

شناسایی و بررسی خصوصیات مورفومتریک و خاک دولین‌ها در شمال ایران (مطالعه موردی: منطقه گرازبن از جنگل آزمایشی خیرود کنار، نوشهر مازندران)

سمیرا شکر بهجتی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
فریبا اسفندیاری* - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
عباس رستمی - دکتری جنگلداری، سازمان منابع طبیعی استان مازندران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

چکیده

دولین‌ها فرورفتگی‌های شاخص مناطق کارستی شناخته می‌شوند و آب جاری در سطح زمین را از طریق این فرورفتگی‌ها به سیستم زهکشی زیرزمینی انتقال می‌دهند. پژوهش حاضر مطالعه‌ای میدانی مبتنی بر تکنیک مورفومتری است که هدف آن، شناسایی دولین‌ها، اندازه‌گیری ابعاد و تحلیل و توصیف شکل دولین‌ها در منطقه مورد مطالعه است. ویژگی‌های مورفومتری مثل طول، عرض و عمق دولین‌ها اندازه‌گیری شد و برای تشخیص میزان تراکم و طبقه‌بندی نوع شکل دولین‌ها از شاخص‌های مورفومتریک استفاده شده است. همچنین برای بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از سه قسمت بیرونی، دیواره و کف دولین‌ها در عمق ۱۵ سانتی‌متری نمونه خاک برداشت شد و نمونه‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای بافت خاک، میزان آهک و PH در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن نشان دهنده تفاوت معنی‌داری بین پارامترهای بافت و آهک خاک در سه موقعیت متفاوت دولین‌ها است. نتایج بدست آمده از شاخص‌های مورفومتریک حاکی از توزیع نامنظم دولین‌ها در منطقه مورد مطالعه است محورهای طولی و عرضی دولین‌ها عدم تقارن خاصی را نشان می‌دهد و شکل دولین‌ها بیشتر نیمه مدور و بیضوی بوده و حفره‌های کف دولین به خوبی توسعه نیافته و در منطقه شاهد دولین‌های انحلالی هستیم. ارزیابی ویژگی‌های و تراکم بالا و انحلالی بودن دولین‌های منطقه مورد مطالعه نشان دهنده توسعه یافته بودن ژئومورفولوژی کارست منطقه گرازبن است.

واژگان کلیدی: دولین، مورفومتری، چشم‌انداز کارست، گرازبن.

مقدمه

چشم‌انداز کارستی^۱، مناطقی که انحلال سنگ بستر در آن یکی از فرآیندهای ژئومورفیک غالب است که حدود ۱۰-۲۰ درصد از سطح زمین را اشغال کرده‌اند (پالمر^۲، ۱۹۹۰). فرونشست‌های کاسه‌ای شکل با اندازه‌های متفاوت که مشخصه مناطق کارستی هستند را دولین^۳ می‌نامند (گوتیرز^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). یک دولین تشکیل شده از یک فرورفتگی با شیب به سمت داخل، در سایزهای متفاوت و با یک حفره در کف که به غارها و کانال‌های زیرزمینی ارتباط دارد و اغلب پوشیده شده از رسوبات و خاک که باعث زهکشی و انتقال آب سطحی به داخل شبکه زیرزمین می‌شود (مگالدید و سارو^۵، ۱۹۸۲). عواملی مانند تکتونیک، زمین‌شناسی و اقلیم در توسعه و مورفولوژی دولین‌ها بشدت تاثیرگذار هستند. مطالعه مورفومتریکی اشکال کارستی ما را قادر می‌سازد تا محیط کارستی را تحلیل و آنالیز کنیم. همچنین عوامل محیطی مانند ارتفاع، نوع خاک، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و یا نوع اقلیم ممکن است باعث تغییر پارامترهای مورفومتریکی شوند (بوندسان^۶ و همکاران، ۱۹۹۲. وایر و لاوی^۷، ۱۹۸۵. آبراهامز و پارسونز^۸، ۱۹۹۱. سوله بنت^۹ و همکاران، ۱۹۷۷. کوانتون^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۲. کالوو کیسز^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۳. باتوری^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۴). به طور معمولی مطالعه مورفومتریکی اشکال کارستی بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و از تکنیک سنج از راه دور استفاده می‌شود (اگدن^{۱۳} و همکاران، ۱۹۸۸. گوتیرز-سانتولا^{۱۴}، ۲۰۰۵. پدوبنیکارت^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۸. نوبی^{۱۶}، ۲۰۱۲. د کاروالو^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۳. لیپر^{۱۸}، ۲۰۱۹). همچنین شاخص‌های مورفومتریکی مطرح شده توسط ژئومورفولوژیست‌ها برای تحلیل و آنالیز کردن و تشخیص علت تشکیل و توصیف شکل دولین‌ها کمک میکند (لاول^{۱۹} و همکاران، ۱۹۷۶. ویلیامز^{۲۰}، ۱۹۷۲). عواملی مانند طول، عرض و عمق و ضریب همسایگی و شیب داخلی و دیگر فرمولها و پارامترها باعث شناخت کمی از نحوه شکل‌گیری و تکامل دولین‌ها می‌شود (تلبیز^{۲۱} و همکاران، ۲۰۰۹. کابل^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۵. و اوزتورک^{۲۳} و همکاران، ۲۰۱۸). درباره مورفومتری دولین‌ها محققین دیگری نیز کار کرده‌اند (باسو^{۲۴} و همکاران، ۲۰۱۳) لندفرم‌های کارستی را

1. Karst landscapes
2. Palmer
3. Doline
4. Gutiérrez
5. Magalidid and Saurou
6. Bondesan
7. Yair and Lavee
8. Abrahams and Parsons
9. Sole-Benet
10. Canton
11. Calvo-Cases
12. Batori
13. Ogden
14. Gutiérrez-Santolalla
15. Pedobnikart
16. Newby
17. De Carvalho
18. Lipar
19. Lavallo
20. Williams
21. Telbisz
22. Kabal
23. Öztürk
24. Basso

توسط مورفومتری آنالیز کرده‌اند و همچنین اعتقاد دارند که صرف هزینه و زمان، کار میدانی برای تهیه داده‌ها و مطالعه مورفومتریکی لندفرمهای کارستی در یک پژوهش ضرورت دارد. این پژوهش در جنگل تجربی و پژوهشی خیرودکنار در شمال ایران انجام می‌شود. جنگل‌های شمال ایران در رشته کوه‌های البرز واقع شده‌اند که مطالعات زیادی در مورد اشکال کارستی موجود در منطقه صورت نگرفته و ضرورت بررسی و توصیف مورفومتریکی دولین‌های این منطقه احساس می‌شود. مطرح کردن فرضیه‌ای درباره علل و کنش بیومکانیکی و بیوشیمیایی ریشه‌های درختان و تاثیرگذاری آن‌ها در شکل‌گیری و توسعه مناطق کارستی توسط (گامز^۱، ۱۹۶۶) که به بررسی هوازدگی صخره‌های آهکی و عمق هوازدگی آن‌ها زیر پوشش درختان پرداخته و نقش پوشش گیاهی در شکل‌دهی به صخره‌ها را بررسی کرده است. ویژگی‌های مورفومتریکی در بررسی و مقایسه دولین‌ها بسیار مهم هستند و می‌تواند آنها را به صورت داده‌های کمی، اندازه‌گیری و تحلیل کرد. (کوبال^۲ و همکاران، ۲۰۱۱) به پردازش داده‌های لیدار برای شناسایی خصوصیات سینک‌هول‌ها زیر پوشش متراکم جنگلی در منطقه کوهستانی دیناریک پرداختند. در این پژوهش که مبنی بر مطالعات معمول، مشخص کردن خصوصیات سینک‌هول‌ها با مدل‌های که براساس نقشه‌های توپوگرافیک و عکسهای هوایی همراه با اشتقاق مدل‌های عوارض زمین را نادرست و مستلزم هزینه بیشتر، زمان زیاد و کار بالقوه خطرناک میدانی است. از این رو پیشنهاد کرده که با استفاده از داده‌های لیدار به بررسی خصوصیات سینک‌هول‌ها پرداخته و در نتیجه آن‌ها را طبقه‌بندی و با مطالعه میدانی صحت استفاده از لیدار زیر پوشش متراکم تاج درختان و پوشش گیاهی برای شناسایی دولین‌ها را اثبات کرده است.

درباره مورفومتری و آنالیز دولین و سینک‌هول‌ها در مناطق شهری در جهان کارهای بسیاری صورت گرفته است اما به دلیل وجود مشکلاتی مانند پوشش انبوه گیاهان در جنگل‌ها این موضوع با سختی و کم کار شده است. (اف رسپ^۳، ۲۰۱۳) به بررسی خواص بوم‌شناختی گیاهان و تکوین عوارض زمین و کارست در مرکز کوه‌های تاروس در جنوب ترکیه پرداخته که به رابطه محکم بین عوارض زمین و توپوگرافی کارستی، خاک و پوشش گیاهی اشاره کرده و اشکال کارستی موجود در منطقه مانند کارن^۴، دولین، اوالا^۵ و دره‌های کارستی^۶ حاصل تفاوت میکرو اقلیم منطقه، خاک و خصوصیات پوشش گیاهی منطقه با مناطق کناری می‌داند. با توجه به نتایج تحقیقات دیگران در مورد نحوه شناسایی و تحلیل مورفومتری دولین‌ها و بررسی سیستم توسعه اشکال کارستی منطقه‌ای برای کار تحقیقاتی انتخاب شد که کمتر تحت تاثیر دخالت فعالیت‌های انسان قرار گرفته باشد. همچنین برای شناسایی خطرات ناشی از فرورفتگی‌ها و بررسی میزان توسعه کارست، همچنین کمک در تصمیم‌گیری‌های مدیریت جنگل در منطقه مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر و در غرب استان مازندران بین ۲۷° ۳۶' و ۴۰° ۳۶' عرض شمالی و بین ۵۱° ۳۲' و ۵۱° ۴۳' طول شرقی قرار گرفته است. این جنگل از شمال به نوار ساحلی و روستای نجارده و از جنوب به بیلاقات و روستای کلیک و از غرب به رودخانه خیرود محدود می‌شود. منطقه خیرود واقع در دامنه شمالی سلسله جبال البرز است. ریشگاه مورد مطالعه، منطقه گرازبن در ارتفاع ۱۰۵۰ تا ۱۳۰۰ متری منطقه به مساحت حدود ۳۰ هکتار است. کار میدانی در ۴۲ هکتار از مناطق کوهستانی جنگلی خیرودکنار که صد درصد از

1. Gams

2. Kobal

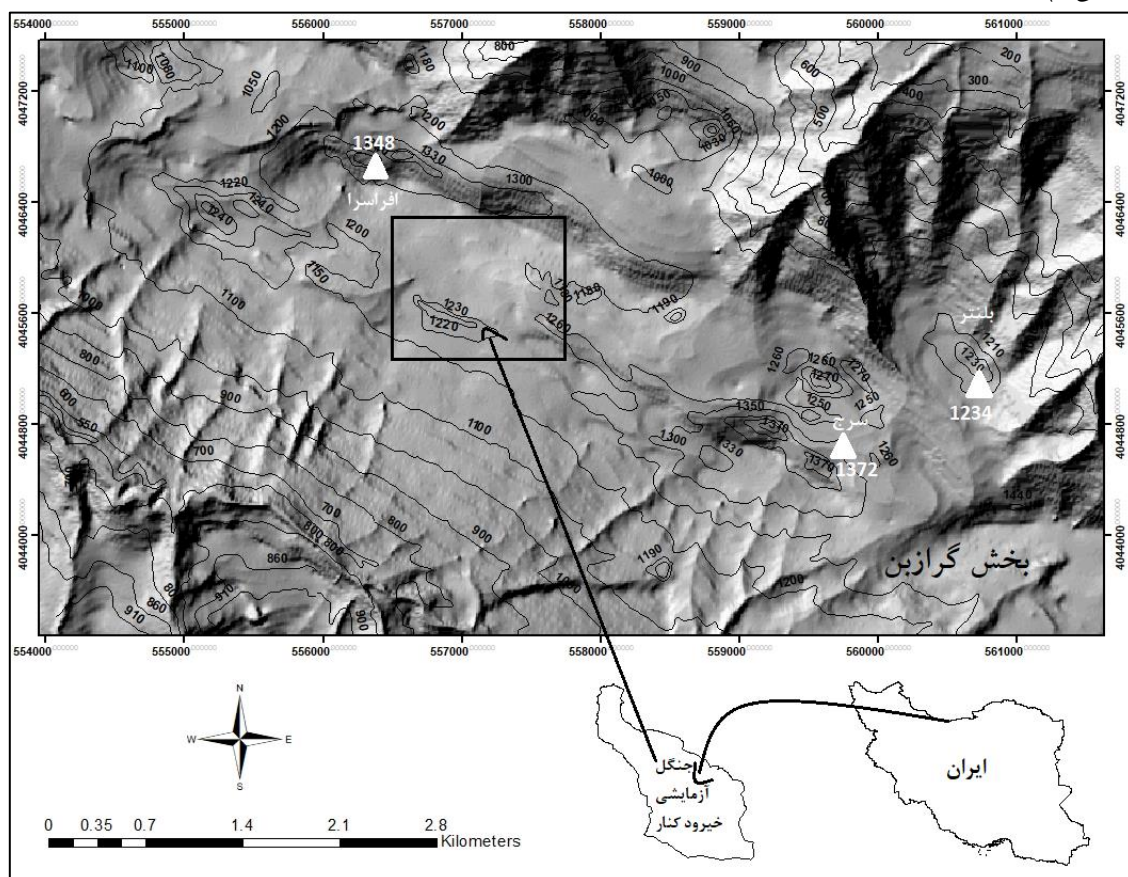
3. RecepEfe

4. Karren

5. Uvala

6. Karst valley

درختان راش، ممرز، افرا، توسکا و بلوط پوشیده شده انجام شد. این تحقیق در بخش گورازین جنگل آزمایشی خیرود در شمال ایران انجام می‌شود که برای اهداف آموزشی، تحقیق و حفاظت در مالکیت و مدیریت دانشگاه تهران قرار دارد (عکس ۱).



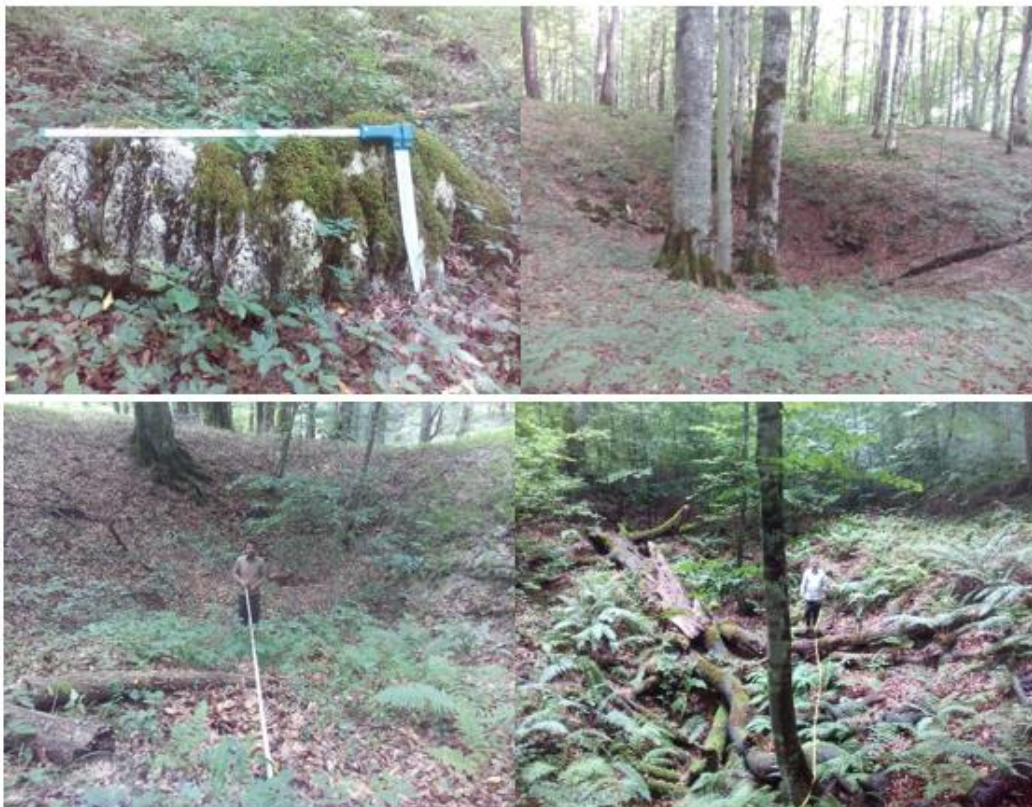
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در جنگل آموزشی خیرودکنار

دامنه ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه بین ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۵ متغیر است. بر اساس گزارش ایستگاه کليما تولوژی نوشهر و با توجه به گرادبان بارش، میزان بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه ۱۳۶۰-۱۴۱۰ میلی‌متر بوده که حداقل آن در تیرماه و حداکثر آن در مهر ماه است. به لحاظ زمین‌شناسی، در منطقه خیرودکنار تشکیلات دووسن از دوران پرمین قدیمی‌ترین تشکیلات منطقه محسوب می‌شود. تشکیلات الیکا در قسمت زیرین شامل آهک ورقه‌ای نازک لایه تا آهک شیلی است که به طور کلی آهک مارنی و تا ارتفاع هزار متری به طور پراکنده گسترش دارد. تشکیلات کرتاسه مخلوطی از سنگ آهک و کنگلومرا، سنگ آهک و ماسه سنگ، دولومیت می‌باشد. این تشکیلات از ارتفاعات حدود ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ متری منطقه گسترش دارند و تشکیلات دوران چهارم شامل کنگلومرا تراس‌های دریایی و آبرفتی رودخانه‌ای می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۸۹). سنگ بستر منطقه گورازین آهکی و متعلق به دوران ژوراسیک علیا است (طرح جنگلداری بخش گورازین، ۱۳۸۹). عمده خاک‌های تشکیل دهنده از هوازدگی سنگ آهک و تجزیه و تخریب مواد آلی به وجود آمده که کاملاً اسیدی هستند و در رده آلفی سولها^۱ قرار می‌گیرند (بی‌نام، ۱۳۸۹).

^۱. Alfisol

روش کار

بخش گرازین از جنگل آزمایشی خیرودکنار با ارتفاعات مختلف، شرایط آب و هوایی و پوشش جنگلی ۱۰۰ درصد و ساختار زمین‌شناسی به ویژه سنگ بستر آهکی واقع شده است. در مناطقی که کارست پیشرفته^۱ است معمولاً دره‌های کارستی و رودخانه‌های جاری دیده نمی‌شوند بلکه آب جاری توسط گودال‌های از سطح زمین به سیستم‌های زهکشی زیرزمینی انتقال داده می‌شوند. این گودال‌ها را سینک‌هول^۲ یا دولین^۳ می‌نامند. لندفرمهای کارستی در مناطقی با سنگ بستر آهکی یا دولومیت قابل شناسایی است مانند بخش گرازین که دارای تعداد زیادی از لندفرمهای کارستی مانند دولین و کارن است. در هر نقطه‌ای که سنگ آهک رخنمون دارد شاهد حضور کارن^۴ هستیم (شکل ۲). بازدید میدانی از منطقه در دو مرحله صورت گرفت که شامل پیش مطالعه در تابستان ۱۳۹۶ برای شناسایی لندفرمها در منطقه مورد مطالعه و تابستان ۱۳۹۷ در طی دو ماه در قسمت‌های از گرازین که دارای تعداد بیشتر دولین بود به صورت انتخابی تعیین و سپس اقدام به پیاده کردن ۴۲ پلات یک هکتاری دایره‌ای شکل یک هکتاری در یک شبکه منظم ۱۵۰ × ۱۰۰ متری به طور تصادفی با استفاده از یک روش نمونه برداری تصادفی منظم انجام شد. در هر پلات ما یک یا چند دولین اندازه‌گیری کردیم و با استفاده از GPS، ۸۴ دولین در ۴۲ پلات ثبت شد و از روش مورفومتری برای اندازه‌گیری طول، عرض و عمق دولین‌ها استفاده شد (شکل ۲). همچنین برای بررسی خصوصیات خاک و مقایسه سه قسمت مختلف دولین اقدام به برداشت نمونه خاک از قسمت بیرونی، دیواره و کف دولین در عمق ۱۵ سانتی متر انجام شد.



شکل شماره ۲: دولین‌ها و کارن واقع شده در بخش گرازین در جنگل آزمایشی و تجرینی خیرودکنار در شمال ایران

1. Mature Karst
2. Sinkhole
3. Doline
4. Karren

طول دولین‌ها بین ۲ تا ۴۰ متر، عمق بین ۱ تا ۱۴ متر و شیب بین ۴ تا ۴۷ درجه ثبت و آماربرداری شد. در میان تعداد زیادی از پارامترها و شاخص‌های مورفومتریک ارائه شده توسط ژئومورفولوژیست‌ها و زمین‌شناسان تنها مواردی که امکان اندازه‌گیری و محاسبه داده‌های حاصل از کار میدانی بر اساس داده‌های موجود، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. مورفومتری به عنوان یک تکنیک اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل ریاضی، پیکربندی سطح زمین و ابعاد اشکال آن است (بوندسان و همکاران^۱، ۱۹۹۲).

برای اندازه‌گیری مورفومتریک دولین‌ها (طول، عرض، مساحت، محیط، تراکم، شاخص گودی^۲، شاخص کرویت^۳، شاخص نسبت طول به عرض^۴، شاخص نسبت قطر به عمق^۵ در هر پلات با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم و میدانی دولین‌ها انجام شد. مساحت هر دولین در مترمربع اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شاخص گودی^۶؟ این شاخص نشان دهنده توسعه بیشتر کارست در منطقه است (بوندسان و همکاران^۷، ۱۹۹۲).

$$۱) \text{ شاخص گودی} = \frac{\text{مساحت منطقه کارست}}{\text{مساحت کل دولین}}$$

این شاخص در هر پلات اندازه‌گیری شد تا میزان توسعه کارست مشخص شود.

تراکم دولین^۸ از نسبت تعداد دولین‌های یک ناحیه به سطح تشکیلات آهکی آن ناحیه بدست می‌آید. هر چه این اندیس بیشتر باشد، نشان دهنده توسعه و گسترش بیشتر کارست در منطقه است (بوندسان و همکاران^۹، ۱۹۹۲).

$$۲) \text{ تراکم دولین} = \frac{\text{تعداد کل دولین‌ها}}{\text{مساحت منطقه کارست}}$$

شاخص نسبت طول به عرض: دولین‌ها در شکل‌های مختلفی دیده می‌شوند که تحت تأثیر عواملی مانند سن، سنگ شناسی، گسل و سیستم درز و ترک، توپوگرافی و موارد دیگر است. یکی از اصلی‌ترین پارامترهای مورد توجه در این زمینه، نسبت طول به عرض است (باسو^۹، ۲۰۱۳). این شاخص جهت مشخص کردن انحراف شکل دولین از شکل دایره‌ای به کار می‌رود.

$$۳) \text{ } R = \frac{\text{طول دولین}}{\text{عرض دولین}}$$

دولین‌ها را در رابطه با نسبت‌های کشیدگی، به ۴ گروه طبقه بندی می‌شود:

مدور و نیمه مدور ($R \leq 1/21$)، بیضوی ($1/65 < R \leq 1/21$)، نیمه بیضوی ($1/8 < R \leq 1/65$) و کشیده ($R > 1/8$) (دنیزمن^{۱۰}، ۲۰۰۳). با توجه به این شاخص قادر خواهیم بود شکل دولین‌ها را شناسایی کنیم که ممکن است باعث شناسایی

عوامل تأثیرگذار در تشکیل دولین شود.

1. Bondesan
2. pitting index
3. Circularity index
4. length/width ratio
5. diameter /depth ratio
6. Pitting index
7. Bondesan
8. Doline density
9. Basso
10. Denizman

شاخص کرویت: میزان دایره‌ای شکل بودن دولین را اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص بین مساحت دولین و مساحت یک دایره با محیط یکسان محاسبه می‌کند (باتیجروویک^۱، ۱۹۹۶، داسکوبلر و همکاران^۲ ۲۰۰۸، دکاروال و همکاران^۳ ۲۰۱۳). بنابراین شاخص کرویت^۴ میزان میزان انحراف یک پولیگون با محیط یکسان، از یک دایره کامل اندازه‌گیری می‌کند (در شاخص کرویت یک دایره کامل برابر با ۱ است). در این پژوهش شاخص کرویت را با فرمول زیر محاسبه شده است:

۴)

$$\text{شاخص کرویت} = \frac{A}{\pi \left(\frac{A}{P} \right)^2}$$

که در آن A_m و P_m محیط و مساحت محاسبه شده یک دولین هستند. یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده نسبت عمق به طول است. مخصوصاً برای یافتن منشا تشکیل دولین‌ها یکی از آنالیزهای مورد استفاده است (بوندسان و همکاران^۵، ۱۹۹۲. دی^۶، ۱۹۷۶).

۵)

$$D = \frac{\text{طول دولین}}{\text{عمق دولین}}$$

جدول ۱: طبقه‌بندی شکل دولین‌ها با توجه به نسبت قطر و عمق (بوندسان و همکاران، ۱۹۹۲)

نسبت D/H	شکل
$D/H > 5$	مسطح
$2 > D/H > 5$	کاسه‌ای
$1/5 > D/H > 2$	مخروطی
$D/H < 1/5$	استوانه‌ای

این نسبت به وسیله تقسیم مقدار قطر و عمق دولین محاسبه می‌شود و یک شاخص محاسبه شکل داخل دولین است. این نسبت جهت مشخص نمودن انحراف شکل دولین از شکل دایره‌ای به کار می‌رود و شکل دولین را بر اساس عمق تفسیر می‌کند.

آنالیز خاک

نمونه‌های خاک از سه نقطه مختلف (قسمت بیرون، دیواره و کف دولین) در عمق ۱۵ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. فرض اولیه ما این است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باید در این سه بخش متفاوت باشند. به منظور آزمون این فرضیه ۱۲ نمونه از دولین‌های با اشکال مورفومتری مختلف به طور تصادفی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. قبل از تجزیه و تحلیل در آزمایشگاه، ریشه‌ها و ساق و برگ درختان و قطعات سنگ از نمونه‌ها جدا شده و سپس نمونه‌های خشک شده در هوای آزاد از طریق الک ۲ میلی‌متری الک و آماده برای انجام آزمایشات شد. ما چندین آنالیز شیمیایی و فیزیکی روی

¹. Bahtijarevic

². Dakskobler et al

³. De Carvalho et al

⁴. Circularity index

⁵. Bondesan et al

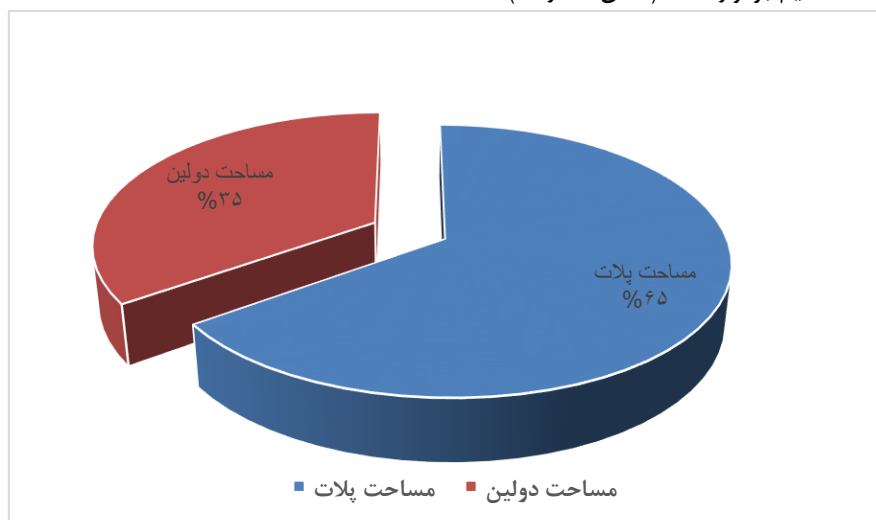
⁶. Day

نمونه‌ها انجام دادیم تا بتوانیم مقایسه خصوصیات خاک در سه قسمت مختلف دولین‌ها انجام دهیم. تمرکز ما بیشتر بر روی بافت خاک، میزان اسیدیته^۱ خاک و میزان آهک بوده است. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتریک (فولک^۲، ۱۹۷۴)، برای اندازه‌گیری میزان اسیدیته خاک از روش گل اشباع و دستگاه اندازه‌گیری اسیدیته خاک (PH متر) و برای آهک از روش خنثی سازی اسید و روش تیتراسیون استفاده کرده‌ایم (اسپارک و لئوپرت^۳، ۱۹۹۶).

نتایج و بحث

نتایج مورفومتریک

برای شناسایی دولین‌ها از یک شبکه منظم برای ایجاد پلات‌ها به روش سیستم تصادفی منظم استفاده شد زیرا در دامنه‌های با جهت و شیب متفاوت جنگلی منطقه مورد مطالعه نیاز به یک سیستم نمونه برداری بود تا از برداشت و شمارش اشتباه و تکراری دولین‌ها با توجه به تفاوت سایز و شباهت منطقه جلوگیری شود همچنین هزینه و تجهیزات و زمان صرف شده در این روش به طور قابل توجهی پایین‌تر از پوشش کل منطقه بوده است. هر شاخص، پارامتر و تکنیک‌های مورفومتریک مانند یک سرنخ کمک به شناسایی و تعیین عوامل موثر در تشکیل چشم‌انداز و میزان توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه می‌کند. مساحت کل دولین‌ها ۲۲,۸۵ کیلومتر مربع است که ۳۵ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه (۴۱,۷۳ کیلومتر مربع) را شامل می‌شود (شکل شماره ۳). با افزایش محور مساحت محیط هم افزایش پیدا میکند و بین این دو رابطه مستقیم برقرار است (شکل شماره ۴).

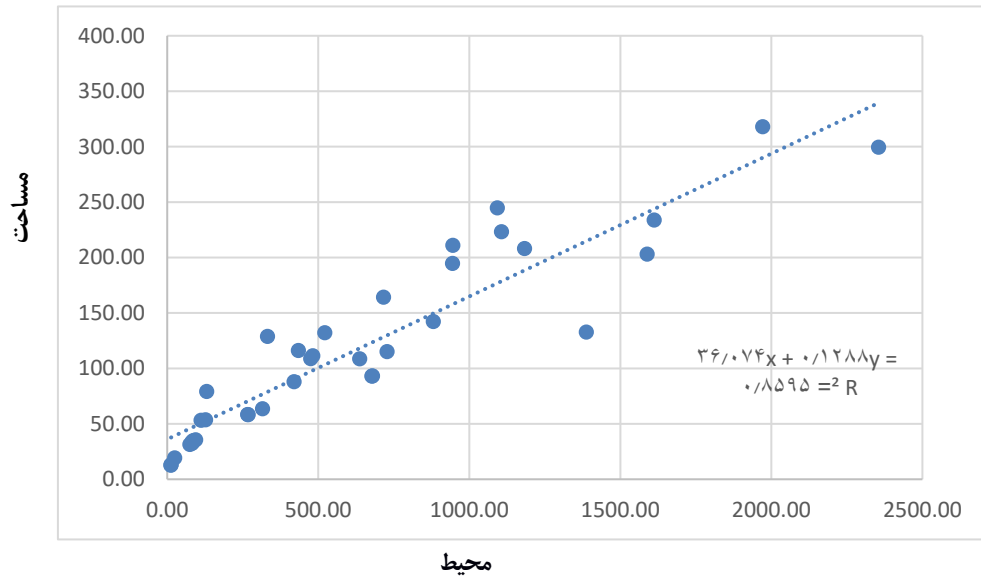


شکل ۳: نسبت مساحت دولین‌ها به مساحت منطقه مورد مطالعه

^۱. PH

^۲. Folk

^۳. Sparks and Leoppert



شکل ۴: ارتباط بین مساحت و محیط دولین‌ها

برای محاسبه سطح توسعه کارست منطقه از فرمول شاخص گودی (فرمول ۱) استفاده می‌کنیم که اطلاعاتی درباره میزان کارستی شدن منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد (دنیزمن^۱، ۲۰۰۳). با محاسبه شاخص گودی شاهد تفاوت در نتایج این شاخص در پلاتهای مختلف هستیم از (۱) در پلات ۳۴ و ۳۰ تا (۸۰/۶) در پلات ۲۷ (جدول ۲).

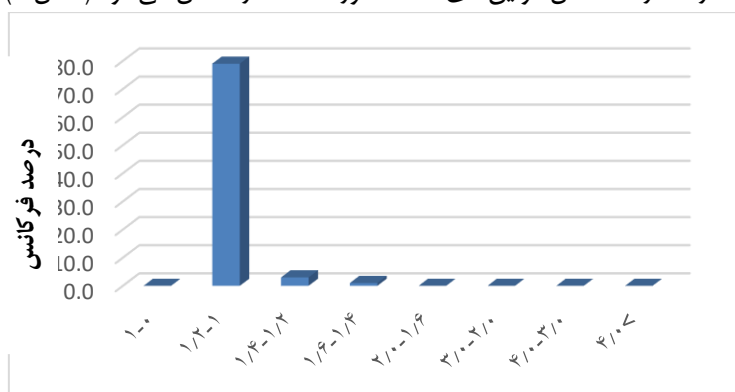
جدول ۲: پارامترهای توصیف شکل و خصوصیات دولین‌ها

پلات	تعداد دولین	مساحت دولین m ²	محیط دولین m ²	شاخص گودی	تراکم دولین	شاخص کرویت
2	2	881.40	142.12	1.2	1.97	1.8
4	1	680.36	93.13	1.5	0.98	1.02
7	1	1388.27	132.65	1.1	0.98	1.01
8	1	94.91	35.49	10.7	0.98	1.06
9	2	127.71	53.53	8.0	1.97	1.79
10	3	522.41	132.12	1.9	2.95	2.66
11	1	25.15	19.10	40.5	0.98	1.15
14	1	75.61	31.35	13.5	0.98	1.04
15	1	83.28	32.34	12.2	0.98	1
16	1	266.90	58.28	3.8	0.98	1.01
17	2	112.69	53.11	9.0	1.97	1.99
18	1	316.04	63.54	3.2	0.98	1.02
19	1	13.50	13.04	75.3	0.98	1.00
20	5	332.68	128.76	3.1	4.91	3.97
21	3	435.05	116.07	2.3	2.95	2.47
22	2	638.13	108.52	1.6	1.97	1.47
23	3	945.22	194.58	1.1	2.95	3.19
24	1	268.47	58.11	3.8	0.98	1.00

^۱. Denizman

25	1	86.66	34.81	11.7	0.98	1.11
26	1	82.82	33.55	12.3	0.98	1.08
27	1	12.62	12.59	80.6	0.98	1.00
28	2	482.80	111.28	2.1	1.97	2.04
29	5	1093.70	244.73	1.3	4.91	4.36
30	6	1972.21	317.91	1	5.90	4.08
31	1	678.24	92.96	1.5	0.98	1.01
32	2	1589.63	202.94	1.4	1.97	2.06
33	3	2355.79	299.39	1.1	2.95	3.03
34	3	1183.78	208.00	1	2.95	2.91
35	3	716.78	164.10	1.4	2.95	2.99
36	2	420.92	87.95	2.4	1.97	1.46
37	4	1107.46	223.13	1.1	3.93	3.58
38	2	475.71	108.67	2.1	1.97	1.98
39	4	1612.74	233.72	1.2	3.93	2.70
40	2	728.71	115.05	1.4	1.97	1.45
41	5	946.09	210.84	1.1	4.91	3.74
42	4	131.27	79.14	7.8	3.93	3.80

از فرمول شماره ۴ برای اندازه‌گیری میزان محیط در هر پلات استفاده شد (جدول ۲). نتایج بدست آمده نشان داد که شاخص کرویت از ۱ تا ۱,۴ متغیر است. بیشتر دولین‌ها نزدیک به شکل مدور بوده و بیشتر دولین‌ها در کلاس ۱ تا ۱,۲ قرار گرفته‌اند. تقریباً ۸۰ درصد از تعداد کل دولین‌های منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود (شکل ۵).



شاخص کرویت

شکل ۵: توزیع فرکانس شاخص کرویت

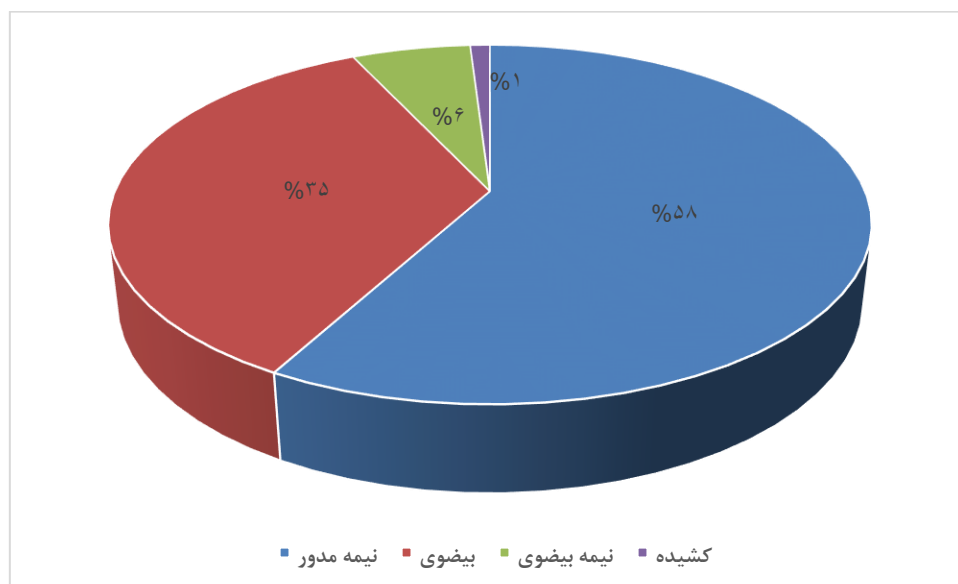
شاخص‌های ارزیابی شکل دولین‌ها با سه روش در این پژوهش محاسبه شد. در تمام پارامترها بسته به گسترش دولین تغییراتی رخ می‌دهد. نسبت میزان طول به عرض در توصیف شکل دولین‌ها کمک می‌کند. مشاهدات میدانی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که طبق فرمول شماره ۳ و ۵ (جدول ۳)، شکل دولین‌ها به صورت نیمه مدور و بیضوی تمایل دارند.

جدول ۳: پارامترهای توصیف شکل دولین‌ها

شکل دولین	l/d	l/w	پلات	شکل دولین	l/d	l/w	پلات
مسطح	5.20	2.48	30	کاسه	2.60	1.17	2
مسطح	7.41	1.59	30	کاسه	2.28	1.14	2

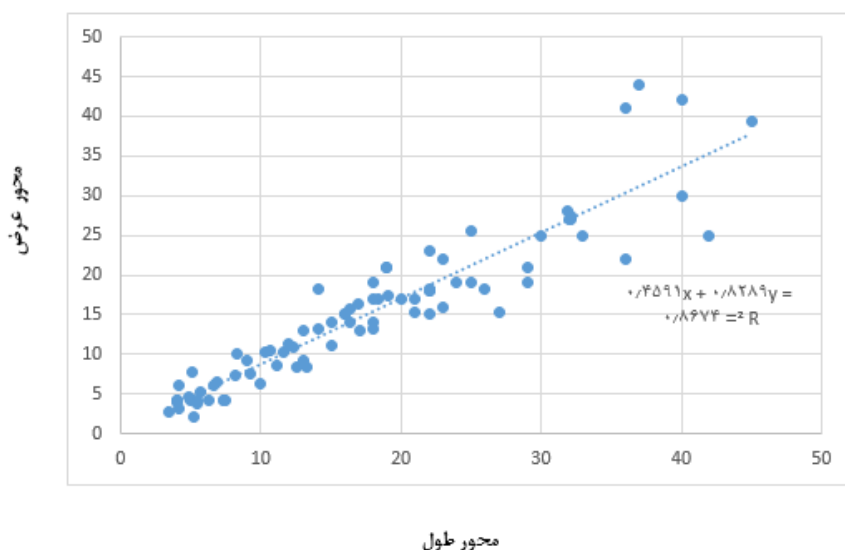
4	1.19	3.57	کاسه	30	1.02	7.38	مسطح
7	1.15	14.06	مسطح	30	1.32	2.71	کاسه
8	1.40	5.65	مسطح	30	1.42	7.88	مسطح
9	1.47	1.50	مخروطی	30	0.84	3.70	کاسه
9	1.06	5.71	مسطح	31	1.19	4.57	کاسه
10	1.70	5.62	مسطح	32	1.32	10.31	مسطح
10	1.08	5.75	مسطح	32	1.33	5.00	مسطح
10	1.37	6.36	مسطح	33	1.32	5.81	مسطح
11	1.73	3.73	کاسه	33	1.68	4.20	کاسه
14	1.30	5.09	مسطح	33	0.88	4.50	کاسه
15	1	3.22	کاسه	34	1.29	9.00	مسطح
16	1.18	2.50	کاسه	34	1.05	17.69	مسطح
17	1.12	1.30	استوانه	34	1	13.64	مسطح
17	0.97	1.70	مخروطی	35	1.07	8.00	مسطح
18	1.20	5.24	مسطح	35	1.04	5.15	مسطح
19	0.93	2.00	کاسه	35	1.22	11.00	مسطح
20	1.16	4.17	کاسه	36	1.08	2.71	کاسه
20	1.14	4.55	کاسه	36	0.96	13.58	مسطح
20	1.26	4.15	کاسه	37	0.65	5.10	مسطح
20	1.13	4.64	کاسه	37	1.06	4.29	کاسه
20	1.36	7.83	مسطح	37	1.26	11.43	مسطح
21	0.93	4.00	کاسه	37	1.38	5.47	مسطح
21	1	5.91	مسطح	38	1.07	11.54	مسطح
21	1.44	2.88	کاسه	38	1.22	12.22	مسطح
22	1.45	2.75	کاسه	39	1.22	7.15	مسطح
22	1.64	4.50	کاسه	39	1.12	6.15	مسطح
23	1.07	2.67	کاسه	39	1.34	4.55	کاسه
23	1.76	6.43	مسطح	39	0.95	13.33	مسطح
23	1.53	10.74	مسطح	40	1.05	2.09	کاسه
24	0.95	6.00	مسطح	40	1.17	3.49	کاسه
25	1.60	5.30	مسطح	41	1.07	3.77	کاسه
26	1.50	5.71	مسطح	41	0.68	2.52	کاسه
27	1.00	3.64	کاسه	41	1.07	3.44	کاسه
28	0.77	6.41	مسطح	41	1.09	3.60	کاسه
28	1.24	5.53	مسطح	41	0.98	2.66	کاسه
29	1.28	3.40	کاسه	42	1.32	3.15	کاسه
29	1.04	12.54	مسطح	42	1.76	5.69	مسطح
29	1.47	6.88	مسطح	42	1.10	6.00	مسطح
29	0.90	4.42	کاسه	42	0.82	2.31	کاسه
29	0.90	8.64	مسطح				

نتایج طبقه‌بندی دولین‌ها با توجه به نسبت طول به عرض امکان شناسایی شکل دولین‌ها فراهم کرده که طبق نتایج ۵۸ درصد از دولین‌های منطقه مورد مطالعه نیمه مدور، ۳۵ درصد بیضوی، ۶ درصد نیمه بیضوی و یک درصد کشیده هستند (شکل ۶).



شکل شماره ۶: درصد شکل دولین‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس نسبت بین طول و عرض

ارتباط بین دو محور طول و عرض دولین‌های منطقه مورد مطالعه ضریب تعیین برابر با $0/86$ است که نشان می‌دهد همبستگی غیرخطی بین دو محور وجود دارد (شکل ۷). که می‌تواند به دلیل وجود گسل و درز و ترک در سنگ بستر منطقه باعث ایجاد تفاوت در نسبت قطر و عرض دولین‌ها باشد. وجود درز و شکاف و گسل باعث نفوذ بیشتر آب، خوردگی و انحلال بیشتر آهک می‌شود و در نتیجه این خوردگی و فرسایش بیشتر در امتداد درز، این مجاری بیشتر باز شده و به داخل دولین ریزش خواهند داشت که در نتیجه شکل دولین کشیده‌تر می‌شود. همچنین به دلیل وجود کانال‌های ایجاد شده توسط رواناب سطحی که به فروچاله‌ها زهکشی می‌شود شاهد تغییراتی در شیب و شکل دیواره‌های بعضی از دولین‌ها هستیم (شکل شماره ۸).



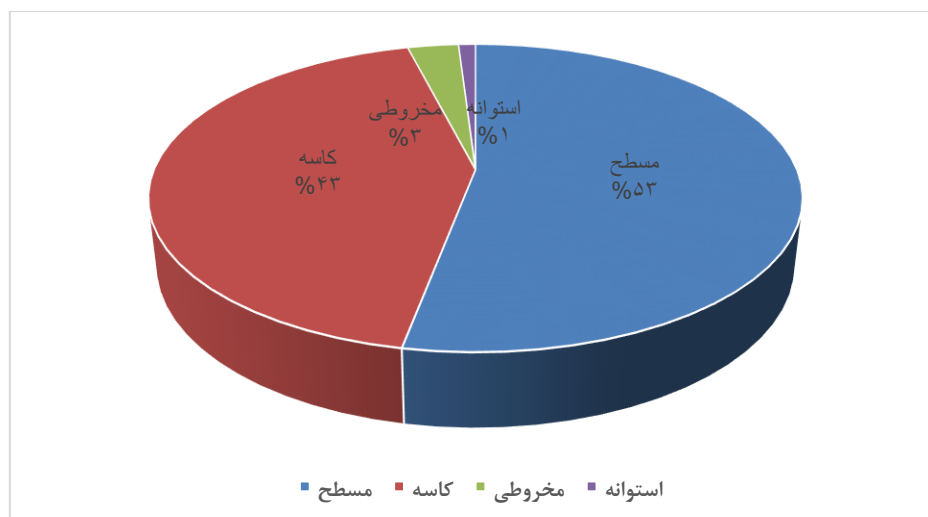
شکل شماره ۷: ارتباط بین محور طول و عرض فروچاله‌ها



شکل شماره ۸: کانال‌های رواناب سطحی حاصل از بارش که آب سطحی منطقه مورد مطالعه را به داخل دولین‌ها و شبکه زیرزمینی زهکشی میکنند.

عمیق‌ترین نقطه فروچاله معمولاً محل خروج آب و زهکشی دولین به داخل و شبکه زیرزمینی است به طور هندسی مرکز دولین ممکن است با آن سازگار نباشد (فورد و ویلیامز^۱، ۲۰۰۷). تقارن دولین و اندازه‌گیری و مشخص کردن عرض و طول آن با توجه به عمیق‌ترین نقطه دولین مشخص می‌شود (ویلیامز^۲، ۱۹۷۲).

نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی دولین‌ها با توجه به نسبت طول و عمق، ۵۳ درصد از دولین‌های منطقه مورد مطالعه به شکل مسطح، ۴۳ درصد کاسه‌ای شکل، ۳ درصد مخروطی شکل و ۱ درصد به عنوان استوانه‌ای شناسایی کردیم (شکل ۹).



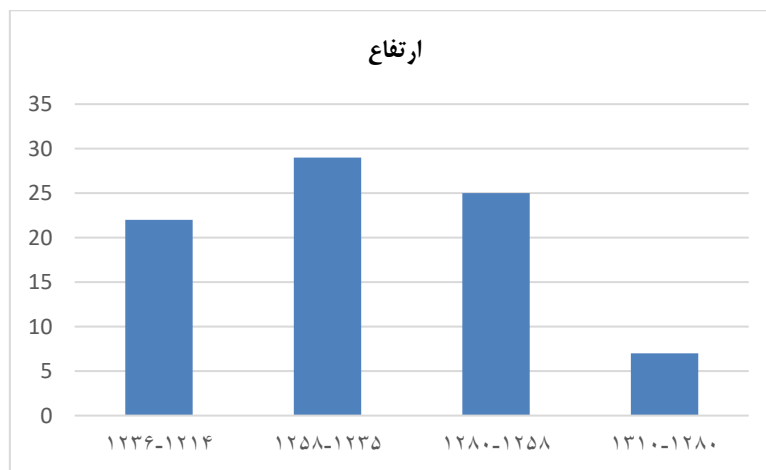
شکل ۹: مقدار درصد نسبت طول به عمق دولین‌های منطقه مورد مطالعه

این نسبت با تقسیم مقدار قطر دولین بر عمق دولین بدست می‌آید. دولین‌های مسطح و کاسه‌ای شکل رایج‌ترین نوع شکل دولین در منطقه مورد مطالعه هستند و دولین‌های با شکل استوانه‌ای و مخروطی شکل به ندرت در منطقه دیده می‌شوند (جدول ۳). دامنه ارتفاع و توزیع مکانی دولین‌ها در منطقه مورد مطالعه (متر از سطح دریا) از ارتفاع ۱۲۱۴ متر تا ۱۳۰۵ متر شناسایی و اندازه‌گیری شده است که نشان دهنده توزیع نامنظم دولین‌ها در ارتفاعات مختلف است. بیشتر دولین‌ها در

¹. Ford and Williams

². Williams

ارتفاعات بین ۱۲۱۴ متر تا ۱۲۸۸ واقع شده‌اند اما در کل منطقه مورد مطالعه و در هر ارتفاعی شاهد حضور دولین‌ها هستیم (شکل ۹).



شکل شماره ۹: درصد فراوانی دولین‌ها در ارتفاعات مختلف منطقه مورد مطالعه

رابطه مشخصی بین ارتفاع و تعداد دولین‌ها وجود ندارد. این ممکن است به دلیل وجود شیب‌های مختلف و زمین شناسی یکسان در پلات‌ها باشد. ۶۴ درصد از دولین‌ها بین ارتفاع ۱۲۱۴ متر و ۱۳۰۵ متر قرار گرفته‌اند، که ۳۶ درصد از بزرگترین دولین‌ها بین ارتفاع ۱۲۱۵ متر و ۱۲۹۷ متر واقع شده‌اند.

نتایج آنالیز خصوصیات خاک

تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کنار روش‌های مورفومتری به ما امکان تفسیر و تحلیل بهتری از خصوصیات دولین‌ها می‌دهد. با نگاهی دقیق به خصوصیات خاک (بافت، میزان آهک، PH) در سه قسمت بیرونی، دیواره و کف دولین‌ها، ما توانستیم ویژگی‌های مختلف خاک را مشخص کنیم. آلفی سول نوع خاک متداول موجود در منطقه مورد مطالعه است. این نوع خاک از نظر رس بسیار غنی است و عمدتاً در جنگل‌های پهن برگ و مناطق معتدل و مرطوب دیده می‌شود و دارای یک افق زیرسطحی انباشته از رس هست (کارمندان سازمان خاک^۱، ۱۹۹۹). معمولاً در کف دولین‌های انحلالی شاهد حضور بیشتر رس هستیم (گوتیرز^۲، ۲۰۱۶) اما در تحقیقات و مشاهدات انجام گرفته مشخص شد میزان رس در کف دولین‌های منطقه مورد مطالعه کمتر از دیگر قسمتهای دولین است که علت آن به دلیل آبشویی و خروج ذرات سبکتر خاک از حفره‌های کف دولین توسط رواناب‌های حاصل از بارش در منطقه است (جدول ۴). در همه چهار شکل دولین که به روش‌های مورفومتری طبقه بندی شده‌اند خصوصیات خاک به نسبت یکسان است.

¹. Soil Survey Staff

². Gutierrez

جدول ۴: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سه قسمت مختلف دولین‌های با اشکال متفاوت

آهک	PH	رس	سیلت	ماسه	موقعیت نمونه	دولین مسطح
۵.۳	۵۷.۵	۲۷.۰	۳۷.۰	۴۹.۰	بیرون	دولین مسطح
۲۵.۲	۸۸.۵	۱۴.۰	۳۶.۰	۳۷.۰	دیواره	
۲۵.۱	۴۷.۵	۱۴.۰	۲۳.۰	۶۳.۰	کف	
۲.۳	۴.۵	۲۴.۰	۳۵.۰	۴۳.۰	بیرون	دولین استوانه
۲۵.۲	۱۹.۵	۲۲.۰	۳۱.۰	۴۵.۰	دیواره	
۲.۱	۱.۵	۰.۱.۰	۱۱.۰	۸۸.۰	کف	
۳	۸۵.۵	۱۵.۰	۳۵.۰	۵۰.۰	بیرون	دولین - مخروطی
۷۵.۲	۸۹.۵	۱۱.۰	۲۵.۰	۶۴.۰	دیواره	
۲۵.۱	۵۶.۵	۰.۷.۰	۱۲.۰	۸۲.۰	کف	
۱۲.۴	۳۲.۵	۱۷.۰	۳۳.۰	۵۰.۰	بیرون	دولین کاسه- ای
۵.۲	۸۵.۵	۱۵.۰	۳۵.۰	۵۰.۰	دیواره	
۱	۵۴.۵	۰.۹.۰	۱۵.۰	۷۶.۰	کف	

همانطور که در جدول مشخص است میزان رس و سیلت در کف همه اشکال دولین کمتر و میزان ماسه در کف دولین‌ها بیشتر است. با توجه به جدول مقدار PH خاک در سطح اسیدی و به شدت اسیدی می‌باشد. با در نظر گرفتن میزان بارش زیاد در منطقه مورد مطالعه باعث انتقال و آبشویی آهک به لایه‌های پایین‌تر خاک می‌شود به این دلیل میزان آهک در خاک منطقه کم است و کمترین میزان آهک در کف دولین‌ها اندازه‌گیری شده است. به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سه نقطه مختلف دولین‌های منطقه مورد مطالعه ابتدا آزمون کولموگراف - اسمیرنوف^۱ (K-S) برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت که با توجه به مقدار (P-value) مشخص شد داده‌های مورد استفاده دارای توزیع نرمال $p\text{-value} \geq 0/05$ می‌باشند. جهت مشخص کردن محل اختلاف میانگین‌های به خصوصیات خاک در موقعیت‌های مختلف دولین‌ها از روش کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد.

^۱. Kolmogorov – Smirnov Test

جدول ۵: تجزیه واریانس (ANOVA) برای پارامترهای بافت خاک (رس، سیلت، ماسه)، میزان اسیدیته خاک (PH)، آهک خاک

	خصوصیات خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	P-value
رس	بین گروه‌ها	۰۳۲۰۰	۲	۰۱۶۰۰	۵۴۵۰۶	۰۱۸۰۰
	درون گروه‌ها	۰۲۲۰۰	۹	۰۰۲۰۰		
	کل	۰۵۴۰۰	۱۱			
سیلت	بین گروه‌ها	۰۸۰۰۰	۲	۰۴۰۰۰	۲۵۳۰۲۰	۰۰۰۰۰
	درون گروه‌ها	۰۱۸۰۰	۹	۰۰۲۰۰		
	کل	۰۹۷۰۰	۱۱			
ماسه	بین گروه‌ها	۲۱۱۰۰	۲	۱۰۵۰۰	۵۸۴۰۱۵	۰۰۱۰۰
	درون گروه‌ها	۰۶۱۰۰	۹	۰۰۷۰۰		
	کل	۲۷۲۰۰	۱۱			
PH	بین گروه‌ها	۱۶۴۰۰	۲	۰۸۲۰۰	۱۲۸۰۱	۳۶۶۰۰
	درون گروه‌ها	۶۵۵۰۰	۹	۰۷۳۰۰		
	کل	۸۱۹۰۰	۱۱			
آهک	بین گروه‌ها	۴۳۷۰۱۰	۲	۲۱۸۰۵	۴۶۴۰۵۰	۰۰۰۰۰
	درون گروه‌ها	۹۳۱۰۰	۹	۱۰۳۰۰		
	کل	۳۶۷۰۱۱	۱۱			

با توجه به جدول شماره ۵ نتایج تجزیه واریانس (ANOVA)، چون سطح معنی داری برای پارامتر بافت خاک (رس، سیلت، ماسه) و آهک خاک از ۰/۰۵ کوچکتر است با اطمینان ۹۵ درصد میزان درصد رس، سیلت، ماسه و آهک در بین بیرون، دیواره و کف دولین دارای اختلاف معنی داری هستند. بنابراین عامل موقعیت متفاوت بر روی خصوصیات بافت و آهک خاک موثر است. در مورد پارامتر PH با توجه به میزان P-value رابطه معنی داری در سه موقعیت متفاوت دولین‌ها بدست نیامد که نشان می‌دهد در سه منطقه متفاوت دولین میزان PH به نسبت یکسان است و تفاوتی در آن مشاهده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

صدها دولین در منطقه گرازبن وجود دارد با ابعاد متفاوت و در بعضی موارد به صورت گروهی در امتداد یک مسیر به صورت ردیفی قرار گرفته‌اند که می‌تواند در اثر مسیر گسل، سیستم‌های درزه و شکاف باشد. استفاده از GIS و فناوری سنجش از دور امکان شناسایی، تجزیه و تحلیل و مورفومتری دولین‌ها را فراهم می‌کند. با وجود پردازش دقیق، سریع داده‌ها توسط GIS و تکنیک سنجش از دور، باید در نظر داشته باشیم که دولین‌ها به دلیل محدودیت‌های وضوح نقشه‌ها و تصاویر، ابعاد متفاوت و بالخصوص دولین‌های کوچک که تازه در حال تشکیل شدن هستند، همچنین پوشش گیاهی جنگلی و رسوبات بر روی دولین‌ها ممکن است تعدادی از دولین‌ها شناسایی نشده یا ابعاد آنها به درستی مشخص و اندازه‌گیری نشوند (کوبال

و همکاران^۱ (۲۰۱۵، دنیزمن^۲ ۲۰۰۳). به دلیل کوچکی و نزدیکی بعضی از دولین‌ها به یکدیگر و مشخص نبودن دولین‌ها در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ خیرودکنار و DEM با وضوح ۱۰ متر و همچنین پوشش ۱۰۰ درصدی جنگل در منطقه مورد مطالعه که استفاده و دقت روشهای سنجش از دور و عکس‌های هوایی برای بررسی کف جنگل با دقت کافی برخوردار نبود، با توجه به این محدودیت‌ها این تحقیق بر اساس کارهای میدانی برای مورفومتری و توزیع مکانی در مقیاس منطقه‌ای انجام شده است که با مقایسه نتایج بدست آمده از روش کار میدانی از اعتبار بیشتری برخوردار است. تجزیه تحلیل مورفومتری در مناطق کارستی، توصیف کمی از لندفرم‌های کارستی را امکان‌پذیر می‌کند (بوندسان^۳، ۱۹۹۲). در این پژوهش از مجموعه پارامترهای برای تشخیص شکل دولین‌ها به کاربرد شده است، از سه روش (نسبت طول به عرض، نسبت طول به عمق) برای تعیین شکل دولین‌ها استفاده شده که نتایج نشان داد محورهای طول و عرض عدم تقارن خاصی دارند در قسمت انتهایی و کف دولین شاهد حفره‌ها و سنگ بستر هستیم البته حفره کف در همه دولین‌ها به خوبی قابل مشاهده نیست و توسط لایه ضخیمی از لاشبرگ، تنه درختان سقوط کرده و خاک پوشیده شده‌اند. شیب داخلی دیواره دولین‌ها در همه جهات یکسان نبوده که می‌تواند ناشی از تفاوت میزان فرسایش دامنه‌ها باشد مخصوصاً دولین‌های که کانال‌های رواناب حاصل از بارش توسط آنها زهکشی شده و به زیرزمین و کانال‌های زیرزمینی تخلیه می‌شود. وجود دولین‌های با ابعاد کوچکتر از یک متر و نزدیک به هم قرارگرفتن دولین‌ها و نبود پوشش گیاهی و درخت بر روی دیواره دولین‌ها نشان دهنده تشکیل تازه دولین‌های انحلالی^۴ است. در بعضی پلات‌ها حضور یک یا دو دولین نسبتاً بزرگ، مسطح و مدور با عمق کم، حضور درختان بر روی دیواره دولین و حتی فروافتادن تنه درختان بر روی کف دولین نشانه این است که در قسمتی از منطقه مورد مطالعه شاهد حضور دولین‌های قدیمی‌تر انحلالی هستیم که تنه درختان، بوته‌ها و لاشبرگ و خاک کف آنها را پوشانده که امکان بررسی کف دولین وجود ندارد.

تراکم زیاد دولین‌ها نشان از توسعه یافته بودن سیستم کارستی در منطقه گراژین است. متأسفانه تحقیق دیگری بر روی دولین‌های منطقه صورت نگرفته است تا توانایی مقایسه نتایج را داشته باشیم. نتایج به دست آمده نشان داد که در دو شاخص مورد استفاده برای آنالیز شکل دولین‌ها که شامل شاخص طول نسبت عرض و شاخص طول نسبت به قطر، تفاوت چندانی در نتایج دیده نمی‌شود و در هر دو شاخص نتایج تقریباً یکسان و نزدیک به هم بدست آمده‌اند. در شاخص طول نسبت به عرض حدود ۵۸ درصد از دولین‌ها نیمه مدور و در شاخص طول نسبت به عمق ۵۳ درصد از دولین‌ها مسطح، ارزیابی شده‌اند. که از نوع دولین‌های انحلالی به حساب می‌آیند. در منطقه مورد مطالعه حتی یک مورد از دولین‌های ریزشی^۵ شناسایی نشد. همچنین با اطمینان ۹۵ درصد، درصد رس، ماسه، سیلت و درصد آهک خاک در بین سه نقطه متفاوت از دولین‌ها دارای اختلاف معنی‌داری است. بنابراین عامل موقعیت روی مقادیر اشاره شده موثر است و تنها بین مقادیر اسیدیته خاک در سه نقطه مختلف دولین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

1. Kobal et al

2. Denizman

3. Bondesan

4. Solution Dolines

5. Collapse Dolines

منابع

- بی‌نام، م.، ۱۳۸۹. طرح جنگلداری بخش گرازین جنگل خیرود مازندران، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، صص ۳۵۷.
- Abrahams, A.D., Parsons, A.J., 1991. Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona: *Journal of Hydrology*, 122, pp.49–59.
- Bátori, Z., Csiky, J., Farkas, T., Vojtkó, A. E., Erdős, L. Kovács D. Vojtkó A. 2014. The conservation value of karst dolines for vascular plants in woodland habitats of Hungary: Refugia and climate change, *International Journal of Speleology*. 43, pp.15–26.
- Bahtijarevic, A., 1996. *Morphometric analysis of the Northern Floridan karst: University of South Florida*.
- Bondesan, A., MENEGHEL, M., SAURO, U., 1992. *Morphometric Analysis of Dolines: International Journal of Speleology*, 21, pp.1-55.
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., Pepe, M., 2013. *Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia: Environ Earth Sci Italy*. 70 pp. 2545–2559.
- Can Denizman., 2003. *Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida: Journal of Cave and Karst Studies*, 65, pp. 29-35.
- Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Imeson, A.C., 2003. *Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain: Geomorphology*, 50, pp. 269-291.
- Cantón, Y., Domingo, F., Solé-Benet, A., Puigdefábregas, J., 2002. *Influence of soil surface types on the overall runoff of the Tabernas badlands (SE Spain): Field data and model approaches. Hydrol. Process*, 16, pp. 2621–2643.
- De Carvalho, O., Guimarães, R., Montgomery, D., Gillespie, A., Trancoso Gomes, R., 2013. *Karst Depression Detection Using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-Derived Digital Elevation Models in the Bambuí Group, Brazil: Remote Sens*. 6 pp. 330–351.
- DAY M.J. 1976. *The morphology and hydrology of some Jamaican karst depressions: Earth Surface Process*. 1, pp. 11-129.
- Dakskobler, I., 2008. *Pregled bukovich rastišč v Sloveniji A review of beech sites in Slovenia: ZBGL*. 87, pp.3–14.
- Folk, Robert. 1974. *petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill publishing co. 182.
- Ford, D.C. Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology: Chichester. John Wiley & Sons Ltd*, pp.1-554.
- Gutiérrez, F., Parise, M., DeWaele, J., Jourde, H., 2014. *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst: Earth-Science Reviews*. 138, 61–88.
- Gutiérrez, F., Gutiérrez-Elorza, M., Marin, C., Maldonado, C., Younger, PL., 2005. *Subsidence hazard avoidance based on geomorphological mapping in the Ebro River valley mantled evaporite karst terrain, NE Spain: Environ Geol*, 48, pp. 370–383.
- Gams, I. 1966. *Factors and dynamics of corrosion of the carbonatic rocks in the Dinaric and Alpine Karst of Slovenia, Yugoslavia: Geographical Bulletin*, 37: 11-68.
- Gutiérrez, F., 2016. *Sinkhole Hazards: Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*.
- Kopal, M., Bertoneclj, I., Pirotti, F., Dakskobler, I., Kutnar, L., 2015. *Using Lidar Data to Analyse Sinkhole Characteristics Relevant for Understory Vegetation under Forest Cover-Case Study of a High Karst Area in the Dinaric Mountains: PLoS ONE*. 10.
- Lipar, M., Stepisnik, U., Ferk, M., 2019. *Multiphase breakdown sequence of collapse doline morphogenesis: An example from Quaternary aeolianites in Western Australia. Geomorphology*, 327, pp. 572-584.

- MAGALDID. SAUROU., 1982. *Landforms and soil evolution in some karstic areas of the Lessini Mountains and Monte Baldo ,Verona, Northern Italy : Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 5,pp. 82-10.
- Newby, PRT. 2012. *Photogrammetric Terminology: Second Edition. Photogramm Rec*, 27, pp. 360–386.
- Öztürk, MZ., Şener, MF. Şener, M. Şimşek M., 2018. *Structural controls on distribution of dolines on Mount Anamas ,Taurus Mountains, Turkey :Geomorphology*, 317, pp. 107–116.
- Ogden, AE., 1988. *A Morphometric Analysis of the Sinkholes in the Greenbrier Limestone of West Virginia. 2nd, Environmental problems in Karst terrines and their solutions: Proceedings of the conference.*
- Podobnikar, T., Schöner, M., Jansa, J., Pfeifer, N., 2008. *Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia): Environ Geol*, 58, pp. 257–268.
- Palmer, A. N. 1990. *Groundwater r processes in karst terrains. New York: Geological Society of American*, pp. 177-209.
- Recep, Efe., 2013. *Ecological properties of vegetation formations on karst terrains in the central Taurus Mountains, Southern Turkey, International Geography Symposium: Social and Behavioral Sciences*, 120, pp.673-679.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. GPO, Washington, DC.2nd ed. USDA Handb. 436. USDA-NRCS*, pp.7-863.
- Solé Benet, A., Calvo, A., Cerdà, A., Lázaro, R., Pini, R., Barbero, J., 1997. *Influences of micro-relief patterns and plant cover on runoff related processes in badlands from Tabernas ,SE Spain: Catena*,31,pp. 23–38.
- Telbisz, T. Dragušica, H. Nagy B. 2009. *Doline Morphometric Analysis and Karst Morphology of Biokovo Mt (Croatia) Based on Field Observations and Digital Terrain Analysis: Croatian Geographical Bulletin*, 71, pp. 2.
- Williams, PW. 1972. *Morphometric Analysis of Polygonal Karst in New Guinea: Geol Soc Am Bull*, 83,pp. 761-796.
- Yair, A., Lavee, H., 1985. *Runoff Generation in Arid and Semi-Arid Zones. In: Anderson, M.G., Burt, T.P. (Eds.), Hydrological Forecasting. New York: John Wiley and Sons*, pp. 183-220.