

Research Paper



Morphometric assessment of dolines and their relationship with soil physicochemical properties in Noakoh Anticline, Kermanshah province



Arezou Cheraghi¹, Shahram Bahrami^{2*}, Somayeh Khaleghi³, Kazem Nosrati⁴

1. Ph.D. Student of Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. a_cheraghi@sbu.ac.ir
2. Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. sh_Bahrami@sbu.ac.ir
3. Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. s_khaleghi@sbu.ac.ir
4. Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. k_norrati@sbu.ac.ir

Keywords

Doline, Slope, Elevation, Vegetation, Plunge, Noakoh Anticline, Western Iran

Received: 2024/05/28

Accepted: 2024/09/09

Published: 2025/01/19

ABSTRACT

Dolines as karst landforms play an important role in soil formation. In this study, the morphometry of dolines and their relationship with the physicochemical characteristics of soil in Noakoh Anticline in Kermanshah province were evaluated. Chemical and physical characteristics of 36 soil samples of dolines were collected and measured in the laboratory. Also, digital elevation model (DEM; 13 cm) obtaining from UAV images, was used to measure the morphometric parameters of dolines. Pearson's correlation and T-tests were performed on data using SPSS software. Results showed that large dolines have higher slope, depth and roundness, as well as sandy soils, and higher EC, pH, potassium, phosphorus, water holding capacity and soil organic carbon. Also, low- elevation dolines have higher values of area, slope, depth, roundness, and host soils with higher EC, PH, potassium, water holding capacity, organic carbon, and saturation percentage than high elevation dolines. The dolines located in the plunge of the anticline have higher values of area, slope, depth, roundness and contain soils with higher values of clay%, EC, PH, potassium, water holding capacity, organic carbon and saturation percentage than the dolines in the central part. The mean of the most morphometric parameters and physicochemical characteristics of the soil in steeper-slope dolines is higher than in low-slope dolines. Therefore, the morphometric and pedological differences of dolines show that their formation and evolution are more at lower altitudes, plunged areas and steeper slopes. In general, vegetation, elevation, slope and type of precipitation play an important role in morphometric differences and soils in dolines.

*Corresponding Author: Shahram Bahrami E-mail: sh_Bahrami@sbu.ac.ir

How to cite this article: Cheragi, A; Bahram, Sh; Khaleghi, S; Nosrati, N. (2025). Morphometric assessment of dolines and their relationship with soil physicochemical properties in Noakoh Anticline, Kermanshah province.

Hydrogeomorphology, 11(41): 1-25.)

DOI: [10.22034/HYD.2024.61810.1741](https://doi.org/10.22034/HYD.2024.61810.1741)



Copyright: ©2025 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

Introduction

Geomorphological landforms are considered as important environmental factors affecting soil characteristics (Yin et al., 2011). Karstic landforms have distinct topography that results from the process of acid water solubility on carbonate beds (Yang et al., 2014). One of the karst landforms are closed depressions called dolines, which are usually circular and almost funnel-shaped in plan, and in some cases, they are also elliptical (Jacob et al., 2022). Difference in the microclimate and morphology of doline can result in the variation in the physicochemical properties of their soils. In some cases, the soils of dolines have a high concentration of nutrients and essential compounds for plant growth, and hence they can be considered as optimal soils for crops (Quintero Ruiz et al., 2019). Among the internal and external studies that have been conducted on the morphometry of dolines, limited studies have focused on the impact of dolines on soil, vegetation and living organisms. In this article, the effect of morphometry of dolines of Noakoh Anticline on the physical and chemical characteristics of their soil has been studied. Noakoh Anticline is located in the Zagros Folded Belt. The NW-SE trending Noakoh Anticline is located between 34° 10' to 34° 23' north latitude and 45° 58' to 46° 14' east longitude. The climate of the studied area is semi-arid to Mediterranean with cool winters and dry summers.

Methodology

A total number of 36 dolines were selected to study the relationship between the morphometry of dolines and the physicochemical characteristics of their soil. In order to precise calculation of morphometric properties of dolines, 13 cm DEM prepared from high resolution UAV images were used. The morphometric features calculated in this research include: area, perimeter, depth, length, width, height above sea level, circularity ratio, elongation ratio, and slope. In order to investigate the physical and chemical characteristics of the soil of dolines, 36 soil samples were taken from the depths of 0 to 20 cm from the bottom of dolines. Parameters of soil acidity (pH), electrical conductivity (EC), phosphorus (P), absorbable potassium (K), sodium (Na), calcium carbonate (CaCO₃), saturated moisture percentage (Sp), water holding capacity (WHC), soil texture and total organic carbon (TOC) were measured. Then Pearson's correlation and T tests were performed on data using SPSS software.

Results and Discussion

The results of the present study on 36 dolines formed in the Asmari limestone of Noakoh Anticline show that the slope aspect was one of the most important influencing factors in the formation of dolines, so that all dolines were formed in the northeastern slope of the anticline. Data shows that larger dolines are more circular in shape and have greater topographic depth and slope, and also have better quality soils that show the evolution of dolines. Statistical studies show that the height parameter has played an important role in the difference in the morphometry of dolines and the soil formed in them. The dolines formed at lower altitudes are larger, deeper, more circular and steeper than the dolines of higher altitudes. Also, the dolines formed at lower altitudes have relatively finer textured soils, with higher amounts of organic matter, potassium, acidity, electrical conductivity, water storage capacity, and saturated moisture than high altitude dolines. The results show that the average soil phosphorus in dolines located in high altitude areas is higher than in low altitude dolines. Although the soil phosphorus of the dolines of the study area has no statistically significant correlation with other variables, but its values are higher in high altitudes and central areas of the anticline because these areas have more frost and less soil washing. The findings of this research show that the dolines located on steep slopes are often larger, deeper and more circular in shape, and also have soils with coarser texture, and higher values of EC, pH, and potassium. The storage capacity of water, organic carbon, saturated moisture and phosphorus compared to the dolines located on the lower slope. This issue can be attributed to more movement of water in relatively steeper slopes, which causes more evolution of dolines and the formation of better-quality soil in them. Due to the active tectonics in the anticline, the plunged part of the anticline is younger than the central part of the anticline. Although the plunged part of the anticline is tectonically younger, its lower height and denser vegetation have caused more evolution of dolines.

Conclusions

In this study, the morphometry of the dolines of Noakoh Anticline and its effect on the physical and chemical characteristics of the soil was evaluated. The higher humidity and dense vegetation of the northeastern flank of the anticline has resulted in the karstification and doline formation. The results show that the morphometry of dolines and soil characteristics are affected by altitude, so that the low altitudes located in the plunged part of the anticline have larger dolines with more developed soils due to denser vegetation and more carbon dioxide production. In the plunged section, well developed dolines with more circular, larger, deeper, and steeper gradients have formed compared to the dolines in the highlands. Also, the plunged part of the anticline has relatively finer textured soils, with higher amounts of organic matter, potassium, acidity, electrical conductivity, water holding capacity and saturated moisture compared to the higher altitude dolines of the central part. In terms of morphometry, the dolines located in steep slopes, often located in the northeast slope and low altitude of the anticline, are larger, deeper and more circular than the dolines located in the lower slopes. The soils of dolines located at steeper slopes also have coarser texture and high values of EC, pH, potassium, water holding capacity, organic carbon, saturated moisture and phosphorus. In general, it can be concluded that the morphometry of dolines in the studied area have fundamental differences in terms of morphometry and soil characteristics, and these differences are caused by the factors of height, topographic slope, vegetation and slope direction.

مقاله پژوهشی



ارزیابی مورفومتری دولین‌ها و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک در تاکدیس نواکوه، استان کرمانشاه



آرزو چراغی^۱، شهرام بهرامی^{۲*}، سمیه خالقی^۳، کاظم نصرتی^۴

- 1- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. a_cheraghi@sbu.ac.ir
 2- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. sh_bahrami@sbu.ac.ir
 3- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. s_khaleghi@sbu.ac.ir
 4- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. k_nosrati@sbu.ac.ir

چکیده

دولین‌ها به عنوان لندفرم‌های کارستی نقش مهمی در تشکیل خاک دارند. در مطالعه حاضر، مورفومتری دولین‌ها و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در تاکدیس نواکوه در استان کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی ۳۶ نمونه خاک کف دولین‌ها جمع آوری و در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. همچنین از DEM ۱۳ سانتی‌متری حاصل از تصاویر پهپاد برای اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتری دولین‌ها استفاده شد. آنالیزهای آماری همبستگی پیرسون و آزمون تی بر روی داده‌ها توسط نرم افزار SPSS صورت گرفت. نتایج نشان داد که دولین‌های بزرگ، دارای شیب و عمق و ضریب گردواری بیشتر، و همچنین دارای خاک‌های ماسه‌ای، میزان EC، pH، پتاسیم، فسفر، ظرفیت نگهداری آب و کربن آلی خاک بالاتری هستند. دولین‌های کم ارتفاع دارای مساحت، شیب، عمق، و گردواری بیشتر و دارای خاک‌های رسی، و میزان EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی و رطوبت اشباع بیشتری نسبت به دولین‌های مرتفع هستند. دولین‌های واقع در فرود محوری تاکدیس دارای مساحت، شیب، عمق، ضریب گردواری بیشتر و دارای خاک‌های رسی، و میزان EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی و رطوبت اشباع بالاتری نسبت به دولین‌های بخش مرکزی هستند. میانگین اغلب پارامترهای مورفومتری و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در دولین‌های پرشیب بیشتر از دولین‌های کم شیب است. در مجموع، تفاوت‌های مورفومتریکی و پدولوژیکی دولین‌ها نشان می‌دهد که تشکیل و تکامل آن‌ها در ارتفاعات پائین‌تر، فرود محوری و شیب‌های تند بیشتر است. به طور کلی، پوشش گیاهی، سطوح ارتفاعی، شیب و نوع بارش نقش مهمی در تفاوت‌های مورفومتریکی و خاک‌های تشکیل شده در دولین‌ها دارند.

کلیدواژه‌ها

دولین، شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی، فرود محوری، تاکدیس نواکوه، غرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

ارجاع به این مقاله: چراغی، آرزو؛ بهرامی، شهرام؛ خالقی، سمیه؛ نصرتی، کاظم. (۱۴۰۳). ارزیابی مورفومتری دولین‌ها و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک در تاکدیس نواکوه، استان کرمانشاه. هیدروژئومورفولوژی، 11(41): 25-1.

شناسه دیجیتال مقاله DOI:10.22034/hyd.2024.61810.1741

* نویسنده مسئول: شهرام بهرامی
 رایانامه: sh_Bahrami@sbu.ac.ir



Copyright: ©2025 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

افزایش یا کاهش عناصر معدنی خاک می‌تواند تأثیر مستقیم در حاصل‌خیزی خاک و رشد گیاهان داشته باشند. پدوژن سنگ‌های کربناتی بسیار کند است و می‌تواند یک افق خاک کم عمق را تشکیل دهند، که به وفور توسط سنگ‌های بیرون‌زده از هم جدا می‌شوند (دیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۶۳). بیش از ۹۰٪ از سنگ‌های کربناته، با سرعت ۶۲ میلی‌متر در ۱۰۰۰ سال، انحلال می‌یابند. رسوبات هوازده باقی‌مانده که برای تشکیل خاک در دسترس هستند با سرعت بسیار کند ۰/۲۵ میلی‌متر در ۱۰۰۰ سال انباشته می‌شوند و منجر به تولید خاک‌هایی از نوع تکامل نیافته مانند رس‌های قرمز یا زرد و خاک‌های آهکی می‌شوند. پوشش خاک در این مناطق معمولاً کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است. همچنین ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و اکولوژیکی خاک ضعیف است و بین سنگ و خاک، پیوستگی ضعیفی وجود دارد. بنابراین باران شدید باعث فرسایش خاک و حرکات توده‌ای در مناطق کارستی می‌شود (هی^۲ و همکاران، ۱۹۹۷: ۱۲۱). الگوی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک، نتیجه‌ی تفاوت مکانی خاک و تعامل بین فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در یک موقعیت خاص است. بنابراین توپوگرافی بر تغییر فضایی خصوصیات خاک، هیدرولوژی زیرسطحی و حاصل‌خیزی آن تأثیر دارد (کومهلووا^۳ و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۱۴). pH خاک، دما، هدایت الکتریکی، میزان رطوبت و مقدار CO₂ با متغیرهای توپوگرافی رابطه دارد (بین^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۹۰۷). لندفرم‌ها که حاصل اثرات متقابل اقلیم و زمین‌شناسی هستند بر جریان آب سطحی، انتقال رسوب، خصوصیات خاک و اقلیم در مقیاس محلی تا منطقه‌ای تأثیر گذارند. به علاوه پدیده‌هایی هم‌چون پوشش گیاهی نیز به طور مستقیم از الگوهای لندفرم تأثیر می‌پذیرند (کرمی و همکاران، ۱۴۰۲: ۵). لندفرم‌های کارستی دارای توپوگرافی مشخصی هستند که ناشی از فرآیند حلالیت آب اسیدی بر روی بسترهای کربناتی می‌باشد (یانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۴۸۳). یکی از لندفرم‌های کارستی، فرورفتگی‌های بسته زمین به نام دولین (سینک‌هول در ادبیات آمریکایی) هستند و در اندازه‌ها و اشکال مختلف ظاهر می‌شوند. آنها معمولاً در پلان دایره‌ای و تقریباً قیفی شکل هستند و در بعضی موارد بیضوی شکل هستند. قطر آنها از چند متر تا بیش از ۱۰۰ متر و اضلاع آن از شیب ملایم تا عمودی متغیر است. در نتیجه، عمق آنها به طور کلی از چند متر تا چند ده متر متغیر است (جاکوب^۶ و همکاران، ۲۰۲۲: ۲). عوامل میکرو اقلیمی دولین‌ها، محیطی متفاوت و غنی از رطوبت و دمای کمتر را در مناطق گرمسیری ایجاد می‌کنند. این شرایط باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در ترکیب فیزیکی و شیمیایی خاک دولین‌ها می‌شود. در نهایت، خاک دولین‌ها دارای غلظت بالایی از مواد مغذی و ترکیبات ضروری برای رشد گیاه هستند. به همین دلیل می‌توان آنها را به عنوان خاک‌های بهینه برای محصولات زراعی در نظر گرفت و از آنجایی که مساحت آنها ممکن است نسبتاً بزرگ باشد، فرآیندهای اکولوژیکی را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهند (کوینترو-رویز^۷، ۲۰۱۹: ۳۱). دولین‌ها اولین اشکال کارستی هستند که مورد تحلیل مورفومتریک قرار گرفتند و با توجه به منشاء تشکیل، محدوده و نوع ویژگی‌های مورفومتریک آن‌ها با یکدیگر متفاوت است (ویسی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۳). مطالعات داخلی و خارجی متعددی بر روی دولین‌ها صورت گرفته است اما پژوهش در موضوع تأثیر دولین بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آن محدود است. بارانی-کیوی^۸ (۱۹۹۹)، با ارزیابی دولین‌های کوهستان

1- Du

2- He

3- Kumhálová

4- Yin

5- Yang

6- Jakob

7- Quintero-Ruiz

8- Bárányi-Kevei

بوک در مجارستان نشان داد که دولین‌ها به دلیل اشکال مورفولوژیکی خاص، یک فضای میکرواقليمی مشخصی را ایجاد می‌کنند و این شرایط میکرواقليمی باعث تفاوت در فرایندهای اکولوژیکی دامنه‌ها، بستر و لبه‌های دولین‌ها شده است. باتوری^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، نیز با بررسی دولین‌های کارستی کوه‌های بوک در شمال مجارستان نشان دادند که دولین‌ها میکرواقليم‌های مهمی را ایجاد می‌کنند و به گونه‌های گیاهی و حیوانی برای رشد در خارج از محدوده اصلی خود کمک کرده و تنوع زیستی را در منطقه افزایش می‌دهند. در پژوهش مذکور به الگوهای توزیع گروه‌های مختلف موجودات زنده در دو گروه متفاوت مانند مورچه‌ها و گیاهان عروق‌دار^۲ پرداخته شده است. نتایج مطالعه آنها مشخص نمود که دولین‌های کارستی پناهگاه‌های ایمن بالقوه‌ای برای موجودات زنده متعدد تحت نوسانات آب و هوایی محلی و جهانی هستند. مارسین^۳ و همکاران (۲۰۲۱) از میکرو اقلیم و ناهمگونی زیستگاه که در دولین‌ها وجود دارد به عنوان محرک‌های اصلی کولمبول^۴ خاک (نوعی حشره) نام می‌برند. همچنین باتوری و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی دیگر پنج گروه از بندپایان را در دولین‌ها بررسی کردند و شرایط میکروسکوپی که بر این مجموعه بندپایان تاثیر می‌گذارند را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتیجه نشان داد که دولین‌ها ظرفیت نگهداری پنج گروه مشخص شده را در برابر تغییرات آب و هوایی را دارند. کارنی^۵ و همکاران (۲۰۲۲) استفاده از گونه‌های گیاهی شاخص برای شناسایی دولین‌هایی با ارزش حفاظتی بالا برای گونه‌های سازگار با سرما را پیشنهاد دادند. که در این پژوهش هدف تقسیم دولین‌ها به واحدهای لندفرم پوشش گیاهی^۶ با توجه به ویژگی‌های ژئومورفیک و گونه‌های گیاهی شاخص بود. که نهایتاً دولین‌هایی که حداقل ۱۳/۵ متر عمق دارند به عنوان پناهگاه امن خوبی برای گونه‌های سازگار با سرما معرفی شدند و تاکید کردند که عمق دولین مهم‌ترین عامل موثر بر ترکیب جامعه گیاهی است. رضایی مقدم و قدری (۱۳۹۰)، پژوهشی بر روی مورفومتری دولین‌های منطقه‌ی تخت سلیمان انجام دادند. در این پژوهش چهار متغیر مساحت، محیط، عمق و ارتفاع دولین‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی دولین‌های منطقه مشخص شد که با افزایش ارتفاع به عمق آن‌ها افزوده می‌شود. ارتفاع از عوامل مهمی است که به صورت یک متغیر مستقل روی عوامل دیگر تاثیر داشته است. عمق و محیط دولین‌ها از ارتفاع آنها تاثیر پذیرفته‌اند. عامل ارتفاع می‌تواند نقش موثری در مساحت دولین‌ها داشته باشد اما فعالیت‌های زمین ساخت در محدوده مورد مطالعه موجب شده تا ارتفاع دولین‌ها رابطه معنا داری با مساحت آنها نداشته باشد.

شکر بهجتی و همکاران (۱۴۰۰) ویژگی‌های مورفومتری مثل طول، عرض و عمق دولین‌ها، و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از سه قسمت بیرونی، دیواره و کف دولین‌های واقع در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در شهرستان نوشهر را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها بیانگر تفاوت معنادار در پارامترهای بافت و آهک در سه موقعیت متفاوت دولین‌ها بود. همچنین نتایج بدست آمده از شاخص‌های مورفومتریک نشان از توزیع نامنظم دولین‌ها و عدم تقارن آن‌ها در منطقه مورد مطالعه است. جعفری و ناصری (۱۴۰۲)، به شناسایی، تراکم و خصوصیات فیزیوگرافی دولین‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف مناطق کارستی زاگرس پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد شکل و عمق دولین‌ها متاثر از تغییرات اقلیمی کواترنری است و در ارتفاعات پایین‌تر بدلیل آن‌که آب نسبت به دما نقش مهمی در انحلال داشته، دولین‌ها تقریباً دایره‌ای شکل بوده‌اند و در مناطق مرتفع دولین‌ها به دلیل دمای پایین‌تر شکل کشیده‌تری به خود گرفته و احتمال تبدیل دولین به سیرک

1- Batori
2- Tracheophyta
3- Marcini

4- Collembola
5- Carni

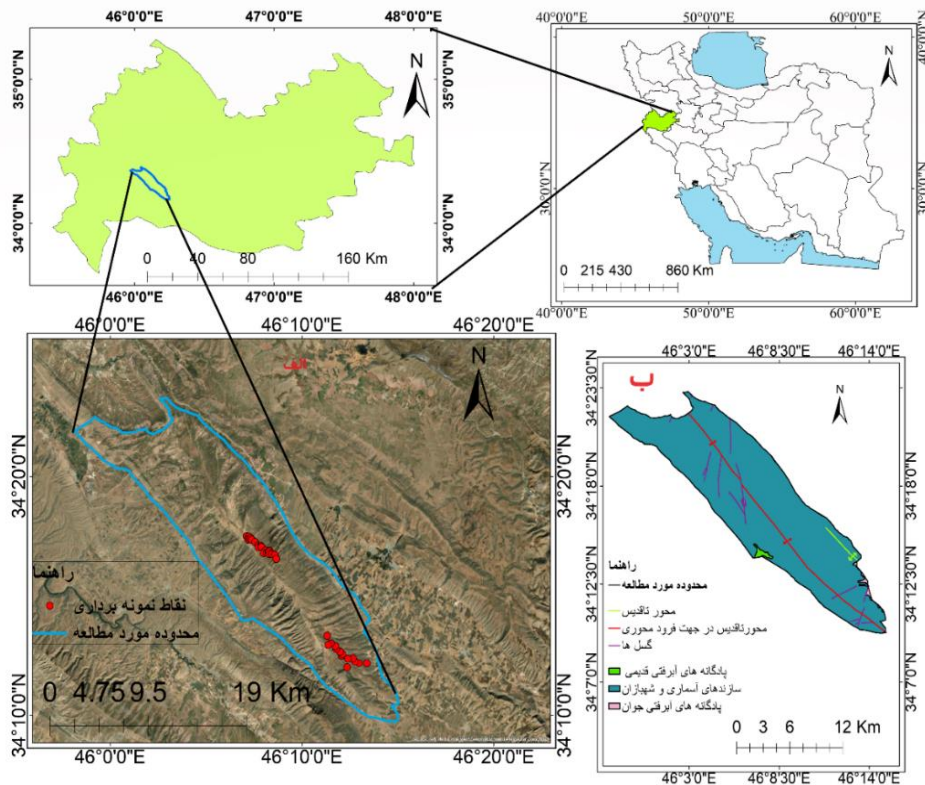
6- Landform-Vegetation unit
(LVU)

یخچالی - دولین بیشتر است. با توجه به اینکه دو پهلوی شمال شرقی و جنوب غربی تاقدیس نواکوه از نظر شیب، توپوگرافی و ساختمانی و همچنین رطوبت، پوشش گیاهی، خاک و لندفرم‌های کارستی دارای تفاوت‌های قابل توجهی هستند، تاقدیس مذکور جهت بررسی مورفومتری دولین‌ها و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک تشکیل شده در دولین‌ها انتخاب شد. هدف این پژوهش ارزیابی مورفومتری دولین‌ها و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک آن‌ها است.

مواد و روش‌ها

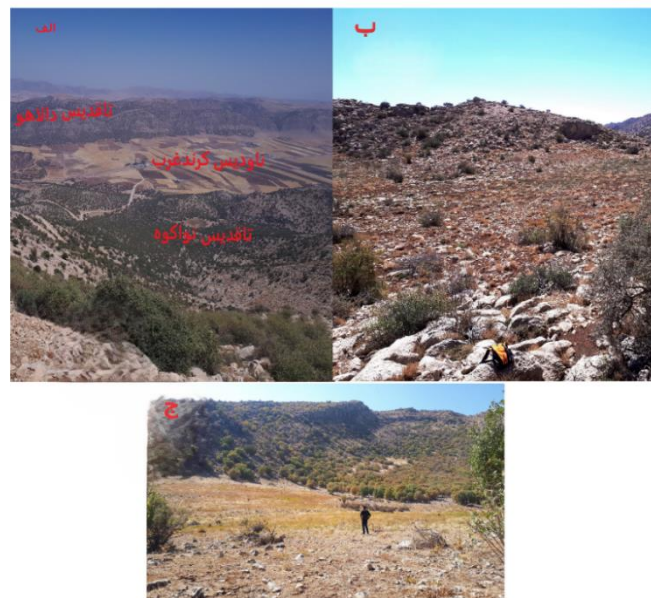
منطقه مورد مطالعه

تاقدیس نواکوه در کمربند چین خورده زاگرس قرار دارد و بین شهرهای سرپل‌ذهاب و کوند غرب در استان کرمانشاه در غرب ایران واقع شده است. منطقه مورد مطالعه ۱۹۵ کیلومتر مربع مساحت دارد و بین ۳۴°۱۰' تا ۳۴°۲۳' عرض شمالی و ۴۵°۵۸' تا ۴۶°۱۴' طول شرقی واقع شده است (شکل ۱، الف). بالاترین ارتفاع آن حدود ۲۴۸۰ متر، و حداقل ارتفاع آن حدود ۸۰۰ متر در قسمت شمال غربی است. همچنین روند تاقدیس شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. آب و هوای منطقه مورد مطالعه از نوع نیمه خشک تا مدیترانه‌ای با زمستان‌های خنک و تابستان‌های خشک است. میانگین بارندگی و دمای سالانه تاقدیس نواکوه به ترتیب ۵۸۰ میلی‌متر و ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد است. از نظر هیدرولوژیکی، تمام رودخانه‌های تشکیل شده بر روی تاقدیس، موقت هستند. تاقدیس نواکوه تنها دارای یک واحد سنگ‌شناسی آهک آسماری - شهبازان (سنگ آهک و دولومیت) می‌باشد (شکل ۱، ب). طول تاقدیس ۳۰ کیلومتر و عرض آن در بخش جنوب شرقی ۳۱۰۰ متر، در بخش مرکزی ۷۵۰۰ متر و در بخش شمال غربی ۷۱۵۰ متر است. منطقه مورد مطالعه یک تاقدیس نامتقارن است که پهلوی جنوب غربی آن پرشیب‌تر از پهلوی شمال شرقی است. با توجه به رخنمون سنگ‌های کربناته و ویژگی‌های کارستی، لندفرم غالب منطقه مورد مطالعه کارن‌ها، دولین‌ها، و غارها هستند. دولین‌ها در ارتفاعات بین ۱۸۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تشکیل شده‌اند که تمام آن‌ها در دامنه‌های شمال شرقی قرار دارند. تراکم جنگل تاقدیس نواکوه به جهت شیب بستگی دارد به طوری که جهت شمال شرقی درختان متراکم‌تری نسبت به جهت جنوب غربی که خشک‌تر است دارد (شکل ۲). همچنین جهت شیب نیز تاثیر قابل توجهی بر رشد میکروارگانیسم‌هایی مانند گلسنگ و خزه دارد به طوری که این میکروارگانیسم‌ها در شیب‌های شمال شرقی که خنک‌تر، مرطوب‌تر و سایه‌دارتر از شیب‌های خشک و آفتابی جنوب غربی است، بیشتر یافت می‌شوند (بهرامی، ۲۰۱۲: ۴۸). پوشش گیاهی منطقه شامل گونه‌های متعددی است که از جمله می‌توان بلوط، بادام وحشی، بنه، گلابی، زالزالک، ون و گیلاس وحشی اشاره کرد. ارتفاعات ۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متری شامل پوشش جنگلی غالباً بلوط و بالاتر از ۲۲۰۰ متری شامل پوشش مرتعی می‌باشد. جنگل‌های نسبتاً متراکم و نیمه متراکم که ۵۱/۴۸ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود با رخصاره‌های کارستی دامنه شمال شرقی انطباق دارند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۳).



شکل (۱): الف: موقعیت جغرافیایی ب: نقشه زمین شناسی تاقدیس نوکوه.

Fig(1): a; The geographical location. b; the Geological map of Noakoh anticline .



شکل (۲): الف: دامنه های شمال شرقی تاقدیس نوکوه با پوشش متراکم جنگلی، ب: پوشش گیاهی مرتعی در ارتفاعات بالای ۱۹۰۰ متر، ج: پوشش گیاهی متراکم جنگلی در ارتفاعات پایین ۱۹۰۰ متر.

Fig (2): a; The northeastern slopes of Navakoh anticline with dense forest cover. b; Pasture vegetation at altitudes above 1900 meters. c; Dense forest vegetation at low altitudes of 1900 meters.

روش تحقیق

با ارزیابی اولیه تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی از تاقدیس نواکوه، تعداد ۳۶ فروچاله جهت مطالعه ارتباط بین مورفومتری دولین‌ها و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک آنها انتخاب گردید. بدین منظور برای اندازه‌گیری‌های مورفومتریک دولین‌ها از DEM ۱۳ سانتی‌متری استفاده شده است که از پهپاد فانتوم ۴ پرو با دوربین دیجیتالی ۲۰ مگاپیکسلی تهیه گردیده است. پیشرفت‌های اخیر در تصاویر هوایی، مانند استفاده از هواپیمای بدون سرنشین، تجزیه و تحلیل دقیق‌تر سطح زمین را ممکن می‌سازد. پهپادها به‌عنوان جایگزین جدی برای جمع‌آوری داده‌های سنتی و همچنین جایگزین کم‌هزینه‌ای برای فتوگرامتری هوایی کلاسیک هستند. داده‌های جهانی مانند ASTER یا SRTM و DEM با وضوح پایین برای تشخیص دولین‌ها با اندازه‌های کوچک و شناسایی ویژگی‌های مورفومتریک آن‌ها مناسب نیستند (اوتلو و اوزتورک، ۲۰۲۳: ۲). بنابراین در این مطالعه، از DEM ۱۳ سانتی‌متری تهیه شده از تصاویر پهپاد با وضوح بالا جهت بررسی دولین‌ها استفاده گردید (شکل ۳).



شکل (۳): نمونه‌هایی از تصاویر تهیه شده توسط پهپاد از دولین‌های منطقه مورد مطالعه.

Fig(3): A number of images taken by UAV from dolines in the study area.

ویژگی‌های مورفومتریکی محاسبه شده در این تحقیق شامل: مساحت، محیط، عمق، طول، عرض، ارتفاع از سطح دریا، ضریب گردواری، نسبت طول به عرض (کشیدگی)، و شیب هستند. شاخص‌های فوق با استفاده از DEM و در محیط جی‌آی‌اس بدست آمده است. برای ارزیابی شاخص شکل دولین از دو روش استفاده شد. اولین شاخص، کشیدگی است که از تقسیم طول بر عرض دولین بدست می‌آید. این شاخص برای میزان تغییر شکل دولین نسبت به شکل دایره کامل می‌باشد. دومین شاخص ضریب گردواری است که از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$CR = \frac{4 \times \pi \times A}{p^2} \quad (1)$$

در این فرمول A مساحت دولین به متر مربع، P محیط دولین به متر و π عدد ۳/۱۴ است. مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱ است. هر چه مقدار CR به ۱ نزدیک‌تر باشد دولین دایره‌ای شکل‌تر است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد دولین کشیده‌تر است (سریدوی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۱۷). جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دولین‌ها، ۳۶ نمونه خاک از عمق‌های ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از کف دولین‌ها نمونه برداری شد. پارامترهای اسیدیته خاک (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، کربنات کلسیم (CaCO₃)، درصد رطوبت اشباع (Sp)، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، بافت خاک و کربن آلی کل (TOC) اندازه‌گیری گردید. میزان اسیدیته خاک بعد از تهیه‌ی عصاره خاک به نسبت خاک به آب ۲/۵:۱ با استفاده از دستگاه pH متر به دست آمد (رودز، ۱۹۹۶: ۴۲۱). برای اندازه‌گیری EC خاک ابتدا از نمونه‌ها به نسبت خاک به آب ۱:۵ عصاره تهیه گردید و سپس با استفاده از دستگاه EC متر مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد (رودز، ۱۹۹۶: ۴۲۲). درصد مواد آلی خاک با روش تیتراسیون والکی- بلک اندازه‌گیری شد (اسکجم ستاد و بالدوک، ۲۰۰۸: ۲۳۰). میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از عصاره خاک و دستگاه فیلم فتومتر محاسبه شد (ایمنی و همکاران، ۲۰۲۱: ۷). مقدار فسفر با استفاده از روش رنگ سنجی اسپکتروفوتومتری محاسبه گردید (نصرتی و مجدی، ۱۳۹۶: ۱۸۰). مقدار کربنات کلسیم موجود در خاک از طریق انحلال اسیدی و اندازه‌گیری گاز دی‌اکسید کربن آزاد شده و با دستگاه کلسیمتر و از طریق رابطه (۲) بدست آمد.

$$\%CaCO_3 = (0.15 \times V1 \times 100) / (V2 \times W) \quad (2)$$

1 - Area	9- Slope	1 - Saturation percentage	7
2- Circumference	10- Sreedevi	1 - water holding capacity	8
3- Depth	1 - Soil acidity	1 - Soil texture	9
4- Length	1 - Electrical conductivity	2 - Total Organic Carbon	0
5- Width	1 - phosphorus	2 - Rhoades	1
6- Elevation	1 - potassium	2 - Skjemstad & Baldock	2
7- Circulatory ratio	1 - sodium	2 - Imeni	3
8- Elongation ratio	1 - calcium carbonate		

به طوری که V1 میزان حجم تولید شده گاز CO₂ تولید شده برای نمونه خاک و V2 حجم گاز CO₂ تولید شده برای نمونه Blank یا شاهد و منظور از W وزن خاک بر حسب گرم می‌باشد. برای تعیین مقدار نگهداشت آب در خاک (WHC) از رابطه (۳) استفاده شد:

$$WHC = (100 - Wp) + Wi / (Dw \times 100) \quad (3)$$

در این معادله Wp مقدار آب زهکش شده از فیلتر کاغذ صافی است. Wi مقدار وزن خاک مرطوب و Dw مقدار وزن خاک خشک است. مقدار رطوبت اشباع خاک نیز از رابطه (۴) بدست آمد (ایمنی و همکاران، ۲۰۲۱: ۷).

$$100 \times (\text{وزن خاک مرطوب}) / ((\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب}) = \text{درصد رطوبت اشباع} \quad (4)$$

در نهایت با روش هیدرومتر بر روی ذرات با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر، بافت خاک (سیلت، رس، ماسه) به دست آمد (بویوکاس، ۱۹۶۲: ۴۶۴). سپس آنالیزهای آماری همبستگی پیرسون و آزمون تی‌آبر روی داده‌ها انجام شد. انجام محاسبات آماری توسط نرم افزارهای اکسل و SPSS IBM 27 صورت گرفت.

نتایج

شاخص‌های مورفومتری دولین و ویژگی‌های خاک

نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های مورفومتری ۳۶ دولین و پارامترهای فیزیکی - شیمیایی خاک آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در این تحقیق، میانگین پارامترهای مورد مطالعه بر اساس مساحت (گروه دولین‌های بزرگ و کوچک)، ارتفاع از سطح دریا (گروه دولین‌های مرتفع و کم ارتفاع)، شیب توپوگرافی (گروه دولین‌های کم شیب و پرشیب) و موقعیت ساختمانی (دولین‌های واقع در فرود محوری و بخش مرکزی تاقدیس) محاسبه شد (شکل ۴). بر اساس مساحت، دولین‌ها به دو زیر گروه بزرگ (با مساحت‌های بیشتر از ۵ هزار متر مربع) و کوچک (کمتر از ۵ هزار متر مربع) تقسیم شدند. همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد، میانگین پارامترهای محیط، شیب، عمق، طول، عرض و گردواری در دولین‌های بزرگ، بیشتر از دولین‌های کوچک است. در ویژگی‌های خاک، مقدار میانگین ماسه، EC، pH، پتاسیم، فسفر، ظرفیت نگهداری آب و کربن آلی خاک در دولین‌های بزرگ بیشتر از دولین‌های کوچک است. مقدار میانگین ارتفاع از سطح دریا، کشیدگی، سیلت، سدیم و رطوبت اشباع در دولین‌های کوچک بیشتر از دولین‌های بزرگ است. میانگین پارامترها بر اساس ارتفاع از سطح دریا، در دو گروه دولین‌های مرتفع (بالای ۱۹۰۰ متر) و کم ارتفاع (کمتر از ۱۹۰۰ متر) در شکل ۴ ارائه شده است. دولین‌های مرتفع دارای مقادیر میانگین بالاتری در کشیدگی، ماسه، سیلت، سدیم و فسفر هستند. میانگین پارامترهای مساحت، محیط، شیب، عمق، طول، عرض و گردواری در دولین‌های کم ارتفاع بیشتر است. در ویژگی‌های خاک، میانگین پارامترهای رس، EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، ارگانیک کربن و رطوبت

اشباع در دولین‌های کم ارتفاع بیشتر از دولین‌های مرتفع است. بر اساس موقعیت ساختاری تاقدیس نواکوه که دارای فرود محوری یک طرفه به سمت جنوب‌شرق می‌باشد، دولین‌ها به دو گروه؛ دولین‌های واقع در فرود محوری و دولین‌های واقع در بخش مرکزی تاقدیس تقسیم شدند و میانگین پارامترها در دو گروه مذکور با هم مقایسه شدند. از ۳۶ دولین مورد مطالعه، ۱۴ دولین در فرود محوری تاقدیس و ۲۲ دولین در بخش مرکزی تاقدیس قرار دارند. میانگین پارامترهای مساحت، محیط، شیب، عمق، طول، عرض و گردواری در دولین‌های واقع در فرود محوری تاقدیس بیشتر از دولین‌های بخش مرکزی تاقدیس است. همچنین در ویژگی‌های خاک، میانگین پارامترهای رس، EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، ارگانیک کربن و رطوبت اشباع در دولین‌های واقع در فرود محوری تاقدیس بیشتر از دولین‌های بخش مرکزی تاقدیس است. دولین‌های بخش مرکزی تاقدیس دارای میانگین کشیدگی، ماسه، سیلت، سدیم، فسفر بالاتری نسبت به دولین‌های واقع در فرود محوری تاقدیس هستند (شکل ۴). در نهایت دولین‌ها بر اساس شیب به دو گروه دولین‌های با شیب‌های بالای ۲ درصد و شیب کمتر از ۲ درصد تقسیم شدند و میانگین پارامترها در دو گروه مذکور با هم مقایسه شدند. میانگین پارامترهای مساحت، محیط، عمق، طول، عرض، گردواری، ماسه، EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، ارگانیک کربن، رطوبت اشباع و فسفر در دولین‌های پرشیب بیشتر از دولین‌های کم شیب است. در دولین‌های کم شیب میانگین کشیدگی، رس، سیلت، سدیم، نسبت به دولین‌های پر شیب بیشتر است (شکل ۴).

جدول (۱) مقادیر پارامترهای مورفومتریکی دولین‌ها و ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک آن‌ها

Table(1): Values of morphometric parameters and physical-chemical characteristics of soils

نمونه	مساحت m ²	محیط m	ارتفاع m	عمق m	عرض m	طول m	کشیدگی %	گردواری %	شیب %
۱	۵۲۸۴/۰۲	۳۵۲/۸۰	۲۳۸۳	۸/۳	۷۷/۵۶	۱۱۴/۴۳	۱/۴۷	۰/۵۳	۳/۳
۲	۲۵۰۵/۹۴	۲۲۸/۳۹	۲۳۶۶	۹/۳	۵۸/۶۶	۶۸/۵۱	۱/۱۶	۰/۶۰	۲/۶
۳	۱۷۷۲/۹۴	۱۷۵/۳۲	۲۳۵۲	۲/۴	۳۶/۰۹	۶۷/۶۸	۱/۸۷	۰/۷۲	۱/۵۲
۴	۸۲۱۶/۱۵	۴۴۲/۸۰	۲۳۶۱	۷/۵	۷۵/۳۴	۱۷۱/۵۰	۲/۲۷	۰/۵۲	۷/۷۶
۵	۸۰۹/۴۸	۱۴۷/۱۹	۲۳۵۵	۱/۸	۳۱/۶۸	۳۸/۵۵	۱/۲۱	۰/۴۶	۱/۵۲
۶	۵۵۴۲/۰۰	۲۹۶/۹۰	۲۳۵۶	۷/۵	۶۶/۵۴	۱۰۷/۴۲	۱/۶۱	۰/۷۸	۴/۳۳
۷	۷۷۹/۶۰	۱۱۶/۱۶	۲۲۷۵	۴/۲	۲۸/۵۱	۴۱/۸۵	۱/۴۶	۰/۷۲	۱/۴
۸	۵۴۵/۵۵	۹۶/۱۳	۲۳۱۳	۲/۱	۱۸/۳۹	۳۸/۹۴	۲/۱۱	۰/۷۴	۱/۵
۹	۴۲۵/۵۱	۸۱/۵۵	۲۲۸۰	۱/۵	۱۷/۰۴	۳۰/۶۷	۱/۷۹	۰/۸۰	۱/۱
۱۰	۷۱۰/۷۳	۱۱۷/۲۹	۲۲۵۳	۵/۴	۲۳/۱	۴۶/۴۰	۲/۰۰	۰/۶۴	۱/۵
۱۱	۶۵۲/۵۷	۱۳۳/۰۶	۲۲۴۸	۳/۱	۲۱/۱۰	۵۴/۲۶	۲/۵۷	۰/۴۶	۱/۱۵
۱۲	۲۱۳۷/۷۹	۲۳۷/۹۴	۲۲۴۹	۴/۵	۵۳/۰۴	۷۲/۰۶	۱/۳۵	۰/۴۷	۱/۹۵
۱۳	۱۴۷۱/۵۴	۱۷۲/۲۳	۲۲۲۸	۴/۹	۲۹/۰۳	۷۴/۵۹	۲/۵۶	۰/۶۲	۱/۲۶

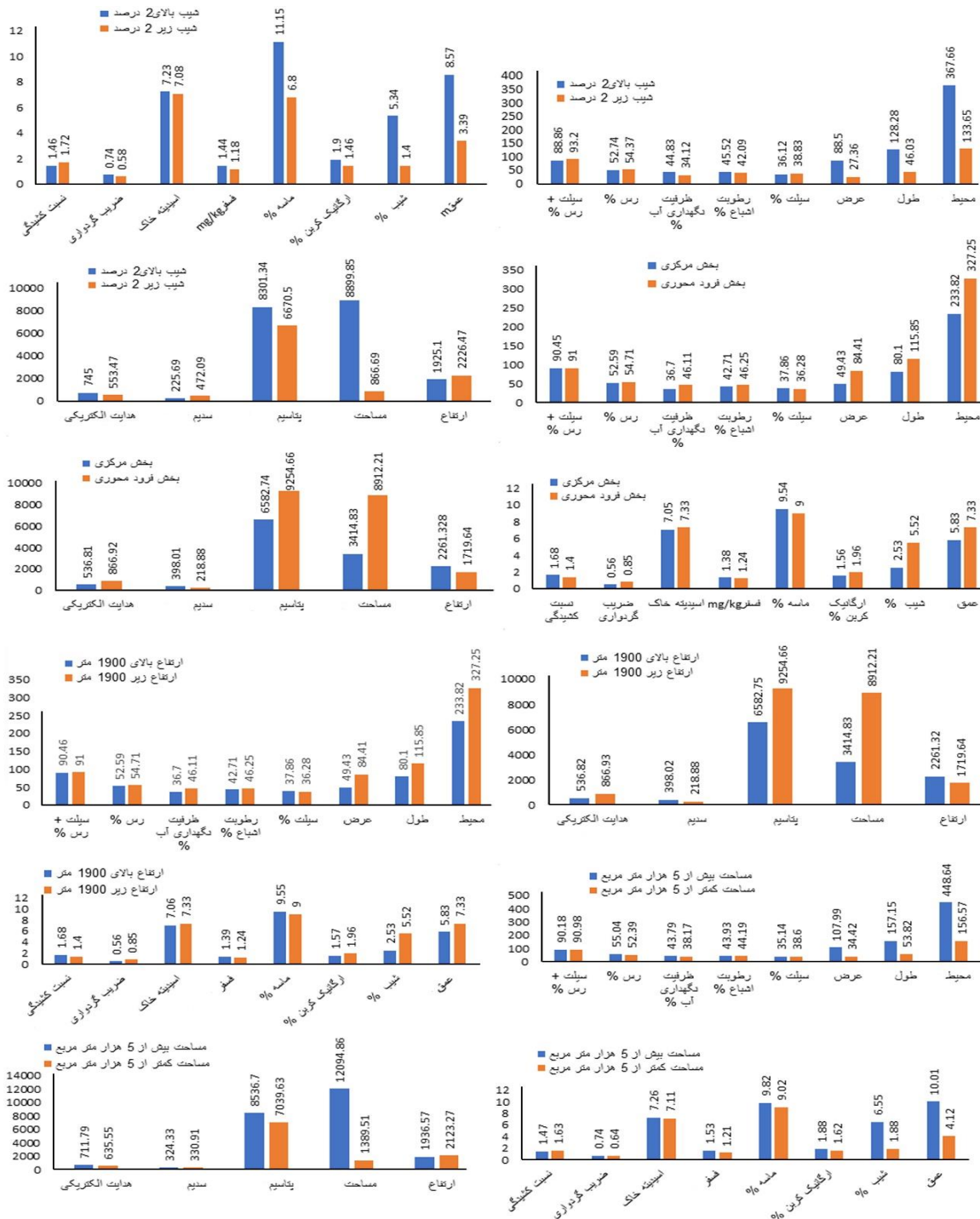
۱۴	۱۶۳/۸۷	۹۳/۳۱	۳۱۹۵	۳/۳	۱۵/۳۲	۲۴/۳۵	۱/۵۸	۰/۳۳	۱/۰۴
۱۵	۱۴۶۱/۷۶	۱۶۹/۸۷	۲۲۶۳	۵/۱	۳۵/۳۳	۶۳/۲۸	۱/۷۹	۰/۶۳	۱/۵
۱۶	۳۷۸/۵۶	۱۵۵/۹۲	۲۱۹۲	۳/۶	۲۳/۷۹	۳۴/۲۰	۱/۴۳	۰/۱۹	۱/۴۱
۱۷	۲۸۹/۷۳	۹۳/۶۸	۲۱۹۱	۲/۴	۲۱/۰۱	۲۹/۵۵	۱/۴۰	۰/۴۱	۱/۰۹
۱۸	۱۷۲۰/۷۳	۲۱۴/۴۸	۲۲۱۴	۶/۳	۴۹/۶۷	۶۱/۷۸	۱/۲۴	۰/۴۶	۲/۴۹
۱۹	۱۱۰/۴۰	۵۳۱/۴۹	۲۱۸۴	۷/۶	۱۱۶/۶۲	۱۷۴/۶۶	۱/۴۹	۰/۴۹	۸
۲۰	۸۵۰/۷۸	۱۲۷/۶۴	۳۱۷۸	۴/۵	۳۴/۵۷	۴۱/۱۲	۱/۱۸	۰/۶۵	۱/۵۶
۲۱	۱۲۳۳۹/۷۶	۵۸۹/۶۱	۲۱۴۲	۱۹/۲	۱۳۴/۳۲	۲۰۰/۹۳	۱/۴۹	۰/۴۴	۳/۳۴
۲۲	۱۶۰۲۵/۷۱	۵۷۰/۱۶	۲۱۷۱	۱۳/۸	۱۲۰/۶۶	۲۰۵/۴۱	۱/۷۰	۰/۶۱	۴/۳۶
۲۶	۵۴۹/۸۲	۸۷/۳۷	۱۸۲۵	۲/۱	۲۲/۵۷	۳۲/۸۳	۱/۴۵	۰/۹۰	۱/۴۳
۲۸	۲۹۲۰/۲۰	۲۲۲/۳۹	۱۷۴۳	۳/۵	۵۴/۶۰	۷۷/۹۱	۱/۴۲	۰/۷۴	۳/۱۱
۲۹	۲۹۳۹۲/۶۸	۶۵۰/۲۱	۱۵۵۳	۲۰/۷	۱۵۲/۳۷	۲۴۱/۳۳	۱/۵۸	۰/۸۷	۱۱/۷
۳۰	۱۳۸۶۵/۳۴	۴۵۴/۰۰	۱۶۲۳	۹/۱	۱۱۷/۶۷	۱۶۳/۴۲	۱/۳۸	۰/۸۴	۷/۶۶
۳۱	۲۷۸۰/۹۳	۲۰۳/۲۸	۱۷۶۰	۵/۷	۵۱/۲۹	۷۱/۷۵	۱/۳۹	۰/۸۴	۴/۰۲
۳۳	۸۵۰۱/۷۷	۳۵۷/۱۲	۱۷۹۲	۹/۷	۹۳/۴۱	۱۲۳/۹۹	۱/۳۲	۰/۸۳	۶/۵۷
۳۴	۲۱۴۲۶/۶۰	۵۸۲/۰۱	۱۸۱۸	۶/۱	۱۶۰/۸۹	۱۹۳/۱۷	۱/۲۰	۰/۷۹	۸/۹۱
۴۹	۶۷۵۱/۴۴	۲۹۷/۷۷	۱۶۰۴	۴/۷	۸۷/۵۱	۱۰۰/۵۰	۱/۱۴	۰/۹۵	۵/۳۵
۵۰	۱۰۰۹۵/۳۰	۳۷۳/۵۳	۱۶۹۹	۱۱/۸	۱۰۳/۳۸	۱۳۰/۹۹	۱/۲۶	۰/۹۰	۷/۴۷
۵۱	۳۴۹۳/۵۰	۲۲۷/۹۵	۱۶۹۳	۹/۲	۵۰/۳۷	۸۵/۶۵	۱/۷۰	۰/۸۴	۲/۹۸
۵۲	۱۶۲۱/۷۴	۱۵۸/۶۰	۱۷۳۵	۳/۱	۲۶/۶۱	۵۸/۶۳	۱/۶۰	۰/۸۰	۲/۴۸
۵۳	۲۵۲۵/۸۱	۱۸۴/۶۶	۱۸۰۴	۲/۷	۴۵/۳۶	۶۹/۴۱	۱/۵۳	۰/۹۳	۲/۷
۵۴	۱۳۰۳۰/۹۶	۴۳۴/۱۸	۱۶۱۴	۸/۱	۱۱۰/۷۳	۱۵۲/۶۹	۱/۳۷	۰/۸۶	۶/۹۷
۵۵	۷۸۱۴/۸۴	۳۴۸/۳۳	۱۸۱۲	۶/۱	۹۴/۸۷	۱۱۹/۶	۱/۲۶	۰/۸۰	۵/۹۵

ادامه جدول (۱)

نمونه	سیلت+رس %	ماسه %	رس %	سیلت %	هدایت الکتریکی Ds/m	اسیدیته خاک	سدیم ppm	پتاسیم ppm	فسفر mg/kg	ظرفیت نگهداری آب %	ارگانیک کربن %	رطوبت اشباع %
۱	۸۹/۵	۱۰/۵	۴۳	۴۶/۵	۶۵۱	۷/۲۴	۲۰/۱۶	۵۸۵۴/۰۷	۰/۶۹	۴۲/۴۵	۱/۹۳۵	۴۲/۰۰
۲	۶۶	۳۴	۳۲	۳۴	۴۹۳	۶/۹۵	۲۱/۳۸	۵۵۹۶/۷۳	۱/۱۸۵	۴۵/۳۱	۱/۸۶	۴۳/۴۶
۳	۸۹/۵	۱۰/۵	۴۶/۵	۴۳	۱۰۱۹	۷/۱۵	۱۸/۰۵	۷۹۲۷/۹۴	۰/۷۴	۴۶/۶۱	۲/۹۱	۴۵/۲۸
۴	۹۱/۵	۸/۵	۵۲	۳۹/۵	۴۴۳	۷/۰۴	۱۹/۵۴	۵۴۳۰/۳۱	۱/۷۱	۱۹/۸۷	۱/۶۲	۴۵/۰۱
۵	۹۲	۸	۴۲	۵۰	۵۵۰	۷/۳۵	۴۵/۳۱	۵۸۲۳/۷۹	۱/۲۲	۲۴/۲۱	۱/۹۹	۳۹/۸۷
۶	۶۹/۵	۳۰/۵	۵۳	۱۶/۵	۸۳۴	۷/۰۸	۴۴/۲۶	۶۸۹۸/۵۷	۳/۲۸	۴۷/۶۳	۳/۰۱۵	۴۵/۷۷
۷	۹۶	۴	۵۶	۴۰	۴۵۵	۶/۹۸	۱۳۴۱/۱۷	۶۱۱۱/۴۱	۱/۲۱	۲۷/۴۴	۰/۸۴	۴۶/۱۸
۸	۹۸	۲	۵۰	۴۸	۷۱۳	۷/۳۳	۴۷/۵۰	۷۱۸۶/۱۹	۱/۰۹۵	۴۵/۱۱	۱/۵۹	۴۰/۵۴
۹	۸۹/۵	۱۰/۵	۴۹	۴۰/۵	۴۶۱	۷/۱۵	۳۷/۲۵	۵۸۹۹/۴۸	۰/۸۷۵	۲۲/۸۹	۱/۵۴۵	۴۲/۲۱
۱۰	۹۶	۴	۶۶	۳۰	۳۰۸	۶/۵۴	۱۳۱۰/۴۹	۵۹۱۴/۶۲	۱/۸۸	۲۲/۱۶	۰/۹۹	۴۲/۴۷
۱۱	۹۰	۱۰	۵۰	۴۰	۵۰۴	۶/۹۵	۳۶/۶۴	۸۲۰۰/۴۲	۱/۲۴	۲۶/۴۰	۲/۴۹	۴۳/۳۸
۱۲	۹۵/۵	۴/۵	۶۳	۳۲/۵	۳۵۸	۶/۸۶	۱۳۸۴/۹۹	۶۵۵۰/۴۰	۲/۲۵	۴۵/۰۷	۰/۶۳	۳۹/۹۷
۱۳	۹۷/۵	۲/۵	۵۷	۴۰/۵	۴۰۲	۶/۹	۱۲۹۲/۹۶	۶۰۰۵/۴۵	۰/۴۸	۱۹/۵۴	۱/۲۶	۴۳/۹۲
۱۴	۸۹/۵	۱۰/۵	۵۱/۵	۳۸	۶۱۲	۷/۳۱	۳۶/۲۸	۶۴۱۴/۱۶	۰/۸۷	۴۶/۷۷	۲/۰۴	۴۴/۷۷
۱۵	۹۴	۶	۵۶	۳۸	۹۲۰	۷/۴۳	۴۶/۱۹	۶۹۵۹/۱۲	۰/۲۵۵	۴۹/۷۰	۲/۴	۴۵/۸۳
۱۶	۹۸	۲	۶۴	۳۴	۶۱۹	۷/۰۶	۲۵/۹۴	۶۸۹۸/۵۷	۰/۵۱۴	۴۲/۵۸	۰/۹۱۵	۳۵/۹۳
۱۷	۸۷/۵	۱۲/۵	۵۳	۳۴/۵	۳۹۵	۶/۹۱	۱۳۸۰/۶۱	۶۷۳۲/۰۶۲	۱/۴۵۵	۲۲/۵۸	۰/۵۴	۳۸/۶۹
۱۸	۹۷/۵	۲/۵	۵۳/۵	۴۴	۴۶۴	۷/۰۹	۴۰/۶۷	۷۴۸۸/۹۴	۱/۹۲۵	۴۶/۰۱۲	۱/۲۹	۳۷/۷۹
۱۹	۹۶	۴	۵۹	۳۷	۳۹۷	۷/۰۷	۳۷/۸۶	۶۵۹۵/۸۲	۳/۳۷	۴۴/۲۹	۱/۳۱۵	۴۲/۶۵
۲۰	۸۷/۵	۱۲/۵	۵۲/۵	۳۵	۴۰۶	۷/۱۱	۳۷/۳۴	۶۳۰۸/۲۰	۲/۱۹۵	۴۴/۱۱۷	۰/۷۶۵	۴۱/۶۶
۲۱	۹۱/۵	۸/۵	۵۴	۳۷/۵	۴۰۳	۶/۸۸	۴۱/۴۶	۷۴۴۳/۵۳	۰/۶۱۵	۴۵/۳۹	۰/۹۱۵	۴۴/۵۷
۲۲	۸۸	۱۲	۵۴	۳۴	۴۰۳	۶/۸۹	۱۴۹۰/۱۷	۶۵۸۰/۶۸	۱/۴۸۵	۳۱/۲۴	۱/۷۱	۴۷/۶۳
۲۶	۹۷/۵	۲/۵	۵۹	۳۸/۵	۵۸۰	۷/۱۸	۴۰/۴۹	۷۱۲۵/۶۴	۱/۳۸	۲۶/۵۴	۰/۹۶	۴۰/۵۹
۲۸	۷۹/۵	۲۰/۵	۵۱	۲۸/۵	۷۳۰	۷/۱۱	۳۷/۰۷	۷۳۰۷/۲۹	۰/۰۱۸	۴۵/۰۵	۱/۱۴	۴۴/۰۵

هیدروژنومورفولوژی، دوره ۱۱، شماره ۴۱، زمستان ۱۴۰۳

۲۹	۹۳/۵	۶/۵	۵۵	۳۸/۵	۱۴۹۵	۷/۴۸	۱۳۴۹/۹۳	۱۷۵۵۵/۵۶	۱/۲۶۵	۴۶/۷۵	۲/۵۵	۴۰/۸۳
۳۰	۹۱/۵	۸/۵	۵۳	۳۸/۵	۳۸۹	۷/۶۹	۱۳۸۰/۶۱	۷۹۷۳/۳۵	۱/۷۴	۴۹/۹۰	۳/۳	۴۶/۸۷
۳۱	۸۳	۱۷	۳۶/۵	۴۶/۵	۱۶۹۵	۷/۴۵	۲۲/۰۹	۱۱۰۷/۶	۲/۱۳	۴۹/۲۹	۳/۳	۷۶/۶۱
۳۳	۸۹/۵	۱۰/۵	۵۷/۵	۳۲	۶۶۰	۷/۴۶	۲۴/۰۱۸	۸۰۳۳/۹۰	۱/۹۱	۴۵/۱۸	۱/۳۵	۳۵/۸۶
۳۴	۹۴	۶	۵۲	۴۲	۷۴۹	۷/۵۶	۲۵/۷۷	۹۵۱۷/۴۰	۱/۶۸۵	۴۷/۴۷	۱/۴۲۵	۴۳/۳۱
۴۹	۸۵/۵	۱۴/۵	۵۱	۳۴/۵	۱۳۴۷	۷/۳۶	۲۷/۳۴	۱۴۳۳۱/۲۱	۱/۵۲۵	۴۷/۶۸	۲/۳۵۵	۴۵/۶۹
۵۰	۹۳/۵	۶/۵	۵۳	۴۰/۵	۷۲۵	۷/۳	۲۷/۱۷	۷۵۹۴/۹۱	۰/۳۶۱	۴۷/۱۷	۱/۷۵۵	۴۹/۱۹
۵۱	۱۰۰	۰	۶۷	۳۳	۵۱۴	۷/۰۵	۲۵/۸۵	۷۶۵۵/۴۶۵	۰/۹۷۵	۴۶/۹۶	۱/۴۸۵	۴۲/۴۲
۵۲	۹۵/۵	۴/۵	۵۵	۴۰/۵	۹۹۶	۷/۳۸	۲۵/۸۵	۷۷۶۱/۴۲	۱/۰۳	۴۵/۷۷	۱/۶۵	۴۸/۲۲
۵۳	۸۲	۱۸	۴۲	۴۰	۷۸۸	۷/۱	۲۵/۷۷	۷۹۲۷/۹۴	۱/۵۹	۴۹/۸۹	۳	۴۸/۲۰
۵۴	۹۷/۵	۲/۵	۶۵	۳۲/۵	۸۵۹	۷/۴۳	۲۶/۱۲	۸۰۱۸/۷۷	۰/۴۵۵	۴۷/۹۶	۱/۶۵	۴۳/۶۹
۵۵	۹۱/۵	۸/۵	۶۹	۲۲/۵	۶۱۰	۷/۱۳	۲۶/۲۰	۷۶۸۵/۷۴	۱/۳۵	۵۰	۱/۵۴۵	۴۱/۹۳



شکل (۴): مقایسه میانگین پارامترهای خاک دولینها (درصد رس، درصد سیلت، درصد ماسه، درصد رس و سیلت، رطوبت اشباع خاک، ظرفیت نگهداری آب، هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، فسفر، اسیدیته خاک، مواد آلی) و مورفومتری دولینها (ارتفاع، مساحت، محیط، شیب، طول، عرض، نسبت کشیدگی، ضریب گردواری) در چهار موقعیت (ارتفاع، مساحت، موقعیت ساختمانی و شیب توپوگرافی)

Fig(4): Comparison of mean values of soil parameters (clay%, silt%, sand%, clay+silt%, saturated moisture percentage (Sp), water holding capacity (WHC), water holding capacity (WHC), electrical conductivity (EC), sodium (Na), potassium (K), phosphorus (P), soil acidity (pH), organic carbon (OC)) and morphometry of dolins (elevation, area, perimeter, slope, length, width, elongation ratio, circulatory ratio) in four position (elevation, area, structural position and slope).

رابطه بین پارامترهای خاک و مورفومتری دولین‌ها

به منظور ارزیابی رابطه بین پارامترهای خاک و مورفومتری دولین‌ها آزمون همبستگی پیرسون انجام شد. جدول (۲) نشان می‌دهد رابطه زوج پارامترهای مساحت با (محیط، عمق، عرض، طول، pH، پتاسیم و شیب)، محیط با (عمق، عرض، طول، پتاسیم و شیب)، ارتفاع با (کشیدگی)، عمق با (عرض، طول، پتاسیم و شیب)، عرض با (طول، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب و شیب)، طول با (پتاسیم و شیب)، گردواری با (EC، pH، پتاسیم، ارگانیک کربن و شیب)، ماسه با (ارگانیک کربن)، EC با (pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، ارگانیک کربن و رطوبت اشباع)، pH با (پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، ارگانیک کربن و شیب)، ظرفیت نگهداری آب با (شیب، ارگانیک کربن و رطوبت اشباع) مثبت و معنادار می‌باشند و در بسیاری از موارد همبستگی مثبت آن‌ها از نوع قوی می‌باشد. همچنین رابطه زوج پارامترهای ارتفاع با (مساحت، محیط، عرض، طول، گردواری، EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب و شیب)، عرض با (کشیدگی)، کشیدگی با (pH و ظرفیت نگهداری آب)، ماسه با (رس و سیلت)، رس با (سیلت، ارگانیک کربن و رطوبت اشباع)، سدیم با (ظرفیت نگهداری آب) منفی و معنادار می‌باشد و در بعضی موارد دارای همبستگی منفی قوی نیز می‌باشد.

جدول (۲) نتایج همبستگی بین پارامترهای مورفومتری و خاک دولین‌ها (پارامترها در جدول زیر از چپ به راست به ترتیب، مساحت (A)، محیط (c)، ارتفاع (E)، عمق (D)، عرض (W)، طول (L)، نسبت کشیدگی (RE)، ضریب گردواری (CR)، مجموع سیلت و رس، ماسه، رس، سیلت، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته خاک (PH)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، فسفر (p)، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، کربن آلی کل (TOC)، رطوبت اشباع (SP) و شیب).

Table (2): Correlation results between morphometric parameters and soil of dolines

	A	p	E	D	W	L	RE	C R	Silt+c lay	San d	Clay	Silt	EC	pH	Na	K	P	W HC	T O C	S P	slo pe
A	۱																				
P	۹۳** ۰/	۱																			
E	۴۸** -۰/	۳۵* -۰/	۱																		
D	۷۸** ۰/	۸** ۰/۲	۰/۲۸	۱																	
W	۹۴** ۰/	۹** ۰/۷	۴۷** -۰/	۷** ۰/۷	۱																
L	۹۴** ۰/	۹** ۰/۹	۳۷* -۰	۸** ۰/۲	۹** ۰/۵	۱															
RE	۰/۲۰ -	۱/۲۰ -	۱/۳۷* ۰	۱/۱۳ -۰	۳۴* -۰/	۱/۱۰ -۰	۱														
CR	۰/۳۰	۱/۱۶ ۰	۶۷** -۰/	۱/۱۱ ۰	۱/۲۹ ۰	۱/۲۲ ۰	۰/۱۶ -	۱													
Silt+c lay	۰/۰۶	۱/۰۲ ۰	۰/۱۲ -	۱/۰۳ -۰	۱/۰۲ -۰	۱/۰۲ ۰	۰/۲۲ -	۱/۱۰ -	۱												

Sand	۰/۰۶ -	۰/۰۱ -	۰/۱۲	۰/۰۳ ۰	۰/۰۱ ۰	۰/۰۲ -	۰/۲۲ -	۰/۱۰ ۰	۰/۹۴** -	۱											
Clay	۰/۱۳	۰/۱۲ ۰	۰/۲۳ -	۰/۱۰ ۰	۰/۱۱ ۰	۰/۱۳ ۰	۰/۰۹	۰/۰۱ -	۰/۶۳**	۶۳** -۰/	۱										
Silt	۰/۰۹ -	۰/۱۳ -	۰/۱۴	۰/۱۵ -	۰/۱۵ -	۰/۱۳ -	۰/۱۴	۰/۱۱ -	۰/۳۵*	۳۵* -	۵۰** -۰/	۱									
EC	۰/۲۶	۰/۱۲ ۰	۴۹** -۰/	۰/۱۱ ۰	۰/۱۸ ۰	۰/۱۴ ۰	۰/۱۶ -	۴** ۰/۷	-۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۹ -	۱/۱۴ ۰	۱								
pH	۳۹* ۰	۳۵ ۰	۵۴** -۰/	۰/۰۶ ۰	۳۵* ۰/	۳۴* ۰	۳۴* -۰	۴۲* ۰/	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۰ -	۳/۱ ۰	۵** ۰/۷	۱							
Na	۰/۲۱	۰/۱۲ ۰	۰/۰۴	۰/۲۲ ۰	۰/۰۸ ۰	۰/۱۵ ۰	۰/۱۶	۰/۰۶ -	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۵ -	۰/۱۰ -	۰/۲۴ -	۰/۳۰ -	۱						
K	۵۸** ۰/	۳۹* ۰/	۶۵** -۰/	۴۰* ۰/	۴** ۰/۶	۴۱* ۰/	۰/۱۸ -	۴** ۰/۵	-۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳ -	۰/۰۴ ۰	۷** ۰/۸	۴** ۰/۷	۰/۰۷ ۰	۱					
P	۰/۱۱	۰/۱۷ ۰	۰/۱۱	۰/۰۱ ۰	۰/۱۶ ۰	۰/۱۵ ۰	۰/۱۶ -	۰/۰۳ ۰	-۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۲۵ -	۰/۰۷ -	۰/۱۰ -	۰/۱۱ ۰	۰/۰۴ ۰	۱				
WH C	۰/۲۹	۰/۳۱ ۰	۴۶** -۰/	۰/۲۷ ۰	۴۱* ۰/	۰/۲۶ ۰	۵۱** -۰/	۰/۲۷ ۰	-۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۴ -	۰/۱۶ -	۴** ۰/۷	۵** ۰/۱	۳۷* -۰/	۳۸* ۰/	۰ /۵	۱			
TOC	۰/۱۹	۰/۱۳ ۰	۰/۲۱ -	۰/۰۸ ۰	۰/۱۴ ۰	۰/۱۷ ۰	۰/۱۰	۳۶* ۰/	-۰/۴۰*	۰/۴۰*	۴۹** -۰/	۰/۱۴ ۰	۶** ۰/۰	۵** ۰/۰	۰/۱۷ -	۴۰* ۰/	۰ /۸	۰/۳۷* ۰	۱		
SP	۰/۰۱	۰/۰۳ ۰	۰/۲۴ -	۰/۰۴ ۰	۰/۰۵ ۰	۰/۰۶ ۰	۰/۰۱	۰/۳۲ ۰	-۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۴۲* -	۰/۲۰ ۰	۵** ۰/۶	۰/۲۱ ۰	۰/۰۶ -	۰/۲۲ ۰	۱ /۰	۰/۲۰ ۰	۵** ۰/۴	۱	
slope	۸۹** ۰/	۸** ۰/۶	۵۶** -۰/	۶** ۰/۴	۸** ۰/۸	۸** ۰/۷	۰/۲۵ -	۴۰* ۰/	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۳ -	۰/۱۳ -	۰/۳۲ ۰	۴** ۰/۸	۰/۰۳ ۰	۵** ۰/۵	۲ /۴	۰/۳۵* ۰	۰/۲۵ ۰	۰ /۹	۱

جهت ارزیابی این که آیا بین میانگین پارامترها در گروه دولین‌های بزرگ و کوچک، و همچنین در گروه دولین‌های پرشیب و کم شیب، گروه دولین‌های مرتفع و کم ارتفاع، و گروه دولین‌های بخش مرکزی و فرود محوری تاقدیس، تفاوت معنی‌داری وجود دارد یا خیر، از آزمون T استفاده شد. جدول (۳) نشان می‌دهد در گروه مساحت، بین دولین‌های بزرگ و کوچک در میانگین پارامترهای محیط، ارتفاع از سطح دریا، شیب، عمق، عرض، طول تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بین دولین‌های مرتفع و کم ارتفاع در پارامترهای مساحت، شیب، عرض، کشیدگی، گردواری، EC، pH، پتاسیم و ظرفیت نگهداری آب، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین دولین‌هایی که در فرود محوری و مرکز تاقدیس قرار گرفته‌اند در متغیرهای مساحت، ارتفاع از سطح دریا، عرض، کشیدگی، گردواری، EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب و شیب توپوگرافی اختلاف معناداری وجود دارد. دولین‌های پرشیب و کم شیب نیز در متغیرهای مساحت، محیط، ارتفاع، عمق، عرض، طول، کشیدگی، گردواری، پتاسیم و ظرفیت نگهداری آب با هم دیگر تفاوت معناداری دارند.

جدول (۳) نتایج آزمون T بین گروه‌ها

Table (3): T test results between groups.

ارتفاع (بین دولین‌های مرتفع و کم ارتفاع) از سطح دریا				مساحت (بین دولین‌های بزرگ و کوچک)			
Sig.(2 tailed)	df	T	پارامترها	Sig.(2 tailed)	df	T	پارامترها
۰/۰۱۴	۳۴	-۲/۵۸۳	مساحت	۰/۰۰۰	۳۴	۷/۴۸۳	مساحت
۰/۰۰۰	۳۴	۱۹/۴۸۰	ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۰۰	۳۴	۱۰/۲۹۳	محیط
۰/۱۰۰	۳۴	-۱/۶۹۰	محیط	۰/۰۴۹	۳۴	-۲/۰۴۰	ارتفاع از سطح دریا
۰/۳۳۵	۳۴	-۰/۹۷۸	عمق	۰/۰۰۰	۳۴	۸/۷۰۳	شیب
۰/۰۰۱	۳۴	-۳/۶۶۳	شیب	۰/۰۰۰	۳۴	۵/۰۴۹	عمق
۰/۰۱۲	۳۴	-۲/۶۶۴	عرض	۰/۰۰۰	۳۴	۱۰/۴۹۰	عرض
۰/۰۷۷	۳۴	-۱/۸۲۶	طول	۰/۰۰۰	۳۴	۱۰/۰۰۲	طول
۰/۰۲۶	۳۴	۲/۳۲۷	کشیدگی	۰/۲۰۰	۳۴	-۱/۳۰۸	کشیدگی
۰/۰۰۰	۳۴	-۶/۵۹۹	گردواری	۰/۱۳۳	۳۴	۱/۵۴۰	گردواری
۰/۸۳۴	۳۴	-۰/۲۱۲	مجموع سیلت و رس	۰/۷۵۸	۳۴	-۰/۳۱۰	مجموع سیلت و رس
۰/۸۳۴	۳۴	۰/۲۱۲	ماسه	۰/۷۵۸	۳۴	۰/۳۱۰	ماسه
۰/۴۴۸	۳۴	-۰/۷۶۸	رس	۰/۳۴۲	۳۴	۰/۹۶۳	رس
۰/۴۹۵	۳۴	۰/۶۸۹	سیلت	۰/۱۳۱	۳۴	-۱/۵۴۷	سیلت
۰/۰۰۲	۳۴	-۳/۴۴۰	هدایت الکتریکی	۰/۴۹۶	۳۴	۰/۶۸۹	هدایت الکتریکی
۰/۰۰۰	۳۴	-۴/۰۵۶	اسیدیته خاک	۰/۰۶۳	۳۴	۱/۹۲۰	اسیدیته خاک
۰/۳۶۰	۳۴	۰/۹۲۸	سدیم	۰/۹۷۳	۳۴	-۰/۰۳۴	سدیم
۰/۰۰۰	۳۴	-۳/۹۲۹	پتاسیم	۰/۰۶۳	۳۴	۱/۹۲۲	پتاسیم
۰/۵۸۱	۳۴	۰/۵۵۷	فسفر	۰/۲۰۹	۳۴	۱/۲۸۱	فسفر
۰/۰۰۶	۳۴	-۲/۹۰۸	ظرفیت نگهداری آب	۰/۱۱۸	۳۴	۱/۶۰۶	ظرفیت نگهداری آب
۰/۱۳۰	۳۴	-۱/۵۵۳	کربن آلی	۰/۳۱۷	۳۴	۱/۰۱۶	کربن آلی
۰/۱۰۹	۳۴	-۱/۶۴۴	رطوبت اشباع	۰/۹۱۰	۳۴	-۰/۱۱۴	رطوبت اشباع

ادامه جدول (۳)

موقعیت ساختاری (بین دولین‌های واقع در مرکز و فرود محوری تاقدیس)				شیب (بین دولین‌های کم شیب و پرشیب)			
Sig.(2 tailed)	df	T	پارامترها	Sig.(2 tailed)	df	T	پارامترها
۰/۰۱۴	۳۴	-۲/۵۸۳	مساحت	۰/۰۰۰	۳۴	۴/۳۵۷	مساحت
۰/۱۰۰	۳۴	-۱/۶۹۰	محیط	۰/۰۰۰	۳۴	۵/۷۹۶	محیط
۰/۰۰۰	۳۴	۱۹/۴۸۰	ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۰۱	۳۴	-۳/۷۲۲	ارتفاع از سطح دریا
۰/۳۳۲	۳۴	-۰/۹۸۳	عمق	۰/۰۰۰	۳۴	۴/۱۷۱	عمق
۰/۰۱۲	۳۴	-۲/۶۶۴	عرض	۰/۰۰۰	۳۴	۶/۳۰۹	عرض
۰/۰۷۷	۳۴	-۱/۸۲۶	طول	۰/۰۰۰	۳۴	۵/۶۴۳	طول
۰/۰۲۶	۳۴	۲/۳۲۷	کشیدگی	۰/۰۳۰	۳۴	-۲/۲۶۸	کشیدگی
۰/۰۰۰	۳۴	-۶/۵۹۹	گردواری	۰/۰۱۴	۳۴	۲/۵۹۶	گردواری
۰/۸۳۴	۳۴	-۰/۲۱۲	مجموع سیلت و رس	۰/۰۸۴	۳۴	-۱/۷۸۲	مجموع سیلت و رس
۰/۸۳۴	۳۴	۰/۲۱۲	ماسه	۰/۰۸۴	۳۴	۱/۷۸۲	ماسه
۰/۴۴۸	۳۴	-۰/۷۶۸	رس	۰/۵۵۷	۳۴	-۰/۵۹۴	رس
۰/۴۹۵	۳۴	۰/۶۸۹	سیلت	۰/۲۳۲	۳۴	-۱/۲۱۶	سیلت
۰/۰۰۲	۳۴	-۳/۴۴۰	هدایت الکتریکی	۰/۰۷۷	۳۴	۱/۸۲۱	هدایت الکتریکی
۰/۰۰۰	۳۴	-۴/۰۵۶	اسیدیته خاک	۰/۰۷۳	۳۴	۱/۸۵۳	اسیدیته خاک
۰/۳۶۰	۳۴	۰/۹۲۸	سدیم	۰/۲۰۰	۳۴	-۱/۳۰۷	سدیم
۰/۰۰۰	۳۴	-۳/۹۲۹	پتاسیم	۰/۰۳۹	۳۴	۲/۱۴۳	پتاسیم
۰/۵۸۱	۳۴	۰/۵۵۷	فسفر	۰/۳۰۴	۳۴	۱/۰۴۴	فسفر
۰/۰۰۶	۳۴	-۲/۹۰۸	ظرفیت نگهداری آب	۰/۰۰۱	۳۴	۳/۴۸۶	ظرفیت نگهداری آب
۰/۱۳۰	۳۴	-۱/۵۵۳	کربن آلی	۰/۰۷۹	۳۴	۱/۸۱۰	کربن آلی
۰/۱۰۹	۳۴	-۱/۶۴۴	رطوبت اشباع	۰/۱۱۷	۳۴	۱/۶۰۷	رطوبت اشباع
۰/۰۰۱	۳۴	-۳/۶۶۳	شیب	۰/۰۰۰	۳۴	۵/۸۶۱	شیب

بحث

نتایج مطالعه حاضر روی ۳۶ دولین تشکیل شده در آهک آسماری تاقدیس نواکوه نشان می‌دهد که جهت دامنه از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار در تشکیل دولین‌ها بوده است به طوری که همه دولین‌ها در دامنه شمال شرقی تاقدیس تشکیل شده‌اند و در دامنه جنوب غربی تاقدیس هیچ دولینی تشکیل نشده است. داده‌ها نشان می‌دهد که دولین‌های بزرگ‌تر، دایره‌ای شکل‌تر و دارای عمق و شیب توپوگرافی بیشتر، و همچنین دارای خاک‌های با کیفیت‌تری (مقادیر بالاتر کربن آلی، فسفر و پتاسیم بیشتر) هستند. این موضوع به طور طبیعی، تکامل دولین‌ها را نشان می‌دهد که با گذشت زمان و افزایش مساحت آنها، شکل آنها دایره‌ای‌تر شده و عمق آنها افزایش می‌یابد. این موضوع با نتایج مطالعه وربووسک و گابور (۲۰۱۹: ۸) که با افزایش مساحت دولین‌ها عمق آنها افزایش می‌یابد، مطابقت دارد. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که پارامتر ارتفاع نقش مهمی در تفاوت مورفومتری دولین‌ها و خاک تشکیل شده در آنها داشته است. داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که دولین‌های تشکیل شده

1- Verbovšek & Gabor

در ارتفاع پائین‌تر، بزرگ‌تر، عمیق‌تر، دایره‌ای‌تر و پرشیب‌تر از دولین‌های مناطق مرتفع هستند که این موضوع بیانگر تکامل بیشتر دولین‌ها در ارتفاعات پائین‌تر نسبت به ارتفاعات بالاتر است. همچنین دولین‌های تشکیل شده در ارتفاعات پائین‌تر دارای خاک‌های نسبتاً ریز بافت‌تر، با مقادیر مواد آلی، پتاسیم، اسیدیت، هدایت الکتریکی، ظرفیت نگهداری آب و رطوبت اشباع بیشتری نسبت به دولین‌های مرتفع هستند. این موضوع را می‌توان به پوشش گیاهی بیشتر در ارتفاعات پائین‌تر نسبت داد به طوری که مقدار بیشتر پوشش گیاهی باعث افزایش دی‌اکسیدکربن خاک شده و دی‌اکسیدکربن بیشتر و به تبع آن تشدید فرایند کارستی فیکاسیون باعث ایجاد دولین‌های بزرگ‌تر و عمیق‌تر با خاک تکامل یافته‌تر شده است. به علاوه، ارتفاع در دما و نوع بارش نیز تاثیرگذار است به طوری که در ارتفاعات بالا، به دلیل دمای پائین‌تر، بارش بیشتر به صورت برف بوده و تعداد روزهای یخبندان نیز بیشتر است و این موضوع حرکت آب در سنگ‌ها و خاک را محدود کرده و در نتیجه، فرایند کارستی فیکاسیون و تکامل دولین‌ها در ارتفاعات بالا نسبت به ارتفاعات پائین، ضعیف‌تر است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین فسفر خاک در دولین‌های واقع در مناطق مرتفع بیشتر از دولین‌های کم ارتفاع است (شکل ۴). نتایج مربوط به فسفر خاک در مطالعه حاضر با مطالعه سینگ و راتوره^۱ (۲۰۱۳: ۵۰۹۸) و تاله و اینگول^۲ (۲۰۱۵)، که نشان دادند میزان فسفر خاک در ارتفاعات بالا بیشتر از ارتفاعات پائین است، مطابقت دارد. در خاک‌هایی که میزان شستشوی آن‌ها کمتر از خاک‌هایی است که بیشتر شسته می‌شوند، دارای مقادیر بیشتری فسفر هستند (تاله و اینگول، ۲۰۱۵: ۶۱). با وجود اینکه فسفر خاک دولین‌های منطقه مورد مطالعه از لحاظ آماری همبستگی معنی داری با هیچ کدام از متغیرها ندارد اما مقادیر آن در ارتفاعات بالا، و مناطق مرکزی تاقدیس (با ارتفاع بیشتر) بیشتر است و این مناطق دارای یخبندان بیشتر و شستشوی خاک کمتری هستند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که دولین‌های واقع در شیب‌های تند از نظر مورفومتری، بزرگ‌تر، عمیق‌تر و دارای شکل دایره‌ای‌تر، و همچنین دارای خاک‌هایی با بافت درشت‌تر، و مقادیر بالاتر EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی، رطوبت اشباع و فسفر، نسبت به دولین‌های واقع در شیب کم، هستند. این موضوع را می‌توان به حرکت بیشتر آب در شیب‌های نسبتاً تندتر نسبت داد که باعث تکامل بیشتر دولین‌ها و خاک با کیفیت‌تر در آن‌ها می‌شود. لازم به ذکر است که دولین‌های با شیب بیشتر، اغلب منطبق بر بخش کم ارتفاع‌تر پهلوی شمال شرقی تاقدیس با پوشش گیاهی متراکم‌تر است و این موضوع نیز در تشدید کارستی فیکاسیون و تکامل دولین‌ها و خاک آنها موثر بوده است. تاقدیس نواکوه از جمله تاقدیس‌های فعال از نظر تکتونیکی است که دارای رشد ارتفاعی و رشد جانبی است (بهرامی، ۲۰۱۲: ۳۸). بنابراین بخش فرود محوری تاقدیس از نظر سنی جوان‌تر از بخش مرکزی تاقدیس بوده و انتظار می‌رود در بخش فرود محوری، دولین‌ها کوچک‌تر و کم تکامل یافته‌تر از بخش مرکزی (قدیمی‌تر) باشند. با این وجود داده‌های این تحقیق برعکس این موضوع را نشان می‌دهند به طوری که دولین‌های واقع در فرود محوری تاقدیس دارای مساحت و عمق بیشتر و شکل دایره‌ای‌تر هستند و همچنین دارای خاک‌های نسبتاً ریز بافت‌تر و دارای مواد آلی بالاتری نسبت به دولین‌های بخش مرکزی تاقدیس هستند (شکل ۶). در توجیه این موضوع می‌توان اظهار کرد که بخش فرود محوری تاقدیس با

1- Singh & Rathore

2- Tale & Ingole

وجود این که از نظر تکتونیکي جوان تر است، اما ارتفاع کم تر آن و وجود پوشش گیاهی متراکم تر، باعث تکامل بیشتر دولین ها شده است. به عبارت دیگر، ارتفاع پائین تر (کاهش یخبندان و شستشوی بیشتر خاک و سنگ) و پوشش گیاهی بیشتر در بخش فرود محوری، نقش جوان بودن تکتونیکي این بخش را جبران کرده و باعث تکامل بیشتر دولین های این بخش، نسبت به بخش قدیمی تر مرکز تاقدیس (با پوشش گیاهی ضعیف تر) شده است.

نتیجه گیری

دولین ها از مهم ترین لندفرم های کارستی هستند که در اندازه ها و اشکال مختلف تشکیل می شوند. دولین ها از نظر رطوبت، حرارت و شرایط زیستی با محیط پیرامون خود متفاوت هستند و این شرایط باعث ایجاد تغییراتی در ترکیب فیزیکی و شیمیایی خاک های واقع در دولین ها با محیط اطراف آن ها می شود. در این پژوهش به ارزیابی مورفومتری دولین های تاقدیس نواکوه و تاثیر آن بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک پرداخته شده است. رطوبت زیاد و پوشش گیاهی متراکم دامنه شمال شرقی تاقدیس موجب شده است تا فرایند کارستی فیکاسیون و خاک زایی در این بخش از تاقدیس شدت یابد و همه ی دولین ها مورد مطالعه با خاک های نسبتا با کیفیت در این بخش تشکیل شود. نتایج نشان می دهد مورفومتری دولین ها و ویژگی های خاک متاثر از ارتفاع می باشد به طوری که ارتفاعات پائین به دلیل پوشش گیاهی متراکم تر و تولید بیشتر دی اکسید کربن، دارای دولین های بزرگ تر با خاک های تکامل یافته تری هستند. برعکس در ارتفاعات بالاتر، به دلیل یخبندان و جریان کمتر آب در خاک و سنگ، دولین های کوچک تر با خاک های ضعیف تری تشکیل شده است. مقایسه دولین های بخش مرکزی و بخش فرود محوری تاقدیس نشان می دهد که ارتفاع کم تر و پوشش گیاهی متراکم تر بخش فرود محوری باعث افزایش دی اکسید کربن و به تبع آن فرایند کارستی فیکاسیون و خاک زایی بیشتر نسبت به بخش مرکزی تاقدیس شده است. در بخش فرود محوری، دولین های تکامل یافته تر با ویژگی های مورفومتری دایره ای تر، بزرگ تر، عمیق تر، و پرشیب تر از دولین های مناطق مرتفع تشکیل شده است. همچنین بخش فرود محوری تاقدیس دارای خاک های نسبتا ریز بافت تر، با مقادیر بیشتر مواد آلی، پتاسیم، اسیدیت، هدایت الکتریکی، ظرفیت نگهداری آب و رطوبت اشباع نسبت به دولین های مرتفع بخش مرکزی می باشند. در شیب های تند، آب به سرعت بیشتری جریان پیدا می کند و این باعث می شود که بیشترین تأثیر را بر تکامل دولین ها و خصوصیات خاک نسبت به شیب های کم داشته باشد. بنابراین، از نظر مورفومتری دولین هایی که در شیب های تند واقع شده اند و اغلب در دامنه شمال شرقی و ارتفاع پایین تاقدیس قرار دارند نسبت به دولین های واقع در دامنه های کم شیب، بزرگ تر، عمیق تر و دایره ای تر هستند. خاک های آنها نیز دارای بافت درشت تر و مقادیر بالای EC، pH، پتاسیم، ظرفیت نگهداری آب، کربن آلی، رطوبت اشباع و فسفر می باشد. در مجموع می توان نتیجه گرفت مورفومتری دولین های منطقه مورد مطالعه دارای تفاوت های اساسی از نظر مورفومتری و ویژگی های خاک هستند و این تفاوت ها ناشی از عوامل ارتفاع، شیب توپوگرافی، پوشش گیاهی و جهت دامنه می باشد.

References

- Bahrami, S. (2012). Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: Implications for active tectonics. *Geomorphology*, 159, 37-49.
- Bahrami, Sh., Shayesteh, K., & Bahrami, S. (2014). Evaluation of the effect of geomorphology in vegetation density in Noakoh Anticline. *Arid Regions Geographic Studies*, 4(14), 83-101.
- Bárány-Kevei, I. (1999). Microclimate of karstic dolines. *Acta Climatologica*, 32(33), 19-27.
- Batori, Z., Galle, R., Galle-Szpisjak, N., Csaszar, P., Nagy, D. D., Lőrinczi, G., ... & Hornung, E. (2022). Topographic depressions provide potential microrefugia for ground-dwelling arthropods. *Elem Sci Anth*, 10(1), 00084.
- Bátori, Z., Vojtkó, A., Maák, I. E., Lőrinczi, G., Farkas, T., Kántor, N., Módra, G. (2019). Karst dolines provide diverse microhabitats for different functional groups in multiple phyla. *Scientific reports*, 9(1), 1-13.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particles size analysis of soil. *J Agron* 54 (5): 464–465.
- Čarni, A., Čonč, Š., & Valjavec, M. B. (2022). Landform-vegetation units in karstic depressions (dolines) evaluated by indicator plant species and Ellenberg indicator values. *Ecological Indicators*, 135, 108572.
- Du, H., Wang, K., Peng, W., Zeng, F., Song, T., Zhang, H., & Lu, S. (2014). Spatial heterogeneity of soil mineral oxide components in depression between karst hills, Southwest China. *Chinese geographical science*, 24(2), 163-179.
- Esfandiyari Darabad, f., Shokr Behjati, S., & Rostami, A. (2021). Doline morphometric analysis and soil characteristics in northern Iran (case study: Gorazbon district of the Kheyrud kenar experimental forest). *Quantitative Geomorphological Research*, 10(1), 1-19.
- He, C., Xiong, K., Li, X., & Cheng, X. (1997). Karst geomorphology and its agricultural implications in Guizhou, China. Paper presented at the Fourth International Conference On Geomorphology–Bologna, Italy, 121-125.
- Imeni, S., Sadough, H., Bahrami, S., Mehrabian, A., & Nosrati, K. (2021). Geomorphological controls on vegetation changes: a case study of alluvial fans in southwest of Miami City, Northeastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-17.
- Jafari, Gh. H., & Naseri, F. (2023). Identification, density and physio-graphic characteristics of Dolans in different altitude classes (Zagros karst areas). *Journal of Geography and Planning*, 27(84), 25-34.

- Jakob, A., Breg Valjavec, M., & Čarni, A. (2022). Turnover of plant species on an ecological gradient in karst dolines is reflected in plant traits: chorotypes, life forms, plant architecture and strategies. *Diversity*, 14(8), 597,1-13.
- Karami, F., Mokhtari, D., & Ahmadi, F. (2024). The role of landforms and lithology in the rate of soil erosion in Zonuzchay Catchment. *Hydrogeomorphology*, 10(37), 1-24.
- Kumhálová, J., Kumhála, F., Kroulík, M., & Matějková, Š. (2011). The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precision Agriculture*, 12, 813-830.
- Marcin, M., Raschmanová, N., Miklisová, D., & Kováč, L. (2021). Microclimate and habitat heterogeneity as important drivers of soil Collembola in a karst collapse doline in the temperate zone. *Invertebrate Biology*, 140(2), e12315.
- Nosrati, K., & Majdi, M. (2018). Soil Quality Assessment in Western Part of Tehran using Minimum Data set Method. *Jwss*, 21 (4) , 177-188.
- Quintero-Ruiz, J. R., Yáñez-Espinosa, L., Flores, J., Fortanelli, J., De-Nova, A., Reyes-Hernandez, H., & Rodas-Ortiz, J. P. (2019). Analysis of the soil and microclimate relationship in two dolines of Carso Huasteco, Mexico. *Journal of Natural Resources and Development*, 9, 25-33.
- Rezaee Moghaddam , M.H., & Ghadari, M.R.(2011). Quantitative Analysis of Dolines in Karstic Regions (Case study: Takht-e-Soleiman Region). *Journal of Geography and Planning*,16(35), 113-135.
- Rhoades, J. D. (1983). Soluble salts. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 167-179.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5,417-435.
- Singh, D. P., & Rathore, M. S. (2013). Available nutrient status and their relationship with soil properties of Aravalli mountain ranges and Malwa Plateau of Pratapgarh, Rajasthan, India. *African Journal of Agricultural Research*, 8(41), 5096-5103.
- Skjemstad, J. O., & Baldock, J. A. (2008). Total and organic carbon. In 'Soil sampling and methods of analysis'. 2nd edn (Eds MR Carter, EG Gregorich) pp. 225–237.
- Sreedevi, P. D., Subrahmanyam, K., & Ahmed, S. (2005). The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, 47, 412-420.
- Tale, K. S., & Ingole, S. (2015). A review on role of physico-chemical properties in soil quality. *Chemical Science Review and Letters*, 4(13), 57-66.
- Utlu, M., & Öztürk, M. Z. (2023). Comparison of morphometric characteristics of dolines delineated from TOPO-Maps and UAV-DEMs. *Environmental Earth Sciences*, 82(7), 165.-Verbovšek, T., & Gabor, L. (2019). Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-16.

-
- Verbovšek, T., & Gabor, L. (2019). Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-16.
- Veysi, A., Moghimi, E., Maghsoudi, M., Yamani, M., & Hosseini, S.M.(2019). The Evaluation of the Development of Karstic Aquifers in Relation to the Geomorphology of Dolines and Hydrodynamic Characteristic (Case Study: Shahu Karstic Terrain). *Hydrogeomorphology*, 6 (19), 101-123.
- Yang, Q., Jiang, Z., Yuan, D., Ma, Z., & Xie, Y. (2014). Temporal and spatial changes of karst rocky desertification in ecological reconstruction region of Southwest China. *Environmental earth sciences*, 72(11), 4483-4489.
- Yin, H., Jiang, Z., Luo, W., & Li, H. (2011, September). Research on soil physical and chemical characteristics by different topographic positions in karst pinnacle. In 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC) (pp. 3907-3910). IEEE.