن و در عین حال انتخاب اکوتیپ برتر در این گونه از ایران می‌باشد. در ایران بیشتر از میوه این گیاه استفاده می‌شود، بنابراین افزایش عملکرد میوه بسیار حائز اهمیت است. اما در سایر کشورها ریشه اسپند نیز جزء محصولات دارویی محسوب می‌شود. با تشخیص روابط مؤثر بین شاخص‌های خاک و اقلیم با پارامترهای این گیاه، زیر کشت بردن و پرورش آن در مناطق به‌ویژه کویری و خشک ایران با فراهم کردن این شاخص‌ها امکان‌پذیر است. طبق این پژوهش و طبق مدل رگرسیونی صفت عملکرد؛ افزایش گرادیان ارتفاعی، میزان شن و رس، مواد آلی و تبخیر موجب افزایش عملکرد با ضریب تعیین ۶۰٪ را شاهد بوده‌ایم. با توجه به این مدل رگرسیونی، تأثیرگذاری عوامل خاک بیشتر از آب و هوا می‌باشد. بنابراین، برای این گیاه در یک عرض جغرافیایی ثابت نسبت تأثیرگذاری عوامل آب و هوایی تقریباً ثابت است، زیرا ترکیب طیفی نور خورشید در عرض‌های جغرافیایی ثابت، متفاوت نیست.

جدول ۸- همبستگی صفات مورد بررسی بین پارامترهای ساختاری و عملکردی گیاه ***Peganum harmala***

Table 8. Correlation between structural and yield parameters of *Peganum harmala* plant

	Plant fresh weight	Root fresh weight	Fruit diameter	Fruit weight	Seed weight	Seed number	Fruit weight	Plant dry weight	Root dry weight	Plant dry matter	Root dry matter	Seeds in fruit	Canopy	Arch	Max plant height	Max stem	Fruit number	Product yield	Root length	Root diameter	Collar
Plant fresh weight	1																				
Root fresh weight	0.478*	1																			
Fruit diameter	-0.070	-0.261	1																		
Fruit weight	-0.196	-0.195	0.605**	1																	
Seed weight	-0.335	-0.324	0.836**	0.799**	1																
Seed number	-0.187	-0.235	0.835**	0.743**	0.938**	1															
Fruit weight	-0.039	-0.274	0.520**	0.376	0.419*	0.963	1														
Plant dry weight	0.920**	0.595**	-0.073	-0.069	-0.226	-0.115	-0.006	1													
Root dry weight	0.471*	0.998**	-0.276	-0.204	-0.329	-0.241	-0.296	0.586**	1												
plant dry matter	-0.504**	-0.029	-0.190	0.303	0.205	0.060	0.061	-0.221	-0.017	1											
Root dry matter	0.019	0.425*	-0.444*	-0.099	-0.218	-0.234	-0.395*	0.137	0.464*	0.383*	1										

ادامه جدول ۸– ...

Cotinued Table 8. …

	Plant fresh weight	Root fresh weight	Fruit diameter	Fruit weight	Seed weight	Seed number	Fruit weight	Plant dry weight	Root dry weight	Plant dry matter	Root dry matter	Seeds in fruit	Canopy	Arch	Max plant height	Max stem	Fruit number	Product yield	Root length	Root diameter	Collar
Seeds in fruit	-0.351	-0.257	0.395*	-0.195	0.410*	0.332	0.081	-0.329	-0.247	-0.025	-0.145	1									
Canopy	0.439*	0.406*	-0.223	-0.001	-0.242	-0.109	-0.123	0.477*	0.385*	-0.139	-0.159	-0.494**	1								
Arch	0.121	0.172	-0.385*	0.046	-0.178	-0.263	-0.391*	0.190	0.186	0.177	0.154	-0.293	0.401*	1							
plant height	0.049	0.139	-0.454*	-0.035	-0.239	-0.207	-0.129	0.110	0.140	0.231	0.100	-0.400*	0.613**	0.317	1						
Max stem	0.389*	0.156	0.302	0.420*	0.194	0.200	-0.050	0.384*	0.146	-0.246	-0.191	-0.313	0.395*	0.526**	-0.097	1					
Fruit number	-0.134	0.092	-0.236	0.127	0.107	0.031	-0.242	0.005	0.115	0.287	0.305	0.116	0.113	0.555**	0.255	0.179	1				
Product yield	-0.103	0.111	-0.153	-0.032	0.117	0.064	-0.269	0.014	0.137	0.177	0.259	0.360	0.057	0.442*	0.146	0.128	0.943**	1			
Root length	-0.015	0.348	0.063	-0.242	-0.003	0.003	-0.041	-0.008	0.346	-0.072	0.260	0.327	-0.308	-0.216	-0.299	-0.286	-0.216	-0.113	1		
Root diameter	0.616**	0.785**	-0.355	-0.189	-0.460*	-0.319	-0.202	0.606**	0.793**	-0.131	0.458*	-0.531**	0.428*	0.056	0.216	0.095	-0.096	-0.140	0.109	1	
Collar	0.406*	0.777**	-0.056	-0.084	-0.111	-0.049	-0.117	0.525**	0.800**	0.074	0.522**	-0.021	0.049	0.124	-0.117	0.173	0.200	0.272	0.305	0.627**	1

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

با توجه به معادلات برآورد شده در جدول ۹، ضریب تعیین ۱۰۰٪ نشانگر این است که پارامترهای قطر میوه، تعداد دانه و وزن میوه با سهم ۱۰۰٪ مدل رگرسیونی ارائه شده در بیان پراکندگی متغیر وابسته مناسب هستند. ۱۰۰٪ از تغییرات مقدار پارامترهای قطر میوه، تعداد دانه و وزن میوه توسط عوامل گرادیان ارتفاعی، میزان شن، مواد کربنی، EC، TNV، P، K و تبخیر در مدل رگرسیونی تعیین می‌گردد. در واقع تغییرات متغیر وابسته ۱۰۰٪، نقش این عوامل در مدل رگرسیونی است. همچنین، مدل رگرسیونی عملکرد با سهم ۶۰٪ از این مدل ارائه شده در بیان پراکندگی این متغیر وابسته مناسب می‌باشد. طبق مدل رگرسیونی کانوپی، با کاهش ارتفاع افزایش مساحت کانوپی را نشان می‌دهد، زیرا با افزایش رطوبت و جذب بیشتر آب باران در کوهپایه‌ها، افزایش رشد رویشی را شاهد هستیم.

وزن تر گیاه و کانوپی و تعداد دانه با F بزرگتر نشانگر این است که مدل رگرسیونی ارائه شده نسبت به عوامل باقی‌مانده در بیان پراکندگی کل مناسب می‌باشد و به‌خوبی توصیف می‌شود. با F تقریباً ۱۰۰٪ و برحسب مدل پارامترهای وزن تر گیاه و کانوپی نسبت به گرادیان ارتفاعی بهترین مدل رگرسیونی را ارائه داده است. یعنی تقریباً ۱۰۰٪ از تغییرات متغیرهای وابسته (وزن تر گیاه و کانوپی) توسط متغیر وابسته (گرادیان ارتفاعی) تعیین می‌شود. این معادلات رگرسیونی فقط برای این رویشگاه‌ها با این عرض جغرافیایی ثابت و طول جغرافیایی متفاوت و برای سال مشابه از نظر بارندگی پیشنهاد می‌شود.

بحث

درک سازوکار تأثیر بارندگی و تغییرات مواد مغذی خاک بر بهره‌وری برای مدیریت اکوسیستم مرتع خشک بسیار مهم است. کیفیت گیاهان دارویی بازتاب تأثیر تعداد زیادی از عوامل محیطی در طول دوره رویش آن گیاه می‌باشد. چنین تغییرپذیری ممکن است با مراحل مختلف رویش گیاه و شرایط محیطی (تغییرات فصلی، جغرافیایی و ترکیب خاک) مرتبط باشد. تغییر در شرایط اکولوژیکی بر روی صفات گیاهان اثرگذار بوده و به‌طور کلی سه عامل اکولوژیکی، عوامل ژنتیکی و رابطه بین ژنوتیپ و محیط مهمترین عوامل تغییر در صفات گیاهان هستند (Jazirei & Ebrahimi- Rostaghi, 2003). همچنین، عوامل جغرافیایی مانند ارتفاع از سطح دریا، مقدار شیب و جهت آن اثرهای قابل توجهی بر کمّیت و کیفیت ترکیبات فیتوشیمیایی دارند (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2017). ارتفاع از سطح دریا با تأثیر بر میزان و نوع بارندگی، تبخیر، تعرق و شدت تشعشعات خورشیدی، بر نوع و تراکم پوشش گیاهی تأثیر بسزایی دارد (Roupioz *et al*., 2016). درجه حساسیت به تنش‌ها ممکن است مربوط به گونه خاص و مربوط به راهبرد فنولوژیکی، سازگاری با شرایط آب و هوایی و زیستگاه میکرو باشد (Larcher, 2000؛ Gimenez-Benavides *et al*., 2018). از سویی، تنوع بالای گیاهان دارویی از لحاظ ماهیت مورفولوژیکی و غلظت متابولیت‌ها به آنها کمک می‌کند که مقابله با تنش‌های محیطی برای آنها تسهیل گردد و در سازگاری منطقه‌ای نیز نقش داشته باشند (Labarrere *et al*., 2019؛ Ricki-Maryshany, 2015). گیاه *P. harmala* دارای ویژگی‌های بسیار عالی است که آن را در بسیاری از مکان‌ها حفظ می‌کند، ازجمله مقاومت در برابر دمای پایین، خشکسالی، لگدمال شدن و فرسایش خاک، همگی در حفظ پایداری محیط منطقه اهمیت زیادی دارند. کاهش بارش موجب کاهش ارتفاع بوته، جمعیت گیاه، محتوای ماده خشک و کربن برگ می‌شود (Guo *et al*., 2022).

محققان استرالیایی در تحقیقی نشان دادند که با حرکت به سمت شیب بارندگی از مناطق بیابانی به سمت اکوسیستم‌های جنگل‌های بارانی گرمسیری، میزان ایزوتوپ کربن کاهش می‌یابد که چنین می‌نمایاند که کاهش مقدار رطوبت بر مقادیر کربن گونه‌های C_3 در شیب‌های جغرافیایی در استرالیا تأثیر می‌گذارد (Taiz *et al*., 2015). این مشاهده نشان می‌دهد که خشکسالی به‌طور قابل توجهی بر توانایی جذب نور و تجمع ماده خشک جوامع گیاهی در استپ بیابانی تأثیر می‌گذارد (Ma *et al*., 2015).

جدول ۹- پارامترهای تخمین زده شده توسط مدل‌های خطی برازش شده به صفات ساختاری و عملکردی مورد مطالعه گیاه *Peganum harmala*

Table 9. Parameters estimated by linear models fitted to the studied Structural and yield traits of *Peganum harmala*

Parameter	Regression model	F.	Sig.	R^2
Fruit diameter	$Y=10.66-0.00\ (X_1)+0.02\ (X_2) - 1.85\ (X_3)+ 0.50\ (X_4)+ 0.39\ (X_5)+ 0.20\ (X_6)+ 0.00\ (X_7) - 0.00\ (X_8)$	1.19	0.00	1.00
Plant fresh weight	$Y= (582.34\pm89.54) - (159\pm0.05)\ X_1$	9.81	0.00	0.28
Max height	$(17.04\pm5.47)\ X_3 + Y= (311.42\pm100.88) - (33.19\pm12.04)\ X_9$	7.60	0.11	0.23
Canopy	$Y= (18526.82\pm3074.23) - (5.26\pm1.75)\ X_1$	9.05	0.00	0.26
Material dry	$Y= (4.52\pm6.96).51\pm0.19)\ X_{10} + (0.00\pm0.00)\ X_1$	7.94	0.00	0.39
Fruit number	$Y= (-23.86\pm162.70) - (149.62\pm43.22)\ X_6 + (0.21\pm0.09)\ X_1$	5.06	0.03	0.16
Seed number	$Y= 1277.90 - 0.15\ X_1 + 6.47\ X_2 - 22.45\ X_3 - 71.76\ X_4 + 9.41\ X_5 + 2.21\ X_6 - 2.82\ X_7 - 0.16\ X_8$	8.71	0.00	1.0
Product yield	$Y= (16759.15\pm6089.22) + (27.31\pm8.91)\ X_2 + (41.80\pm14.95)\ X_{11} + (288.62\pm93.12)\ X_3 - (1938.80\pm533.55)\ X_9 + (0.29\pm0.12)\ X_8 + (0.57\pm0.15)\ X_1$	5.11	0.00	0.69
Root long	$Y= (28.02\pm3.11) - (6.64\pm2.45)\ X_4$	7.31	0.01	0.22
Max stem	$Y= (2477.38\pm684.98)- (209.24\pm60.02)\ X_{\cdot} + (0.41\pm0.15)\ X_{\cdot} + (0.05\pm0.01)\ X_{\cdot}$	5.35	0.00	0.70
Weight fruit	$Y= 17.94-0.00\ X_1 + 0.04\ X_2 - 1.03\ X_3 + 0.85\ X_4 + 0.21\ X_5 - 0.32\ X_6 - 0.03\ X_7 - 0.00\ X_8$	3.95	0.00	1.00

X_1: Altitude, X_2: Sand, X_3: OC, X_4: EC, X_5: TNV, X_6: P, X_7: K, X_8: Evaporetor, X_9: pH, X_{10}: Silt, X_{11}: clay

F: Test statistics Sig: Possibility R^2 : Coefficient of Determination

این گیاه هالوفیتی دارای ریشه‌های بسیار عمیق و بخش‌های هوایی قابل توجه بوده، ازاین‌رو می‌تواند در برابر فرسایش بادی و آبی مقاومت کرده و مقادیر زیادی از روان‌آب‌های تولید شده را به خاک نفوذ داده و از فرسایش آبی بکاهد (Khadem Moghadam Igdelo & Golchin, 2018). صفات میوه گیاه *P. harmala* (درصد دانه در کپسول، تعداد دانه، وزن دانه، وزن میوه و قطر کپسول) با عوامل اکولوژیکی دما، بارش، تابش و تبخیر بسیار مرتبط است. Unal و همکاران (۲۰۱۳)، طی پژوهشی که در ارتباط با عوامل اقلیمی بر میزان تولید پیگمانت‌های گیاهی در کشور ترکیه انجام شده، نشان دادند که میزان تولید برخی پیگمانت‌ها در میوه‌های گونه‌های مختلف گل رز با عوامل مهم اقلیمی مانند نور، رطوبت، درجه حرارت و ارتفاع از سطح دریا ارتباط داشته است (Turkyilmaz *et al*., 2013). بارش بالا در طول سال از یک‌سو نشان‌دهنده بالا بودن رطوبت منطقه می‌باشد که مهمترین عامل جذب تابش موج کوتاه است و از سوی دیگر بیانگر وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر آن نقطه است که در جذب و انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد (Esfandiari *et al*., 2011). در گیاهان C_3 (مانند *P. harmala*) نقطه جبران CO_2 در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد حدود ppm۱۰۰۰–۵۰ است که حکایت از تولید مقدار زیادی CO_2 به دلیل تنفس نوری در این گیاهان دارد (Taiz *et al*., 2015). به‌طوری که در این گیاهان عملکرد کوانتومی با افزایش دما کاهش یافته که بازتاب افزایش تنفس نوری با افزایش دما و بالاتر بودن هزینه انرژی برای تثبیت خالص CO_2 در این گیاهان است. افزایش سرعت کربوکسیلاسیون و کاهش میل ترکیبی روبیسکو با CO_2 در تنفس نوری در دمای بالا اتفاق می‌افتد. همچنین، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد فعالیت روبیسکو به دلیل اثرهای منفی گرما بر روبیسکو اکتیواز در دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (Taiz *et al*., 2015). Vallejos و Pearcy (۱۹۸۷)، گزارش کردند که فعالیت ریبولوز–۵،۱– بیس فسفات کربوکسیلاز/اکسیژناز (روبیسکو) به شدت در پاسخ به رشد در دمای پایین، برخلاف یک اکوتیپ در ارتفاع بالا از *P. hirsutum* L.، کاهش یافت. تنظیم بالقوه رشد گیاه، فنولوژی گلدهی و تخصیص منابع به‌عنوان یک سازوکار سازگاری محلی پویا برای مقاومت در برابر تنش‌ها در بسترها و بوته‌ها در امتداد شیب ارتفاعی که توسط آستانه دمای بحرانی بجای دوره نوری هدایت می‌شود، پیشنهاد شده است (Garcia-Camacho & Escudero, 2009).

طبق نتایج جدول ۴، صفات مربوط به عملکرد بذر با بارش، دما، آفتاب و تبخیر همبستگی مثبت دارد. طی پژوهشی توان تولید علف‌های چمنی گیاهان C_3 در امتداد عرض جغرافیایی در آمریکای شمالی، از جنوب تگزاس در ایالات متحده تا مانیتوبا در کانادا، با حرکت به سمت شمال افزایش نشان داد، همچنین همسان به موازات تغییر فراوانی این مسیرهای فتوسنتزی در گریت پلینز است که گونه‌های C_3 در بالای ۴۵ درجه شمالی غالب هستند (Taiz *et al*., 2015). زیرا در هوایی که رطوبت نسبی بالایی دارد، شیب انتشار برای هدررفت آب حدوداً ۵۰ برابر بیش از شیب انتشار جذب CO_2 است که در هوای خشک‌تر، این اختلاف بسیار بیشتر می‌شود (Taiz *et al*., 2015). این گزارش‌ها منطبق بر نتایج ما مبنی بر افزایش صفات بذر به موجب صفات اکولوژیکی (آب و هوا) در کوهپایه منطقه گدوک است. در مناطق گدوک و خطیرکوه با افزایش گرادیان ارتفاعی، افزایش رطوبت و کاهش دما و در منطقه چهاردانگه با افزایش گرادیان ارتفاعی، کاهش درصد رطوبت و دما مشاهده می‌شود. اما در هر سه منطقه با افزایش گرادیان ارتفاعی، عملکرد محصول روند کاهشی داشت. به‌طوری که حداکثر عملکرد محصول در کوهپایه‌های این مناطق (۲۱۰۰ و ۱۵۰۰ متر) با افزایش مواد سیلتی، رطوبت، EC و pH یافت می‌شود. اما گرادیان ارتفاعی با عملکرد بذر همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. Konečná و همکاران (۲۰۱۹)، طی پژوهشی گزارش کردند که در کوهستان، احتمال جریان بذر نسبت به گرده ممکن است با شستشو به پایین شیب (کوهپایه) توسط رودخانه‌های کوهستانی بیشتر باشد.

همچنین، هنگامی که تعرق کم باشد یا وجود نداشته باشد، انتقال مستمر مواد محلول به درون شیره آوند چوب به کاهش ظرفیت و قابلیت اسمزی منجر می‌شود و بدین شکل نیروی لازم برای جذب آب و یک ظرفیت فشاری مثبت تأمین می‌شود که سبب فشار هیدرواستاتیک مثبت در آوند چوب خواهد شد. رشد و متابولیسم با گرم شدن در ارتفاعات بالاتر، جایی که گرم شدن و محدودیت آب کاهش می‌یابد، هیچ محدودیت فتوسنتزی انتشاری و بیوشیمیایی نشان نمی‌دهد (Tao *et al.*, 2021). بنا بر گزارش‌های برخی محققان، گرم شدن به‌طور مثبت بر عملکرد فتوسنتزی *Phacelia Secunda* در ارتفاعات بالا تأثیرگذار است (Hernandez-Fuentes *et al.*, 2015)، این نشان می‌دهد که واکنش محافظت‌کننده نوری و فتوسنتزی گونه‌های کوهستانی نسبت به گرم شدن، هم به ارتفاع و هم به در دسترس بودن رطوبت خاک بستگی دارد (Hernandez-Fuentes *et al.*, 2015). عوامل محیطی بیشتر دارای خاصیت ویژه هستند که تأثیر زیادی بر عملکرد گیاهان دارند. اما در عرض جغرافیایی ثابت مناطق مورد بررسی، از لحاظ صفات رویشی تفاوت قابل توجهی مشاهده نشده است، زیرا ترکیب طیفی نور خورشید در عرض‌های جغرافیایی ثابت متفاوت نبود.

تحقیقات نشان می‌دهد که سازوکار مرتبط با کارایی مصرف آب، در طول گرادیان ارتفاعی از شرایط آب و هوایی ازجمله کاهش دما (Yan & Rohasliney, 2013)، میزان اکسیژن و رطوبت نسبی (Yan & Rohasliney, 2013) تبعیت می‌کند. به همین دلیل با افزایش ارتفاع از سطح دریا و کاهش دما و افزایش رطوبت و تابش، افزایش عملکرد محصول را شاهد هستیم. زیرا اثر ارتفاع بر رشد گیاه ترکیبی از چندین عامل است (Polle *et al.*, 1999) که این گیاهان تنش‌های متقابل با ارتفاع، مانند خشکی و دمای پایین را تجربه می‌کنند (Shepherd & Griffiths, 2006). بنابراین، گیاهان تنش‌های اقلیمی بیشتری را در ارتفاعات بالاتر تجربه می‌کنند و میزان رشد کمتری نسبت به ارتفاعات پایین‌تر دارند (Tranquillini, 2012؛ Rajsnerova *et al.*, 2015). همچنین، برخی از گیاهان آلپ کوتولگی را با شاخص سطح برگ کوچک نشان می‌دهند که از تنش ناشی از باد شدید جلوگیری می‌کند (Xiong *et al.*, 2002). گیاهان در ارتفاعات بالاتر، تنش‌های اقلیمی بیشتری را تجربه کرده و میزان رشد کمتری دارند (Tranquillini, 2012). دوره رشد گیاهان به دلیل محدودیت نور و دماهای پایین کاهش می‌یابد (Korner & Challa, 2003).

مطابق با نتایج جدول ۶، وزن گیاه تازه با افزایش ارتفاع کاهش یافته، اما درصد ماده خشک بوته با افزایش ارتفاع افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، میزان دمای هوا کاهش می‌یابد، بنابراین با کاهش دما، دوره‌های رشد کوتاه‌تر شده و موجب کاهش رشد اندام رویشی گیاهان در مناطق سردتر شده و در نهایت با ایجاد تراکم بیشتر منجر به تحمل سرما نیز می‌شود. در مناطق با افزایش ارتفاع میزان دمای هوا کاهش می‌یابد که در بسیاری از گیاهان اثر کاهش دما بر کاهش صفات رویشی که شامل صفات مورفولوژیکی نیز می‌باشد، به اثبات رسیده است (Omidbeigi *et al.*, 2012). همچنین، به دلیل نیاز نوری بالای گیاهان و تحت تأثیر نور UV در ارتفاعات باعث آسیب‌پذیر شدن آنها می‌شود که یکی دیگر از عوامل کاهش صفات مورفولوژیکی در ارتفاعات می‌باشد (Nasibi *et al.*, 2003). طی پژوهشی بر روی شش جمعیت از دو گونه *Nepeta Crassifolia* و *Nepeta nuda* در دو استان اردبیل و آذربایجان‌شرقی، مشخص شده که با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان ارتفاع بوته، طول و عرض برگ و طول گل‌آذین در دو گونه مورد بررسی کاهش می‌یابد (Narimani *et al.*, 2016). Najar Firouzjai و همکاران (۲۰۱۳)، در گزارش خود بیان کردند که طول و عرض برگ در گیاه گزنه، با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش پیدا کرد.

Baharmast و همکاران (۲۰۱۹)، پژوهشی با هدف بررسی و مقایسه صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه *Mentha pulegium* L. در رویشگاه‌های مختلف طبیعی و

زراعی استان گیلان انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که شرایط اقلیمی آن منطقه ازجمله میزان بارندگی و ارتفاع از سطح دریا بر صفات طول و عرض برگ، ارتفاع بوته و بازده اسانس تأثیرگذار بوده است. طی پژوهشی ۱۵ ژنوتیپ رازیانه در مناطق مختلف ایران بررسی شد و اختلاف معنی‌داری به‌ویژه در عملکرد بذر، زمان رسیدگی و ارتفاع گیاه و از همه مهمتر نسبت به مناطق جغرافیایی و شرایط اقلیمی نشان دادند (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014).

از آنجا که ضریب تغییرات (CV) واحد ویژه‌ای ندارد، برای اندازه‌گیری تنوع صفت‌ها، معیار مناسبی محسوب می‌شود، به‌نحوی که ضریب تغییرات بیشتر بیانگر تنوع فنوتیپی بیشتر است. صفاتی که دارای CV بالایی هستند محدوده وسیعتری از کمّیت صفت را دارند که دامنه انتخاب وسیع‌تری برای آن صفت محسوب می‌شود (Esmailpour *et al*., 2023).

طبق جدول ۶ آنالیز واریانس در بین ژنوتیپ‌های مربوط به سه رویشگاه مورد بررسی، صفت میزان عملکرد محصول، کانوپی، وزن خشک ریشه، وزن خشک بوته، وزن تازه بوته، طول و قطر ریشه، طوقه و وزن تازه ریشه دارای بیشترین تنوع (CV) هستند. بخش عمده‌ای از تنوع فنوتیپی می‌تواند ناشی از اثر محیط بر روی صفات و به‌ویژه بر روی صفات پلی‌ژنیک باشد. بنابراین، کوچک بودن ضرایب تنوع فنوتیپی برای صفات تعداد بذر، وزن دانه، وزن میوه و قطر کپسول حکایت از آن دارد که اثرهای ژنتیکی برای این صفات بیشتر از اثرهای محیطی است. طی پژوهشی Makhmudova (۲۰۲۱)، با بررسی *P. harmala* طی سال‌های متمادی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ دریافت که جمعیت‌های نوع مهاجم حالت نابرابری در جمعیت ایجاد کردند. همچنین وی مشاهده کرد که رشد ضعیف جمعیت جوان، تولید کم بذر و تعداد زیاد جمعیت گیاهی بالغ از شاخص‌های اصلی تأخیر در رشد یک گونه از *P. harmala* است که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد.

در محیط‌های مدیترانه‌ای، خشکسالی تابستان به‌عنوان محدودیت اولیه برای فعالیت بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شود (Gutierrez-Giron *et al*., 2015؛ Hernandez-Gimenez-Benavides *et al*., 2015؛ Fuentes *et al*., 2018). صفات سازگاری بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان هالوفیت، به‌طور کلی، تحمل نمک و خشکی بالایی را نشان می‌دهند و به آنها اجازه می‌دهد در شرایط بسیار شور زنده بمانند و رشد کنند. اسپند گیاه زروفیتی است که ریشه‌های توسعه یافته دارد و در سازگاری با محیط‌های خشک منحصربه‌فرد می‌باشد. سیستم ریشه‌ای گیاهان بالغ اسپند دارای ریشه‌های جانبی گسترده و ریشه‌های عمیق است (Michelmore, 1997). ویژگی مهم سیستم ریشه‌ای در پاسخ به کمبود آب، ازدیاد طول ریشه است که دسترسی به آب را فراهم کرده و باعث مهار رشد می‌شود (Sharp *et al*., 2004). حفظ رشد ریشه در شرایط کمبود آب یک مزیت آشکار برای افزایش جذب آب است و به‌عنوان یک راهبرد کارآمد برای جلوگیری از خشکسالی عمل می‌کند (Donovan & Ehleringer, 1992). در پژوهش ما نیز با افزاش ASLM طول ریشه افزایش، اما قطر ریشه کاهش نشان داد.

با افزایش pH، کاهش حلالیت عناصر غذایی داریم، بنابراین pH خاک تأثیر قابل توجهی بر دسترس‌پذیری عناصر غذایی برای گیاهان دارد. در این پژوهش، گیاه *P. harmala* در خاک‌هایی با pH کمی قلیایی رشد مطلوبی دارد. طبق گزارش برخی از پژوهشگران، برخی از گونه‌های *Origanum* مانند *O. sipyleum* همراه با چندین گیاه مدیترانه‌ای خاک‌های خنثی یا کمی قلیایی را ترجیح می‌دهند (Unal *et al*., 2013).

هوازدگی انحلال‌پذیری کربنات‌ها، سولفات‌ها و برخی از فسفات‌ها که از صخره‌هایی که یون K، Mg، Ca و Mn را آزاد می‌کنند افزایش می‌دهد. این یون‌ها با یون هیدروژن در سطوح ذرات خاک جایگزین می‌شوند که با آبشویی این یون‌ها از لایه‌های بالاتر خاک حذف می‌شوند و به‌دلیل بارش بیشتر در این نواحی، بیشتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرند و EC را افزایش می‌دهند. افزایش EC و

پتاسیم (K) خاک منجر به افزایش تجمع یون‌ها در قسمت انتهایی ریشه و پوسیدگی ریشه و خم شدن گیاه بر روی زمین می‌شود (مانند ذرت) (Hasnain *et al.*, 2020). بنابراین، با افزایش EC افزایش کانوپی را داریم. مقادیر عناصر غذایی که به‌دلیل جریان توده‌ای برای ریشه فراهم می‌شوند به مقدار جریان آب از طریق خاک به طرف گیاه بستگی دارد که به میزان تعرق و غلظت عنصر غذایی در محلول خاک وابسته است (مانند عنصر نیتروژن) (Cramer *et al.*, 2009).

گیاهان اسپند بزرگتر، سیستم‌های ریشه‌ای گسترده‌تری دارند که منبع بیشتری از ذخایر کربوهیدرات را نشان می‌دهند و می‌توانند از حجم بیشتری از خاک به‌طور بالقوه ازجمله منابع رطوبت جایگزین، مانند آب‌های زیرزمینی بهره‌برداری کنند (Abbott *et al.*, 2008). به همین دلیل، در این پژوهش گرادیان ارتفاع با وزن تازه بوته همبستگی منفی در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. ساقه‌های بلندتر بیشتر در هنگام بلوغ به صورت پراکنده و خمیده به روی خاک می‌افتند (Abbott *et al.*, 2008). با افزایش EC افزایش دسترسی به مواد مغذی و در نهایت افزایش طول ساقه و کانوپی مشاهده می‌شود. صفات میوه گیاه با OC، OM، K و N همبستگی منفی نشان می‌دهد؛ زیرا با افزایش غلظت شوری خاک (پتاسیم)، N، OC، OM و کمبود آب در خاک به‌طور مثبت با افزایش وزن تازه و خشک گیاه در ارتباط است (Karakas, 2020) و از سوی دیگر گیاهان C_3 به روبیسکو برای رسیدن به یک سرعت فتوسنتز خاص نیاز دارند و به‌همین دلیل به میزان N کمتری هم برای رشد نیازمند هستند (Taiz *et al.*, 2015). تنش‌های غیرزیستی در برخی از گیاهان سبب انباشتگی پروتئین‌های محلول در گیاهان می‌شوند و نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفاء می‌کنند (Rastgoo & Alemzadeh, 2011). بنابراین، افزایش تنش خشکی و شوری موجب افزایش اسیدآمینه، قندها و کربوهیدرات برای مقابله با تنش و در نهایت منجر به کاهش رشد و افزایش عملکرد میوه (مرحله زایشی) می‌گردد (Ahmed & Khan, 2010؛ Falleh *et al.*, 2008). درصد ماده خشک اندام رویشی با ارتفاع، همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. افزایش تنش خشکی موجب کاهش اندازه یا تعداد سلول می‌شود و در نهایت منجر به افزایش ماده خشک می‌شود (Ahmed & Khan, 2010). با افزایش ارتفاع کاهش صفات رشد رویشی (همبستگی منفی) و افزایش عملکرد محصول (همبستگی مثبت) مشاهده شد. همچنین، با کاهش رطوبت خاک و کاهش جذب N، کاهش رشد رویشی را خواهیم داشت (Yu *et al.*, 2019). Guo و همکاران (۲۰۲۲)، طی پژوهشی با افزودن NPK به خاک منطقه استپی بیابانی، نشان دادند که افزایش ۵۰٪ بارش به‌طور قابل توجهی بهره‌وری اولیه خالص زمین را افزایش داد، اما افزایش ۵۰٪ خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاه و محتوی ماده خشک و افزایش محتوی N برگ شد. همچنین، مقدار ماده خشک، طول شاخه و ریزوم در چمنزار پرآب فصلی و کم ارتفاع (pH= 5.8-8) نسبت به خاک قلیایی که فاقد آب باران انباشته شده بود و از pH بیشتری نیز برخوردار بود، بسیار بیشتر بود (Liu *et al.*, 2012). بنابراین، محیط‌های مناسب با آب فراوان و انرژی خورشیدی از گونه‌های بیشتری پشتیبانی و طیف وسیع‌تری از راهبردهای عملکردی را مجاز می‌کنند (Spasojevic *et al.*, 2014). تنش آبی، به عنوان یک عامل اصلی تنش قلیایی است (Qiu *et al.*, 2017). گیاه ممکن است یون‌ها را از خاک جذب کرده، یا یون‌ها را از اندام‌های دیگر گیاه به ریشه‌ها منتقل کند، که در این حالت غلظت مواد محلول سلول‌های ریشه افزایش می‌یابد. برای نمونه، افزایش جذب و تجمع پتاسیم به دلیل اثر یون‌های پتاسیم بر فشار اسمزی درون سلول، منجر به کاهش قابلیت اسمزی خواهد شد. این واکنش در گیاهان روییده در خاک‌های شور که در آنها یون‌هایی مانند پتاسیم و کلسیم به سهولت برای گیاه قابل دسترس هستند، متداول است. یون‌هایی مانند پتاسیم در مقادیر بیشتری مورد نیاز می‌باشد اما بااین‌حال، در غلظت‌های بالا می‌تواند اثر مضری بر گیاه، عمدتاً از طریق مختل کردن غشای پلاسمایی یا پروتئین‌ها داشته باشد.

مناطق خطیرکوه (۷۰۰ و ۱۰۰۰ متر) و گدوک (۲۱۰۰، ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰ متر) دارای حداکثر میزان K و چهاردانگه (۱۳۰۰، ۱۵۰۰، ۱۷۰۰ و ۱۹۰۰ متر) دارای کمترین مقدار K است. در این پژوهش نیز میزان K با صفات مورفولوژی بذر همبستگی منفی ولی با قطر طوقه همبستگی مثبت نشان می‌دهد؛ زیرا با افزایش تنش خشکی و شوری میزان عملکرد محصول کاهش پیدا می‌کند. البته، جذب حداکثر تنها کاتیون K موجب عدم جذب کافی سایر کاتیون‌های موجود در خاک خواهد شد. کاهش محتوای K با کاهش تنش خشکی به دلیل کاهش تجمع یون کل به علت کاهش تنش رطوبتی خاک است. جذب N و P ارتباط معنی‌داری با ارتفاع دارد که ممکن است برای پاسخ قوی‌تر کارایی مصرف آب به گرادیان ارتفاعی در مکان‌های خاص باشد، این مکان‌ها گرم‌ترین و مرطوب‌ترین آب و هوا را دارد (Tao *et al.*, 2021؛ Midolo *et al.*, 2019). کاهش دما یا رطوبت نسبی با افزایش ارتفاع موجب افزایش ویسکوزیته آب می‌شود که ممکن است انتقال آب از خاک را به محل‌های تبخیر در برگ‌ها کُند نماید. با افزایش ارتفاع که میزان جذب آب توسط ریشه‌ها به دلیل دمای پایین کاهش یافته است، قندها جایگزین مولکول‌های آب شده و این قابلیت را دارند که با لیپیدهای غشاء سلولی پیوند هیدروژنی تشکیل داده و سبب پایداری غشاء سلولی شوند (Parvizi *et al.*, 2021). یکی بودن دروازه ورود CO_2 و خروج آب از گیاه، یعنی روزنه، آن را با یک معماری کارکردی روبرو می‌کند. در هوایی که رطوبت نسبی بالایی دارد، شیب انتشار برای هدررفت آب حدوداً ۵۰ برابر بیشتر از شیب انتشار جذب CO_2 است. ویژگی فیزیکی خاک، توزیع اندازه ذرات خاک بر توان خاک در حفظ و هدایت آب اثر می‌گذارد (Taiz *et al.*, 2015). Modaberi و همکاران (۲۰۱۸)، در بررسی جنگل‌های خرم‌آباد نشان دادند که رطوبت اشباع و بافت خاک همبستگی معنی‌داری با تنوع و گونه‌های غنی دارد که این همبستگی با درصد شن و رس، منفی و با درصد سیلت مثبت است. همچنین، در جنگل‌های پایین‌بند شرق نوشهر، شاخص‌های تنوع و فراوانی جمعیت گیاهی دارای همبستگی مثبتی با درصد شن موجود در خاک بودند (Taleshi & Akbarinia, 2011)، که در سایر پژوهش‌ها نیز مطلوبیت خاک‌هایی با بافت شنی–رسی و شنی–لومی گزارش شده است (Ravanbakhsh & Asadi., 2016). این نتایج مشابه با نتایج ما در این پژوهش می‌باشد. همچنین، جهت و میزان شیب با تأثیر بر رطوبت و عمق خاک و وزش باد نقش مهمی در تفاوت صفات خواهد داشت (Fathi *et al.*, 2001).

درصد ماده خشک ریشه در ارتفاعات ۲۳۰۰ و ۱۹۰۰ متر، حداکثر بوده است. افزایش شوری و خشکی در خاک به‌طور مثبت با افزایش وزن تازه و خشک گیاه در ارتباط است (Ahmed & Khan, 2010؛ Karakas, 2020). همچنین، درصد ماده خشک اندام رویشی با شن همبستگی منفی و با ASLM و سیلت همبستگی مثبت نشان می‌دهد. افزایش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گونه‌ها می‌شود (Abd El-Azim, 2017). شوری و خشکی خاک موجب اثر کوتولگی بر روی گیاه اسپند می‌شود، زیرا شوری یا خشکی اندازه یا تعداد سلول‌ها را کاهش می‌دهد (Ahmed & Khan, 2010؛ Falleh *et al.*, 2008). مقادیر جذب زیاد عناصر غذایی در نواحی رأسی ریشه به تقاضای شدید برای عناصر غذایی در این بافت‌ها و دسترس‌پذیری نسبتاً زیاد به عناصر غذایی در خاک اطراف آنها منجر می‌شود، برای نمونه، طویل شدن سلول به تجمع مواد محلول مانند یون‌های پتاسیم، کلر و نیترات نیاز دارد تا فشار اسمزی درون سلول افزایش یابد.

Khatami Moghaddam و همکاران (۲۰۱۹)، طی پژوهشی در سه ارتفاع از سطح دریا در منطقه آمل نشان دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا وزن تر و ماده خشک گیاه *P. harmala* کاهش یافت. تمام صفات زراعی شامل وزن تر گیاه، ماده خشک گیاه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تر اندام هوایی و ماده خشک اندام هوایی این گیاه در سطح احتمال ۱٪ در تیمار گرادیان ارتفاعی معنی‌دار بود. با توجه به نتیجه حاصل از مقایسه میانگین

تیمارها، طول شاخساره، طول و حجم ریشه و وزن تازه گیاه اسپند در ارتفاع ۲۳۰۰ متری بیشتر از ۱۸۰۰ و ۲۸۰۰ متری ثبت شد. مقایسه میانگین ارتفاعی نشان داد که حداکثر وزن تر اندام هوایی و ماده خشک این گیاه در ارتفاع پایین‌تر مشاهده شد. حداکثر ماده خشک گیاه در پایین‌ترین ارتفاع و حداقل آن در بالاترین ارتفاع تعیین شد. Ghani و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با افزایش ارتفاع، دوره رشد گیاه کاهش می‌یابد و گیاه سریع‌تر وارد مراحل زایشی می‌شود؛ در نتیجه، تولید ماده خشک با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. در واقع، در اکوسیستم‌های طبیعی و اکوسیستم‌های کشاورزی، عوامل محیطی مانند رطوبت، آب، مواد مغذی، نور و ارتفاع از سطح دریا از عوامل اصلی تعیین‌کننده پارامترهای کیفی و کمّی گیاه هستند.

Makhmudova (۲۰۲۱)، تأثیر عوامل اکولوژیکی بر چرخه زندگی گیاه *P. harmala* و تغییر کمی جمعیت طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ در کشور آذربایجان را بررسی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که جمعیت‌های نوع مهاجم حالت نابرابری در جمعیت ایجاد کردند که در این صورت رشد ضعیف جمعیت جوان و نابالغ، غلبه جمعیت بالغ و ارزشمند و همچنین انواع دیگر جمعیت انتقالی (توسط ریزوم‌ها) مشاهده شد. توسعه این گیاه طی سال‌های متمادی پایین بود که این نشان‌دهنده کاهش ذخایر و وضعیت نامطلوب گیاه *P. harmala* در آینده خواهد شد.

تحمل شوری و خشکی نسبتاً بالای این گیاه به دلیل رویش آن در مناطق با بارندگی بسیار اندک و خودرو بودن گیاه، همه تأییدی بر موفقیت گسترش کشت آن در مناطق مختلف کشور ازجمله در حواشی مناطق مرکزی (کویری) است و کاشت این گیاه می‌تواند ضمن کمک به حفظ خاک، شرایط محیطی (طوفان و ریزگردها) را نیز بهبود ببخشد. از سوی دیگر، وجود ترکیبات دارویی مهم همانند هارمالین و هارمین دلیل دیگری بر گسترش کاشت این گیاه در کشور است. بنابراین پیشنهاد می‌شود، شواهد قطعی از واکنش گونه‌ها به تغییر محیط را از مشاهدات میدانی طولانی‌مدت یا شبیه‌سازی دقیق تغییرات آب و هوا بدست آورد. بدین‌وسیله می‌توان از طریق تلاقی بین ژنوتیپ‌های برتر خوشه‌های مختلف و آزمون نتاج آنها از طریق برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب، نسبت به تولید ارقام با خصوصیات زراعی مطلوب اقدام کرد.

هدف از این پژوهش، بررسی اثر عرض ثابت و طول متفاوت جغرافیایی محل رویش به همراه ریزوسفر بر برخی از خصوصیات ساختاری و عملکردی گیاه اسپند می‌باشد. نتایج اکولوژیکی طبق رابطه همبستگی پیرسون، نشان می‌دهد که صفات عملکرد بذر همبستگی مثبتی با عوامل جوی داشته؛ اما از میان صفات ساختاری؛ صفات رویشی ساقه، با بارش، تابش و تبخیر همبستگی مثبت در سطح احتمال ۵٪ و با رطوبت نسبی همبستگی منفی در سطح احتمال ۱٪ دارد. در مناطق گدوک و خطیرکوه با افزایش گرادیان ارتفاعی، افزایش رطوبت و کاهش دما و در منطقه چهاردانگه با افزایش گرادیان ارتفاعی، کاهش درصد رطوبت و دما مشاهده می‌شود. اما در هر سه منطقه با افزایش گرادیان ارتفاعی، در صفت عملکرد محصول روند کاهشی وجود دارد. به‌طوری که حداکثر عملکرد محصول در کوهپایه‌های این مناطق (۲۱۰۰ و ۱۵۰۰ متر) با افزایش مواد سیلتی، رطوبت، EC و pH مشاهده می‌شود. اما گرادیان ارتفاعی همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ با عملکرد بذر نشان می‌دهد. طول ریشه نیز در هر منطقه با افزایش گرادیان ارتفاعی، افزایش و قطر ریشه روند کاهشی نشان می‌دهد. افزایش صفات رویشی و ریشه همبستگی منفی با صفات بذر دارد. همچنین، کانوپی با ارتفاع گیاه و قوس با عملکرد میوه هر گیاه همبستگی مثبت در سطح احتمال ۱٪ دارد. بنابراین افزایش گرادیان ارتفاعی از سطح دریا منجر به کاهش دما و افزایش رطوبت و مواد مغذی خاک، کاهش رشد اندام رویشی و افزایش عملکرد محصول (مرحله زایشی) می‌شود. همچنین طبق مدل رگرسیونی صفت عملکرد؛ افزایش گرادیان ارتفاعی، میزان شن و رس، مواد آلی و تبخیر موجب افزایش عملکرد با ضریب تعیین ۶۰٪ را شاهد بوده‌ایم. با توجه به این مدل رگرسیونی،

تأثیرگذاری عوامل خاک بیشتر از آب و هوا می‌باشد. بنابراین، برای این گیاه در یک عرض جغرافیایی ثابت نسبت تأثیرگذاری عوامل آب و هوایی تقریباً ثابت است، زیرا ترکیب طیفی نور خورشید در عرض‌های جغرافیایی ثابت متفاوت نیست. بنابراین، گیاهان کوهستانی از چندین راهبرد ساختاری و عملکردی برای انطباق محیط با ارتفاع بالا استفاده می‌کنند که این پژوهش می‌تواند در راستای این هدف یعنی دستیابی به گونه‌ای مقاوم باشد، به‌نحوی که با این مطالعات جامع‌تر به گونه مقاوم دست خواهیم یافت.

References

- Abbott, L.B., Bettmann, G.T. and Sterling, T.M., 2008. Physiology and recovery of African rue (*Peganum harmala*) seedlings under water-deficit stress. Weed Science, 56: 52-57.
- Abd El-Azim, W.M., Rania, K.M.R. and Badawy, M.Y.M., 2017. Effect of bio-fertilization and different licorice extracts on growth and productivity of *Foeniculum vulgare* Mill. plant. Middle East Journal of Agriculture Research, 6(1): 1-12.
- Ahmed, M.Z. and Khan, M.A., 2010. Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 205(11): 764-771.
- Akhyani, N., Berti, R., Brennan, M.B., Soldan, S.S., Eatan, j.M., Mcfarland, H.F. and Jacobson, S., 2002. Tissue distribution and variant characterization of human herpesvirus (HHV)-6: Increased prevalence of HHV-6A in patients with multiple sclerosis. The Journal of Infectious Diseases, 182(5):1321-1325.
- Amini- Behbahani, F. and Sadeghpour, O., 2019. Botanical, phytochemical and traditional medicine evaluation of different types of Harmal: A library study. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine, 10(2): 185-194.
- Arriel, N.H.C., Di- Mauro, A.O., Arriel, E.F., Unêda-Trevisoli, S., Costa, M.M., Bárbaro Torneli, I.M. and Muniz, F.R.S., 2007. Genetic divergence in sesame based on morphological and agronomic traits. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 7(3): 253-261.
- Asgarpanah, J. and Ramezanloo, F., 2012. Chemistry, pharmacology and medicinal properties of *Peganum harmala* L. African Journal of pharmacy and Pharmacology, 6(22): 1573-1580.
- Aslam, N., Wani, A.A., Nawchoo, I.A. and Bhat, M.A., 2014. Distribution and Medicinal importance of *Peganum harmala*- A review. International Journal of Advanced Research, 2(2): 571-755.
- Atashgahi, Z., Ejtehadi, H., Mesdaghi, M. and Ghassemzadeh, F., 2018. Plant diversity of the Heydari Wildlife Refuge in northeastern Iran, with a checklist of vascular plants. Phytotaxa, 340(2): 101-127.
- Baharmast, Z., Khairi, A., Thani, M. and Soleimani, A., 2019. Investigating and comparing the morphological and phytochemical traits of the medicinal plant *Mentha pulegium* in different natural and cultivated habitats of Gilan province. Ecophytochemistry Quarterly of Medicinal Plants, 2: 60-75.
- Bukhari, N., Choi, J.H., Jeon, C.W., Park, H.W., Kim, W.H., Khan, M.A. and Leet, S.H., 2008. Phytochemical studies of the alkaloids from *Peganum Harmala*. Chemical Engineering and Materials research Information Center, 12(1): 101-104.
- Cramer, M.D., Hawkins, H.J. and Verboom, G.A., 2009. The importance of nutritional regulation of plant water flux. Oecologia, 161(1):15-24.
- Decraene, L.P., Laet, J.D. and Smets, E.F., 1996. Morphological studies in zygophyllaceae. II. The floral development and vascular anatomy of *peganum harmala*. American Journal of Botany, 83(2): 201-215.
- Donovan, L.A. and Ehleringer, J.R., 1992. Contrasting water-use patterns among size and life-history classes of a semi-arid shrub. Functional Ecology, 6: 482-488.
- Esfandiari, A., Rangraz, K., Saberi, A. and Fattahi-Moghadam, M., 2011. Potentiometric analysis of solar power plants by investigating climate parameters in Khuzestan province using GIS. 18th national conference and exhibition on geomatic and international conference of ISPRS WGII, Tehran, 15-18 May.
- Esmailpour, F., Karimani, A., Heidarpour, M. and Moghaddam, A., 2023. Protective effects of Biebersteinia multifida on sub-chronic toxicity of DZN in male Wistar rats: biochemical, hematological, and oxidative stress indices. Drug and Chemical Toxicology, 46: 1203-1211.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M. and Abdelly, C., 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. Comptes rendus Biologicals, 331(5): 372-379.
- Farsi, M. and Zolali, J., 2003. Principles of plant biotechnology. Translate Mashhad University Publication, 495p.

- Fathi, A.A., Abdelhazer, H.M., Flower, R.J., Ramdani, M. and Kraïem, M.M., 2001. Phytoplankton communities of North African wetland lakes: the CASSARINA Project. Aquatic Ecology, 35: 303-318.
- Garcia-Camacho, R. and Escudero, A., 2009. Reproduction of an early-flowering Mediterranean mountain narrow endemic (*Armeria caespitosa*) in a contracting mountain island. Plant Biology, 11(4): 515-524.
- Ghani, A., Muller, K., Dodd, M. and Mackay, M., 2010. Dissolved organic matter leaching in some contrasting New Zealand pasture soils. European Journal of Soil Science, 61(4): 525-538.
- Gimenez-Benavides, L., Escudero, A., Garcla-Camacho, R., Garcla-Fernandez, A., Iriondo, J.M., Lara-Romero, C. and Morente- Lopez, J., 2018. How does climate change affect regeneration of Mediterranean high-mountain plants? An integration and synthesis of current knowledge. Plant Biology, 20(51): 50-62.
- Guo, X., Zuo, X., Yue, P., Li, X., Hu, Y., Chen, M. and Qiang, Y., 2022. Direct and indirect effects of precipitation change and nutrients addition on desert steppe productivity in inner Mongolia, Northern China. Plant and Soil, 471: 527-540.
- Gutierrez-Giron, A., Dlaz- Pines, E., Rubio, A. and Gavilan, R.G., 2015. Both altitude and vegetation affect temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in Mediterranean high mountain soils. Geoderma, 238: 1-8.
- Han, J. and An, L.Z., 2009. Isolation and characterization of microsatellite loci in *Peganum harmala* (Peganaceae), an important resist-drought and medicinal plant. Conservation Genetics, 10: 1899-1901
- Hasnain, H., Chen, J., Ahmed, N., Memon, S. and Wang, L., 2020. The Effects of Fertilizer Type and Application Time on Soil Properties, Plant Traits, Yield and Quality of Tomato. Sustainability, 12(21): 9065-9079.
- Hernandez-Fuentes, C., Bravo, L. and Cavieres, L., 2015. Photosynthetic responses and photoprotection strategies of Phacelia secunda plants exposed to experimental warming at different elevations in the central Chilean Andes. Alp Botany, 125: 87-99.
- Jazirei, M.H. and Ebrahimi- Rostaghi, M., 2003. Silviculture of Zagros. Tehran University Publication, 560p.
- Karakas, F.P., 2020. Efficient plant regeneration and callus induction from nodal and hypocotyl explants of goji berry (*Lycium barbarum* L.) and comparison of phenolic profiles in calli formed under different combinations of plant growth regulators. Plant Physiology and Biochemistry, 146: 384-391.
- Kartal, M., Altun, M.L. and Kurucu, S., 2003. HPLC method for the analysis of harmol, harmalol, harmine and harmaline in the seeds of *Peganum harmala* L. Journal of Pharmaceuticol and Biomedical Analysis, 31(2): 263-269.
- Khadem Moghadam Igdelu, N. and Golchin, A., 2018. The importance of medicinal plant (*Peganum harmala*) in soil protection and its effect on people's health. International Conference on Society and Environment, September 2, Tehran, Iran.
- Khatami Moghaddam, M.R., Fallah, H., Niknejad, Y. and Dastan, S., 2019. Influence of altitude on eco-phytochemical parameters of *Peganum harmala*, *Sophora alopecuriodes* and *Ziziphora clinopodioides* Lam. in rangelands of northern Iran. Journal of Agrometeorology, 21(3): 288-296.
- Konečná, V., Nowak, M.D. and Kolar, F., 2019. Parallel colonization of subalpine habitats in the central European mountains by *Primula elatior*. Scientific reports, 9: 3294.
- Korner, O. and Challa, H., 2003. Process-based humidity control regime for greenhouse crops. Computers and electronics in agriculture, 39(3): 173-192.
- Labarrere, B., Prinzing, A., Dorey, T., Chesneau, E. and Hennion, F., 2019. Variations of secondary metabolites among natural populations of sub-antarctic ranunculus species suggest functional redundancy and versatility. Plants, 8(7): 234.
- Lal, R.K., 2013. On genetic diversity in germplasm of vetiver '*Veteveria zizanioides* (L.) Nash'. Industrial Crops and Products, 43: 93-98.
- Lamchouri, F., Zemzami, M., Jossang, A., Settaf, A., Israili, Z. and Lyoussi, B., 2013. Cytotoxicity of alkaloids isolated from *Peganum harmala* seeds. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 26(4): 699-706.
- Larcher, W., 2000. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. Plant Biosystems, 134(3): 279-295.
- Li, S., Cheng, X. and Wang, C., 2017. A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus *Peganum*. Journal of Ethnopharmacology, 203: 127-162.
- Liu, I.Q., Sun, Y.S., Ge, X.J. and Gao, L.M., 2012. Phylogeographic studies of plants in China: Advances in the past and directions in the future. Journal of systematics, 50(4): 267-275.
- Ma, N., Zhang, Y., Szilagyi, J., Guo, Y., Zhai, J. and Gao, H., 2015. Evaluating the complementary

systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. Journal of Cleaner Production, 148: 427-440.
- Najar Firouzjai, M., Hemmati, Kh., Khorasani-Nejad, S., Darai Garme-Khani, A. and Bagheri-Fard, A., 2013. The effect of altitude on the morphological and biochemical properties of nettle leaves (*Urtica dioica* L.) in Mazandaran and Golestan provinces. Journal of Iranian plant ecophysiological researches, 9(3): 1-11.
- Narimani, R., Moghadam, M., Ghasemi Pirbaluti, A. and Shekohi, D., 2016. Investigating the morphological diversity, phenol content and antioxidant activity of different populations of *Nepeta nuda* and *Nepeta crassifolia* species in the plantation Ardabil and Azerbaijan provinces. Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants, 5(19): 13-22.
- Nasibi, F., Kalantari, K. and Rashidi, M., 2003. Investigation of change in morphological and physiological parameter induced by UV-A, UV-B and UV-C of ultraviolet radiation in colza seedling (*Brassica napus*). Research and reconstruction, 16(3): 97-103.
- Omidbeigi, R., 2012. Production and processing of medicinal plants, first volume. Astan Quds Razavi Publications, 432p.
- Parvizi, K., Moradi- Ashour, B. and Yazdanpanah, A., 2021. Evaluation the of the effect of application of superabsorbent and mycorrhiza inoculation on nutrient uptake, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum*) plant in deficit irrigation conditions. Journal of Agroecology, 15(2): 359-380.
- Polle, A., Baumbusch, L.O., Oschinski, C., Eiblmeier, M., Kuhlenkamp, V., Vollrath, B. and Rennenberg, H., 1999. Growth and protection against oxidative stress in young clones and mature spruce trees (*Picea abies* L.) at high altitudes. Oecologia, 121(2): 149-156.
- Qiu, R., Liu, C., Wang, Z., Yang, Z. and Jing, Y., 2017. Efects of irrigation water salinity on evapotranspiration modifed by leaching fractions in hot pepper plants. Scientific reports, 7: 7231.
- Rajsnerova, P., Klem, K., Holub, P., Novotna, K., Vecerova, K., Kozachikova, M., Rivas-Ubach, A., Sardans, J., Marek, M.V., Penuelas, J. and Urban, O., 2015. Morphological, biochemical and physiological traits of upper and lower canopy leaves European beech tends to converge with increasing altitude. Tree Physiology, 35(1): 47-60.
- Rastgoo, L. and Alemzadeh, A., 2011. Biochemical Responses of Gouan (*Aeluropus littoralis*) to Heavy

relationship of evapotranspiration in the alpine steppe of the Tibetan Plateau. Water Resources Research, 51(2): 1069-1083.
- Magana-Ugarte, R., Escudero, A. and Gavilan, R.G., 2019. Metabolic and physiological responses of Mediterranean high-mountain and alpine plants to combined abiotic stresses. Physiologia Plantarum, 165(2): 403-412.
- Makhmudova, U., 2021. Cenotic characteristic of *Peganum harmala* L. on various plant communities. Bulletin of Science and Practice, 7(5): 69-74.
- Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M.R. and Talebi, M., 2014. Taxonomy and Biosystematics, 6(18): 77-86.
- Michelmore, M., 1997. African Rue Management-Distribution, Biology, Impact and Control Strategies for *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) in South Australia. Primary Industries South Australia, 34p.
- Midolo, G., De Frenne, P., Hölzel, N. and Wellstein, C., 2019. Global patterns of intraspecific leaf trait responses to elevation. Global Change Biology, 25(7): 2485-2498.
- Mirzaie, M., Nosratabadi, S.J., Derakhshanfar, A. and Sharifi, I., 2007. Antileishmanial activity of *Peganum harmala* extract on the in vitro growth of *Leishmania major* promastigotes in comparison to a trivalent antimony drug. Veterinarski arhiv, 77(4): 365-375.
- Modaberi, A., Mahdavi, A. and Amirnejad, H., 2018. The role of forest ecosystem in running water Regulation (Case Study: Noujian watershed in Khoramabad). Environmental Science and Technology, 23(10): 149-159.
- Mohammadi Samani, K., Hosseini, S.A., Lotfalian, M. and Najafi, A., 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). Caspian Journal of Environmental Sciences, 8(2): 151-162.
- Moradi, H., Haddadi-Nejad, M., Yavari, A., Mohammadi-Azni, M., Mousavi, S.M. and Hosseini, S.M.A., 2019. Investigating the morphological, phytochemical and antioxidant capacity of some ecotypes of fragrant violet (*Viola odorata* L.) in Mazandaran province. Scientific Research Journal of Plant Ecophysiology, 12(2): 74-85.
- Moussa, T.A. and Almaghrabi, O., 2016. Fatty acid constituents of *Peganum harmala* plant using Gas Chromatography–Mass Spectroscopy. Saudi Journal of Biological Sciences, 23(3): 397-403.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H. and Chau, K.W., 2017. Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill

Metals Stress. Australian Journal of Crop Science, 5(4): 375-383.
- Ravanbakhsh, H. and Asadi, M., 2016. Biodiversity of forest and steppe communities in southern Aras Alborz habitats (case study: Firouzkoh area). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 30(3): 591-606.
- Ricki-Maryshany, A., 2015. Effects of *Trifolium alexandrium*, *Artemisia sieberi* and fertilizer onagree extract on germination and morphological properties of *Peganum harmala* and *Prosopis cineraria*. Range Management M.Sc. Thesis. University of Zabol.
- Roupioz, L., Jia, L., Nerry, F. and Menenti, M., 2016. Estimation of daily solar radiation budget at kilometer resolution over the Tibetan Plateau by integrating MODIS data products and a DEM. Remote Sensing, 8(6): 504.
- Semerdjieva, I.B. and Yankova, E.P., 2017. Pollen and seed morphology of *Zygophylum fabago* and *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) from Bulgaria. Phyton-International Journal of Experimental Botany, 86: 318-324.
- Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W.G., Springer, G.K., Bohnert, H.J. and Nguyen, H.T., 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. Journal of Experimental Botany, 55: 2343-2351.
- Shepherd, T. and Griffiths, W., 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. New Phytologist, 171(3): 469-499.
- Singh, B.K., Millard, P., Whiteley, A. and Murrell, J.C., 2004. Unravelling rhizosphere–microbial interactions: opportunities and limitations. Trends in microbiology, 12(8): 386-393.
- Soliman, M.S.A., El-Tarras, A.S. and El-Awadi, M.A., 2010. Seed exomorphic characters of some taxa from Saudi Arabia. Journal of American Science, 6(11): 906-910.
- Spasojevic, M.J., Grace, J.B., Harrison, S. and Damschen, E.I., 2014. Functional diversity supports the physiological tolerance hypothesis for plant species richness along climatic gradients. Journal of Ecology, 102:447-455.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A., 2015. Plant Physiology and Development. Edition 6, Sinauer Associates, Incorporated, Publishers, 761p.
- Taleshi, H. and Akbarinia, M., 2011. Biodiversity of woody and herbaceous species in relation to environmental factors in the lower forests of Sharq Nowshahr Dam. Journal of Biology, 24(5): 766-777.
- Tao, W., Ju, T., Milne, R., Miehe, G., Wang, W., Li, J., Chen, L. and Mao, K., 2021. Improved photosynthesis by improved photosynthesis by leaf nutrient content enhances water use efficiency in *Juniperus tibetica* along elevation gradients above 4000 m a.s.l. Plant Ecology & Diversity, 14(2): 81-92.
- Thompson, K., 1993. Morpho;ogy and Colour. 194-196, In: Hendry, G.A. and Grime, J.P. (eds). Methods in comparative plant ecology. A laboratory manual. Chapman & Hall Publication, London, 252p.
- Tranquillini, W., 2012. Physiological Ecology Of The Alpine Timberline: tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. Ecological Studies 31, Springer Verlag, New York, 117p.
- Turkyilmaz, M., Tagi, S., Dereli, U. and Ozkan, M., 2013. Effects of various pressing programs and yields on the antioxidant activity, antimicrobial activity, phenolic content and colour of pomegranate juices. Food Chemistry, 138(3): 1810-1818.
- Unal, B.T., Guvensen, A., Dereboylu, A.E. and Ozturk, M., 2013. Variations in the proline and total protein contents in *Origanum sipyleum* L. from different altitudes of spil mountain Turkey. Pakistan Journal of Botany, 45(1): 571-576.
- Vallejos, C.E. and Pearcy, R.W., 1987. Differential acclimation potential to low temperatures in two species of *Lycopersicon*: photosynthesis and growth. Canadian Journal of Botany, 65: 1303-1307
- Xiong, L.M., Schumaker, K.S. and Zhu, J.K., 2002. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. The Plant Cell, 14: S165-S183.
- Yan, T.P. and Rohasliney, H., 2013. Status of water quality subject to sand mining in the Kelantan river, kelantan. Tropical Life Science research, 24(1): 19-34.
- Yu, Y., Zhang, Y., Chen, X. and Chen, Y., 2019. Plant noncoding RNAs: hidden players in development and stress responses. Annual Reviews, 35: 407-431.
- Zayed, R. and Wink, M., 2005. β-Carboline and quinoline alkaloids in root cultures and intact plants of *Peganum harmala*. Zeitschrift für Naturforschung C, 60(6): 451-458.