



<https://tbj.ui.ac.ir/?lang=en>

**Taxonomy and Biosystematics**

E-ISSN: 2322-2190

Document Type: Research Paper

Vol. 15, Issue 1, No.54, (2023), P: 121-136

Received: 13/11/2023 Accepted: 12/12/2023

## Investigating the Morphological Characteristics of the Medicinal Plant of *Peganum harmala* L. in Western Iran

**Mehdi Kakaei \***

Associate Professor of Plant Breeding, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran  
m.kakaei@pnu.ac.ir

**Fatemeh Hajmoradi**

Assistant Professor of Plant Systematics, Faculty of Basic Sciences, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran  
f.hajmoradi@pnu.ac.ir

### Abstract

Genetic diversity, correlation analysis, path analysis, and regression analysis are fundamental tools for developing innovative breeding programs aimed at improving desirable varieties and traits. To evaluate the relationships between traits affecting economic traits and identify habitats as natural potentials in western Iran, we conducted tests on samples from 4 *Peganum harmala* habitats using a randomized complete-block design. Some of the correlation results indicated a strong correlation between the fresh weight and dry weight of a single stem (0.986\*\*) and between the fresh weight and dry weight of the whole plant (0.856\*\*). Step-by-step regression analysis for the dry yield of the whole plant as the dependent variable revealed that stem height, number of leaves, and number of flowers per plant were successively included in the model. With a cumulative coefficient of determination of 93.6%, these traits explained most of the changes in the dry yield of the whole plant. In the path analysis, stem height was found to have the most direct effect on the dry yield of the whole plant (0.747). Therefore, these traits can be effectively utilized to increase the dry yield of the whole plant.

**Key words:** Pecan, Path Analysis, Phenotypic Correlation Analysis, Regression Analysis.

### Introduction

*Peganum harmala* L., commonly known as pecan, is a perennial herbaceous plant belonging to the Nitrariaceae family and is renowned for its medicinal properties (Aslam et al., 2014). This plant yields valuable alkaloids, such as harmaline, harmine, and harman, as well as phenolic compounds, which have been utilized in the treatment of various ailments, including cancer, epilepsy, heart disease, mental illnesses, chronic headaches, kidney stones, and memory loss (Roostaei, 2018; Li et al., 2017). Researchers, such as Kakaei and Mazahery-Laghab (2014), have emphasized the significance of studying individual traits and their effects on genetic diversity since a thorough understanding of germplasm diversity is crucial for successful breeding programs. Identifying correlations between influential and less important traits facilitates

\*Corresponding author

Kakaei, M., Hajmoradi, F. (2023). Investigating the Morphological Characteristics of the Medicinal Plant of *Peganum harmala* L. in Western Iran, *J5* (1), 121-136.



2322-2190 © The Author(s). Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/TBJ.2023.139760.1245>

the analysis of previous results and lays the groundwork for effective future projects. Consequently, the correlation between important and less important traits aids scientists and researchers in indirect selection for desirable traits through less important ones (Kakaei et al., 2015; Saki Nejad & Seyedmohammadi, 2011). In their research, Kakaei & Mazaheri Laghab (2023) highlighted the value of statistical methods, such as regression analysis, correlation analysis, and path analysis, in elucidating the nature of traits when studying different alfalfa ecotypes. Given the agricultural significance of the medicinal plant of pecan, future studies evaluating these traits using statistical methods, including correlation analysis, regression analysis, and path analysis, will be warranted.

## **Materials & Methods**

To investigate the morphological characteristics of pecan plants from 4 different locations in the western provinces of Iran, including Hamadan and Kermanshah, an experiment was conducted by using a randomized complete block design with 3 replications in 2023. Initially, pecan plant samples were collected simultaneously in July 2023 and then identified, prepared as herbarium sheets, and subjected to morphological examination by consulting floristic sources (El-Hadidi, 1972; Akhyani, 1993). The study focused on the ecotypes of pecan found in these locations, examining traits, such as pecan chlorophyll index (measured using a Chlorophyll Meter Model SPAD-502 Plus), stem height, number of flowers per plant, number of leaves, number of branches per stem, number of nodes, number of branches per plant, fresh weight of the whole plant, dry weight of a single stem, fresh weight of a single stem, dry weight of the whole plant, and stem diameter. Statistical analyses, including simple phenotypic correlation using Pearson's coefficient method, regression analysis employing a step-by-step method to identify important traits, and path analysis to determine direct and indirect effects of traits, were conducted. The values entered in the regression model as the independent variables on the attributes of economic yield as the dependent variables were analyzed using statistical software SPSS, version 21 and SAS, version 9 (Rahnamaie Tak et al., 2007).

## **Research Findings**

### ***Phenotypic Correlation Results***

In Pearson's correlation analysis, plant height exhibited a positive and significant correlation with the number of branches (0.781\*\*), fresh weight of the whole plant (0.849\*\*), and dry weight of the whole plant (0.924\*\*). This indicated that plant height could influence the number of branches, as well as the fresh and dry weights of the whole plant. Furthermore, the number of flowers per plant showed a positive and significant correlation with the number of leaves (0.735\*\*), the fresh weight of a single stem (0.95\*\*), and the dry weight of a single stem (0.901\*\*). Additionally, the number of branches was found to significantly affect the fresh weight of the whole plant (0.724\*\*) and the dry weight of the whole plant (0.697\*\*). Moreover, the fresh weight of a single stem was strongly correlated with the dry weight of a single stem (0.986\*\*) and the fresh weight of the whole plant was similarly correlated with the dry weight of the whole plant (0.856\*\*). This suggested that an increase in the fresh weight of a single stem could lead to a corresponding increase in the dry weight of a single stem.

### ***Stepwise Regression Analysis***

The stepwise regression analysis for the dry yield of the whole plant as the dependent variable revealed that the traits of stem height, number of leaves, and number of flowers per plant were successively included in the model. With a cumulative coefficient of determination of 93.6%, these traits accounted for the majority of changes in the dry yield of the whole plant. The other evaluated traits did not exhibit a significant effect on the model at the 5% probability level.

### **Discussion of Results & Conclusion**

In the realm of plant biology, understanding the various traits, as well as their functions and interplay, is crucial for advancing research initiatives. This study revealed that an increased number of flowers per plant would lead to the development of more stems and leaves, resulting in higher dry and wet weights for the plant. Notably, the number of leaves and nodes directly impacted the fresh and dry weights of individual stems. This relationship was attributed to the correlation between stem count (side branches) and leaf production. Investigating trait correlations is pivotal for evaluating improvement programs as it sheds light on the influence of one trait on others of interest. Recognizing these correlations facilitates the analysis of previous studies and informs the design of future interdisciplinary projects with specific objectives (Kakaei & Mazaheri Laghab, 2015).

In alignment with the findings of this research, Kakaei & Mazaheri Laghab (2015) demonstrated that alfalfa forage yield as a functional variable encompassed 4 key variables: dry forage yield, dry matter percentage, plant height, and the number of alfalfa weevil larvae.



## بررسی اولیه صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی *Peganum harmala L.* در غرب ایران

مهدی کاکایی\*، دانشیار اصلاح نباتات، گروه علوم کشاورزی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

m.kakaei@pnu.ac.ir

فاطمه حاج مرادی، استادیار سیستماتیک گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

f.hajmoradi@pnu.ac.ir

### چکیده

تنوع ژنتیکی، تجزیه و تحلیل همبستگی، تجزیه مسیر و تجزیه رگرسیون، منابع اساسی برای توسعه نوآورانه برنامه‌های اصلاحی برای بهبود واریته‌ها و صفات مطلوب هستند. ارزیابی خصوصیات بوم‌شناختی و ریخت‌شناسی گیاهان دارویی برای استفاده در جهت بهره‌برداری مطلوب، الزامی است؛ بنابراین، خصوصیات ریخت‌شناسی اسپند (*Peganum harmala L.*) در نواحی از غرب کشور ارزیابی شدند. برای این هدف، چهار رویشگاه انتخاب شدند که از نظر خصوصیات، نماینده سطح مطلوبی از مناطق پراکنش اسپند هستند؛ بنابراین، برای ارزیابی روابط بین صفات اثرگذار بر صفات اقتصادی و به‌طور کلی شناساندن رویشگاه‌ها به‌عنوان یکی از پتانسیل‌های طبیعی غرب ایران، نمونه‌های چهار رویشگاه گیاه اسپند واقع در مناطق مذکور، با آرایش طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی آزمون شدند. نتایج نشان دادند بیشترین همبستگی بین صفت ارتفاع بوته با صفات تعداد شاخه (\*\*۰/۷۸۱)، وزن تر کل بوته (\*\*۰/۸۴۹) و صفت وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۹۲۴)، صفت تعداد گل در بوته با تعداد برگ (\*\*۰/۷۳۵)، وزن تر تک ساقه (\*\*۰/۹۵) و وزن خشک تک ساقه (\*\*۰/۹۰۱) و همچنین صفت تعداد شاخه با وزن تر کل بوته (\*\*۰/۷۲۴) و وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۶۹۷) ظاهر شد. صفت وزن تر تک ساقه با صفت وزن خشک تک ساقه (\*\*۰/۹۸۶) و صفت وزن تر کل بوته با صفت وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۸۵۶) توانست همبستگی مثبتی را ایجاد کند. رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد خشک کل بوته به‌عنوان متغیر تابع نشان داد صفت ارتفاع ساقه، صفت تعداد برگ و صفت تعداد گل در بوته به ترتیب وارد مدل شدند و با ضریب تبیین تجمعی ۹۳/۶ درصد بیشترین تغییرات عملکرد خشک کل بوته را توجیه کردند. سپس صفات وارد شده به مدل رگرسیونی توسط تجزیه علیت ارزیابی شدند. در مبحث تجزیه علیت بیشترین اثر مستقیم را صفت ارتفاع ساقه روی عملکرد خشک کل بوته به میزان ۰/۷۴۷ گذاشته است و همچنین این صفت توانست همبستگی مثبت و معنی‌داری به میزان \*\*۰/۹۲۴ با صفت عملکرد خشک کل بوته ایجاد کند؛ بنابراین، از این صفات می‌توان به‌درستی در افزایش عملکرد خشک کل بوته استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اسپند، تجزیه علیت، تجزیه همبستگی فئوتیپی، تجزیه رگرسیون.

\* مسئول مکاتبات

کاکایی، مهدی، حاج مرادی، فاطمه، (۱۴۰۲). بررسی اولیه صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی *Peganum harmala L.* در غرب ایران. تاکسونومی و بیوسیستماتیک ۱۵(۵۴)، ۱۲۱-۱۳۶.



## مقدمه

اسپند (*Peganum harmala* L.) به‌عنوان یک گیاه دارویی از تیره قره‌داغیان (Nitrariaceae)، گیاهی چندساله، پایا و علفی است (Aslam et al., 2014). با توجه به اینکه استخراج آلکالوئیدهای گیاهی کاربردهای وسیع درمانی دارند و تولید آنها از روش‌های شیمیایی بسیار پرهزینه است، از گیاهان دارویی نظیر اسپند استفاده می‌شود. یکی از ارزش‌ترین فرآورده‌های حاصل از این گیاه آلکالوئیدهایی شامل هارمالین، هارمین، هارمان و غیره (Roostaei, 2018) و ترکیبات فنلی است که در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله سرطان، بیماری صرع، بیماری قلبی، بیماری‌های روانی، سردردهای مزمن، سنگ کلیه و از دست دادن حافظه کاربرد دارد (Li, et al., 2017). سعیدی و همکاران در پژوهشی خصوصیات ریخت‌شناسی اکوتیپ‌های گونه‌های ختمی تحت شرایط رویشی متفاوت را بررسی و از تجزیه‌های آماری ساده و چندمتغیره برای تبیین این مطالعه استفاده کردند (Saeidi et al., 2021). در پژوهش دیگری، نجفی‌زاده و همکاران در مطالعه تنوع ژنتیکی نسترن کوهی با کمک تجزیه‌های آماری چندمتغیره اعلام کردند تنوع موجود در بین صفات ثابت می‌کند ارزیابی صفات مورفولوژیکی برگ و تنه و صفات بیوشیمیایی گیاه در کنار سایر خصوصیات میوه به مطالعه تنوع ژنتیکی این گیاه برای برنامه‌های اصلاحی آتی کمک می‌کند (Najafzadeh et al., 2019). در واقع، تجزیه همبستگی ساده ارتباط صفات با یکدیگر و به‌ویژه ارتباط صفات با صفت مهم عملکرد را نشان می‌دهد؛ اما این واقعیت مهم را ظاهر نمی‌کند که کدام صفت در عملکرد نقش مهم‌تری دارد (Ghaderi et al., 2008). کاکایی و مظاهری لقب در پژوهشی بیان کردند مطالعه دقیق صفات و اثرگذاری تک‌تک آنها در مطالعه تنوع ژنتیکی در خور توجه دانشمندان علوم زیستی بوده است؛ زیرا ارزیابی دقیق تنوع ژرم‌پلاسم اساس یک برنامه اصلاحی موفق است (Kakaei & Mazahery laghab, 2014). در حقیقت، تجزیه و تحلیل آماری ابزارهای مطلوبی در شناسایی و وصف روابط بین صفات هستند. معین کردن چگونگی تأثیر صفات مستقل بر صفت وابسته، معین کردن سهم هر صفت در تنوع کل، گروه‌بندی کردن صفات و نیز کاهش حجم متغیرهای اصلی در قالب مؤلفه‌های جدید از جمله موارد کاربردی این روش‌ها هستند (Ghaderi et al., 2008). به‌طور کلی، وجود همبستگی بین صفات در ارزیابی برنامه‌های اصلاحی مفید است. به عبارت دیگر، وقتی انتخاب برای صفتی انجام می‌گیرد که اطلاعاتی از نحوه اثر آن بر سایر صفات صورت گرفته باشد. همچنین اطلاع از وجود همبستگی بین صفات تأثیرگذار و با اهمیت، تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده قبلی را آسان‌تر کرده است و مبنای برنامه‌ریزی طرح‌های اثرگذار را در آینده ایجاد می‌کند؛ بنابراین، همبستگی بین صفات با اهمیت و کم‌اهمیت، دانشمندان و محققان به‌نژادی را در انتخاب غیرمستقیم برای صفات مناسب از طریق صفات کم‌اهمیت‌تریاری می‌کند (Kakaei et al., 2015; Saki Nejad & Sayemohamadi, 2011). کاکایی و همکاران در مطالعه ارتباط بین صفات با یکدیگر در گیاه نخود اعلام کردند یکی از اهداف به‌نژادی شناسایی صفاتی است که اثر مستقیم و غیرمستقیم معنی‌دار بر صفت عملکرد اقتصادی دارند (Kakaei et al., 2015)؛ بنابراین، ارزیابی صفات از طریق تجزیه‌های همبستگی و رگرسیون گام به‌گام بین سایر صفات و صفت عملکرد ضرورت دارد. در واقع پارامتر مسیر، عامل همبستگی را به اجزای خود تقسیم می‌کند؛ بنابراین، یکی از مؤلفه‌ها ضریب مسیر یا به اصطلاح رگرسیون استانداردشده جزئی است که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم عامل تأثیرگذار بر عامل وابسته را از طریق عامل تأثیرگذار دیگر اندازه‌گیری می‌کند (Cruz & Carneiro, 2015).

2003). در پژوهشی نظریه‌ور و همکاران در مطالعه صفات مورفولوژیکی اسپند اعلام کردند مرتعی بودن گیاه اسپند به‌عنوان پوشش گیاهی ارزشمند، ایفای وظیفه مهم در بازسازی اکوسیستم محلی و همچنین وجود ترکیبات دارویی با ارزش نظیر هارمالین و هارمان دلیل بسیار محکمی بر گسترش کاشت گیاه است و همچنین بیان کردند نسبت کلروفیل a به b و ترکیبات فنلی در شرایط تنش شوری افزایش یافته و از این طریق قادر به تحمل شرایط تنش شوری بوده است (Nazarpoor et al., 2020). در پژوهشی کاکایی و همکاران در مطالعه صفات پنبه زراعی با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام اعلام کردند صفت عملکرد پنبه دانه، به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد دو صفت وزن غوزه و عملکرد و ش، به‌عنوان مطلوب‌ترین صفت اثرگذار بر عملکرد پنبه دانه، قادر بودند ۹۵/۰۸ درصد از تغییرات این متغیر وابسته را توجیه کنند (Kakaei et al., 2017). با وجود اینکه آنالیز همبستگی بین عملکرد اقتصادی و دیگر صفات، اهمیت نسبی و ارزش آنها را به‌عنوان معیارهای گزینش تعیین می‌کند، محاسبه ضرایب همبستگی صفات با یکدیگر تنها ارتباط خطی بین آنها را نمایان می‌کند؛ در حالی که در روش تجزیه علیت، سهم هریک از اثرات مستقیم و غیرمستقیم آنها را برآورد می‌کند. در حقیقت، تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات گوناگون بر عملکرد در انتخاب و ترتیب صفات به‌نژادگران کمک می‌کند (Kakaei et al., 2017; Entesari et al., 2015). کاکایی و همکاران در مطالعه اکوتیپ‌های مختلف یونجه با کمک تجزیه رگرسیون، تجزیه همبستگی و تجزیه علیت اعلام کردند این روش‌های آماری بسیار ارزشمند برای تفکیک ماهیت صفات هستند و روابط بین صفات را با کمک این تجزیه‌های آماری مشخص کردند (Kakaei et al., 2023). با توجه به اهمیت گیاه دارویی اسپند از نظر صفات زراعی، مطالعه پیش رو برای ارزیابی این صفات با استفاده از روش‌های آماری شامل تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت است.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی

برای بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی چهار مکان رویش گیاه اسپند، آزمونی با آرایش طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ انجام گرفت. در این پژوهش، صفات ریخت‌شناسی مربوط به چهار محل رویش شامل سه مکان در نقاط مختلف شهر اسدآباد (استان همدان) شامل روستای موسی‌آباد ۱ با شماره هرباریومی به ترتیب برای هر سه نمونه انتخاب‌شده ۱-۲۶۴، ۲-۲۶۴ و ۳-۲۶۴، روستای موسی‌آباد ۲ با شماره هرباریومی به ترتیب برای هر سه نمونه انتخاب‌شده ۱-۲۶۵، ۲-۲۶۵ و ۳-۲۶۵ و روستای نجف‌آباد با شماره هرباریومی به ترتیب برای هر سه نمونه انتخاب‌شده ۱-۲۶۶، ۲-۲۶۶ و ۳-۲۶۶ و مکان چهارم در شهر کنگاور (استان کرمانشاه) شامل روستای کارخانه با شماره هرباریومی به ترتیب برای هر سه نمونه انتخاب‌شده ۱-۲۶۷، ۲-۲۶۷ و ۳-۲۶۷ واقع در بخش غربی ایران ارزیابی شدند. در هر رویشگاه تعداد سه نمونه به صورت تصادفی انتخاب شدند. ابتدا نمونه‌های گیاهی اسپند بعد از جمع‌آوری به‌طور هم‌زمان (اوایل تیرماه ۱۴۰۲)، خشک و سپس تهیه شیت‌های هرباریومی و بررسی مورفولوژیکی با مراجعه به منابع فلورستیکی شناسایی شدند (El-Hadidi, 1972; Akhyani 1993). شیت‌های نمونه‌های گیاهی در هرباریوم دانشگاه پیام‌نور نگهداری می‌شوند. در این مطالعه برای اکوتیپ‌های شناسایی شده اسپند در محل‌های ذکر شده صفات شاخص

کلروفیل اسپند (با کمک دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD-502 Plus)، ارتفاع ساقه، تعداد گل در بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه در ساقه، تعداد گره، تعداد شاخه در هر بوته، وزن تر کل بوته، وزن خشک تک ساقه، وزن تر تک ساقه، وزن خشک کل بوته و قطر ساقه بررسی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های اسپند

Table 1. Traits studied in pecan ecotypes

ردیف	نام صفت	ردیف	نام صفت	ردیف	نام صفت
Row	Trait Name	Row	Trait Name	Row	Trait Name
X1	شاخص کلروفیل اسپند SPAD Chlorophyll index	X5	تعداد شاخه در ساقه Number of branches per stem	X9	وزن تر تک ساقه Fresh weight of single stem (gr.)
X2	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	X6	تعداد گره Number of nodes	X10	وزن تر کل بوته Fresh weight of the whole plant (gr.)
X3	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	X7	تعداد شاخه در هر بوته Number of branches per plant	X11	وزن خشک تک ساقه Dry weight of single stem (gr.)
X4	تعداد برگ Number of leaves	X8	قطر ساقه Stem diameter (cm)	X12	وزن خشک کل بوته Dry weight of the whole plant (gr.)

### ارزیابی‌های آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل همبستگی ساده فنوتیپی با استفاده از روش ضریب پیرسون، تجزیه و تحلیل رگرسیون با روش گام به گام برای شناسایی صفات با اهمیت و اثرگذار بر عملکرد اقتصادی، تجزیه و تحلیل علیت برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات با ارزش وارد شده در مدل رگرسیونی به عنوان متغیر مستقل بر صفات عملکرد اقتصادی به عنوان متغیر وابسته با کمک نرم‌افزارهای آماری SPSS نسخه ۲۱ و SAS نسخه ۹ صورت گرفت (Rahnamaie Tak et al., 2007). ضریب همبستگی پیرسون مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیار آنها منظم شده است که در خصوص داده‌هایی با مقیاس فاصله‌ای و نسبی (داده‌های کمی) استفاده شد (Farshadfar, 2005). سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۱ درصد در نظر گرفته شد. برای ارزیابی اثرات نسبی موجود در بین صفات با صفت وابسته عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) از روش تجزیه رگرسیون چندمتغیره گام به گام استفاده شد (Marjani, 1995). این روش تنها اثر و رابطه همبستگی متغیرهای مستقل مهم را با متغیر وابسته نمایش می‌دهد؛ اما رابطه بین خود متغیرهای مستقل محاسبه نمی‌شود (Rezaei, 1998). به منظور پی بردن به همبستگی بین خود متغیرها می‌توان از همبستگی‌های ساده استفاده کرد؛ اما در این روش چنین نقیصی وجود دارد که تغییرات یک متغیر با متغیر دیگر بدون احتساب اثرات موجود دیگر انجام می‌شوند که برای رفع این نقایص از روش تجزیه علیت استفاده شد (Agrama, 1996).



## نتایج

**نتایج همبستگی فنوتیپی:** در پژوهش پیش رو روابط بین صفات با یکدیگر به طور مجزا بررسی شدند. در تجزیه همبستگی مطالعه حاضر براساس جدول ۲، به کمک روش همبستگی پیرسون صفت ارتفاع بوته با صفات تعداد شاخه (\*\*۰/۷۸۱)، وزن تر کل بوته (\*\*۰/۸۴۹) و صفت وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۹۲۴) همبستگی مثبت و معنی داری داشتند؛ یعنی ارتفاع بوته می تواند صفات تعداد شاخه، وزن تر و وزن خشک کل بوته را متأثر کند. صفت تعداد گل در بوته نیز همبستگی مثبت و معنی داری را با تعداد برگ (\*\*۰/۷۳۵)، وزن تر تک ساقه (\*\*۰/۹۵) و وزن خشک تک ساقه (\*\*۰/۹۰۱) ظاهر کرد. صفت تعداد شاخه نیز قادر بود وزن تر کل بوته (\*\*۰/۷۲۴) و وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۶۹۷) را متأثر کند. صفت وزن تر تک ساقه با صفت وزن خشک تک ساقه (\*\*۰/۹۸۶) و صفت وزن تر کل بوته با صفت وزن خشک کل بوته (\*\*۰/۸۵۶) توانست همبستگی مثبت و معنی داری را ایجاد کند؛ یعنی هر چقدر وزن تر تک ساقه بیشتر شود، متعاقب آن وزن خشک تک ساقه افزایش می یابد.

جدول ۲- همبستگی ساده پیرسون برای صفات مطالعه شده در اکوتیپ های مختلف اسپند  
Table 2. Simple Pearson correlation for studied traits in different pecan ecotypes

X12	X11	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1			
												شاخص		
											۱	X1	کلروفیل اسپند SPAD Chlorophyll index	
										۱	-۰/۷۹۵**	X2	ارتفاع بوته Stem height (cm) تعداد گل در بوته	
									۱	۰/۴۴۷	-۰/۲۴۹	X3	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	
								۱	۰/۷۳۵**	-۰/۰۵۳	۰/۱۱۷	X4	تعداد برگ Number of leaves تعداد شاخه	
							۱	۰/۱۰۱	۰/۵۶۱	۰/۷۸۱**	-۰/۶۹۱*	X5	در ساقه Number of branches per stem تعداد گره	
						۱	-۰/۰۹۶	۰/۴۶۷	۰/۵۳۳	-۰/۲۵۴	۰/۲۱۸	X6	تعداد گره Number of nodes تعداد شاخه	
							۱	-۰/۰۲۰	۰/۱۵۲	۰/۳۶۳	۰/۱۸۹	۰/۱۶۴	X7	در هر بوته Number of

X12	X11	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1			
												branches per plant		
												قطر ساقه		
				۱	۰/۳۲۴	۰/۳۶۲	-۰/۶۲۹*	-۰/۰۶	-۰/۳۹۴	-۰/۶۷۹*	۰/۲۳۳	X8 Stem diameter (cm)		
												وزن تر تک ساقه		
			۱	-۰/۲۴۸	۰/۲۷۹	۰/۵۹۹*	۰/۴۹۶	۰/۸۲۷**	۰/۹۵۰**	۰/۲۴۸	-۰/۱۵۴	X9 Fresh weight of single stem (gr.)		
												وزن تر کل بوته		
			۱	۰/۳۰۹	-۰/۷۶۵**	-۰/۲۸۹	-۰/۰۶۳	۰/۷۲۴**	-۰/۰۷۳	۰/۵۳۲	۰/۸۴۹**	-۰/۴۷۶	X10 Fresh weight of the whole plant (gr.)	
												وزن خشک تک ساقه		
			۱	۰/۱۷۰	۰/۹۸۶**	-۰/۱۲۱	۰/۳۳۸	۰/۶۱۵*	۰/۳۹۸	۰/۸۷۲**	۰/۹۰۱**	۰/۱۲۱	-۰/۰۸۳	X11 Dry weight of single stem (gr.)
													وزن خشک کل بوته	
			۱	-۰/۰۶۸	۰/۰۵۶	-۰/۵۶۹	۰/۰۵۶	-۰/۲۹۷	۰/۶۹۷*	-۰/۳۲۳	۰/۲۷۹	۰/۹۲۴**	-۰/۷۸۶**	X12 Dry weight of the whole plant (gr.)

\*\* و \* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

### تجزیه رگرسیون به روش گام به گام

برای تعیین صفات با بیشترین اثر بر وزن خشک کل بوته و مشخص کردن سهم هریک از این صفات در واریانس کل، از رگرسیون گام به گام استفاده شد (جدول ۳). رگرسیون گام به گام برای عملکرد خشک کل بوته به عنوان متغیر تابع نشان داد صفات ارتفاع ساقه، تعداد برگ و صفت تعداد گل در بوته به ترتیب وارد مدل شدند و با ضریب تبیین تجمعی ۹۳/۶ درصد بیشترین تغییرات عملکرد خشک کل بوته را توجیه کردند؛ سایر صفات ارزیابی شده اثر معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر مدل نداشتند. به عبارت بهتر، در مدل رگرسیونی به دست آمده، صفت ارتفاع ساقه نخستین متغیری بود که توانست وارد مدل شود و به تنهایی ۸۳/۸ درصد از تغییرات عملکرد بین اکوتیپ‌ها را توجیه کرد. بعد از آن، متغیر تعداد برگ به مدل اضافه شد و توانست به همراه صفت ارتفاع ساقه ۹۱/۳ درصد از تغییرات کل را توجیه کند. معادله خط رگرسیون برابر است با:  $Y = 11.033 + 4.563 X1 - 0.844 X2 + 0.623 X3$  عملکرد خشک کل بوته

جدول ۴، نتایج تجزیه واریانس رگرسیون را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، ضریب رگرسیون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. در واقع، معنی‌دار شدن ضریب رگرسیون جدول، به این معنی است که تغییرات متغیرهای ارتفاع ساقه، تعداد برگ و صفت تعداد گل در بوته بر عملکرد خشک کل بوته اثر معنی‌دار دارد؛ به گونه‌ای که کاهش و افزایش مقادیر مربوط به این متغیرهای مستقل، به‌طور معنی‌داری سبب تغییر عملکرد خشک کل بوته می‌شود.

جدول ۳- برازش بهترین مدل رگرسیون چندمتغیره به روش گام‌به‌گام برای صفت وزن خشک کل بوته به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل

Table 3. Fitting the best multivariate regression model by step-by-step method for dry weight trait of the whole plant as dependent variable and other traits as independent variables.

خطای استاندارد Standard error	F	ضریب تشخیص تجمعی Cumulative detection coefficient	ضرایب رگرسیون Regression coefficients	متغیر وارد شده به مدل Variable entered in to the model	مرحله ورود متغیر به مدل Step of entering the variable into the model
۱۰/۸۸۸	۵۸/۰۸**	٪۸۳/۸	۴/۵۶۳	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	۱
۸/۰۰۸	۹/۴۸*	٪۹۱/۳	-۰/۸۴۴	تعداد برگ Number of leaves	۲
۶/۸۶۲	۴/۲۵ns	٪۹۳/۶	۰/۶۲۳	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	۳

جدول ۴- تجزیه واریانس رگرسیون

Table 4. Regression analysis of variance

معیار تصمیم Decision criterion	آماره F	میانگین مربعات خطا MSe	درجه آزادی df	الگو Pattern
۰/۰۰۰	۵۸/۰۸۴	۶۸۸۶/۴۴۲	۱	رگرسیون Regression
		۱۱۸/۵۵۹	۱۰	باقی‌مانده‌ها Remainders
			۱۱	کل Total

### تجزیه علیت

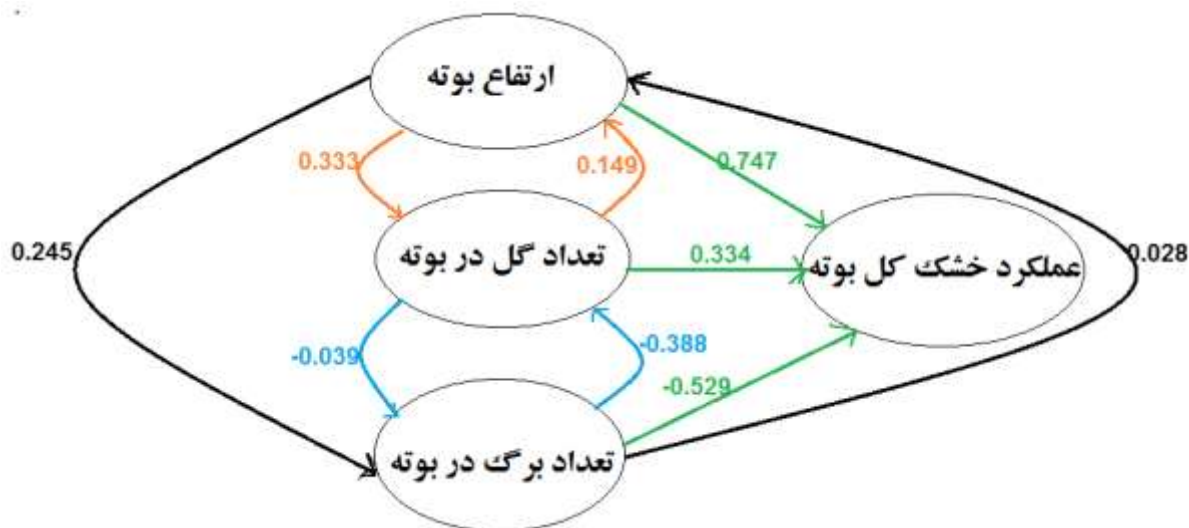
در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با در نظر گرفتن صفت عملکرد خشک کل بوته به‌عنوان متغیر تابع، سه صفت ارتفاع ساقه، تعداد برگ و تعداد گل در بوته وارد مدل رگرسیونی شدند و از این صفات برای محاسبه و تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر صفت عملکرد خشک کل بوته استفاده شد. بیشترین اثر مستقیم را صفت ارتفاع ساقه روی عملکرد خشک کل بوته به میزان ۰/۷۴۷ گذاشت. همچنین این صفت توانست همبستگی مثبت و معنی‌داری به میزان ۰/۹۲۴\* با صفت عملکرد خشک کل بوته ایجاد کند. میزان اثرات مستقیم و همبستگی (اثر کل) صفات تعداد برگ و تعداد گل در بوته بر

متغیر عملکرد خشک کل بوته در جدول ۵ و شکل ۱ مشخص است. همچنین میزان و وضعیت اثرات غیرمستقیم هریک از آنها بر صفت عملکرد خشک کل بوته نیز در جدول ۵ و شکل ۱ نشان داده شده است. کاکایی و همکاران در تحقیقات مربوط به پنبه زراعی از تجزیه‌های آماری شامل تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه همبستگی استفاده و اعلام کردند که تجزیه علیت توانایی تشخیص صفات، بالاترین اثر مستقیم و غیرمستقیم را دارد (Kakaei et al., 2017).

جدول ۵- ضرایب همبستگی و آثار مستقیم (روی قطر) و غیرمستقیم صفات بر عملکرد خشک کل بوته

Table 5. Correlation coefficients and direct (diameter) and indirect effects of traits on the dry yield of the whole plant

اثر باقی مانده Remainders effect	اثر کل Total effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect through			اثر مستقیم Direct effect	صفات Traits
		تعداد گل در بوته Number of flowers per plant	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع ساقه Stem height (cm)		
	۰/۹۲۴**	۰/۰۲۸	۰/۱۴۹	-	۰/۷۴۷	ارتفاع ساقه Stem height (cm)
	-۰/۳۲۳	۰/۲۴۵	-	-۰/۰۳۹	-۰/۵۲۹	تعداد برگ Number of leaves
۰	۰/۲۷۹	-	-۰/۳۸۸	۰/۳۳۳	۰/۳۳۴	تعداد گل در بوته Number of flowers per plant



شکل ۱- دیاگرام تجزیه علیت صفات اثر گذار بر عملکرد خشک کل بوته بر مبنای چهار اکوتیپ اسپند

Fig 1. Path analysis diagram of traits affecting the dry yield of the whole plant based on four pecan ecotypes

## بحث

در گیاهان، شناسایی صفات گوناگون، چگونگی عملکرد آنها و اثرات متقابلی که بر همدیگر دارند می‌توانند در برنامه‌های پژوهشی اثر داشته باشد. اطلاعات به‌دست آمده از ضریب همبستگی بین عملکرد و اجزای آن، همواره به‌عنوان مبنایی برای انتخاب نیاز به تغذیه و عملکرد دانه بالا در برنامه‌های اصلاحی مفید بوده است. علاوه بر این، روابط بین این صفات را می‌توان به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم با ضریب همبستگی مسیر به شکل معنادارتری تجسم کرد (Phuong Thuy et al., 2023). در این تحقیق، هرچه صفت تعداد گل در بوته افزایش یابد، در حقیقت به‌علت تشکیل ساقه و برگ بیشتر، قادر خواهد بود وزن خشک و تر گیاه را افزایش دهد. براساس نتایج این پژوهش، صفات تعداد برگ و تعداد گره قادر بودند صفات وزن تر و وزن خشک تک ساقه را افزایش دهند؛ زیرا هرچه تعداد ساقه در گیاه (انشعابات جانبی) افزایش یابد، میزان تولید برگ نیز افزایش می‌یابد. مطالعه همبستگی بین صفات در ارزیابی برنامه‌های اصلاحی بسیار حائز توجه و اهمیت است. زمانی عمل انتخاب صفتی برای اصلاح آن صفت صورت می‌گیرد که نحوه اثر آن صفت بر سایر صفات مدنظر وجود داشته باشد. مطلع شدن راجع به وجود همبستگی بین صفات، تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات قبلی را آسان‌تر می‌کند و بر مبنای آن در کنار سایر نتایج می‌توان طرح‌های به‌نژادی را با هدف مشخص در آینده برنامه‌ریزی کرد (Kakaei & Mazahery Laghab, 2015). در واقع، تجزیه رگرسیون، بررسی اثر چند متغیر مستقل بر متغیر وابسته است. در حقیقت، در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام (stepwise) تمامی متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند و آن متغیر مستقلی که تأثیر چندانی بر متغیر وابسته نداشته باشد از مدل حذف می‌شود. در راستای نتایج این پژوهش، کاکایی و مظاهری لقب، در مطالعه صفات گیاه یونجه با کمک تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام اعلام کردند عملکرد علوفه تر یونجه به‌عنوان متغیر تابع توانست چهار متغیر عملکرد علوفه خشک، درصد ماده خشک، ارتفاع بوته و تعداد آفت لارو سرخرطومی یونجه را وارد مدل کند و با ضریب تبیین جمعی ۸۹/۲۹ درصد بیشترین تغییرات عملکرد علوفه تر را توجیه کند (Kakaei & Mazahery-Laghab, 2015). همچنین، کاکایی و همکاران در مطالعه تنوع ژنتیکی و قابلیت توارث گیاه نخود اعلام کردند تجزیه رگرسیون به روش گام‌به‌گام نشان داد صفات تعداد نیام در بوته، شاخص برداشت، زیست توده، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته توانستند ۸۴/۶۸ درصد از تغییرات متغیر تابع (عملکرد دانه) را توجیه کنند (Kakaei et al., 2015). کاکایی و همکاران در مطالعه برخی دیگر از اکوتیپ‌های یونجه برای تشخیص اکوتیپ یونجه دارای بالاترین عملکرد در شرایط رویایی با آفت سرخرطومی برگ یونجه ابراز کردند صفات واردشده به مدل در تجزیه رگرسیون به روش گام‌به‌گام با ضریب تبیین جمعی ۹۹/۵۸ درصد بیشترین عملکرد تر علوفه را توجیه کردند (Kakaei et al., 2016).

## نتیجه‌گیری

ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته است. در این بخش مستعد فرسایش، کاربرد گونه‌های متحمل به خشکی و کم نیاز به آب ضروری است. اسپند گونه متحمل به خشکی و از گیاهان زروفیت به حساب می‌آید که قادر است خود را با مقادیر بارش بسیار کم این منطقه سازگار کند. این گیاه دارای ریشه‌های نسبتاً عمیق و بخش هوایی

مطلوبی بوده است؛ بنابراین، قادر است در برابر فرسایش بادی و آبی مقاومت کند و مقادیر چشمگیری از رواناب‌های ایجاد شده را به خاک نفوذ دهد و از فرسایش آبی بکاهد و همچنین با بخش هوایی تولیدی خود می‌تواند از آسیب ریزگردهای ایجاد شده بکاهد. همچنین، گیاه اسپند با خواص دارویی متنوع خود، می‌تواند در درمان بسیاری از امراض به کار رود. این گیاه دارای فرآورده‌هایی همچون شربت متادون است که قابلیت صادر کردن این دارو وجود دارد؛ بنابراین، می‌توان با معرفی اکوتیپ یا اکوتیپ‌های مناسب به بازار علاوه بر افزایش راندمان تولید اسانس و آلکالوئیدهای این گیاه، استفاده از این گیاه را اقتصادی کرد. با کمک تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت مهم‌ترین متغیر یعنی صفت عملکرد خشک کل بوته به عنوان متغیر تابع شناسایی شد و همچنین اثرگذارترین صفات (ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته و تعداد برگ در بوته) برای اثرگذاری بر صفت اقتصادی شناسایی شد که می‌توان از آن‌ها به منظور توسعه و شناسایی این گیاه دارویی ارزشمند در تمامی رویشگاه‌های کشور اقدام کرد.

## References

- Agrama, H. A. S. (1996). Sequential path analysis of grain yield and its component in maize. *Plant Breeding*, 115(5), 343-346. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1996.tb00931.x>
- Akhyani, Kh. (1993). Zygophyllaceae. In: Assadi, M., Khatamsaz, M. & Maassoumi, A. A. (eds) *Flora of Iran* (7: 1-49). Research Institute of Forests and Rangelands. [In Persian].
- Aslam, N., Wani, A. A., Nawchoo, I. A., & Bhat, M. A. (2014). Distribution and medicinal importance of Peganum harmala. A review. *International Journal of Advanced Research*, 2(2), 751-755. <https://www.semanticscholar.org/paper/Distribution-and-Medicinal-importance-of-Peganum-A-Aslam-Wani/a683a31225e6f17a4c97bbcb42df04d9f74202b>
- Cruz, C. D., & Carneiro, P. C. S. (2003). *Biometric models applied to genetic improvement*. 2. ed. Viçosa, Publishing Company of the UFV.
- El-Hadidi, N. (1972). Zygophyllaceae. In: Rechinder, K. H. (ed.) *Flora Iranica* (98: 1-32). Akademische Druck-u.-Verlagsanstalt.
- Entesari, M. H., Zangi, M. R., & Dadashi, M. R. (2015). Evaluation of the morphological and yield traits in the new varieties of cotton. *Iranian Journal of Cotton Research*, 3(1), 119-132. 10.22092/IJCR.2016.106079 [In Persian].
- Farshadfar, E. (2005). *Advanced statistical principles and methods (regression analysis)*. Razi University Press.
- Ghaderi, M. G., Zeinalikhanghah, H., Hosseinzadeh, A. H., Taleei, A. R., & Naghavi, M. R. (2008). Evaluation of relationships between grain yield, yield components and the other characteristics associated with grain yield in bread wheat using multivariate statistical analysis. *Iranian journal of Agricultural Research*, 7(2), 582-573.
- Kakaei, M., & Mazahery laghab, H. (2014). Evaluation of alfalfa (*Medicago Sativa* L.) germplasm using multivariate statistical analysis. *Iranian journal of Rangeland and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 22(1), 125-132. 10.22092/IJRFPBGR.2014.7689 [In Persian].
- Kakaei M., & Mazahery-Laghab, H. (2015). Study of Genetic Diversity, Heritability and the Correlation of Different Traits in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Related to Alfalfa Weevil (*Hypera postica* Gyll.) Damage in Alfalfa Germplasm. *Journal of Plant Genetic Research*, 2(1), 63-76. 10.29252/pgr.2.1.63 [In Persian].
- Kakaei, M., Moosavi, S. S., Abdollahi, M. R., & Farshadfar, E. (2015). Grain Yield, Its Components, Genetic Diversity and Heritability in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16), 271-281. 10.18869/acadpub.jcpp.5.16.271 [In Persian].

- Kakaei, M., Mazahery laghab, H., & Khanjani, M. (2016). Variability of Resistance to Alfalfa Weevil (*Hypera postica* Gyll.) Attack in Different Alfalfa Genotypes in Hamedan Condition. *Plant Production Technology*, 8(1), 57-67. 10.22084/ppt.2016.1755 [In Persian].
- Kakaei, M., Kahrizi, D., & Moosavi, S. S. (2017). Assessing the relationships of lint-yield and cottonseed-yield with some agro-morphological traits of *Gossypium hirsutum* var. Varamin by path analysis. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 4(2), 101-114. 10.22092/IJCR.2017.113073 [In Persian].
- Kakaei, M., & Mazahery Laqab, H. (2023). Genetic Analysis of Path Coefficients of Some Traits in Relation with Tolerance to Alfalfa Leaf Weevil (*Hypera postica* Gell.). *Journal of Genetic Resources*, 9(1), 83-91. 10.22080/JGR.2023.24987.1343
- Li, S., Cheng, X., & Wang, C. (2017). A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, Pharmacokinetics and toxicology of the genus *Peganum*. *Ethnopharmacology*, 203, 127-162. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.03.049>
- Marjani, A. (1995). *Investigating the phenotypic and genotypic changes of bean quantitative traits and studying their correlation with yield through causality analysis*. [Unpublished Master thesis]. Karaj Azad Faculty of Agriculture. [In Persian].
- Najafzadeh, R., Nojavan, S., Abdi, H., Rashidi, Z., & Mostofi, N. (2019). A Study of Genetic Diversity of Dog Rose (*Rosa canina* L.) Genotypes of Northwest and West of Iran Using Morphological, Biochemical Markers, and Fruit Characteristics. *Taxonomy and Biosystematics*, 11(4), 31-46. <https://doi.org/10.22108/tbj.2020.121697.1108> [In Persian].
- Nazarpoor, S., Salimi, A., & Chavoushi, M. (2020). Evaluating the changes of phytochemical and morphological parameters of *Peganum harmala* L. under salinity stress. *Iranian Medicinal Plants Technology*, 3(2), 43-57. 10.22092/MPT.2021.354626.1080 [In Persian].
- Phuong Thuy, N., Ngoc Trai, N., Dang Khoa, B., Hoang Xuan Thao, N., Tuan Phong, V., & Van Cao Thi, Q. (2023). Correlation and Path Analysis of Association among Yield, Micronutrients, and Protein Content in Rice Accessions Grown Under Aerobic Condition from Karnataka, India. *Plant Breeding and Biotechnology*, 11(2), 117-129. <https://doi.org/10.9787/PBB.2023.11.2.117>
- Rahnamaie Tak, A., Vaezie, Sh., Mozafarie, J., & Shahnejate Bushehrie, A. A. (2007). Study on correlation and path analysis for seed yield per plant and its dependent traits in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pajouhesh & Sazandegi*, 20(3), 80-88. <https://www.sid.ir/paper/19081/en> [In Persian].
- Rezaei, A. (1998). *An introduction to applied regression analysis*. Publications of Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Roostaei, Z. (2018). Effect of Alkaloids Belong to  $\beta$ -Carbolines Family in *Peganum Harmala* on Cancer Cells. *Scientific Journal of Medical Research (SJMR)*, 3(1), 73-78. 10.29252/sjrm.2.2.73 [In Persian].
- Saeidi, K., Azadeh Ghahfaroghi, S. Z., Lorigooini, Z., Kiani, M., & Shahrokhi, A. (2021). Investigating Morphological Characteristics in Ecotypes of 3 *Alcea* Species (*Alcea Koelzii*, *A. Arbelensis*, and *A. Aucheri*) under Different Growing Conditions. *Taxonomy and Biosystematics*, 12(45), 23-48. 10.22108/TBJ.2021.124421.1121 [In Persian].
- Saki Nejad, T., & Seyedmohammadi, S. A. (2011). *Advanced Statistical Methods in Agricultural Sciences*. Behta Pajoohesh Press. [In Persian].

