



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

**Taxonomy and Biosystematics**

E-ISSN: 2322-2190

Document Type: Research Paper

Vol. 14, Issue 3, No.52, (2022), P: 77-96

Received: 02/05/2022 Accepted: 07/11/2022

## Investigating the Morphometric Variation in the Populations of *Megachernes Pavlovskyi* Redikorzev, 1949 (Pseudoscorpiones: Chernetidae) in Zagros Mountain Caves, Iran

**Hamid Darvishnia \***

Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran  
darvishnia\_h@pnu.ac.ir

**Saber Sadeghi**

Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran  
ssadeghi@shirazu.ac.ir

### Abstract

This study examined the morphometric characteristics of four populations of *Megachernes pavlovskyi* inhabiting caves in the Zagros Mountains. The length/width ratios of 14 meristic traits from 95 specimens were analyzed. Statistical tests, including ANOVA, MANOVA, PCA, DFA, and cluster analysis, were employed for data analysis. ANOVA results indicated significant differences in 12 characters ( $p < 0.05$ ). Principal Component Analysis identified three main components, accounting for 64.98% of the total variance. Given the variation in environmental factors of the studied caves and the impact of morphological traits on ecological factors, the observed morphological differences among populations could be attributed to habitat-specific adaptations of the species.

**Key words:** Morphological Flexibility, Scatter Chart, PCA, Cave Habitat, Pseudoscorpiones.

### Introduction

Animals with wide distribution ranges often exhibit significant morphological variations in response to diverse biotic and abiotic factors (Ennen et al., 2014). The strong correlation between the environment and various geographical variables is well-recognized (Mayr, 1991). Pseudoscorpions, small yet fascinating members of the order Arachnida, have a widespread distribution and are typically found in subterranean habitats such as caves, as well as under tree bark and stones (Murienne et al., 2008). Caves represent sensitive, specialized, and unique ecosystems characterized by specific biological conditions and relatively stable ecological parameters (light, temperature, evaporation, and humidity) throughout the year, including the absence of light and high humidity (Medeiros et al., 2009; Romero, 2009). Among the species inhabiting these caves is *Megachernes pavlovskyi*, a pseudoscorpion that has been reported in some Iranian caves (Darvishnia, 2018). This study aimed to explore the morphometric variations of *M. pavlovskyi* populations in several caves within the Zagros Mountains in western Iran.

\*Corresponding author

Darvishnia, H. & Sadeghi, S. (2022). Investigating the morphometric variation in the populations of *megachernes pavlovskyi* redikorzev, 1949 (Pseudoscorpiones: Chernetidae) in zagros mountain caves, Iran. *Taxonomy and Biosystematics*, 14(52), 77-96.



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.2022.133476.1199>



<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088906.1401.14.52.4.7>

## Materials and Methods

Pseudoscorpions were individually sampled using forceps from Malek, Palangan, Botkhaneh, and Sarab caves, and then stored in 75% ethanol. To prepare microscopic slides, the specimens were clarified. Photographs of different body parts were taken using a Nikon Eclipse 80i microscope equipped with a digital camera. Subsequently, all measurements were conducted using ImageJ software (ver.1.8.0). For this purpose, the length and width (L/W ratio) of 14 measurable traits were recorded, including the trochanter, femur, tibia, and tarsus of legs I and IV; the trochanter, femur, patella, and hand of the pedipalps; as well as the chelicera and carapace. Morphometric differences among the four populations of this species in the caves were analyzed using statistical tests such as ANOVA, MANOVA, PCA, DFA, and cluster analysis.

## Results

One-way analysis of variance (ANOVA) was conducted to assess the significance of differences in relative morphometric traits among four cave-dwelling populations of the *M. pavlovskyi* species. Significant differences were observed in 12 out of 14 morphometric traits (except for the L/W ratio of the pedipalp femur and the trochanter of leg IV) ( $p < 0.05$ ). Additionally, the multivariate analysis of variance revealed significant differences among patterns of population changes ( $p < 0.05$ ). Principal component analysis (PCA) identified three statistically significant components, accounting for 64.98% of the total variance. The first component encompassed relative characteristics of the femur, tibia, and tarsus of leg IV; the tibia and tarsus of leg I; and the femur and hand of the pedipalp. The second component included the patella of the pedipalp and the chelicerae. The third component comprised the femur of leg I and the trochanter of legs I and IV. These components and the traits within them played a crucial role in differentiating the populations of each cave from one another. According to the classification derived from the scatter plot, the Botkhaneh and Sarab populations are distinctly separated from the Malek and Palangan populations. However, there is an overlap between the Botkhaneh and Sarab populations as well as between the Malek and Palangan populations. The comprehensive analysis of the measured relative morphological traits of the four studied populations, using discriminant function analysis (DFA), revealed that 98% of the groups were correctly classified. Cluster analysis of the relative morphological traits resulted in the division of the studied samples into two main clusters. The first cluster comprises the populations of the Malek and Palangan caves located in Ilam and Fars provinces, respectively, while the second cluster includes the populations of the Botkhaneh and Sarab caves in Lorestan and Chahar Mahal and Bakhtiari provinces.

## Discussion

An ecosystem may host several populations of the same species. There are various methods to compare or identify different populations of the same species, one of which involves examining relative morphometric traits. Therefore, by studying morphometric traits and employing statistical methods, it is possible to gain valuable insights into the morphological diversity of populations (Wootton, 1991). The ANOVA analysis revealed significant differences between most of the relative traits. In the PCA, three significant components were extracted, accounting for 64.98% of the total variance. Based on these three components, the Botkhaneh and Sarab populations were clearly differentiated from the Malek and Palangan populations. Wainwright and Shaw (1999) proposed that morphological traits can adapt flexibly in response to environmental changes. In this study, the segregation of the populations of this species could be attributed to the similarities in environmental factors, such as relative humidity and temperature, between Sarab and Botkhaneh caves compared to those in Malek and Palangan caves.

According to the results of the scatter plot from discriminant analysis, the groups were accurately classified. The populations from Malek and Palangan caves clustered together in one dendrogram, while those from Botkhaneh and Sarab formed another cluster. The internal environment of Sarab and Botkhaneh caves exhibited higher humidity and lower temperatures compared to Malek and Palangan caves, and notably, the CO<sub>2</sub> concentration in Botkhaneh cave was much higher than in the other three caves. Although pinpointing the exact causes of these morphological differences among populations is challenging, the prevailing view that morphological changes are solely influenced by genetics has evolved. Today, it is acknowledged that environmental factors, in addition to genetic elements, also play a significant role in shaping morphological traits (Akbarzadeh et al., 2009).

Considering that morphological traits are influenced by ecological factors, the variation in the relative sizes of these traits may be attributed to the differences in the type of ecosystems studied and the distinct responses of species to environmental conditions (Safaei et al., 2014). In this study, the disparities in the relative size of morphological traits among the examined populations could be due to the varying habitat characteristics in which these populations reside. The population residing in each cave could enhance its chances of survival through morphological adaptability. The flexibility in animal morphology is usually a response to environmental conditions, manifesting as morphological, physiological, and behavioral adaptations (Mayr, 1991). In the present study, although Sarab and Botkhaneh caves are geographically distant and differ in elevation from sea level at their entrances, it appears that the similarity in environmental factors inside the caves, such as higher humidity, along with factors like lower temperature and greater accumulation of bat guano, have created similar conditions for the species' habitation. This similarity may explain why the populations in these two caves are more alike compared to those in Malek and Palangan caves. The findings suggest that environmental factors like cave temperature, humidity levels, and substrate type could significantly influence the morphology of *Megachernes pavlovskyi* species and account for the observed differences.



## بررسی تنوعات ریخت‌سنجی جمعیت‌های گونه *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 (Pseudoscorpiones: Chernetidae) در غارهای رشته‌کوه زاگرس، ایران

حمید درویش نیا\*، استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

darvishnia\_h@pnu.ac.ir

صابر صادقی، دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

ssadeghi@shirazu.ac.ir

### چکیده

عقرب‌های کاذب بندپایانی کوچک با پراکنش وسیع از رده عنکبوتیان هستند و بیشتر در ریززیستگاه‌های سرپسته و متنوع از جمله غارها سکونت دارند. جانداران دارای پراکنش وسیع، به‌طور معمول تفاوت‌های ریختی نسبت به تنوع عوامل زنده و غیر زنده موجود در دامنه پراکنش خود نشان می‌دهند. در این پژوهش، تغییرات ریخت‌سنجی بین جمعیت‌های گونه *Megachernes pavlovskyi* در تعدادی از غارهای واقع در رشته‌کوه زاگرس بررسی شده است. تعداد ۹۵ نمونه متعلق به گونه یادشده جمع‌آوری شد؛ سپس اندازه‌گیری نسبت طول به عرض ۱۴ صفت ریختی - اندازه‌گیری آنها با تهیه اسلاید و عکس‌برداری با میکروسکوپ مجهز به دوربین و با کمک نرم‌افزار ImageJ انجام شد. تحلیل داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری ANOVA، MANOVA، PCA و DFA و تحلیل خوشه‌ای صورت گرفت. نتایج به‌دست آمده از تحلیل ANOVA نشان داد در صفات نسبی مطالعه‌شده، بین ۱۲ صفت اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود ( $p < 0.05$ ). تحلیل مؤلفه‌های اصلی منجر به استخراج سه مؤلفه معنی‌دار شد که ۶۴/۹۸ درصد واریانس را به خود اختصاص داده است. برای بررسی تفاوت‌های موجود بین جمعیت‌ها، نمودار پراکنندگی جمعیت‌ها براساس مؤلفه‌های اصلی ترسیم و جدایی جمعیت‌های بت‌خانه و سراب از جمعیت‌های ملک و پلنگان مشخص شد؛ ولی بین جمعیت بت‌خانه و سراب و نیز جمعیت ملک و پلنگان هم‌پوشانی ریختی وجود دارد. به‌علت تفاوت فاکتورهای محیطی حاکم بر غارهای مطالعه‌شده و به‌دلیل تأثیرپذیری صفات ریختی از عوامل اکولوژیک، به‌طور احتمالی تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مطالعه‌شده از تفاوت ویژگی‌های زیستگاهی محل سکونت آنها نشئت گرفته است؛ بنابراین شبه‌عقرب‌ها با انعطاف‌پذیری ریخت‌شناختی، شانس بقای خود را در زیستگاه‌های مختلف افزایش می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** انعطاف‌پذیری ریختی، نمودار پراکنندگی، تحلیل مؤلفه اصلی، زیستگاه غاری، شبه‌عقرب‌ها.

\* مسئول مکاتبات

درویش نیا، حمید. و صادقی، صابر. (۱۴۰۱). بررسی تنوعات ریخت‌سنجی جمعیت‌های گونه *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 (Pseudoscorpiones: Chernetidae) در غارهای رشته‌کوه زاگرس، ایران. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۱۴ (۵۲)، ۷۷-۹۶.



## مقدمه

جانوران دارای دامنه پراکنش گسترده، اغلب یکسری تفاوت‌های ریخت‌شناختی نسبت به تنوع فاکتورهای زنده و غیرزنده موجود در دامنه پراکنش خود نشان می‌دهند (Emmen et al., 2014). تاکنون، روابط نزدیک و تنگاتنگی بین محیط و تعداد زیادی از متغیرهای جغرافیایی شناخته شده است. متغیرهای جغرافیایی هر گونه، بازتاب اجتناب‌ناپذیری از تغییرات جغرافیایی محیط است و هر گونه باید نسبت به نیازهای محیطی موضعی در هر قسمت از دامنه پراکنده خود سازگاری پیدا کند. در این محیط، ریخت هر جمعیت به‌طور مداوم با فشارهای گزینشی متعددی درگیر است. دو گروه از عوامل اصلی، فشار گزینشی بر فنوتیپ‌ها را ایجاد می‌کنند که یکی از این عوامل، شرایط آب و هوایی و عامل دیگر وجوه حیاتی و زیستگاهی است. عوامل آب و هوایی به‌طور معمول در محدوده‌های وسیع به‌صورت تدریجی تغییر می‌کند (به‌جز عواملی که مربوط به ارتفاع است). عوامل زیستی و زیستگاهی نیز اغلب موضعی و نامنظم است (Mayr, 1991).

شبه‌عقرب‌ها راسته‌ای کوچک و جالب توجه متعلق به رده عنکبوتیان و شاخه بندپایان است. بدن آنها از سطح پشتی - شکمی، پهن است. رنگ عمومی آنها از قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای تیره متمایل به قرمز و در پاره‌ای از آنها سیاه‌رنگ، متغیر است (Buddle, 2010). این گروه از موجودات، مخفی و منزوی هستند و با اندازه بدنی ۸-۱ میلی‌متر در محیط‌های سرپسته‌ای همچون غارها، زیر سنگ و زیر تنه درختان زندگی می‌کنند (Murienne et al., 2008). آنها دارای دامنه پراکنش بسیار وسیعی هستند و تنوع جغرافیایی بسیاری دارند. عامل اصلی این گسترده‌گی جغرافیایی رخداد

پدیده مسافرت (phoresy) است که از طریق اتصال آنها به بدن بندپایان، پرندگان و خفاش‌ها رخ می‌دهد (Del-Claro & Tizo-Pedroso, 2009). این گروه به‌دلیل روش زندگی در شرایط طبیعی (بیشتر به‌صورت مخفی و منزوی)، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی ویژه‌ای برای زندگی در غار کسب کرده‌اند (Harvey, 2007). از آنجایی که تعداد چشمگیری از عقرب‌های کاذب به‌صورت اجباری یا اختیاری غارزی هستند، بررسی آنها از دیدگاه غارشناسی و زیست‌شناسی غارها نیز دارای اهمیت زیادی است (Culver & Pipan, 2009). غارها حفره‌هایی هستند که به‌طور معمول تحت فرآیندهای زمین‌شناسی همچون ترکیب فرآیندهای شیمیایی مختلف، فرسایش در اثر آب، نیروهای زمین‌ساختی، ریزموجودات زنده، فشار و تأثیرات جوی ایجاد می‌شوند (Culver & Pipan, 2009; Ford & Williams, 2013). غارها به‌دلیل دارا بودن شرایط زیستی خاص، تهویه اندک، شرایط اکولوژیکی (نور، دما، تبخیر و رطوبت) به‌نسبت ثابت طی فصول مختلف از طول سال، فقدان نور و وجود رطوبت زیاد، اکوسیستم‌هایی بسیار حساس، تخصص‌یافته و منحصربه‌فرد به‌شمار می‌آیند (Medeiros et al., 2009; Romero, 2009). غارها اندازه‌های مختلفی دارند؛ ولی به‌طور کلی محیط داخلی آنها براساس ارتباط با بیرون به سه قسمت ناحیه روشن (ورودی غار یا اندوژن (Endogean))، ناحیه گرگ‌ومیش (پاراهیپوژن (Parahypogean)) و ناحیه تاریک (هایپوژن (Hypogean)) تقسیم می‌شود (Romero, 2009).

خانواده Chernetidae Menge, 1855 یکی از خانواده‌های بزرگ در راسته شبه‌عقرب‌ها است. از

Zadeh, 2013; Nassirkhani, 2014, 2015; Nassirkhani & Vafai Shoushtari, 2017; Nassirkhani & Zamani, 2017; Kahrarian et al., 2021). در مطالعه‌ای که اخیراً صورت گرفته مشخص شده است که ۷۱ گونه شبه‌عقرب در ایران پراکنش دارند (Nassirkhani, 2022).

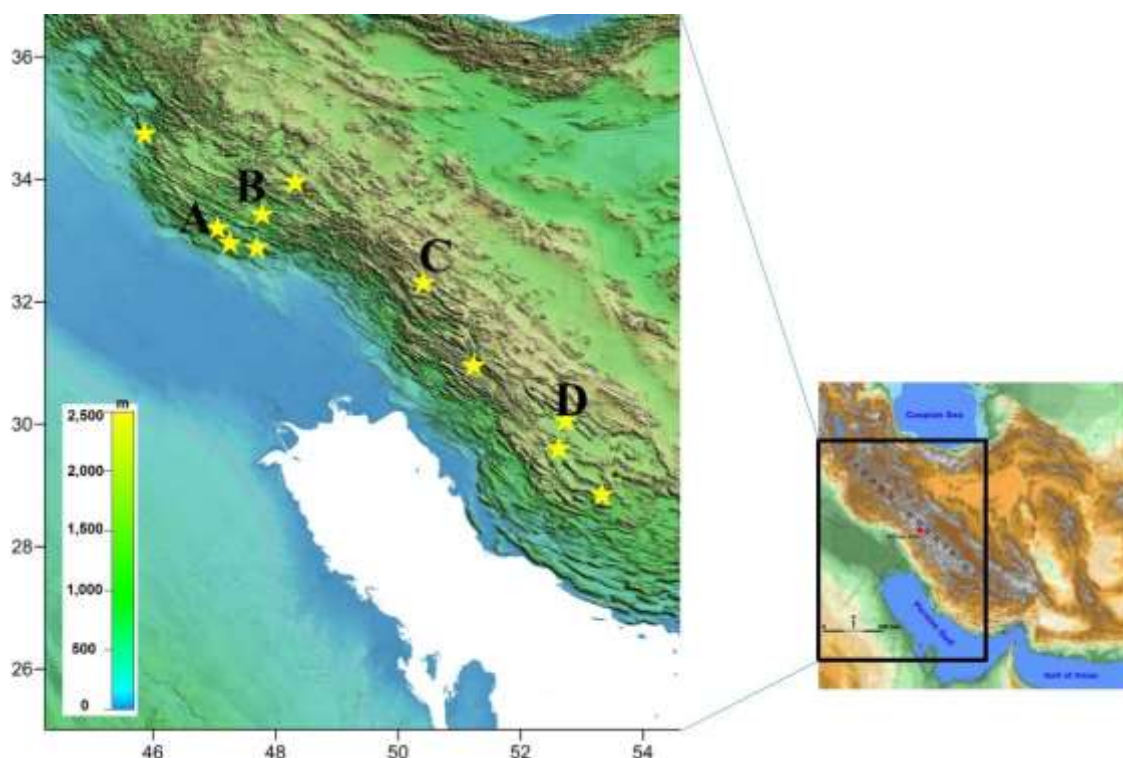
از علل اصلی تمایل نداشتن بسیاری از پژوهشگران علوم زیستی به مطالعه درزمینه زیست‌شناسی و تنوع ریختی عقرب‌های کاذب، زیستگاه پنهانی و اندازه کوچک آنهاست که سبب شده است زیست‌شناسی آنها به‌طور دقیق و گسترده مطالعه و بررسی نشده باشد و اطلاعات جامعی از این گروه به‌ویژه گونه‌های غارزی دردسترس نباشد. بر این اساس هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ریخت‌سنجی جمعیت‌های گونه *M. pavlovskyi* Redikorzev, 1949 در غارهای رشته‌کوه زاگرس در غرب ایران است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه و غارهای مطالعه‌شده

کشور پهناور ایران در جنوب غرب آسیا (منطقه خاورمیانه) با وسعت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع، هجدهمین کشور پهناور دنیا است. منطقه مطالعاتی در این پژوهش، شامل شماری از غارهای رشته‌کوه زاگرس (بخشی از لکه داغ تنوع زیستی ایران - آناتولی)، واقع در غرب فلات ایران بین طول ۴۵ تا ۵۷ درجه شرقی و عرض ۲۶ تا ۳۶ درجه شمالی است (شکل ۱).

جنس‌های مهم این خانواده به جنس *Megachernes* Beier, 1932 اشاره می‌شود که در افغانستان، آذربایجان، ایران، قرقیزستان، پاکستان، روسیه، تاجیکستان و ترکمنستان پراکنش دارد. این جنس دارای ۲۷ گونه، از جمله گونه *M. pavlovskyi* Redikorzev, 1949 است (<https://wac.nmbe.ch>) که این گونه‌ها به‌طور عمده در محیط غار و به‌ویژه همراه گوانو خفاش زندگی می‌کنند (Christophoryová et al., 2013; Harvey et al., 2012). در ایران، این گونه نخستین بار از محیط غار ده‌شیخ در استان کهگیلویه و بویراحمد (Christophoryová et al., 2013) و سپس از برخی غارهای استان‌های ایلام، لرستان، کرمانشاه، فارس و چهارمحال و بختیاری گزارش شد (Darvishnia, 2018). در ایران مطالعات کمی روی عقرب‌های کاذب صورت گرفته است و نخستین مطالعه فونستیک درزمینه شبه‌عقرب‌های ایران در سال ۱۹۱۸ توسط Redikorzev انجام شد (Redikorzev, 1918)؛ سپس Beier مطالعات تخصصی درباره عقرب‌های کاذب ایران انجام داد و تعداد ۹ خانواده و ۲۱ جنس را از ایران گزارش کرد (Beier, 1951, 1971). در سال‌های بعد از آن گزارش‌های موردی از عقرب‌های کاذب ایران ارائه شد (Christophoryová et al., 2013; Harvey, 2013). عمده مطالعات تخصصی درباره این گروه در ایران مربوط به مطالعات Nassirkhani و همکاران است که عقرب‌های کاذب محیط بیرون از غار در بخش‌هایی از ایران را مطالعه کردند (Nassirkhani & Takallo



شکل ۱- نقشه پراکنش *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 در غارهای مطالعه شده در رشته کوه زاگرس، غرب و جنوب غرب ایران. غار ملک (A)، غار بت‌خانه (B)، غار سراب (C) و غار پلنگان (D). تعداد کل غارهای مطالعه شده که دست کم دارای یک نمونه از گونه مطالعه شده بودند با علامت ستاره مشخص شده است.

Figure 1- Distribution map of *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 in the studied caves in the Zagros mountain range, west and southwest of Iran. Malek Cave (A), Betkhaneh Cave (B), Sarab Cave (C) and Palangan Cave (D). The total number of studied caves that had at least one specimen of the studied species is marked with an asterisk.

سه بخش زاگرس شمالی، میانی و جنوبی تفکیک می‌شود (Jedari Eyvazi, 2002). در مطالعه حاضر، چهار غار دارای تعداد کافی نمونه شبه‌عقرب، بررسی شد. این غارها شامل غار پلنگان در زاگرس جنوبی، غار سراب در زاگرس مرکزی و غارهای ملک و بت‌خانه در زاگرس شمالی است (شکل ۲).

رشته کوه زاگرس بخشی از سیستم آلپ - هیمالیا است که مانند دیواره عظیمی از ناحیه شمال غرب ایران شروع شده و به سمت جنوب شرق ایران تا تنگه هرمز گسترش یافته است. این رشته کوه به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی ویژه، یکی از مناطق زیستی مهم در جهان و از جمله غنی ترین زیست بوم‌های ایران از نظر تنوع زیستی است. از نظر زمین شناسی، زاگرس به





شکل ۲- دهانه ورودی غارهای مطالعه‌شده و نمای کلی از محیط داخلی غار. غار ملک (A)، غار بت‌خانه (B)، غار پلنگان (C) و غار سراب (D).

Figure 2- The entrance of the studied caves and a general view of the cave's interior environment. Malek Cave (A), Botkhaneh Cave (B), Palangan Cave (C) and Sarab Cave (D).

محل جمع‌آوری داخل غار، روش جمع‌آوری و آدرس غار ثبت و از محل جمع‌آوری نمونه‌ها برای هر غار نیز عکس‌برداری شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در موزه جانورشناسی بخش زیست‌شناسی دانشگاه شیراز (Zoological Museum, Collection of Biology Department, Shiraz University با نام اختصاری ZM-CBSU) نگهداری شد.

### آماده‌سازی نمونه‌ها

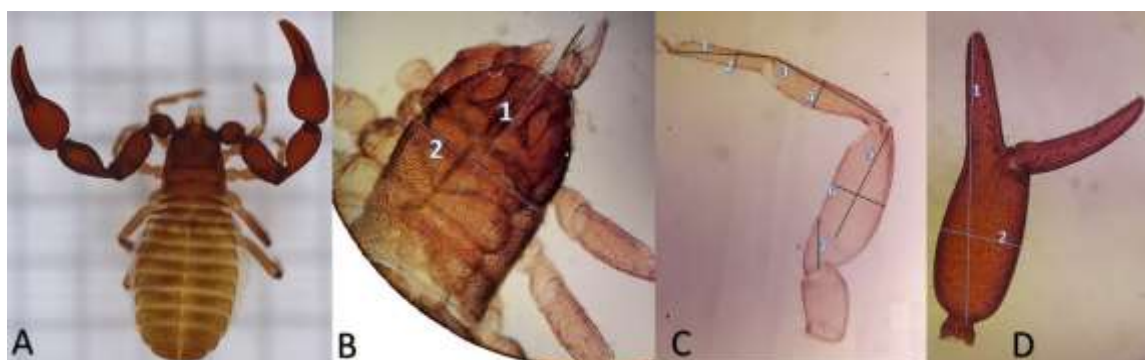
مشاهده ویژگی‌های ریختی و صفات کلیدی عقرب‌های کاذب تنها با تهیه اسلاید مناسب و بررسی میکروسکوپی نمونه ممکن است؛ پس بدین منظور ابتدا نمونه‌ها در اتانول ۷۵ درصد قرار داده شد و جداسازی قطعات با استفاده از سوزن‌های بسیار ریز اتالۀ حشرات صورت گرفت؛ سپس شفاف‌سازی نمونه‌ها در میکروتیوب محتوی اسیدلاکتیک ۶۷ درصد در آون با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. پس از شفاف‌سازی نمونه‌ها، قطعات روی لام قرار داده شد (شکل ۳).

### جمع‌آوری، نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به دلیل شرایط خاص پژوهش روی غارها، ابتدا اطلاعات لازم درباره غارهای مطالعه‌شده از گروه‌های غارنوردی، افراد محلی و منابع موجود به دست آمد. پس از اخذ مجوزهای لازم از سازمان‌های مربوط و تهیه وسایل لازم، نمونه‌های عقرب کاذب در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۷ از تمام نقاط غار، شامل نواحی اندوژن، پاراهیوژن و هیپوژن جمع‌آوری شد. نمونه‌های عقرب کاذب به وسیله دست، قلم‌مو یا پنس ظریف از زیر سنگ‌ها و فضولات حیوانی، لابه‌لای گوانو خفش و در سطح زمین کف غار جمع‌آوری و در ظروف حاوی اتانول ۹۶ درصد قرار داده شد. هم‌زمان با نمونه‌برداری، فاکتورهای محیطی غارها از جمله دمای هوا، درصد رطوبت و میزان گاز دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) و همچنین اسیدیته (pH) و دمای آب (در صورت وجود آب) اندازه‌گیری شد. تعداد نمونه‌های جمع‌آوری‌شده و فاکتورهای محیطی ثبت‌شده برای هر غار در جدول ۲ آورده شده است. اطلاعاتی همچون تاریخ جمع‌آوری، نام جمع‌آوری‌کننده/کنندگان، مختصات جغرافیایی،

استفاده از دوربین نوری Nikon Eclipse 80i Digital Imaging Head، عکس برداری از قسمت‌های مختلف بدن نمونه‌ها صورت گرفت و سپس اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف با نرم‌افزار ImageJ ver.1.8.0 انجام و اطلاعات ثبت شد (Rasband, 2018). بدین منظور ابتدا طول و عرض ۱۴ صفت قابل اندازه‌گیری شامل بندهای تشکیل‌دهنده پاهای اول و چهارم (پی‌ران، ران، ساق و پنجه)، پدپالپ‌ها (پی‌ران، ران، زانو و دست از اندام انبرک‌مانند)، کلیسر و سپر اندازه‌گیری و سپس نسبت طول به عرض (L/W) آنها محاسبه شد (شکل ۳). علاوه بر عکس برداری، از استریومیکروسکوپ ZEISS Stemi V11 و میکروسکوپ نوری ZEISS برای بررسی دقیق نمونه‌ها استفاده شد.

به منظور بررسی تفاوت‌های ریخت‌سنجی بین جمعیت‌های یک گونه در غارهای مختلف و اینکه آیا این تغییرات از الگوی شیب تغییرات صفات (کشانه یا کلاین) تبعیت می‌کند، گونه *Megachernes pavlovskyi* انتخاب شد؛ زیرا دارای پراکنش مناسبی در غارهای رشته کوه زاگرس بود (شکل ۱). نمونه‌ها از ۱۱ غار جمع‌آوری شد؛ ولی با توجه به محدود بودن تعداد نمونه و نیز نقاط نمونه برداری، امکان مطالعات کشانه‌ای وجود نداشت و فقط تفاوت‌های ریخت‌سنجی نسبی این گونه در چهار غار که تعداد بیشتری نمونه از آن جمع‌آوری شده بود با تحلیل داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری ANOVA، MANOVA، PCA و DFA و تحلیل خوشه‌ای ارزیابی شد (شکل ۱). با



شکل ۳- اندازه‌گیری نسبی (طول به عرض) بخش‌های مختلف بدن عقرب کاذب *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949. شکل A: نمونه کامل عقرب کاذب مطالعه‌شده، شکل B: ۱ و ۲: طول و عرض سپر، شکل C: ۱ و ۲: طول و عرض پنجه پای I، ۳ و ۴: طول و عرض ساق پای I، ۵ و ۶: طول و عرض ران پای I و ۷: طول پی‌ران پای I و شکل D: ۱ و ۲: طول و عرض اندام انبرک‌مانند.

Figure 3- Relative measurements (length to width) of different parts of the body of the false scorpion *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949. Figure A: the complete specimen of the studied false scorpion, Figure B: 1 and 2: length and width of the shield, Figure C: 1 and 2: length and width of foot I, 3 and 4: length and width of leg I, 5 and 6: length and width of thigh of leg I and 7: length of thigh of leg I and figure D: 1 and 2: length and width of pincer-like organ.

آماري شامل تحليل واريانس يك طرفه (ANOVA)، تحليل واريانس چندمتغیره (MANOVA)، آزمون تحليل مؤلفه‌های اصلي (PCA)، آزمون تحليل ممیزه (DFA) و تحليل خوشه‌ای (ClusterAnalysis) انجام شد. در تحليل واريانس يك طرفه و چندمتغیره، آزمون

### تحليل‌های آماری

روش‌های آماری متنوعی برای آنالیز داده‌های اکولوژیک، سیستماتیک و مولکولی وجود دارد. در پژوهش حاضر، تحليل داده‌های ریخت‌شناسی لازم با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 و با تجزیه و تحليل

## نتایج

در این پژوهش، در کل ۹۷ غار طبیعی واقع در رشته کوه زاگرس بازدید و بررسی شد. از این غارها، ۱۱ غار مأمّن دست کم یک نمونه از گونه *Megachernes pavlovskiyi* بود. از این تعداد، چهار غار شامل غار ملک (در استان ایلام)، بت‌خانه (در استان لرستان)، سراب (در استان چهارمحال و بختیاری) و پلنگان (در استان فارس) دارای تعداد کافی نمونه برای مطالعه تغییرات ریخت‌سنجی بود (شکل ۱ و ۲). کمینه دمای ثبت شده در بین چهار غار مطالعه شده مربوط به غار سراب در استان چهارمحال و بختیاری در اردیبهشت ماه با دمای ۱۳/۵ درجه سانتی گراد و بیشینه دما مربوط به غار ملک در استان ایلام در خردادماه با دمای ۱۸/۱ درجه سانتی گراد بود. بیشترین درصد رطوبت ثبت شده غارهای مطالعه شده مربوط به غار بت‌خانه استان لرستان در آبان ماه با رطوبت ۸۳ درصد و نیز بیشترین میزان غلظت CO<sub>2</sub> ثبت شده در غارهای مطالعه شده، ۲۱۷۰ ppm و مربوط به غار بت‌خانه استان لرستان در تیرماه بود. بیشترین میزان جمع آوری نمونه عقرب کاذب از درون غارهای مطالعه شده در دمای ۱۵ تا ۱۷ درجه سانتی گراد صورت گرفت (جدول ۲).

گونه *M. pavlovskiyi* یکی از بزرگ‌ترین گونه‌های عقرب کاذب در ایران است. این گونه دارای سپر قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای تیره و به شدت گرانوله است و طول بدن آن به ۵ تا ۸ میلی متر می‌رسد. اندازه گیری بخش‌های مختلف بدن نمونه‌های بررسی شده در جدول ۱ آورده شده است.

معنی دار بودن تفاوت صفات نسبی ریختی بین جمعیت‌های گونه مطالعه شده و نیز بین الگوی تغییر شکل جمعیت‌ها انجام شد. در این روش‌ها، مقیاس اندازه گیری باید به صورت نسبی یا عددی باشد؛ همچنین متغیرها توزیع نرمالی داشته باشد. آزمون PCA روشی برای استخراج متغیرهای مهم (به شکل مؤلفه) از مجموعه بزرگی از متغیرهای موجود در یک مجموعه داده است. در این روش مهم‌ترین اطلاعات از میان داده‌ها استخراج و نتایج به صورت گرافیکی بیان می‌شود؛ به گونه‌ای که نخستین مؤلفه اصلی استخراج شده، بیشترین مقدار پراکندگی داده‌ها را در کل مجموعه داده‌ها در نظر می‌گیرد و از آنجایی که برخی از صفات ریختی ممکن است در ایجاد اختلافات نقش بیشتری داشته باشند، به کمک این آنالیز کل صفات اندازه گیری شده به چند مؤلفه تقسیم و صفاتی مشخص شد که بیشترین تأثیر را در جدا کردن جمعیت غارهای مطالعه شده از همدیگر دارند. برای مشخص کردن درصد اختلاف بین افراد جمعیت‌های مختلف و نیز دسته‌بندی صحیح گروه‌ها از روش تابع ممیزه استفاده شد. به منظور بررسی تفاوت بین جمعیت‌های مطالعه شده، نمودار پراکنش نقطه‌ای جمعیت براساس مؤلفه‌های اصلی ترسیم شد. تحلیل‌های ریخت‌شناختی تنها برای بررسی شیب تغییرات جغرافیایی و در بین غارهای ملک، پلنگان، بت‌خانه و سراب، با داشتن یک گونه مشترک و تعداد دست کم ۲۰ نمونه انجام شد.

جدول ۱- اندازه‌های حداقل و حداکثر (به میلی‌متر) و نسبت‌های ریخت‌شناختی ۹۵ نمونه عقرب کاذب متعلق به گونه *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 در چهار غار مطالعه شده.

Table 1- Minimum and maximum sizes (in mm) and morphological ratios of 95 specimens of false scorpion belonging to the species *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 in the four studied caves.

صفت	نمونه‌های نر	نمونه‌های ماده
Carapace	۱/۱-۱۰/۳۰ / ۱/۱-۱۵/۳۷	۱/۱-۰۷/۳۳ / ۱/۱-۰۸/۳۲
Pedipalp trochanter	۰/۰-۵۸/۶۳ / ۰/۰-۳۶/۴۰	۰/۰-۵۳/۶۲ / ۰/۰-۳۱/۴۵
Pedipalp femur	۱/۳۲ / ۰/۴۴	۱/۱-۰۰/۵۰ / ۰/۰-۳۰/۴۱
Pedipalp patella	۱/۱-۰۷/۱۹ / ۰/۰-۳۵/۴۸	۰/۱-۹۵/۲۲ / ۰/۰-۳۷/۴۹
Chela (with pedicel)	۲/۲-۰۰/۰۷ / ۰/۰-۶۴/۷۰	۲/۲-۰۳/۱۰ / ۰/۰-۶۳/۷۱
Chela (without pedicel) L.	۱/۱-۸۹/۹۵	۱/۲-۹۵/۰۳
Hand (with pedicel) L.	۰/۱-۹۷/۰۵	۰/۱-۹۲/۱۵
Hand (without pedicel)	۰/۰-۸۸/۹۶	۰/۱-۹۰/۰۴
Movable finger L.	۰/۱-۹۴/۰۲	۰/۱-۹۶/۰۸
Leg I trochanter	۰/۰-۲۷/۳۰ / ۰/۰-۱۵/۲۰	۰/۰-۲۲/۳۰ / ۰/۰-۱۴/۱۹
Leg I femur	۰/۰-۲۴/۳۴ / ۰/۰-۱۶/۲۰	۰/۰-۲۵/۳۵ / ۰/۰-۱۵/۲۲
Leg I patella	۰/۰-۵۱/۶۹ / ۰/۰-۱۱/۱۳	۰/۰-۵۳/۷۲ / ۰/۰-۱۲/۱۳
Leg I tibia	۰/۰-۵۳/۷۰ / ۰/۰-۱۱/۱۳	۰/۰-۵۲/۷۱ / ۰/۰-۱۱/۱۳
Leg I tarsus	۰/۰-۴۷/۵۵ / ۰/۰-۱۰/۱۱	۰/۰-۴۲/۵۶ / ۰/۰-۰۷/۱۲
Leg IV trochanter	۰/۰-۳۱/۴۳ / ۰/۰-۱۸/۲۲	۰/۰-۲۹/۴۴ / ۰/۰-۱۷/۲۳
Leg IV femur	۰/۱-۹۴/۱۸ / ۰/۰-۱۸/۲۳	۰/۱-۹۵/۲۴ / ۰/۰-۱۸/۲۴
Leg IV patella	۰/۱-۹۶/۰۱ / ۰/۰-۲۳/۲۵	۰/۱-۹۸/۱۹ / ۰/۰-۲۴/۲۵
Leg IV femur+patella	۱/۱-۴۸/۵۹	۱/۱-۵۰/۶۱
Leg IV tibia	۱/۱-۰۲/۱۱ / ۰/۰-۱۵/۱۶	۰/۱-۸۲/۲۰ / ۰/۰-۱۴/۱۶
Leg IV tarsus	۰/۰-۶۱/۷۰ / ۰/۰-۱۱/۱۲	۰/۰-۵۴/۷۳ / ۰/۰-۱۱/۱۳

2012; Christophoryová et al., 2013; Nassirkhani & Vafaei Shoushtari, 2017). در این پژوهش، گونه یادشده از زیر سنگ، زیر چوب و لابه‌لای فضولات خشک شده حیوانی جمع‌آوری شد.

## زیستگاه

این گونه بیشتر درون فضولات خفاش‌ها و پرندگان در ورودی و درون غار، مابین ریشه‌ها، در لانه جوندگان، زیر سنگ‌ها و بین چوب و الوارها یافت می‌شود (Dashdamirov, 2005; Harvey et al.,

## بررسی تغییرات ریخت‌شناختی

با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA)، تحلیل واریانس چندمتغیره (MANOVA)، تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، روش تابع ممیزی (DFA) و تحلیل خوشه‌ای، تمایزات ریخت‌شناختی جمعیت‌های گونه *M. pavlovskiy* ارزیابی شد. تمام

نمونه‌های عقرب کاذب از نواحی نوری اندوژن و پاراهپیژن غارهای مطالعه‌شده جمع‌آوری شد و هر چهار غار دارای کلونی‌هایی از خفاش و تجمعات فضولات آنها بود. داده‌های به‌دست‌آمده از غارهای مطالعه‌شده در **جدول ۲** آورده شده است.

جدول ۲- تعداد نمونه‌های بررسی‌شده و پارامترهای به‌دست‌آمده از غارهای ملک، پلنگان، سراب و بت‌خانه در بررسی تغییرات ریخت‌شناختی نسبی عقرب‌های گونه *Megachernes pavlovskiy* Redikorzev, 1949

Table 2- The number of examined samples and parameters obtained from Malek, Palangan, Sarab and Botkhaneh caves in the study of relative morphological changes of scorpions of the species *Megachernes pavlovskiy* Redikorzev, 1949.

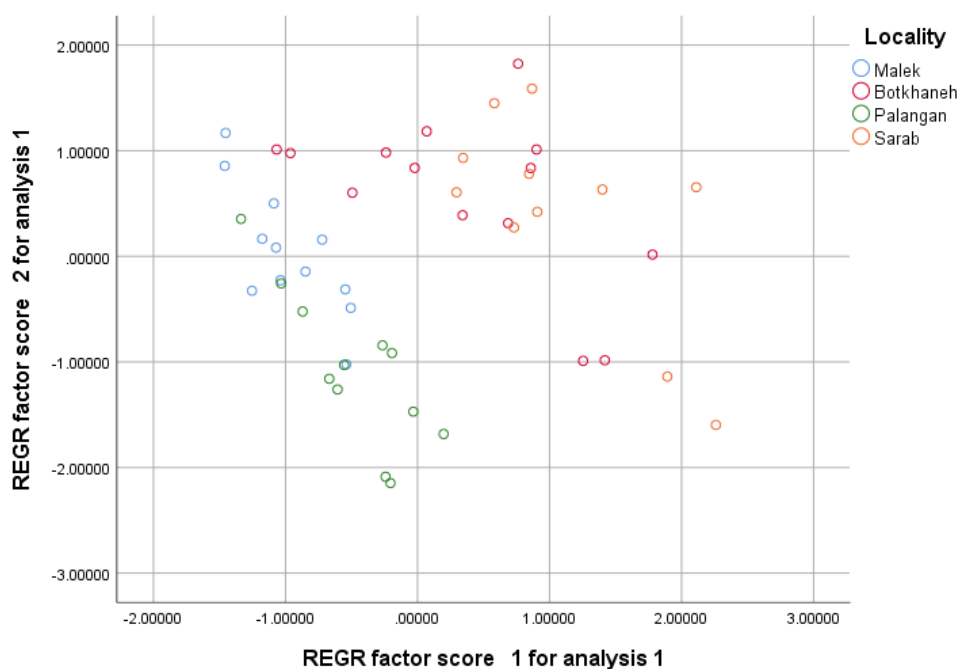
نام غار/پارامتر	غار ملک	غار سراب	غار پلنگان	غار بت‌خانه
ارتفاع دهانه غار از سطح دریا (متر)	۱۹۳۰	۲۳۷۷	۱۸۲۱	۱۴۸۵
رطوبت (درصد)	۶۰	۶۵	۲۲	۸۳
دما (°C)	۱۸/۱	۱۳/۵	۱۷	۱۶/۵
غلظت CO <sub>2</sub> (ppm)	۴۹۴	۴۹۳	۵۶۸	۲۱۷۰
تعداد (ماده/نر)	۶/۱۴	۸/۱۹	۶/۱۷	۹/۱۶
تعداد کل نمونه هر غار	۲۰	۲۷	۲۳	۲۵

از آنجایی که برخی صفات ریخت‌سنجی در ایجاد اختلافات بین جمعیت‌ها نقش بیشتری دارد، به کمک تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، کل صفات اندازه‌گیری‌شده به چند مؤلفه تقسیم و صفات دارای بیشترین تأثیر در جداکردن جمعیت غارهای مطالعه‌شده از همدیگر، مشخص شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی منجر به استخراج سه مؤلفه معنی‌دار از لحاظ آماری شد. این سه مؤلفه در مجموع ۶۴/۹۸ درصد واریانس را به خود اختصاص داده است. مؤلفه اول شامل صفات نسبی ران پای IV، ساق پای IV، پنجه پای IV، ساق پای I، پنجه پای I، ران و دست اندام انبرک‌مانند، مؤلفه دوم شامل صفات نسبی زانوی اندام انبرک‌مانند و کلیسر و مؤلفه

تحلیل واریانس یک‌طرفه به‌منظور آزمون معنی‌دار بودن تفاوت صفات نسبی ریخت‌سنجی بین چهار جمعیت مربوط به گونه *M. pavlovskiy* از غارهای پلنگان، بت‌خانه، سراب و ملک انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد در صفات ریخت‌سنجی، از ۱۴ صفت نسبی استفاده‌شده، بین ۱۲ صفت (به‌جز نسبت L/W ران اندام انبرک‌مانند و پی‌ران پای IV) اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود ( $p < 0.05$ ). براساس آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره، تفاوت معنی‌داری بین الگوهای تغییر شکل جمعیت‌ها دیده شد ( $p < 0.05$ ).

(Scatter plot) براساس مؤلفه‌های اصلی ترسیم شد (شکل ۴). مطابق گروه‌بندی ارائه‌شده، جمعیت‌های بت‌خانه و سراب به‌خوبی از جمعیت‌های ملک و پلنگان جدا شده است؛ ولی بین جمعیت بت‌خانه و سراب و نیز جمعیت ملک و پلنگان هم‌پوشانی وجود دارد.

سوم شامل ران پای I، پی‌ران پای IV و پی‌ران پای I است. این مؤلفه‌ها و صفات قرارگرفته در آن بیشترین نقش را در جداکردن جمعیت‌های هر غار از همدیگر داشتند. به‌منظور بررسی تفاوت بین جمعیت‌های مطالعه‌شده، نمودار پراکنش نقطه‌ای جمعیت‌ها

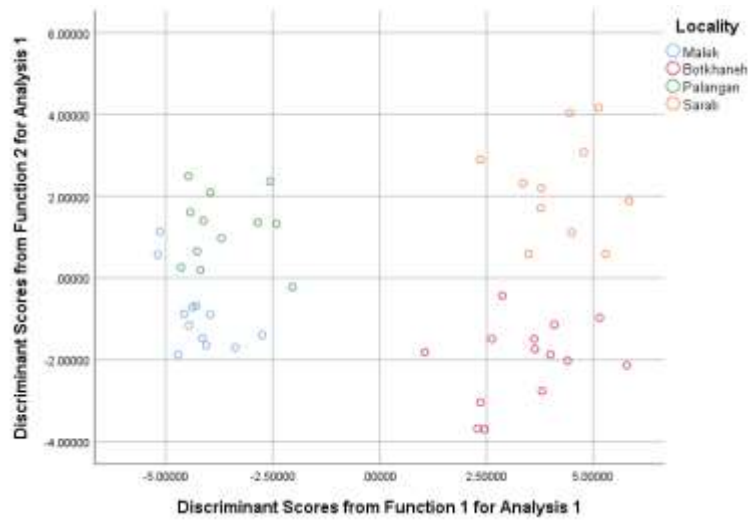


شکل ۴- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) صفات نسبی در جمعیت‌های *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 در چهار غار مطالعه‌شده در رشته‌کوه زاگرس، غرب و جنوب غرب ایران (دایره آبی: غار ملک، دایره سبز: غار پلنگان، دایره قرمز: غار بت‌خانه و دایره نارنجی: غار سراب).

Figure 4- Principal component analysis (PCA) of relative traits in populations of *Megachernes pavlovskyi* Redikorzev, 1949 in four caves studied in the Zagros mountain range, west and southwest of Iran (blue circle: Malek cave, green circle: Palangan cave, red circle: Botkhaneh cave) Orange house and circle: mirage cave).

برای چهار جمعیت مطالعه‌شده *M. pavlovskyi* به روش تابع ممیزه نشان داد ۹۸ درصد گروه‌ها به‌طور صحیح دسته‌بندی شده است (شکل ۵).

برای مشخص کردن درصد اختلاف بین افراد جمعیت‌های مختلف از روش تابع ممیزی استفاده شد. تحلیل کل صفات ریخت‌شناسی نسبی اندازه‌گیری‌شده

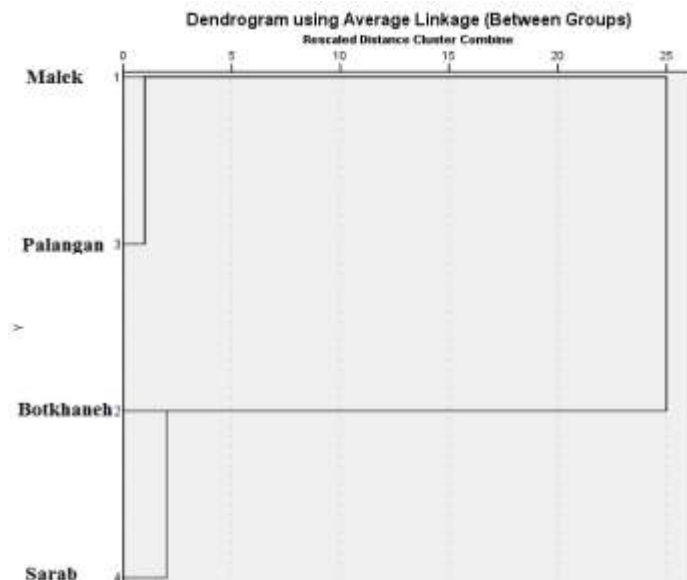


شکل ۵- تحلیل تابع ممیزی (DFA) کل صفات ریخت‌شناسی نسبی جمعیت‌های *Megachernes pavlovskyi* در غارهای ملک (دایره آبی)، بت‌خانه (دایره قرمز)، پلنگان (دایره سبز) و سراب (دایره صورتی).

Figure 5- Audit function analysis (DFA) of all relative morphological traits of *Megachernes pavlovskyi* populations in Malek (blue circle), Botkhaneh (red circle), Palangan (green circle) and Sarab (pink circle) caves.

سراب در استان چهار محال و بختیاری. دندروگرام مربوط به جمعیت‌ها برای داده‌های قابل اندازه‌گیری نشان داد جمعیت‌های غار ملک و غار پلنگان از جمعیت‌های غار بت‌خانه و غار سراب جدا شده و در یک دسته قرار گرفته است (شکل ۶).

بر اساس تحلیل خوشه‌ای ویژگی‌های ریخت‌شناسی نسبی، نمونه‌های مطالعه‌شده به دو خوشه اصلی تقسیم شد: خوشه اول مشتمل بر جمعیت‌های غارهای ملک در استان ایلام و پلنگان در استان فارس و خوشه دوم مشتمل بر جمعیت غارهای بت‌خانه در استان لرستان و



شکل ۶- دندروگرام ترسیم‌شده بر اساس اندازه‌های نسبی صفات ریخت‌شناختی گونه *Megachernes pavlovskyi* در غارهای ملک، بت‌خانه، سراب و پلنگان.

Figure 6- Dendrogram drawn based on the relative sizes of morphological traits of *Megachernes pavlovskyi* species in Malek, Botkhaneh, Sarab and Palangan caves.

## بحث

پژوهش حاضر، تغییرات ریخت‌سنجی جمعیت‌هایی از شبه‌عقرب *Megachernes pavlovskiyi* Redikorzev, 1949 را بررسی کرده است. در بین تمام غارهای مطالعه‌شده در رشته‌کوه زاگرس تنها ۱۱ غار دارای دست‌کم یک نمونه از شبه‌عقرب *M. pavlovskiyi* بود که نمونه‌ها از آنها جمع‌آوری و بررسی شد. غار کیله‌سفید در استان کرمانشاه با ارتفاع ۵۹۴ متری و غار سراب در استان چهارمحال و بختیاری با ارتفاع ۲۳۷۷ متری دهانه غار از سطح دریا دارای کمترین و بیشترین ارتفاع از سطح دریا بودند. از این تعداد غار، فقط غارهای ملک، بت‌خانه، سراب و پلنگان دارای فراوانی مناسبی از این گونه شبه‌عقرب برای بررسی تغییرات ریخت‌سنجی بودند.

ممکن است یک اکوسیستم واجد چندین جمعیت از یک گونه باشد. روش‌های متفاوتی برای مقایسه یا شناسایی جمعیت‌های مختلف یک گونه وجود دارد که یکی از آنها بررسی صفات نسبی - اندازه‌شناسی است؛ بنابراین با مطالعه صفات ریخت‌سنجی و به‌کارگیری روش‌های آماری، اطلاعات مناسبی از تنوعات ریختی جمعیت‌ها حاصل می‌شود (Wootton, 1991). براساس نتایج حاصل از تحلیل ANOVA، اختلاف معنی‌داری بین عمده صفات نسبی دیده شد؛ ولی درباره نسبت  $L/W$  ران اندام انبرک‌مانند (پدی‌پالپ) و پی‌ران پای IV اختلاف معنی‌دار نبود. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سه مؤلفه معنی‌دار استخراج شد و در مجموع ۶۴/۹۸ درصد واریانس کل را به خود اختصاص داد. مؤلفه اول شامل نسبت  $L/W$  ران و دست اندام انبرک‌مانند، ساق و پنجه پای I و ران، ساق و پنجه پای IV است. مؤلفه دوم شامل  $L/W$  زانوی اندام انبرک‌مانند و کلیسر و مؤلفه

سوم شامل نسبت  $L/W$  ران و پی‌ران پای I و پی‌ران پای IV است. براساس سه مؤلفه ارائه‌شده، جمعیت‌های بت‌خانه و سراب به‌خوبی از جمعیت‌های ملک و پلنگان جدا شده است؛ ولی بین خودشان هم‌پوشانی وجود دارد. وینرایت و شاو اظهار داشتند که ویژگی‌های ریخت‌سنجی ممکن است نسبت به تغییرات محیطی انعطاف‌پذیر باشد. در این پژوهش جداشدن جمعیت‌های شبه‌عقرب‌ها ممکن است به دلیل تشابه فاکتورهای محیطی همچون رطوبت نسبی و دمای غارهای سراب و بت‌خانه نسبت به غارهای ملک و پلنگان باشد (Wainwright & Shaw, 1999).

براساس نمودار پراکنندگی تحلیل تابع ممیزی، گروه‌ها به‌درستی دسته‌بندی شده بود و همچنین بین ریخت‌شناسی نسبی نمونه‌های عقرب کاذب جمع‌آوری‌شده از چهار غار واقع در رشته‌کوه زاگرس تفاوت وجود دارد (شکل ۵). جمعیت غارهای ملک و پلنگان در یک خوشه دندروگرام و جمعیت غارهای بت‌خانه و سراب در خوشه دیگر قرار گرفت (شکل ۶). نتایج دندروگرام با تحلیل متغیرهای کانونی هم‌خوانی دارد. ناحیه پاراهایپوژن (ناحیه حد واسط دو ناحیه تاریک و روشن غار) غار سراب و بت‌خانه دارای رطوبت بیشتر و دمای کمتری نسبت به غارهای ملک و پلنگان است؛ همچنین میزان غلظت  $CO_2$  غار بت‌خانه خیلی بیشتر از سه غار دیگر است. هرچند توضیح علل به وجود آمدن این تفاوت‌های ریختی میان جمعیت‌ها بسیار دشوار است، گونه‌هایی از عقرب‌های کاذب، به‌ویژه گونه مطالعه‌شده، ممکن است تفاوت‌های ریختی نشان دهند (Christophoryová et al., 2013; Nassirkhani & Vafaei Shoushtari, 2017). برخلاف تصورات گذشته مبنی بر این باور که تغییرات



انتخاب صفات مطلوب در محیط، شانس بقا و تولیدمثل آنها را بیشتر می‌کند که این پدیده سبب ایجاد جمعیتی جدید یا گاهی سبب گونه‌زایی می‌شود (Baptista et al., 2014; Souto-Lima & Millien, 2014). انعطاف‌پذیری ریختی جانوران به‌طور معمول پاسخی به شرایط محیطی است و به‌صورت تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و رفتاری ظاهر می‌شود (Mayr, 1991). تفاوت عوامل محیطی محل زیست آنها مثل دما، رطوبت، غلظت  $CO_2$ ، حضور خفاش‌ها و میزان انباشت گوانو و نیز وجود خردزیستگاه‌های مناسب از عوامل تأثیرگذار در ایجاد تفاوت‌های ریخت‌شناسی بین جانوران ساکن غارها از جمله عقرب‌های کاذب است. در مطالعه حاضر، در غارهای سراب و بت‌خانه با اینکه از نظر فاصله از هم دور هستند و از لحاظ ارتفاع دهانه غار از سطح دریا متفاوت هستند، به دلیل تشابه فاکتورهای محیط داخل غار همچون دارابودن میزان رطوبت بیشتر، کمتر بودن دما و انباشت بیشتر فضولات خفاش‌ها، شرایط مشابهی برای زیست این گونه فراهم شده است و همین عوامل در تشابه بیشتر جمعیت این دو غار نسبت به غارهای ملک و پلنگان تأثیرگذار است.

با جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده این فرضیه مطرح می‌شود که فاکتورهای محیطی مثل دمای محیط غار، میزان رطوبت و جنس بستر ممکن است فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر ریخت گونه *M. pavlovskiy* تلقی شود و بیانگر تفاوت‌های مشاهده‌شده باشد. مطالعات مولکولی و جزئیات بیشتری از فاکتورهای محیطی مربوط به غار و ریززیستگاه‌های آن لازم است تا به‌طور دقیق‌تری عوامل مسئول تفاوت‌های ریخت‌شناختی بین زیستگاه‌های مختلف شناسایی و درباره این‌که تنوع

ریختی تنها از ژنتیک تأثیر می‌گیرد، امروزه اثبات شده است که علاوه بر عوامل ژنتیک، عوامل محیطی نیز بر صفات ریختی تأثیر می‌گذارد (Akbarzadeh et al., 2009). با توجه به اینکه صفات ریختی از عوامل اکولوژیک نیز تأثیر می‌گیرند، تفاوت در اندازه‌های نسبی صفات ریختی ممکن است به دلیل اختلاف در نوع اکوسیستم مطالعه‌شده و پاسخ‌های متفاوت گونه‌ها به شرایط زیست‌محیطی باشد (Safaei et al., 2014). در این مطالعه نیز اختلاف در اندازه نسبی صفات ریختی بین جمعیت‌های مطالعه‌شده ممکن است به علت تفاوت ویژگی‌های زیستگاهی باشد که این جمعیت‌ها در آن ساکن هستند و جمعیت ساکن هر غار ممکن است با انعطاف‌پذیری ریختی، شانس پایداری خود را در آن زیستگاه افزایش دهد. چون عقرب‌های کاذب نیازمند زیستگاهی با استتار مناسب، دمای متعادل، رطوبت مطلوب و منابع غذایی کافی هستند، بیشتر محیط غار را انتخاب می‌کنند. هرچند محیط غار دارای محدودیت‌های غذایی است، این جانوران با استفاده از پاهای رونده خود در نقاطی از غار ساکن می‌شوند که تراکم بیشتری از بقایای پوسیده گیاهی و فضولات حیوانی، به‌ویژه گوانو خفاش داشته باشد (Culver & Pipan, 2009).

تفاوت‌های مورفومتریک در بین جمعیت‌هایی از یک گونه ممکن است بیانگر اختلافات بین زیست‌بوم آن جمعیت‌ها باشد (Mohagheg, 2005). مطالعات مختلفی فاکتورهای محیطی مؤثر بر تغییرات ریختی جانوران (به‌طور عمده مهره‌داران) را بررسی کرده است و ریخت را فاکتوری می‌داند که همواره در تعامل با فاکتورهای زیست‌محیطی است که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم روی شکل بدن موجودات اثر می‌گذارد و با

براساس ریخت‌شناسی و نیز توالی‌یابی ژنتیکی انجام نشده است، پیشنهاد می‌شود با مطالعات دقیق‌تر به تبعیت این تغییرات از الگوی کلایینی پی برده شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان از آقایان دکتر یاسر بخشی و میثم داشن از دانش‌آموختگان دانشگاه شیراز، آقای دکتر امیرارسلان کاویانی فرد عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور و آقایان صادق هواسی و امیر درویش‌نیا که در پیمایش غارهای مطالعه‌شده و مراحل مختلف جمع‌آوری نمونه‌ها همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری و قدردانی می‌کنند.

جغرافیایی بین جمعیت‌های یک گونه منجر به تمایز زیرگونه شده است، اظهار نظر شود. مطالعاتی که اشاره به حضور شیب تغییرات ریخت‌شناسی در امتداد گرادیان‌های محیطی دارند، پیشنهاد می‌کنند که تاکسونومی خیلی از گروه‌ها ممکن است به شدت از این پدیده تأثیر بگیرد (Kohler et al., 2017; Whitney et al., 2018).

به دلیل حضور اعضای متعلق به جنس *Megachernes* با تعداد زیاد و با تنوع ریخت‌شناختی در محیط غار، وجود شرایط اکولوژیکی خاص غارها و همچنین با توجه به اینکه تاکنون مطالعه مقایسه‌ای

### References

- Akbarzadeh, A., Karami, M., Nezami, S. A., Mojazi, A. B., Khara, H., & Eagderi, S. (2009). A comparative study of morphometric and meristic characters of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) in Iranian waters of Caspian Sea and Aras Dam Lake. *Iranian Journal of Natural Resources*, 22, 535-545. <https://sid.ir/paper/21560/en> [In Persian].
- Baptista, V., Antunes, M., Martello, A., Figueiredo, N., Amaral, A., Secretti, E., & Bruna, B. (2014). Influence of environmental factors on the distribution of families of aquatic insects in rivers in southern Brazil. *Ambiente and Sociedade*, 17(3), 153-174. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000300010>
- Beier, M. (1951). Ergebnisse der Österreichischen Iran-Expedition 1949/50. Pseudoscorpione und Mantiden. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 58, 96-102. <https://www.jstor.org/stable/41768540>
- Beier, M. (1971). Pseudoskorpione aus dem Iran. *Naturhistorisches Museum Wien*, 75, 357-366. <https://www.jstor.org/stable/41769357>
- Buddle, C. M. (2010). Photographic key to the Pseudoscorpions of Canada and the adjacent USA. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 10, 1-77.
- Christophoryová, J., Dashamirov, S., Malek-Hosseini, M. J., & Sadeghi, S. (2013). First record of the genus *Megachernes* (Pseudoscorpiones: Chernetidae) from an Iranian cave. *Arachnologische Mitteilungen*, 46, 9-16. 10.5431/aramit4603
- Culver, D. C., & Pipan, T. (2009). *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford University Press.
- Darvishnia, H. (2018). *Morphological and molecular variation of false scorpions (Arachnida: Pseudoscorpionida) in Zagros Mountains caves, Iran*. [Unpublished doctoral thesis]. Shiraz University, Shiraz, Iran. [In Persian].
- Dashdamirov, S. (2005). Pseudoscorpions from the mountains of northern Pakistan (Arachnida: Pseudoscorpiones). *Arthropoda Selecta*, 13(4), 225-261. <https://archive.org/details/arthropoda-selecta-13-4-225-261/page/226/mode/2up>
- Del-Claro, K., & Tizo-Pedroso, E. (2009). Ecological and evolutionary pathways of social behavior in Pseudoscorpions (Arachnida: Pseudoscorpiones). *Acta ethologica*, 12, 13-22. <https://doi.org/10.1007/s10211-009-0052-y>
- Ford, D., & Williams, P. D. (2013). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley and Sons Ltd. <https://books.google.com/books?hl=en>

- Ennen, J. R., Kalis, M. E., Patterson, A. L., Kreiser, B. R., Lovich, J. E., Godwin, J., & Qualls, C. P. (2014). Clinal variation or validation of a subspecies? A case study of the *Graptemys nigrinoda* complex (Testudines: Emydidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 111(4), 810-822. <https://doi.org/10.1111/bij.12234>
- Jedari Eyvazi, J. (2002). *Geomorphology of Iran*. Payame Noor University Press. [In Persian].
- Kahrarian, M., Zamani, M., Vafaei Shoshtari, R. & Nassirkhani, M. (2021). Investigating Species Diversity of Pseudoscorpions (Arachnida: Pseudoscorpiones) in Oak Forests and Cultivated Areas of Lorestan Province, Iran. *Taxonomy and Biosystematic*, 13(48), 1-18 <https://doi.org/10.22108/tbj.2021.129081.1164> [In Persian].
- Köhler, G., Samietz, J., & Schielzeth, H. (2017). Morphological and colour morph clines along an altitudinal gradient in the meadow grasshopper *Pseudochorthippus parallelus*. *PLoS One*, 12(12), e0189815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189815>
- Harvey, M. S. (2007). The smaller arachnid orders: diversity, descriptions and distributions from Linnaeus to the present (1758 to 2007). *Zootaxa*, 1668(1), 363-380. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1668.1.19>
- Harvey, M. S. (2013). *Pseudoscorpions of the World*, version 3.0. Western Australian Museum, Available from: <http://museum.wa.gov.au/catalogues-beta/pseudoscorpions>
- Harvey, M. S., Ratnaweera, P. B., Udagama, P. V., & Wijesinghe, M. R. (2012). A new species of the pseudoscorpion genus *Megachernes* (Pseudoscorpiones: Chernetidae) associated with a threatened Sri Lankan rainforest rodent, with a review of host associations of *Megachernes*. *Journal of Natural History*, 46(41-42), 2519-2535. <https://doi.org/10.1080/00222933.2012.707251>
- Mayr, E. (1991). *Populations, Species & Evolution*. Harvard University Press.
- Medeiros, M. J., Davis, D., Howarth, F. G., & Gillespie, R. (2009). Evolution of cave living in Hawaiian *Schrankia* (Lepidoptera: Noctuidae) with description of a remarkable new cave species. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 156(1), 114-139. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00477.x>
- Mohaghegh, J. (2005). Morphometric Analysis of two populations of *Eurygaster manra* in Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, 25(1), 97-105. [https://jesi.areeo.ac.ir/article\\_105405.html?lang=fa](https://jesi.areeo.ac.ir/article_105405.html?lang=fa) [In Persian].
- Murienne, J., Harvey, M. S., & Giribet, G. (2008). First molecular phylogeny of the major clades of Pseudoscorpiones (Arthropoda: Chelicerata). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 49(1), 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.06.002>
- Nassirkhani, M. (2014). A new pseudoscorpion species of the genus *Geogarypus* (Arachnida: Pseudoscorpiones) from Iran. *Acta Arachnologica*, 63(2), 99-103. <https://doi.org/10.2476/asjaa.63.99>
- Nassirkhani, M. (2015). First Records of the Pseudoscorpion Family Cheiridiidae from Iran. *Arachnology*, 16(7), 244-251. <https://doi.org/10.13156/arac.2015.16.7.244>
- Nassirkhani, M. (2022). First record of *Neobisium* (*Neobisium*) *kobachidzei* Beier (Pseudoscorpiones: Neobisiidae) from Iran, with a list of Iranian pseudoscorpion species. *Arachnology*, 19(1), 7-14. <https://doi.org/10.13156/arac.2022.19.1.7>
- Nassirkhani, M., & Takallo Zadeh, H. M. (2013). The first record of *Gobichelifer chelanops* (Pseudoscorpiones: Cheliferidae) from Iran. *Acta Arachnologica*, 62(1), 13-18. <http://dx.doi.org/10.2476/asjaa.62.13>
- Nassirkhani, M., & Vafaei Shoushtari, R. (2017). Key to the species of *Megachernes* Beier (Pseudoscorpiones: Chernetidae), with notes on *M. afghanicus* and *M. pavlovskyi*. *Turkish Journal of Zoology*, 41(3), 568-575. <https://doi.org/10.3906/zoo-1511-54>
- Nassirkhani, M., & Zamani, M. (2017). Two species of the genus *Neobisium* (Pseudoscorpiones: Neobisiidae) from western Iran. *Arachnologische Mitteilungen*, 53, 53-61. 10.5431/aramit5309
- Rasband, W.S., (2018). *ImageJ*. U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland. <https://imagej.nih.gov/ij>

- Redikorzev, V. V. (1918). Pseudoscorpions nouveaux I. *Ezhegodnik Zoologicheskogo Muzea Akademii Nauk*, 22, 91-101.
- Romero, A. (2009). *Cave Biology (Life in Darkness)*. Cambridge University Press.
- Safaei, M., Hasanzadeh Kiabi, B., Pazooki, J., & Shokri, M.R. (2014). *Population dynamics of blue swimming crab, Portunus segnis in coastal waters of Persian Gulf and Gulf of Oman (Hormozgan provinve)*. [Unpublished doctoral thesis]. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. [In Persian].
- Souto-Lima, R. B., & Millien, V. (2014). The influence of environmental factors on the morphology of red-backed voles *Myodesgapperi* (Rodentia: Arvicolinae) in Québec and western Labrador. *Biological Journal of the Linnean Society*, 112(1), 204–218. <https://doi.org/10.1111/bij.12263>
- Wainwright, P. C., & Shaw, S. S. (1999). Morphological basis of kinematic diversity in feeding sunfishes. *Journal of Experimental Biology*, 202(22), 3101-3110. <https://doi.org/10.1242/jeb.202.22.3101>
- Whitney, J. L., Donahue, M. J. & Karl, S. A. (2018). Niche divergence along a fine-scale ecological gradient in sympatric color morphs of a coral reef fish. *Ecosphere*, 9(1), 68-81. 10.1002/ecs2.2015
- Wootton, R. J. (1991). *Ecology of teleost fishes*. Chapman and Hall.
- World Pseudoscorpiones Catalog (2022). *World Pseudoscorpiones Catalog*. Natural History Museum Bern, online at <http://wac.nmbe.ch>