بررسی دولین‌های منطقهٔ تخت‌سلیمان به‌روش تحلیل خوشه‌ای

محمدحسین رضائی مقدم[1*]، محمدرضا قدری[2]، محسن مؤید[3]

۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

دریافت: ۵/ ۱۲/ ۸۸ پذیرش: ۱۸/ ۸/ ۸۹

چکیده

انحلال سنگ‌های آهکی در منطقهٔ تخت‌سلیمان، دولین‌های متعددی را با اندازه‌های مختلف به‌وجود آورده است. اندازه‌گیری متغیرهایی مانند مساحت، پیرامون، عمق، قطر بزرگ، قطر کوچک، شاخص دایره‌واری، نسبت کشیدگی و ارتفاع از سطح دریا برای ۳۶ دولین مورد بررسی، این امکان را فراهم کرد تا دولین‌ها را به‌روش تحلیل خوشه‌ای، دسته‌بندی و تجزیه و تحلیل کنیم. اندازه‌گیری و ثبت ویژگی‌های مورفومتریک دولین‌ها ازطریق نقشه‌برداری دقیق محدودهٔ مورد مطالعه، پردازش و تحلیل آنها با نرم‌افزارهای آماری و گرافیکی، و همچنین بررسی‌های میدانی صورت گرفته است. در تحلیل خوشه‌ای که به‌روش فاصله از نزدیک‌ترین همسایه انجام شده است، کوشیده‌ایم تا دولین‌های محدودهٔ مورد مطالعه را در گروه‌هایی با ویژگی‌های نسبتاً همسان دسته‌بندی کنیم. دولین‌های این محدوده در پنج گروه بدین شرح دسته‌بندی شده‌اند؛ ۳۲ دولین در گروه اول جای گرفته و هرکدام از دولین‌های شمارهٔ ۳، ۵، ۱۶ و ۲۱ به‌تنهایی در یک گروه جداگانه قرار گرفته‌اند. دولین‌های گروه اول ویژگی‌های مورفومتریک نزدیک به هم دارند؛ اما دولین‌های گروه‌های دیگر، به‌ویژه گروه چهارم و گروه پنجم، با آنها تفاوت زیادی دارند. نقش عوامل زمین‌ساختی و فرسایشی در پیداش و تغییر شکل دولین‌های گروه اول و با چهار گروه دیگر تاحدودی متفاوت است. گسل‌ها در شکل‌گیری و تحول دولین‌ها، به‌ویژه دولین گسلی و دولین هلالی‌شکل نقش مهمی دارند. تمرکز انحلال و شدت فرسایش در تحول دولین دریژچال و عامل ارتفاع از سطح دریا در گسترش دولین سنگ صخره‌ای دارای نقش بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: دولین، تحلیل خوشه‌ای، مورفومتری، عوامل زمین‌ساختی – فرسایشی، تخت‌سلیمان–

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: Rezmogh@Tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

دولین‌ها چاله‌های بسته‌ای هستند که به‌صورت حفره‌های انحلالی در سطح زمین‌های آهکی و یا دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر به‌وجود می‌آیند. این چاله‌های انحلالی به‌صورت تکی و یا گروهی تشکیل می‌شوند (Sellpy, 1985: 309). چاله‌های انحلالی دارای تراکم، آرایش و ویژگی‌های مورفومتریک خاصی در سطح منطقه می‌باشند. در ژئومورفولوژی کمی، ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری پدیده‌ها به‌صورت داده‌های کمی بررسی می‌شود. داده‌های کمی ژئومورفولوژی به آن دسته از داده‌ها اطلاق می‌شود که تنها با عدد و رقم بیان می‌شوند (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳: ۲۵). ویژگی‌های مورفومتریک در بررسی و مقایسهٔ دولین‌ها بسیار مهم هستند و می‌توان‌آنها را به‌صورت داده‌های کمی، اندازه‌گیری و تحلیل گردد. این ویژگی‌ها داده‌های لازم را برای بررسی شباهت و تفاوت دولین‌ها و دسته‌بندی آنها در گروه‌های همانند فراهم می‌کند. یکی از روش‌های مورد استفاده در بررسی پراکندگی فضایی دولین‌ها، شیوهٔ تحلیل خوشه‌ای[1] است. این گونه تحلیل، تکنیکی است برای گروه‌بندی افراد براساس موضوع‌ها. در این نوع گروه‌بندی، موضوع‌های درون گروه، شباهت زیادی با هم دارند؛ اما با موضوع‌های گروه‌های دیگر به‌میزان قابل توجهی متفاوت‌اند (کلانتری، ۱۳۸۲: ۳۲۹). هدف از تجزیهٔ خوشه‌ای، نخست پیدا کردن دسته‌های واقعی از پدیده‌ها و دوم کاهش تعداد داده‌هاست (فرشادفر، ۱۳۸٤: ۵۵۳). تحلیل خوشه‌ای به دو صورت پایگانی[2] (سلسله مراتبی) و ناپایگانی[3] (غیر سلسله مراتبی) به‌کار گرفته می‌شود. در این پژوهش، دولین‌ها را براساس تحلیل خوشه‌ای پایگانی[4] و شیوهٔ پیوندی (تراکمی)[5] دسته‌بندی کرده‌ایم. دسته‌بندی خوشه‌ای پیوندی به چند صورت انجام می‌گیرد. در اینجا با توجه به موضوع و هدف این بررسی- که دسته‌بندی دولین‌ها براساس ویژگی‌های مشترک با توجه به کمترین فاصله بین آنها می‌باشد- روش همبستگی تکی[6] یا روش خوشه‌ای اسلینک[7] را به‌کار گرفته‌ایم. روش پیوند تکی، کمترین فاصله بین دولین‌ها است. در این روش، دولین‌های دارای کمترین فاصله با یکدیگر شناسایی

1. Cluster analysis
2. Hierarchical
3. Non hierarchical
4. Hierarchical cluster
5. Agglomerative method
6. Single linkage
7. Slink

می‌شوند و در خوشهٔ اول قرار می‌گیرند؛ سپس کمترین فاصلهٔ بعدی مشخص می‌شود، سومین دولین شناسایی‌شده با خوشهٔ اول ترکیب می‌گردد و یا خوشهٔ دوموردی جدیدی را تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ بین دو خوشه، کوتاه‌ترین فاصله میان هرنقطه از یک خوشه به هر نقطه از خوشهٔ دوم می‌باشد. این فرایند تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که همهٔ خوشه‌های دسته‌بندی‌شده در یک خوشهٔ بزرگ قرار می‌گیرند. روشی که در خوشه‌بندی دولین‌ها براساس پیوند تکی به‌کار می‌رود، روش فاصلهٔ متوسط از نزدیک‌ترین همسایه نام دارد. نتایج تحلیل خوشه‌ای به‌صورت نمودار چندشاخه‌ای[1] و یا پیوند درختی[2] نشان داده می‌شود (دورنکامپ و همکاران، ١٣٧٠: ١٦٦).

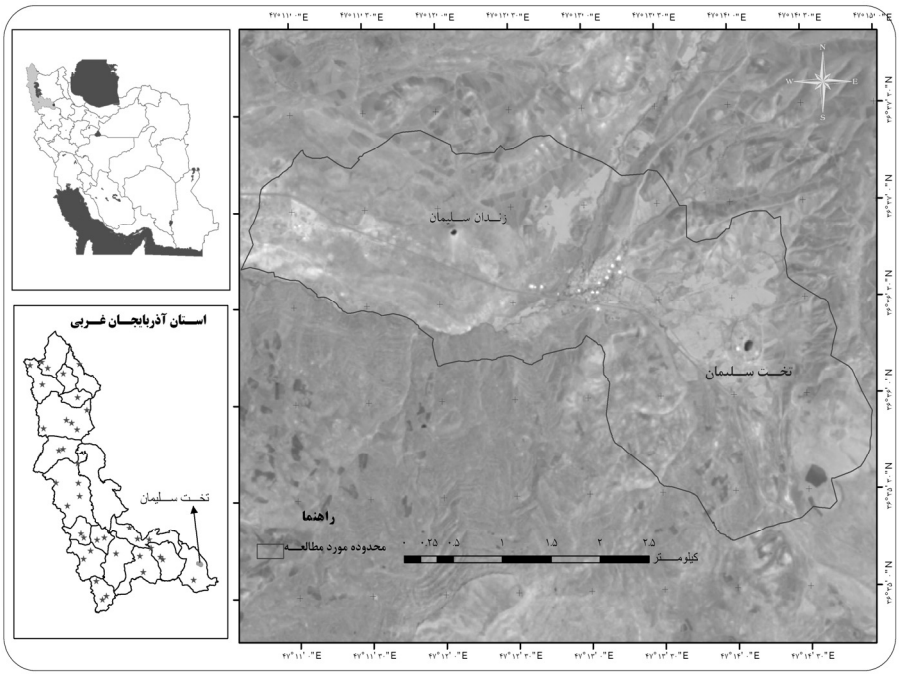
برونو و همکاران در بررسی پراکندگی فضایی فروچاله‌ها در دشت‌های ساحلی آپولیا[3] در ایتالیای جنوبی، پراکندگی خوشه‌ای[4] دولین‌ها را با استفاده از فاصلهٔ متوسط نزدیک‌ترین همسایه، مطالعه کرده‌اند؛ برینکمن و همکاران در بررسی فروچاله‌های ناحیهٔ خلیج تمپا[5] در ایالت هیلسبورگ[6] آمریکا، فروچاله‌ها را ازلحاظ پراکندگی و مورفومتری، با استفاده از روش خوشه‌بندی بررسی کرده‌اند (Brinlcmanneal, 2008:982)؛ دورنکامپ و همکاران تحلیل خوشه‌ای را برای بررسی حوضهٔ سوم اوگاندای جنوبی به‌کار برده‌اند (دورنکامپ و همکاران، ١٣٧٠: ١٦٥)؛ مسعودیان نیز رژیم‌های بارش ایران را به‌روش تحلیل خوشه‌ای و به‌شیوهٔ وارد[7] مطالعه کرده است (مسعودیان، ١٣٨٢: ٤٨).

٢- معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه ما در این پژوهش، یعنی تخت‌سلیمان در شمال غربی ایران و در قسمت شمال شرقی شهرستان تکاب واقع شده است (شکل ١). این محدوده در محیط فعال کارستی با چشم‌اندازهای زیبای طبیعی و باستانی قرار دارد.

1. Dendrogram
2. Tree Linkage
3. Apulia
4. Clustering-Dispersion
5. Tampa bay
6. Hillsborough
7. Wards Method

تخت‌سلیمان برروی نهشته‌های آهکی جدیدی قرار گرفته که سطح ماسهٔ سنگی زیرین را پوشانده‌اند (Alavi,1982:T3.) جنیدی به نقل از برنارد دم (۱۳٤۸: ۳۱۲) و باباخانی و امینی (۱۳۷۰: ۵۹) معتقدند سنگ‌های آهکی این منطقه از نهشته‌های چشمه‌های آهک‌ساز جدید در دورهٔ کواترنر به‌وجود آمده است. برپایهٔ تحلیل‌های شیمیایی- که ناومان و همکاران (۱۳۷۳: ۳٤ و ٤۰)، عارف (۱۳۷۲: ۲۹)، دفتر مطالعاتی البرز (۱۳۸۰: ۱۰۱)، سازمان آب منطقه‌ای (۱۳۸٦: ۱ تا ۸) و نگارنده (۱۳۸۷) دربارهٔآب‌های منطقه انجام داده‌اند- می‌توان گفت که آب این چشمه‌ها املاح زیادی دارد و می‌تواند نهشته‌هایی را به‌صورت توفا و تراورتن بر لایه‌های ماسه‌سنگی زیرین به‌وجود بیاورد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه در منطقهٔ کارستی تخت سلیمان.

نهشته‌های کربناته‌ای که این پهنهٔ آهکی را به‌وجود آورده‌اند، به احتمال قوی از پلیوسن به بعد تشکیل شده‌اند. نهشته‌های کربناتهٔ این محدوده برروی رسوبات متناوب مارن و ماسه‌سنگ

قرمز میوسن تشکیل شده‌اند. مارن و ماسه‌سنگی که بستر این نهشته‌های تراورتنی را تشکیل می‌دهد، معادل بخش بالایی سازند قم می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۰: ۲). سنگ‌های تراورتنی جدید به‌صورت پوششی محدود با جهت شمال غربی – جنوب شرقی برروی بستری از سنگ‌های قدیمی ترمیوسن قرار گرفته‌اند.

چشمه‌های آهک‌سازی که این نهشته‌های آهکی را به‌وجود آورده‌اند، درراستای گسل‌های بزرگ و فعال منطقه تشکیل شده‌اند. گسل اصلی زندان سلیمان با امتداد شرقی – غربی از روی تعداد زیادی از این دولین‌ها می‌گذرد. این گسل ازنوع راست‌گرد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۰: ۲) و به احتمال زیاد، عامل اصلی شکل‌گیری بعضی از آنها می‌باشد؛ همچنین چندین گسل ازنوع فرعی و احتمالی نیز در مسیر این دولین‌ها قرار دارد. نهشته‌های جدید تراورتنی باعث پوشیده شدن این گسل‌ها شده‌اند؛ ولی می‌توان نشانه‌هایی از این شکستگی‌ها را در روی زمین تشخیص داد.

۳- مواد و روش‌ها

برای تعیین الگوی فضایی دولین‌ها و تحلیل خوشه‌ای آنها لازم است متغیرها و ویژگی‌های کمی دولین‌ها را اندازه‌گیری کنیم؛ سپس با استفاده از روش‌های آماری، داده‌های به‌دست آمده را دسته‌بندی و برای استفاده در مدل آماده کنیم. داده‌هایی که برای پژوهش حاضر استفاده شده‌اند، بر سه محور اصلی استوار هستند:

الف) پایگاه داده‌های نقشه‌برداری[1]: برای بررسی و ثبت داده‌های ارتفاعی در منطقهٔ مورد مطالعه، نخست کل منطقه را در مقیاس ۱:۲۰۰۰ نقشه‌برداری کردیم. طی این عملیات، کلیهٔ عوارض و پدیده‌های ژئومورفولوژی سطح منطقه را برداشت کردیم و در قسمت‌هایی که به بررسی بیشتر نیاز داشت، در مقیاس ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ نقشه‌برداری کردیم؛ سپس داده‌های اندازه‌گیری‌شده را برای تبدیل به نقشه به محیط cad بردیم و به نقشه تبدیل کردیم. برای تعیین موقعیت مکانی دولین‌ها و مشخص‌کردن پراکندگی فضایی آنها از نرم‌افزارهای ArcWiew و ArcGIS را به‌کار برده‌ایم.

1. Topography

ب) داده‌ها و اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی منطقه از نقشهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده و به‌وسیلهٔ سازمان زمین‌شناسی کشور و راهنمای انگلیسی نقشه ۱: ۲۵۰۰۰۰ منطقه استفاده شده است.

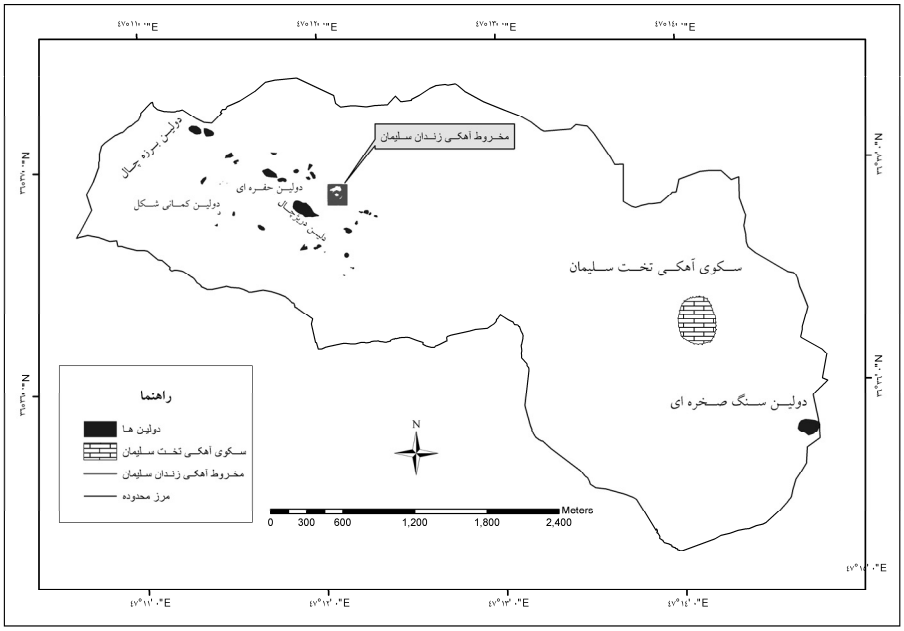
ج) نرم‌افزارSPSS: برای دسته‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌های آماده‌شده آنها رابه محیط این نرم‌افزار انتقال دادیم و برای استفاده در مدل آماده کردیم. این بررسی براساس تحلیل خوشه‌ای پایگانی و با استفاده از شیوهٔ پیوندی (تراکمی) انجام گرفته است.

۴- نتایج

۴-۱- ویژگی‌های مورفومتری دولین‌ها

دولین‌های محدودهٔ مورد مطالعه (به‌جز دولین سنگ صخره‌ای که در دورترین نقطه در قسمت جنوب شرقی منطقه به‌وجود آمده است)، به‌صورت گروهی و در بخش غرب و شمال غربی تشکیل شده‌اند (شکل ۲). این دولین‌ها ازلحاظ ویژگی‌های مورفومتری، تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهند؛ مثلاً بزرگ‌ترین دولین منطقه، دولین سنگ صخره‌ای در بخش جنوب شرق منطقه می‌باشد که هجده هزارو۷٤۰ متر مربع مساحت دارد؛ در حالی که دولین حفره‌ای که کوچک‌ترین دولین منطقه است، تنها ۸/۲۸ متر مربع وسعت دارد. دامنهٔ تغییرها در مساحت این دولین‌ها بسیار زیاد (R=۱۸۷۳۲/۲۲) است و اختلاف[1] آنها هم رقمی بیش از ۱٦۹۲۱۹۸۵ = σ^2را نشان می‌دهد که درخور توجه است.

1. Variance



شکل ۲ نقشهٔ موقعیت و پراکندگی دولین‌ها در محدودهٔ تخت‌سلیمان.

۲-۴- خوشه‌بندی دولین‌ها به‌روش پیوند تکی

تحلیل خوشه‌ای براساس کمترین فاصله کمک می‌کند تا بتوانیم این دسته‌بندی را به‌صورتی انجام دهیم که همهٔ متغیرهای اندازه‌گیری‌شده مورد توجه قرار گیرند. برخلاف روش‌های دیگر تحلیل خوشه‌ای که نمودار شاخهٔ درختی در آنها ساده و کم‌شاخه می‌باشد، در روش پیوند تکی، این نمودار بسیار پرشاخه و پیچیده خواهد بود. خوشه‌بندی براساس پیوند تکی با استفاده از فرمول زیر صورت می‌گیرد :

$$D_{hk} = \min\left(d_{ik}, d_{jk}\right)$$

در این فرمول، D_{hk} فاصلهٔ بین نزدیک‌ترین اعضای گروه k و h می‌باشد که از ادغام نزدیک‌ترین اعضای گروه مورد بررسی در ماتریس متغیرهای آنها به‌دست می آید. d_{ik} فاصلهٔ

بین عضو اول گروه D_{hk} با عضو سوم و d_{jk} فاصلهٔ بین عضو دوم گروه D_{hk} با عضو سوم می‌باشد. در مرحلهٔ بعدی، کوچک‌ترین عدد به‌دست آمده بین آنها که بیانگر کمترین فاصله می‌باشد، انتخاب می‌گردد (کلانتری، ۱۳۸۲: ۵۷۶).

نخست، دو نوع دولینی را که دارای کمترین فاصله هستند، شناسایی کرده‌ایم. این دو دولین، اولین خوشه را تشکیل می‌دهند. در مرحلهٔ بعدی، یا دولین سوم به این گروه اضافه می‌شود و یا دو نوع دولین دیگر در هم ادغام می‌شوند و دسته یا خوشهٔ دوم را تشکیل می‌دهند. تشکیل دستهٔ دوم به این بستگی دارد که دولین سوم به گروه اول نزدیک‌تر باشد یا به دولین‌های دیگری که در این دسته قرار ندارند. این فرایند همچنان ادامه می‌یابد تا زمانی که همهٔ دولین‌ها در یک دسته یا خوشه قرار گیرند. در این روش، به فاصلهٔ بین خوشه‌ها فاصلهٔ بین نزدیک‌ترین اعضای می‌گویند. با به‌کارگیری روش نزدیک‌ترین همسایه، می‌توان اندازهٔ شباهت‌های بین دولین‌ها را به‌دست آورد و همچنین اندازه تفاوت‌ها و فاصله‌های بین آنها را محاسبه کرد.

در ماتریس به‌دست آمده از دولین‌های منطقه و متغیرهای آنها، پنج گروه یا دسته به‌دست آمده است. یکی از این گروه‌ها دارای شاخه‌ها و زیردسته‌های زیادی است و درعوض، گروه‌های دیگر هیچ شاخه یا زیردسته‌ای ندارند. در اینجا هر کدام از این گروه‌ها را بررسی می‌کنیم.

الف) گروه اول: این گروه، پنج زیردسته به شرح ذیل دارد:

زیردستهٔ اول: دولین‌های شمارهٔ ۲۲ و ۳۲ اولین زیردسته را تشکیل می‌دهند. این دولین‌ها ازلحاظ متغیرهای مورد بررسی، کمترین فاصله را دارند. بیشترین نزدیکی و شباهت میان دولین‌های منطقه، مربوط به این دو دولین است که ضریب ادغام میان آنها $D_{22,32} = .369$ می‌باشد. این دولین‌ها که اولین دسته را به‌وجود می‌آورند، به‌صورت زیر با دولین‌های دیگر ادغام می‌شوند و دستهٔ بزرگ‌تری را به‌وجود می‌آورند.

$$D_{(۲۲,۳۲)۳۱} = \min\left(d_{۲۲,۳۱}, d_{۳۲,۳۱}\right) = d_{(۲۲,۳۱)} = .٦٧٥$$

$$D_{(۲۲,۳۲)۱٥} = \min\left(d_{۲۲,۱٥}, d_{۳۲,۱٥}\right) = d_{(۳۲,۱٥)} = .٧٧٦$$

$$D_{(۲۲,۳۲)۱٤} = \min\left(d_{۲۲,۱٤}, d_{۳۲,۱٤}\right) = d_{(۳۲,۱٤)} = ۱.٥٨۱$$

زیردستهٔ دوم: دومین زیردسته یا خوشه‌ای که بین دولین‌های منطقه تشکیل می‌شود، مربوط به دولین‌های ٦ و ٩ می‌باشد که ضریب به‌دست آمده برای آنها: $D_{6,9} = .578$ است. در مرحلهٔ بعدی، رابطهٔ بین این دسته را با دولین‌های دیگری بررسی می‌کنیم که بیشترین شباهت و کمترین فاصله را با آنها دارند.

$$D_{(٦,٩)٨} = \min\left(d_{٦,٨}, d_{٩,٨}\right) = d_{(٦,٨)} = .٧٥٧$$

$$D_{(٦,٩)٧} = \min\left(d_{٦,٧}, d_{٩,٧}\right) = d_{(٩,٧)} = .٨٣٧$$

$$D_{(٦,٩)١٠} = \min\left(d_{٦,١٠}, d_{٩,١٠}\right) = d_{(٦,١٠)} = ١.٢٣٠$$

زیردستهٔ سوم: سومین زیردسته در این خوشه‌بندی مربوط به دولین‌های ٢٥ و٢٦ می‌باشد. نزدیکی این دو دولین، کمتر از دسته‌های اول و دوم، ولی بیشتر از دولین‌های دیگر می‌باشد. ضریب ادغام دولین‌ها $D_{٢٥,٢٦} = .٨٤٣$ است.

$$D_{(٢٥,٢٦)١٨} = \min\left(d_{٢٥,١٨}, d_{٢٦,١٨}\right) = d_{(٢٥,١٨)} = .٨٧٧$$

زیردستهٔ چهارم: این زیردسته را دولین‌های شمارهٔ چهار و بیست تشکیل می‌دهند که درامتداد یک خط با جهت شمال غربی– جنوب شرقی و در قسمت شمالی مجموعهٔ دولین‌ها قرار گرفته‌اند. ضریب ادغام این دولین‌ها $D_{٤,٢٠} = .٩١٤$ می‌باشد. کمترین فاصلهٔ دولین‌های این زیردسته با دولین‌های دیگر بدین‌صورت به‌دست آمده است:

$$D_{(٤,٢٠)٢٩} = \min\left(d_{٤,٢٩}, d_{٢٠,٢٩}\right) = d_{(٤,٢٩)} = .١.١٢٤$$

$$D_{(٤,٢٠)٢} = \min\left(d_{٤,٢}, d_{٢٠,٢}\right) = d_{(٤,٢)} = ١.١٧٤$$

زیردستهٔ پنجم: این زیردسته میان دولین‌های شمارهٔ دو وهفده به‌وجود آمده است. ضریب ادغام این دولین‌ها $D_{٢,١٧} = ١.٢٦٨$ می‌باشد. کمترین فاصلهٔ دولین‌های این زیردسته با دولین‌های دیگر به‌صورت زیر به‌دست آمده است:

$$D_{(۲,۱۷)_۶} = \min\left(d_{۲,۶}, d_{۱۷,۶}\right) = d_{(۲,۶)} = ۱.۲۵۵$$

$$D_{(۲,۱۷)_۱} = \min\left(d_{۲,۱}, d_{۱۷,۱}\right) = d_{(۲,۱)} = ۱.۳۹۲$$

مرحله‌های دیگر خوشه‌بندی وضریب‌های ادغام آنها در جدول ۲ آمده است.

ب) گروه دوم: دستهٔ دوم دولین‌ها مربوط به دولین گسلی (دولین ۳) می‌باشد. این دولین بعد از دولین سنگ صخره‌ای بیشترین عمق و ارتفاع از سطح دریا را در بین دولین‌های منطقه دارد. دولین گسلی ازلحاظ شاخص دایره‌واری نیز درحد نسبتاً بالایی قرارگرفته است. دولین شمارهٔ یک نزدیک‌ترین فاصله را با این دولین دارد و ضریب ادغام بین آنها $D_{۱,۳} = ۱.۹٤۰$ می‌باشد. دولین گسلی به‌صورت کاملا نامتقارن می‌باشد و پرتگاه گسلی آن به‌صورت یک دیوار صخره‌ای و صاف نمایان است.

ج) گروه سوم: دستهٔ سوم دولین‌ها مربوط به دولین هلالی‌شکل (دولین شمارهٔ پنج) می‌باشد. این دولین که شکلی کاملاً متفاوت با دولین‌های دیگر دارد، به‌صورت یک هلال کامل و دارای شکل نامتقارن است و از قسمت شمال شرقی با سطح زمین‌های اطراف مماس می‌شود. این دولین بیشترین نسبت کشیدگی و کمترین شاخص دایره‌واری را در بین دولین‌های دیگردارد. دولین هلالی‌شکل، نزدیک‌ترین فاصله را با دولین شمارهٔ یک دارد و ضریب ادغام آنها $D_{۱,۳} = ۳.۱۰۸$ می‌باشد.

د) گروه چهارم: گروه شماره چهار مربوط به دولین دریژچال (دولین شمارهٔ ۲۱) است. این دولین به‌سبب فاصلهٔ زیادی که با دولین‌های منطقه ازلحاظ ویژگی‌های مورفومتریک دارد، به‌تنهایی یک دسته را تشکیل داده است. دولین دریژچال بیشترین پیرامون و قطر بزرگ را دربین دولین‌های دیگر دارد؛ ازنظر مساحت و قطر کوچک در رتبهٔ دوم قرار دارد و ازلحاظ ارتفاع از سطح دریا نیز در سطح نسبتاً بالایی قرار می‌گیرد. دولین دریژچال نزدیک‌ترین فاصله را با دولین شمارهٔ یک دارد. ضریب ادغام برای این دولین‌ها $D_{۱,۲۱} = ٤.۰۸٤$ است که بعد از دولین سنگ صخره‌ای، بیشترین ضریب در بین دولین‌های منطقه می‌باشد.

ه) گروه پنجم: پنجمین گروه مربوط بـه دولـین سـنگ صـخره‌ای (دولـین شـمارهٔ شـانزده) می‌باشد. این دولین به‌دلیل اختلاف بسیار زیادی که ازلحاظ متغیرهای اندازه‌گیری‌شده با دیگـر دولین‌ها دارد، به‌تنهایی یـک دسـته را تـشکیل داده اسـت. دولـین سـنگ صـخره‌ای بیـشترین مساحت، عمق، قطر کوچک و ارتفاع از سطح در یا را دربین دولین‌هـای دیگـر دارد، ازلحـاظ پیرامون و قطر بزرگ، دومین دولین منطقه محسوب می‌شود و ازلحاظ شـاخص دایـره‌واری در حد بالایی قرار می‌گیرد. نزدیک‌تریی همیسایه برای این دولین، دولـین شـمارهٔ یـک و ضـریب ادغام این‌دو $D_{١,١٦} = ٦.٣٨٥$ است که بزرگ‌ترین ضریب ادغـام در محاسـبات بـین دولـین‌هـای منطقه می‌باشد.

مرحله‌های خوشه‌بندی و ضریب ادغام برای دیگر دولین‌های منطقه، به‌صـورت تراکمـی در جدول (١) نشان داده شده است. در این جدول، ردیف اول مراحل خوشـه‌بنـدی دولـین‌هـا را نشان می‌دهد که در ٣٥ مرحله صورت گرفته است. در هر مرحله از خوشه‌بندی، دو دولینی که کمترین فاصله یا تفاوت را دارند، با هم ترکیب می‌شوند و در یک دسته قرار می‌گیرند. سـتون دوم جدول، ترکیب تراکمی دولین‌ها را نشان می‌دهد. این ستون از ترکیب خوشهٔ اول و خوشهٔ دوم به‌وجود آمده که نزدیکی خاصی به هم دارند. در ردیف سوم جدول، ضریب ادغـام بـرای هر مرحله از ترکیب دولین‌ها نشان داده شده است. این ضریب‌ها بـا اسـتفاده از فرمـول پیونـد تکی یا نزدیک‌ترین همسایه محاسبه شده‌اند. ستون چهارم جدول، مرحلهٔ تکرار ترکیب دولـین خوشهٔ اول آن ردیف را در مرحله‌های ترکیبی بعدی نشان می‌دهد. براساس این رقم‌هامشخص می‌شود که خوشه‌های عضو این دسته در کدام‌یک از دیگر مراحل خوشه‌بندی تکرار می‌شوند.

٣-٤- تحلیل نمودار شاخه درختی و نقشهٔ خوشه‌بندی دولین‌ها

نمودار شاخه درختی (شکل ٣) که از محاسبهٔ داده‌های اندازه‌گیری‌شـدهٔ متغیرهـای مربـوط بـه دولین‌ها تهیه شده است، دولین‌ها را در پنج گروه یا دسته خوشـه‌بنـدی مـی‌کنـد. هـرکـدام از دولین‌های ٣، ٥، ١٦ و ٢١ به‌تنهایی یک دسته یا گروه را به‌وجود آورده و همهٔ دولین‌های دیگر نیز در یک گروه قرار گرفته‌اند.

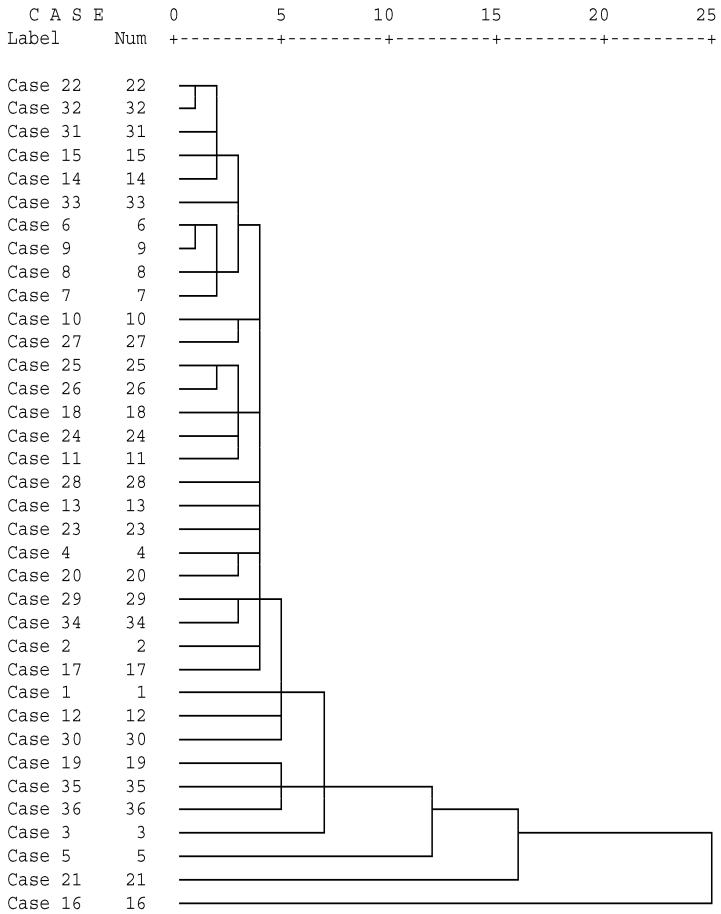
جدول ۱ ترکیب تراکمی و مرحله‌های خوشه‌بندی دولین‌ها در منطقهٔ تخت‌سلیمان. نتایج این جدول از داده‌های حاصل از بررسی میدانی دولین‌ها و به‌وسیلهٔ محاسبات آماری به‌دست آمده است.

تکرار در مرحله‌های بعدی	ضریب ادغام	ترکیب خوشه‌ها		مرحله‌های خوشه‌بندی
		خوشهٔ دوم	خوشهٔ اول	
۳	/۳٦۹	۳۲	۲۲	۱
٤	/٥۷۸	۹	٦	۲
٥	/٦۷۰	۳۱	۲۲	۳
٦	/۷٥۷	۸	٦	٤
۸	/۷۷٦	۲۲	۱٥	٥
۱٦	/۸۳۷	۷	٦	٦
۱۰	/۸٤۳	۲٦	۲٥	۷
۱٥	/۸٤۸	۱٥	۱٤	۸
۱۰	/۸۷۳	۲٤	۱۸	۹
۱٤	/۸۷۷	۲٥	۱۸	۱۰
۱۸	/۹۱٤	۲۰	٤	۱۱
۲۰	۱/۰۱٦	۲۷	۱۰	۱۲
۱۸	۱/۰۱۸	۳٤	۱۹	۱۳
۱۷	۱/۰۲۰	۱۸	۱۱	۱٤
۱٦	۱/۰٥٦	۳۳	۱٤	۱٥
۲۱	۱/۰٥۹	۱٤	٦	۱٦
۲۰	۱/۱۱۲	۲۸	۱۱	۱۷
۱۹	۱/۱۲٤	۲۹	٤	۱۸
۲٤	۱/۱۷٤	٤	۲	۱۹
۲۱	۱/۲۲۷	۱۱	۱۰	۲۰
۲۲	۱/۲۳۰	۱۰	٦	۲۱
۲۳	۱/۲۳۱	۱۳	٦	۲۲
۲٤	۱/۲۳٥	۲۳	٦	۲۳
۲٥	۱/۲٥٥	٦	۲	۲٤
۲۸	۱/۲٦۸	۱۷	۲	۲٥
۲۷	۱/۳۳۸	۳٥	۱۹	۲٦
۳۱	۱/۳٦٥	۳٦	۱۹	۲۷
۲۹	۱/۳۹۲	۲	۱	۲۸
۳۰	۱/٤۱۳	۱۲	۱	۲۹
۳۱	۱/٤۷٥	۳۰	۱	۳۰
۳۲	۱/۹۲۹	۱۹	۱	۳۱
۳۳	۱/۹٤۰	۳	۱	۳۲
۳٤	۳/۱۰۸	٥	۱	۳۳
۳٥	٤/۰۸٤	۲۱	۱	۳٤
۰	٦/۳۸٥	۱٦	۱	۳٥

همچنان‌که در نمودار(شکل ۳) مشخص است، اولین زیردستهٔ گروه اول به‌وسیلهٔ دولین‌های شمارهٔ ۲۲ و ۳۲ به‌وجود آمده است که در قسمت بالای دندروگرام جای گرفته‌اند. دولین‌های شمارهٔ ۳۱، ۱۵ و ١٤ نیز به‌صورت مستقیم به آنها پیوند خورده‌اند. زیردستهٔ دوم را دولین‌های شمارهٔ شش و نه به‌وجود آورده‌اند و دولین‌های هفت و هشت به‌علت کمترین فاصله به آنها متصل شده‌اند.

زیردستهٔ سوم در گروه اول مربوط به دولین‌های شمارهٔ ۲۵ و ٢٦ می‌باشد که دولین‌های ۱۸، ٢٦ و ۱۱ را به خود پیوند زده‌اند. دولین شمارهٔ یک که زیرمجموعهٔ گروه اول می‌باشد، به‌صورت یک رابط بین دولین‌های گروه اول و دولین‌های گروه دوم، سوم، چهارم و پنجم قرار گرفته است. دولین شمارهٔ سه (دولین گسلی) که در قسمت پایین نمودار جای گرفته، به‌تنهایی گروه دوم دسته‌بندی دولین‌ها را شامل می‌شود. این دولین به‌وسیلهٔ دولین شمارهٔ یک به گروه اول متصل می‌شود.

دولین شماره پنج (دولین هلالی‌شکل) به‌صورت یک گروه مستقل در انتهای دندروگرام قرار گرفته و گروه سوم این دسته‌بندی را شامل می‌شود. این دولین به‌وسیلهٔ دولین شمارهٔ یک به گروه اول متصل می‌شود. دولین شمارهٔ ۲۱ (دولین دریژچال) نیز در قسمت پایین نمودار و پیش از دولین سنگ صخره‌ای قرار گرفته است. این دولین به‌صورت یک گروه مستقل تشکیل شده و گروه چهارم این خوشه‌بندی را شامل می‌شود. دولین شمارهٔ شانزده (دولین سنگ صخره ای) که بزرگ‌ترین دولین منطقه است، در انتهای نمودار به‌صورت یک گروه مستقل قرار گرفته و گروه پنجم را در خوشه‌بندی دولین‌ها به خود اختصاص داده است.



شکل ۳ نمودار شاخه درختی دولین‌های محدودهٔ مورد مطالعه به‌روش تحلیل خوشه‌ای، پیوند تکی.

در نمودار شاخه درختی بالا پنج گروه وجود دارد که دربین آنها فقط دولین‌های گروه اول دارای شاخه و زیردسته می‌باشند. دولین‌های گروه دوم، سوم، چهارم و پنجم، شاخه یا زیردسته‌ای نداشته و به‌علت فاصلهٔ مورفومتریک زیادی که با دیگر دولین‌ها دارند، هرکدام به‌صورت یک گروه مستقل تشکیل شده‌اند.

نتایج داده‌های جدول یک و نمودار شاخه درختی، درقالب شکل چهار (نقشه دسته‌بندی دولین‌ها به‌روش تحلیل خوشه‌ای) نمایش داده می‌شود. گروه‌های پنجگانهٔ دولین‌ها که در نمودار پیشین به‌طور مشخصی نمایان هستند، در این نقشه به‌صورت جداگانه دسته‌بندی شده‌اند. برای تطبیق این نقشه با نمودار و داده‌های حاصل از جدول یک، شمارهٔ هرکدام از دولین‌ها ذکر شده است. همچنان‌که مشاهده می‌شود، دولین شمارهٔ شانزده که در پایین‌ترین بخش نمودار قرار گرفته، در قسمت جنوب شرقی منطقه به‌وجود آمده و در مقایسه با دولین‌های دیگر به‌صورت دورافتاده‌ای درآمده است. این دولین بزرگ‌ترین، عمیق‌ترین و بلندترین دولین منطقه بوده و وضعیت تشکیل متفاوتی در مقایسه با دولین‌های دیگر دارد. دولین شمارهٔ ٢١ نیز در مرکز دولین‌ها به‌صورت کاملا مشخص، نمایان است. در حال حاضر نیز این دولین وضع فرسایشی متفاوتی را در مقایسه، دولین‌های دیگر طی می‌کند.

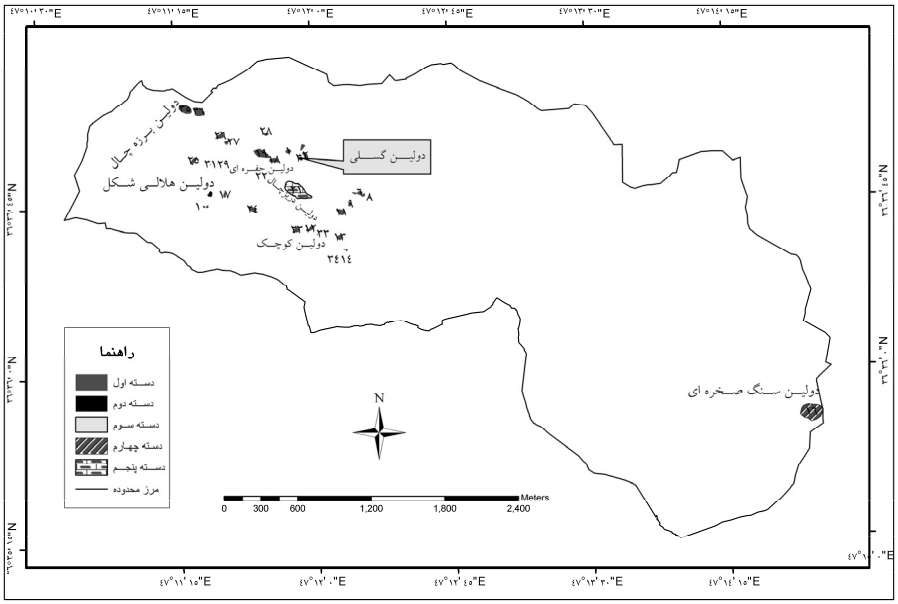
۴-۴- نقش عوامل زمین‌ساختی و فرسایشی درخوشه‌بندی دولین‌ها

با توجه نتایج تحلیل خوشه‌ای و ترسیم نقشهٔ دسته‌بندی دولین‌ها می‌توان گفت که این دسته‌بندی تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل زمین‌ساختی و فرسایشی قرار گرفته است. ناحیهٔ مورد بررسی، قسمت کوچکی از منطقهٔ تخت‌سلیمان را دربر گرفته و کم‌وسعت می‌باشد. در پهنه‌های کم‌وسعت، فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی به‌صورت یکسان عمل می‌کند و تأثیر همسانی در بخش‌های مختلف به جا می‌گذارد؛ اما می‌توان گفت در این پهنه‌های کوچک و کم‌وسعت نیز تا حدودی بین شدت و تداوم این فعالیت‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. در این بررسی کوشیده‌ایم بین تحلیل خوشه‌ای دولین‌های منطقه و میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی آنها رابطه‌ای برقرار کنیم.

به‌طور کلی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی در محدودهٔ مورد مطالعه را می‌توان درقالب دو روند عمومی و اختصاصی دسته‌بندی کرد. در اینجا هرکدام از این عوامل را بررسی می‌کنیم:

الف) دولین‌هایی که از روند عمومی فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرسایشی منطقه پیروی می‌کنند: این دسته، دولین‌های گروه اول را دربر می‌گیرد که به‌طور کلی، تحت تأثیر فعالیت گسل روراندهٔ قینرجه - چهارتاق و دیگر گسل‌های اصلی منطقه قرار گرفته‌اند. گسل‌های اصلی، فرعی و پنهان دیگر نیز به‌نوعی روند شکل‌گیری دولین‌های گروه اول را تعیین کرده‌اند. شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی برروی این دولین‌ها تقریباً همسان عمل کرده و تفاوت‌های مورفومتریک چندانی در آنها به‌وجود نیاورده است. تعداد ۳۲ دولینی که در گروه اول این دسته‌بندی جای گرفته‌اند، به‌نحوی از این روند عمومی پیروی می‌کنند. فرایندهای فرسایشی منطقه نیز نقش تقریبا یکسانی در تغییر شکل و تحول این دولین‌ها داشته است، این فرایندها نتوانسته‌اند به‌شدت و گستردگی چهار گروه دیگر، موجب تغییر شکل و تحول دولین‌ها شوند. روند زمین‌ساختی – فرسایشی دولین‌های گروه اول به‌صورت همسان، یکنواخت و آهسته عمل کرده و این ویژگی توانسته است یک نوع همگونی را دربین آنها به‌وجود بیاورد.

ب) دولین‌هایی که علاوه بر روند عمومی فعالیت‌های زمین‌ساختی – فرسایشی، به‌نحوی تحت تأثیر موقعیت مکانی و پدیده‌های محلی نیر قرار گرفته‌اند: این پدیده‌های محلی از یک طرف، در وضع شکل‌گیری آنها تأثیر گذاشته و موجب پیدایش دولین‌های ویژه‌ای مانند دولین سنگ صخره‌ای شده‌اند که مساحت، پیرامون و عمق زیادی دارند؛ و از طرفی دیگر، در فرایند فرسایشی دولین‌ها تأثیر گذاشته و تغییر شکل و تحول گسترده‌ای را در آنها به‌وجود آورده‌اند. نزدیکی به گسل‌ها از عوامل دیگری است که پیدایش و دگریختی دولین‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در دسته‌بندی آنها نقش داشته است. دولین‌های گروه دوم، سوم، چهارم و پنجم در این دسته قرار می‌گیرند. در اینجا به‌صورت خلاصه، نقش پدیده‌های محلی را در دسته‌بندی دولین‌های مجموعهٔ دوم بررسی می‌کنیم.



شکل ۴ نقشهٔ دسته‌بندی دولین‌ها در منطقهٔ تخت‌سلیمان براساس داده‌های حاصل از تحلیل خوشه‌ای به‌روش پیوند تکی.

دولین شمارهٔ شانزده (دولین سنگ صخره‌ای) که به‌تنهایی یک گروه را تشکیل داده است، ازلحاظ مساحت، عمق، ارتفاع و قطر تفاوت بسیار زیادی با دولین‌های دیگر دارد. ارتفاع این دولین از سطح دریا دوهزار و ۳٤۰ متر است که با دولین دوم بعد از خود ۱۵۵ متر و با کم‌ارتفاع‌ترین دولین منطقه، ۲۱۲ متر اختلاف دارد. این ارتفاع به‌نحوی در دسته‌بندی دولین تأثیر گذاشته و همچنین زمینهٔ تحول و گسترش آن را نیز فراهم کرده است. میزان انحلال و فرایند کارستی شدن در دمای پایین و سرد، بیشتر از دمای بالا صورت می‌گیرد. به‌نسبت افزایش ارتفاع، دمای هوا کاهش می‌یابد. با توجه به میزان افت دمای اندازه‌گیری‌شده به‌وسیلهٔ ایستگاه‌های هواشناسی، به‌ازای هر هزار متر ارتفاع، ٤/۵ درجهٔ سانتی‌گراد از دمای هوا در منطقه کاسته می‌شود (قدری، ۱۳۸۲: ۱۲۰). دمای سطح این دولین در مقایسه با زمین‌های اطراف، شانزده درجهٔ سانتی‌گراد کمتر می‌باشد. به‌ازای هر یک درجه افزایش دما، حجم گاز کربنیک به‌نسبت ۱/٦ میلی‌گرم در لیتر کم می‌شود (ملکی، ۱۳۸۰: ٢٤)؛ بنابراین هرچه دمای

آب سردتر باشد، میزان گاز کربنیک بیشتری در آن حل می‌شود و گاز کربنیک هم میزان انحلال سنگ‌های آهکی را شدت می‌بخشد. وسعت، عمق و قطر زیاد این دولین را می‌توان با ارتفاع زیاد آن نسبت به دیگر دولین‌ها مرتبط دانست.

موقعیت نسبی گسل‌ها از عوامل دیگری است که این دولین را تحت تأثیر قرار داده است. دو گسل، یکی با فاصلهٔ تقریبا۳۵۰ متری در شمال و دیگری با فاصلهٔ حدود ۲۷۰ متری، در جنوب این دولین قرار دارند. این گسل‌ها در شکل‌گیری و تحول دولین سنگ صخره‌ای نقش مهمی داشته‌اند. عامل مهم دیگری که عمق و مساحت زیاد دولین سنگ صخره‌ای را موجب شده است، ضخامت لایهٔ آهکی در این بخش از منطقه می‌باشد. درصورت فراهم‌شدن عوامل انحلال و فرسایش، عمق و وسعت پدیده‌های کارستی به‌ویژه دولین‌ها در سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه بیشتر خواهد بود.

دولین شمارهٔ ۲۱ (دولین دریژچال) به‌علت پیرامون، مساحت و نسبت کشیدگی زیادی که دارد، گروه چهارم از دسته‌بندی خوشه‌ای دولین‌ها را دارا می‌باشد. این دولین به‌صورت کاملا مشخص تحت تأثیر چند شکستگی زمین‌ساختی و گسل پنهان لابر قرار گرفته است. گسل لابر درست از روی دولین و از مسیر قطر بزرگ آن می‌گذرد. احتمال دارد آغار مرحله‌های انحلال و شکل‌گیری دولین در مسیر این گسل روی داده باشد. در سطح درونی این دولین، چند شکستگی وجود دارد که محل تمرکز و جذب آب به بخش‌های زیرین زمین هستند. یکی از شکستگی‌ها که در جهت جنوب شرق – شمال غرب امتداد یافته، ۲٤۰ متر طول دارد.

ناهمواری‌های کارست از عمل‌کرد نظام‌های دوگانهٔ هیدرولوژیکی و ژئوشیمیایی ناشی می‌شوند. مواد انحلالی به‌وسیلهٔ جریان‌های سطحی از پهنهٔ آهکی خارج می‌شود و یک چالهٔ انحلالی به‌وجود می‌آید. تمرکز انحلال و جابجایی مواد فرسایش‌یافته از محدودهٔ دولین دریژچال، موجب گستردگی و تحول این دولین شده است. مواد انحلال‌یافته به دو صورت از سطح این دولین به بیرون جابجا شده‌اند: یکی به‌وسیلهٔ جریان‌های سطحی که به‌صورت افقی و درجهت شیب نقشه‌برداری انجام می‌شود؛ بخش دیگر از آب‌های ورودی به دولین دریژچال ازطریق فروچاله‌های کف آن به عمق زمین نفوذ می‌کند. در این روند، اشکال کارستی موجب افزایش نفوذپذیری و تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی می‌شوند (محمودی و ملکی، ۱۳۸۰: ۱۰۳). در

کف این دولین، هشت فروچاله وجود دارد که آب‌های جمع‌آوری‌شده را به بخش زیرین جابجا می‌کنند (شکل ٥).

شکل ٥ دولین دریژچال و فروچاله‌های کف آن. جنوب غربی مخروط آهکی زندان سلیمان.

در بیشتر موارد، دولین‌ها درطول گسل‌ها و یا نزدیک به آنها یافت می‌شوند (فورد و ویلیامز، ١٩٨٩: ٣٦). دولین شمارهٔ پنج (دولین هلالی‌شکل) که به‌تنهایی گروه سوم این خوشه‌بندی را به خود اختصاص داده، در قسمت جنوب غربی منطقه و در مسیر یک گسل پنهان تشکیل شده است. دولین هلالی‌شکل دو ویژگی بارز دارد: یکی اینکه به‌صورت یک

هلال یا یک آمفی‌تاتر گسترش یافته است؛ دیگر اینکه به‌صورت نامتقارن در سطح زمین ظاهر شده است. با توجه به آنکه تعدادی از دولین‌ها درطول گسل‌ها و به‌صورت ردیف‌شده‌ای تشکیل می‌شوند (تویدال و بورن، ۲۰۰۰: ۹۰)، شکستگی‌ای که این دولین بر لبهٔ آن به‌وجود آمده است، مسیر طولی مستقیمی ندارد. این شکستگی در سطح زمین به‌صورت یک منحنی گسترش یافته است.

دولین شمارهٔ سه (دولین گسلی) که گروه دوم این دسته‌بندی را به خود اختصاص داده، در لبهٔ یک پرتگاه گسلی و در قسمت شمال غرب مخروط آهکی زندان سلیمان به‌وجود آمده است (شکل ٤). اختلاف ارتفاع فرادیواره و فرودیوارهٔ گسل موجب شده که این دولین، شکلی نامتقارن به خود بگیرد. کنارهٔ جنوب غربی این دولین به‌صورت یک پرتگاه می‌باشد که بر فرودیوارهٔ گسل منطبق است و ٦/٥ متر عمق دارد؛ در حالی که کنارهٔ شمال شرقی آن که ارتفاع و شیب کمتری دارد، بر فرادیواره منطبق می‌باشد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

درنتیجهٔ تحلیل خوشه‌ای دولین‌ها در منطقهٔ تخت‌سلیمان مشخص می‌شود که تفاوت در ویژگی‌های مورفومتریک، موجب پیدایش پنج گروه اصلی از دولین‌ها شده است. تقسیم‌بندی دولین ها بین این پنج گروه ازلحاظ ریاضی به‌شکل ناهمگون صورت گرفته است؛ به‌طوری که گروه اول، ۳۲ دولین را دربرگرفته و هرکدام از گروه‌های چهارگانهٔ دیگر به‌تنهایی یک گروه را شامل می‌شوند. این گروه‌بندی به تفاوت بسیار زیاد متغیرهای اندازه‌گیری‌شده بین گروه اول با گروه‌های دیگر اشاره می‌کند. مقیاس ترکیب فاصله‌ای در نمودار شاخه درختی، این اختلاف زیاد را به‌خوبی نشان می‌دهد. ناهمگون‌بودن اعضای گروه‌های پنجگانه‌ای که در نمودار شاخه درختی دیده می‌شود، با عوامل زمین‌ساختی – فرسایشی که در شکل‌گیری و تغییر شکل دولین‌ها مؤثر بوده‌اند، ارتباط دارد. دولین‌های شمارهٔ ١٦ و ٢١ بیشتر از دیگر دولین‌ها تحت تأثیر شدت و گستردگی این فرایندها قرار داشته‌اند. دولین‌های شمارهٔ سه و پنج دراثر

قرارگرفتن در لبهٔ پرتگاه‌های گسلی، ویژگی متفاوتی با دیگر دولین‌ها پیدا کرده و هرکدام در یک گروه جداگانه قرار گرفته‌اند.

دسته‌بندی خوشه‌ای دولین‌ها با استفاده از داده‌های کمی و متغیرهای اندازه‌گیری‌شده صورت گرفته و نتایج عددی و گرافیکی به‌دست می‌دهد. اما این نتایج به‌صورت عملی، به وضع پیدایش، چگونگی تحول و تغییر شکل، نقش عوامل زمین‌ساختی – فرسایشی و نقش پدیده‌های محلی در اندازه، عمق و شکل دولین‌ها اشاره می‌کند. دولین هلالی‌شکل (دولین شمارهٔ پنج) دارای مساحت، پیرامون و عمق کمی است و ازلحاظ این ویژگی‌ها با دولین‌های گروه اول نزدیک می‌باشد؛ اما در این گروه قرار نگرفته و به‌صورت جداگانه در گروه سه جای دارد. قرارگیری در لبهٔ پرتگاهی گسل و پیروی قطر بزرگ آن از مسیر گسترش گسل موجب شده این دولین ویژگی کاملاً متفاوتی پیدا کند. بیشترین نسبت کشیدگی و کمترین ضریب دایره‌واری دولین‌های منطقه، مربوط به گسل هلالی‌شکل می‌باشد؛ پس درمیان دولین‌های منطقه، نقش برجسته‌ای دارد؛ به همین دلیل، در نمودار شاخه درختی و در جدول ترکیب تراکمی، وضع خاصی پیدا کرده است. با درنظر گرفتن دولین هلالی‌شکل و دولین گسلی، می‌توان نتیجه گرفت که درنتیجهٔ نزدیک‌شدن به گسل‌ها در منطقهٔ عمق، نسبت کشیدگی و قطر دولین‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع در سطح منطقه، مساحت، پیرامون، قطر بزرگ، قطر کوچک و عمق دولین‌ها افزایش پیدا می‌کند. این مسئله دربارهٔ دولین سنگ صخره‌ای کاملا مشهود است. قرارگیری دربین دو گسل و مسیر رواناب سطحی، تحول و فرسایش‌پذیری دولین‌ها را افزایش می‌دهد، به همین دلیل، در تحلیل خوشه‌ای دولین دریژچال به‌صورت جداگانه دسته‌بندی شده است. در تحلیل خوشه‌ای، دولین‌های شمارهٔ ٣، ٥، ١٦ و ٢١ به این دلیل در گروه‌های جداگانه‌ای دسته‌بندی شده‌اند که ازلحاظ ویژگی‌های مورفومتریک، وضع پیدایش و نحوهٔ تحول با دولین‌های دیگر، فاصلهٔ مقیاسی زیادی دارند و ما این تفاوت را به‌صورت عملی در چشم‌انداز کارستی منطقه می‌بینیم.

با توجه به اینکه ژئومورفولوژی، گرایشی علمی ترکیبی و نظام‌مند می‌باشد، استفاده از روش‌های کمی و تحلیل‌های آماری می‌تواند، موجب قانونمندی و کاربردی شدن این گرایش شود. با استفاده از این روش‌ها می‌توان ویژگی‌های کیفی پدیده‌های ژئومورفولوژی را به‌صورت نتایج عددی قابل برآورد، به‌دست داد.

۶- منابع

- باباخانی، علیرضا و محمدرضا امینی چهرق (۱۳۷۰). «چشمه‌های تراورتن‌ساز تکاب». ***نشریهٔ علوم زمین***. ش ۲ صص ۵۰ – ۵۹.
- جنیدی، محمدجواد (۱۳٤۸). ***چشمه‌های معدنی ایران***. جلد اول. تبریز: دانشگاه تبریز.
- دورنکامپ و کینگ، استرالر، گاردینر و داکومب، و ن تی چو (۱۳۷۰). ***تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی***. ترجمهٔ جمشید فریفته، تهران: دانشگاه تهران.
- شرکت خدماتی مهندسی آب و خاک کشور، دفتر مطالعاتی البرز (۱۳۸۰). ***مطالعهٔ مرحلهٔ اول سد مخزنی تخت سلیمان***. جلد دوم. گزارش زمین‌شناسی. سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی.
- سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی (۱۳۸٦). ***گزارش نمونه‌برداری از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸٦***.
- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۰). ***نقشهٔ زمین‌شناسی تخت‌سلیمان***، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- عارف، سعید (۱۳۷۲). ***مطالعات شناسایی منابع آب‌گرم منطقهٔ تخت‌سلیمان***. گزارش سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- فرشادفر، عزت‌الله (۱۳۸٤). ***اصول و روش‌های آماری چندمتغیره***، انتشارات طاق بستان.
- فون دراوستن، هانس هنینگ و ناومان، ردولف (۱۳۷۳)، ***تخت سلیمان***، ترجمهٔ فرامرز نجد سمیعی. سازمان میراث فرهنگی کشور.
- قدری، محمدرضا (۱۳۸۲). ***پژوهش‌های ژئومورفولوژی منطقهٔ تخت‌سلیمان با تأکید بر ویژگی سنگ‌های آهکی***. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

- کلانتری، خلیل (۱۳۸۲). ***پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی – اقتصادی***. مهندسین مشاور طرح و منظر.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۲). «شناسایی رژیم‌های بارش ایران به‌روش تحلیل خوشه‌ای». ***مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی***. ش ۵۲. صص ٤٧ – ۵۹.
- ملکی، امجد (۱۳۸۰). ***تحول اشکال کارستی و نقش آن در شناسایی منابع طبیعی با تأکید بر منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های زاگرس (بیستون - پرآو)***. پایان‌نامهٔ دورهٔ دکتری. دانشگاه تهران.
- محمودی، فرج‌الله و امجد ملکی (۱۳۸۰). «تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های بیستون – پر آو (کرمانشاه)». ***نشریهٔ پژوهش‌های جغرافیایی***. ش ٤٠. صص ۹۳ تا ۱۰۵.
- مقیمی، ابراهیم و فرج‌الله محمودی (۱۳۸۳). ***روش تحقیق درجغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)***. نشر قومس.

- Alavi Naini, M. (1982). *Geology of Tekab – Saein Qaleh 1:250000*, Geological Survey of Iran.
- Brinkmann. R, M Parise. D Dye. D. (2008). «Sinkhole distribution acountry, Tampa Bay, Florida». *Engineering Geology 99 (2008)*. 169-184.
- Bruno.E, D, M. Calcaterra and M Parise. (2008). «Development and Morphometry of Sinkholes in Coastal Plains of Apulia, Southern Italy. Preliminary sinkhole Susceptibility Assessment». *Engineering Geology 99 (2008)***.** 198–209.
- Ford, Derek & Paul Williams (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Unwin Human. Ltd First Publish.

- Selby, M. J (1985). *Earth Changing Surface an Introduction to Geomorphology*. Clarnbon Press Oxford.
- Twidale, C.R & J.A Bourne (2000). «Dolins of the Pleistocene Dune Calcarenite Terrain of Western Eyre Peninsula, South Austoralia: A Reflection of Underprinting? ». *Geomorphology* 33 (2000).89-105.