

مورفولوژی و مورفومتری انواع دهانه‌های آتشفشانی در مخروط آتشفشانی سهند

صیاد اصغری سراسکانرود - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ارومیه
وحید محمدنژاد آروق* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ارومیه
مهدی بلواسی - کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۱/۱۷

چکیده

مطالعات مورفولوژیکی و مورفومتریکی مخروط‌های آتشفشانی، ابزار بسیار مناسبی برای بدست آوردن داده‌های نسبی از ویژگی‌های مخروط‌ها می‌باشد. این تحقیق در پی آن است که با شناسایی انواع دهانه‌های آتشفشانی مخروط سهند، عوامل مؤثر بر ایجاد اشکال متفاوت دهانه‌های آتشفشانی را مورد بررسی قرار دهد. جهت رسیدن به این هدف، از تصاویر ماهواره-ای لندست، تصاویر ماهواره اسپات (نرم‌افزار Google earth) و تصاویر SRTM استفاده شده است. همچنین جهت بررسی شرایط زمین‌شناسی، تکتونیکی و سنگ‌شناسی نیز از نقشه-های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. سپس با ایجاد یک مدل تحلیلی ارتباط لایه‌های مختلف با مورفومتری دهانه‌های آتشفشانی تحلیل گردید و دهانه‌های موجود در کوهستان سهند به دهانه‌های دایره‌ای، متغیر، شکاف‌دار و کشیده طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان می‌دهد که گسل‌ها و فراوانی آنها بر روی شکل دهانه‌ها تأثیر گذاشته است. با وجود همگنی تقریبی هر چهار نوع دهانه از لحاظ سنگ‌شناسی، می‌توان نتیجه گرفت که خطوط گسلی در به هم زدن شکل دهانه‌ها مؤثر واقع شده‌اند. به این صورت که جایی که تعداد گسل بیشتری داشته، شکل دهانه از حالت ایدئال دایره‌ای خارج شده و به اشکال مختلف درآمده است. سنگ‌شناسی غالب در دهانه‌ها در سهند بیشتر سنگ‌های آندزیت تا داسیت است و سایر سنگ‌ها با درصد متفاوتی ظاهر شده‌اند. همچنین در ارتباط توپوگرافی و دهانه‌ها، بیشترین ارتفاع میانگین ۳۰۶۰/۸۷ متر مربوط به دهانه‌های شکاف‌دار و کم‌ترین ارتفاع میانگین، ۲۴۱۲/۴۰ متر، مربوط به دهانه‌های دایره‌ای است.

واژگان کلیدی: دهانه‌های آتشفشانی، مورفولوژی و مورفومتری، مدل تحلیلی، توده آتشفشانی سهند.

مقدمه

ایران در کمربند چین خورده آلپ- هیمالیا و در یک ناحیه فشارشی ناشی از همگرایی دو صفحه عربی و اوراسیا قرار دارد. همگرایی این دو صفحه، سبب دگرشکلی ناحیه‌ای پوسته قاره‌ای به مساحت تقریبی ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۴: ۱). منطقه آذربایجان به عنوان بخشی از نوار ماگمایی البرز باختری - آذربایجان، در شمال باختر ایران و در زون برخوردی میان صفحه عربی - اوراسیا قرار دارد. پس از برخورد دو صفحه عربی و اوراسیا و رخداد ستبرشدگی پوسته‌ای و بالاآمدگی، دور جدیدی از فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه به وقوع پیوسته که احتمالاً سنی در حدود ۱۲ میلیون سال تا ۲/۸ میلیون سال دارد (کسکین و همکاران^۱، ۱۹۹۸: ۳۵۸). ترکیب گدازه‌های سهند از داسیت تا ریوداسیت و ریولیت تغییر می‌کند که داسیت‌ها دارای فراوانی بیشتری می‌باشند (خیام، ۱۳۶۹: ۲۰۵). این سنگ‌ها به صورت گنبد‌های ولکانیک و انواع دیگر سنگ‌های آتشفشانی در محدوده شرق دریاچه ارومیه و جنوب تبریز در استان آذربایجان شرقی برونزد دارد. براساس مطالعات انجام شده بر روی سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری سهند (آل کثیر، ۱۳۷۴: ۴۱ و امامی، ۱۳۷۹: ۱۸) مراکز آتشفشانی سهند از میوسن فوقانی تا اواخر پلیستوسن بطور متناوب فعالیت می‌کرده است.

مخروط‌های آتشفشانی ساده‌ترین و مشهورترین پدیده‌های آتشفشانی هستند (وود^۲، ۱۹۸۰: ۳۸۸). مخروط‌های آتشفشانی جزء پدیده‌های زمین‌شناختی هستند که در رابطه با نحوه تشکیل، محدوده و فرایندهای فرسایشی مؤثر بر تخریب و صاف‌شدگی آنها داده‌های کافی وجود دارد. اشکال آتشفشانی همچون مخروط‌های آتشفشانی، فرصت بسیار مناسبی را برای پایش فرایندهایی پدید می‌آورد که باعث تغییر و تحول چهره نواحی آتشفشانی را شده‌اند (اینبار و همکاران^۳، ۲۰۱۱: ۳۰۳). مطالعات مورفولوژیکی و مورفومتریکی مخروط‌های آتشفشانی ثابت کرده است که ابزار بسیار مناسبی برای به دست آوردن داده‌های نسبی از ویژگی‌های مخروط‌ها می‌باشد (اینبار و ریسو^۴، ۲۰۰۱: ۳۲۲، پارتوت^۵، ۲۰۰۷: ۲۴۸). با استفاده از پارامترهایی همچون ارتفاع، شعاع، شیب و روابط بین این پارامترها، می‌توان ویژگی‌های مورفومتریکی این اشکال را بررسی کرد (هوپر و شریدن^۶، ۱۹۹۸: ۲۴۳). تکامل اشکال در طول زمان نقطه نقل مطالعات زمین‌شناسی، دیرینه جغرافیا و ژئومورفولوژی است. مطالعات مورفومتریکی، مورفولوژیکی همراه با فن‌آوری سنجش از دور و روش‌های سن‌یابی، ابزار بسیار خوبی برای درک فرایندها و نحوه شکل‌گیری این اشکال خواهد بود (تورت^۷، ۱۹۹۹: ۹۵ و اینبار و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۰۳).

محققان مختلفی، مورفولوژی و مورفومتری مخروط‌های آتشفشانی را مورد بررسی قرار داده‌اند که از آن جمله می‌توان به پروتر^۸ (۱۹۷۲: ۳۶۰۷) مورفولوژی و ویژگی‌های مورفومتریکی مخروط آتشفشان مائوناکی^۹ در هاوایی را مورد مطالعه قرار داد در این مطالعه اندازه مخروط‌های آتشفشانی مورد بررسی قرار گرفت. وود (b، ۱۹۸۰: ۱۳۷) در مطالعه مورفومتری مخروط‌های آتشفشانی از شاخص‌های ارتفاع مخروط، پهنای مخروط، نسبت بین ارتفاع به پهنای مخروط و زاویه شیب را استفاده کرد، این محقق خاطر نشان کرد که فاکتورهای ذکر شده از مهم‌ترین شاخص‌ها برای مطالعه

1 Keskin et al

2 Wood

3 Inbar et al

4 Inbar and risso

5 Parrot

6 Hooper and Sheridan

7 Thouret

8 Porter

9Mauna Kea

مخروط آتشفشانی جهت بررسی میزان تکامل مخروط می‌باشد. هاسانکا و کارمیچیل^۱ (۱۹۸۵: ۱۰۴) مخروط‌های آتشفشانی مکزیکو شمالی را مورد بررسی قرار دادند در این تحقیق سن مخروط‌ها، حجم، توزیع فضایی و میزان خروج ماگمای مخروط‌ها مورد بررسی قرار گرفت، این محققین تأکید کردند که مطالعه مخروط‌های آتشفشانی ابزار بسیار سودمندی برای شناسایی ویژگی‌های مورفولوژیکی نواحی آتشفشانی خواهد بود. هوپر^۲ (۱۹۹۵: ۳۲۱)، یک مدل کامپیوتری برای شبیه سازی میزان تخریب مخروط‌های آتشفشانی طراحی کرد. اینبار و ریسو (۲۰۰۱: ۳۲۱) مخروط‌های آتشفشانی منطقه پایون ماترو^۳ در جنوب مرکزی آند را مورد مطالعه قرار دادند در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی ویژگی‌های مخروط‌های آتشفشانی را بررسی کرده سپس عوامل مؤثر بر میزان تخریب و تکامل شکل مخروط‌ها را تحت تأثیر فاکتورهای اقلیمی و زمین‌شناسی (نوع لیتولوژی) تحلیل کردند. مازارینی و اورازیو^۴ (۲۰۰۳: ۲۹۱) توزیع فضایی مخروط‌های آتشفشانی پالی‌ایک^۵ در شمال پاتاگونیا را با استفاده از تصاویر ماهواره ای مطالعه کردند، سپس تأثیر تکتونیک بر شکل‌گیری انواع اشکال مخروط‌ها را بررسی کردند. پاروت (۲۰۰۷: ۲۴۷) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (Dem) مستخرج از تصاویر Aster ویژگی‌های مخروط‌های آتشفشانی رشته چپچیناتزین^۶ در مرکزیکو را استخراج کرد، سپس براساس فاکتورهای مستخرج مدلی طراحی کرد و میزان تکامل مخروط‌ها را بررسی کرد. و اینبار و همکاران (۲۰۱۱: ۳۰۱) مورفولوژی مخروط‌های آتشفشانی تولباچیک^۷ در کاماچتکا را بررسی کردند در این تحقیق ژئومورفولوژی مخروط‌ها، ویژگی‌های مورفومتریکی دهانه‌های آتشفشانی از جمله ارتفاع، شعاع، شیب، توزیع فضایی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و تکتونیک مخروط‌ها و ارتباط این عوامل با هم دیگر و تغییر و تحول آنها تحت تأثیر فرایندهای فرسایشی و در نهایت تکامل مخروط‌های آتشفشانی در دوره کوتاه‌تر بررسی شد.

در ایران در ارتباط با مخروط‌های آتشفشانی سهند شناسایی و طبقه‌بندی آن‌ها مطالعه کاملی صورت نگرفته است ولی محققین در ضمن مطالعه آتشفشان سهند معمولاً به صورت گذرا به مخروط‌های آتشفشانی سهند هم اشاره‌ای داشته اند، معمولاً در مطالعه این محققین، پژوهش‌های ژئومورفولوژی و تحول سهند در کوتاه‌تر، فوران‌های آتشفشانی و بررسی‌های مورفوتکتونیک سهند، مد نظر بوده که از آن جمله می‌توان به معین وزیری و امین سبحانی (۱۳۵۶: ۵۹) سهند را از نظر ولکانولوژی ولکانوسدیمانولوژی مورد مطالعه قرار داده اند، آل کثیر، (۱۳۷۴: ۳۳)، ضمن مطالعه ژئومورفولوژی دامنه شرقی سهند، به لیتولوژی مخروط‌های سهند هم اشاره ی کرده است. جهانگیری و اشرفی (۱۳۸۴: ۱۲۳) کانی‌شناسی و ژنز واحدهای پیروکلاستیک شرق مجموعه آتشفشانی سهند را مورد مطالعه قرار داده است. خیام (۱۳۶۹: ۲۰۶) تحول مورفولوژیکی سهند و مخروط‌های آتشفشانی سهند را دوره کوتاه‌تر مورد مطالعه قرار داده است. غیوری و معین وزیری (۱۳۸۱: ۴۳) چینه شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی افق‌های ایگنمبریتی سهند را مورد مطالعه قرار داده اند. و پیر محمدی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۷۹) منشاء و محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی خاور سهند را مورد مطالعه قرار دادند. رجیبی و خطیبی (۱۳۹۰، ۱۱۵) در کتاب ژئومورفولوژی شمال غرب ایران ضمن معرفی توده آتشفشانی سهند، در رابطه با عوامل مؤثر بر شکل‌گیری مخروط‌های آتشفشانی سهند هم بحث کرده اند. این تحقیق در پی آن است که با شناسایی انواع دهانه‌های آتشفشانی مخروط سهند، عوامل مؤثر بر ایجاد اشکال متفاوت دهانه‌های آتشفشانی را مورد بررسی قرار دهد.

1 Hasenka and carmicheal

2 Hooper

3 Payun Matru

4 Mazzarini and Orazio

5 Pali Aike

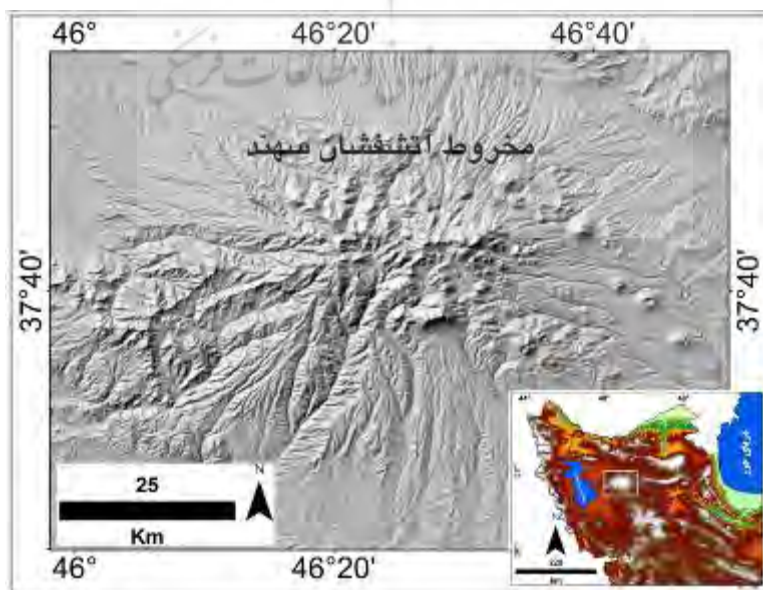
6 Chichinautzin Range

7 Tolbachik

منطقه مورد مطالعه

توده سه‌پند در شمال غربی ایران با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 07'$ الی $38^{\circ} 02'$ شمالی و 45° الی 47° شرقی، در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱). مساحت زیاد، وجود قله و دره‌های متعدد، در مقایسه با سایر کوهستان‌های توده‌ای، از ویژگی‌های بارز این کوهستان است. این توده کوهستانی مساحتی معادل ۸۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد که دارای قله‌های متعددی است که بلندی حدود ۱۷ قله آن از ۳۰۰۰ متر بیشتر است. چهار قله معروف سه‌پند عبارتند از: قله جام داغی (۳۷۱۰ متر)، قله کمال یا قوچ گلی داغی (۳۶۹۷ متر) قله سلطان (۳۳۷۶ متر) و قله سه‌پند (۳۵۶۲ متر) می‌باشد (رجبی و خطیبی، ۱۳۹۰: ۱۷). این توده از نظر زمین‌ساختی، بخشی از زون ایران مرکزی است. آتشفشان سه‌پند استراتوولکانی است که روی یک سری سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری سیاه رنگ مرکب از آندزیت - بازالت به سن میوسن قرار گرفته و به عبارت دیگر از درون این سنگ‌ها فوران کرده است (اشتوکلین، ۱۹۶۸: ۱۲۳۶). توده سه‌پند در چندین مرحله فعالیت آتشفشانی ساخته شده است. شروع این فعالیت‌ها از اواسط میوسن بوده و خاتمه آن را در ۱۴۰ هزار سال قبل برآورد کرده‌اند. ترکیب گدازه‌های آن بیشتر از نوع داسیت تا آندزیت است و در بین آن‌ها خاکسترها و توف‌های فراوان دیده می‌شود، ضخامت این مواد به حدود ۸۰۰ متر می‌رسد (علائی طالقانی، ۱۳۸۱: ۸۲).

گنبد‌های آتشفشانی موجود در این منطقه، همگی واحدهای رسوبی سازند سرخ بالایی را قطع کرده و سبب خردشدگی سنگ‌های مجاور شده‌اند. این مجموعه آتشفشانی توسط رسوبات جوان‌تر آبرفتی و اپی کلاستیک به سن پلیوسن، پوشیده شده‌اند. آرایش خطی گنبد‌های آتشفشانی سه‌پند و ارتباط آن با سایر مجموعه‌های آتشفشانی در آذربایجان، نشان می‌دهد که فوران‌های آتشفشانی، شکافی بوده و در اثر حرکت گسل‌های امتداد لغز و از محل برخورد گسل‌های متقاطع با روندهای NE_SW و NW-SE صورت گرفته است، از نظر نحوه پراکندگی نظم معینی در دهانه‌های آتشفشانی مشهود نیست. با این وجود در بررسی کلی، امتداد تقریبی این دهانه‌ها، شمال غربی - جنوب شرقی است و در نتیجه ارتباط بین گسل‌های موجود و پدیده‌های ولکانیکی مشخص می‌گردد (رسولی، ۱۳۶۷: ۴۲).



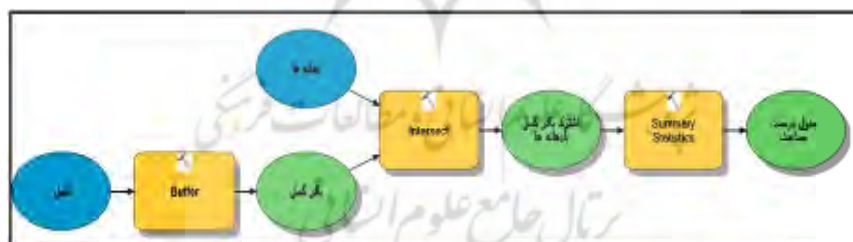
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

روش اصلی در بررسی انواع دهانه‌های آتشفشانی سه‌بعدی، روش دورسنجی است. در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM+) و تصاویر SRTM استفاده گردید. به منظور انجام تحقیق حاضر ابتدا تصاویر با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ پنج شهرستان بستان‌آباد، هشترود، اسکو، آذرشهر و مراغه که منطقه مورد مطالعه را در برمی‌گیرند، زمین‌مرجع ۱ شدند و بازنویسی ۲ آن‌ها با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه ۳ در نرم‌افزار ERDAS صورت گرفت. جهت بررسی شرایط زمین‌شناسی، تکتونیکی و سنگ‌شناسی نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه گسل‌های منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ اسکن نموده و سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS زمین‌مرجع و سپس رقومی ۴ گردید. در مرحله بعد به منظور درک فضایی ارتباط گسل‌ها با انواع دهانه‌ها از توابع خط در پلیگون ۵ که در نرم‌افزار ArcGIS موجود می‌باشد، استفاده گردید. برای یافتن ارتباط بین هر کلاس از دهانه‌های آتشفشانی با ویژگی‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و گسل‌ها، هر لایه به طور جداگانه با سایر لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این فرایند به وسیله توابع Model builder واقع در نرم‌افزار ArcGIS، صورت گرفت.

نرم افزار Model Builder برای ایجاد، ویرایش و مدیریت مدل‌ها استفاده می‌شود. این نرم‌افزار هم از مدل‌گردشی و هم مدل‌توالی پشتیبانی می‌کند که با ابزار Geoprocessing تولید می‌شود. همچنین Model Builder یک زبان برنامه‌نویسی بصری برای ساختن Workflow ها (جریان‌های کاری) به شمار می‌رود. Model Builder ابزار بسیار مفیدی در اجرای جریان‌های کاری ساده است، با استفاده از Model Builder می‌توان ابزارهای پیشرفته‌ای را جهت توسعه ArcGIS ایجاد نمود. از Model Builder می‌توان به رابط بین نرم‌افزار ArcGIS و دیگر نرم‌افزارها استفاده نمود.

نمونه‌ای از مدل طراحی شده در محیط نرم افزار Model Builder جهت شناسایی ارتباط لایه‌های شیب، توپوگرافی، جهت شیب، توپولوژی، گسل و حریم گسل با تیپ دهانه‌های آتشفشانی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: مدل‌ساز تحلیلی (تحلیل‌های نگارنده)

در نهایت با بررسی مطالعات انجام شده (کریوان و همکاران ۶، ۲۰۱۲: ۵۹؛ کرسزتوری و نمت ۷، ۲۰۱۲: ۴۵؛ مارتین و نمت ۸، ۲۰۰۶: ۱۰۴) و با استفاده از تحلیل‌های مورفومتریکی و مورفولوژیکی، دهانه‌های موجود در کوهستان سه‌بعدی به چهار گروه زیر طبقه‌بندی شد.

¹ Georeferencing

² Resampling

³ The nearest neighbor method

⁴ digitize

⁵ Line in polygon

⁶ Kervyn et al

⁷ Kereszturi and Németh

⁸ Martin and Németh

B : کشیده (Elongate)

A : دایره‌ای (Circular)

D : متغیر ((Variable))

C : شکافدار (Fissure)

بحث و یافته‌ها

ارتباط دهانه‌های آتشفشانی با توپوگرافی

ویژگی قابل توجه در خصوص آتشفشان بزرگ سه‌پند وجود مخروط‌های فرعی یا ثانوی است. ۱. در واقع، زمانی که مخروط آتشفشان اصلی خیلی مرتفع شود فشارهای زیادی برای بالا آمدن لاوا و رسیدن آن به دهانه قله لازم است. در این صورت لاوا مسیر آسان‌تری را نسبت به سطح زمین پیدا کرده و در سطح پایین‌تری یعنی در دامنه‌های آتشفشان اصلی بیرون‌ریزی خواهد کرد. معمولا اینگونه بیرون‌ریزی زود مسدود شده و در انفجار بعدی مجاری جدیدی ایجاد می‌شود. بدین ترتیب در یک آتشفشان بزرگ، مخروط‌های فرعی کوچک زیادی در دامنه‌ها ایجاد می‌شود (رجبی و خطیبی، ۱۳۹۰: ۱۱۶ به نقل از اولییر، ۱۹۸۸) ارتباط بین توپوگرافی و دهانه‌های آتشفشانی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی دهانه‌های آتشفشان سه‌پند و ارتباط آن‌ها با توپوگرافی کوهستان، در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. در این جدول نوع دهانه‌ها و همچنین ویژگی‌های ارتفاعی آن‌ها مشخص و کلاس‌بندی شده است. با توجه به این جدول، میانگین بیشترین ارتفاع، $3060/87$ متر، مربوط به دهانه‌های شکافدار و میانگین کم‌ترین ارتفاع، $2412/40$ متر، مربوط به دهانه‌های دایره‌ای است.



شکل ۳: توپوگرافی دهانه‌های آتشفشانی سه‌پند

جدول ۱: ویژگی‌های ارتفاعی دهانه‌های سه‌پند (محاسبات نگارندگان)

نوع دهانه	حداقل ارتفاع (M)	حداکثر ارتفاع (M)	میانگین ارتفاع (M)	تابع
دایره‌ای	۱۷۸۰	۲۹۲۰	۲۴۱۲/۴۰	INTERSEC T
شکاف دار	۲۲۶۰	۳۶۰۰	۳۰۶۰/۸۷	
کشیده	۲۲۴۰	۳۱۰۰	۲۷۱۶/۸۲	

¹ Parasitic cones/ secondary cones

متغیر	۲۰۰۰	۳۶۸۰	۲۸۵۲/۰۶	
-------	------	------	---------	--

ارتباط دهانه‌های آتشفشانی با سنگ‌شناسی

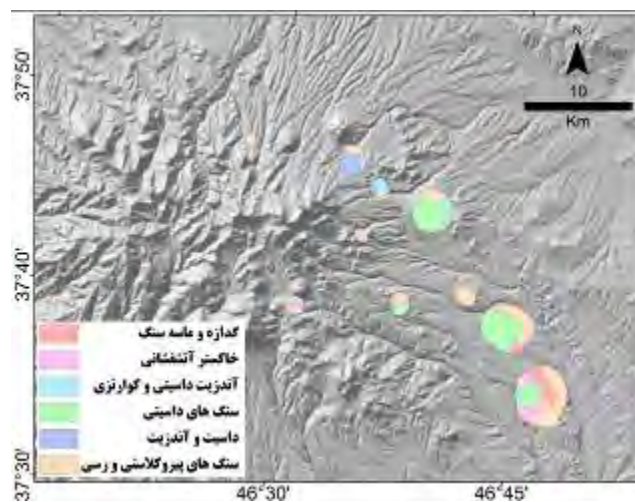
سهند در مجموع یک استراتوولکان محسوب می‌شود و اغلب شامل پیروکلاست، ایگنمبریت و گدازه‌هایی است که توسط دودکش‌های مختلف و پراکنده در سطح وسیعی بیرون ریخته است. سنگ‌های آتشفشانی سهند عبارتند از: آندزیت، آندزیت بازالتی، داسیت، داسیتوئید و لاتیت. قارمیش داغ و ترپاقلو، مرکز اصلی آتشفشانی سهند به شمار می‌رود. ایگنمبریت و گدازه‌های آندزیتی از این مرکز فوران کرده‌اند. چنین به نظر می‌رسد که در قارمیش داغ، پس از فوران ایگنمبریت، یک فرو نشینی (کالدرای) به وقوع پیوسته، آنگاه در امتداد گسل‌های حلقوی، گدازه‌های داسیتی بیرون ریخته‌اند (امینی‌آذر و قدیرزاده، ۱۳۸۷: ۱۲).

در کل داسیت‌ها، در منطقه گسترش فراوانی داشته و خاصیت اسیدی ضعیفی دارند. جهت بررسی ارتباط بین سنگ‌شناسی و دهانه‌های موجود در کوهستان سهند، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی این نقشه‌ها، نوع سنگ‌شناسی مربوط به هر یک از دهانه‌ها مشخص و پس از انجام تحلیل‌ها در مدل بیلدر (مدل ساز تحلیلی)، مشخصات سنگ‌شناسی دهانه‌ها و مساحت هر یک از سازندها مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲: ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مورفومتریکی دهانه‌های دایره‌ای (محاسبات نگارندگان)

ردیف	توضیحات	مساحت (m^2)	درصد	تابع
۱	داسیتیک آندزیت و کوارتز آندزیت	۳۶۸	۶	INTERSECT
۲	جریان خاکستر و سنگ‌های آذر آواری وابسته، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل	۳۱۵	۵	
۳	سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت	۳۸۱	۶	
۴	جریان خاکستر و سنگ‌های وابسته	۷۹۱	۱۳	
۵	سنگ‌های داسیتی ساب ولکانو	۲۵۳۱	۴۲	
۶	آذر آواری‌ها و سنگ‌های رسی همراه با لایه‌های بقایای جانوری	۱۵۹۸	۲۷	

شکل شماره ۴، سنگ‌شناسی خاص دهانه‌های دایره‌ای را نشان می‌دهد. مساحت هر نوع از سنگ‌ها در این نوع دهانه به همراه درصد مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول شماره ۲ بیشترین مساحت و به تبع آن ماکزیمم درصد این نوع از دهانه‌ها، مربوط به سنگ‌های داسیتی ساب ولکانو با ۴۲ درصد، آذر آواری‌ها و سنگ‌های رسی همراه با لایه‌های بقایای جانوری ۲۷ درصد و کمترین مقدار مربوط به جریان خاکستر و سنگ‌های آذر آواری وابسته، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل با ۵ درصد می‌باشد.



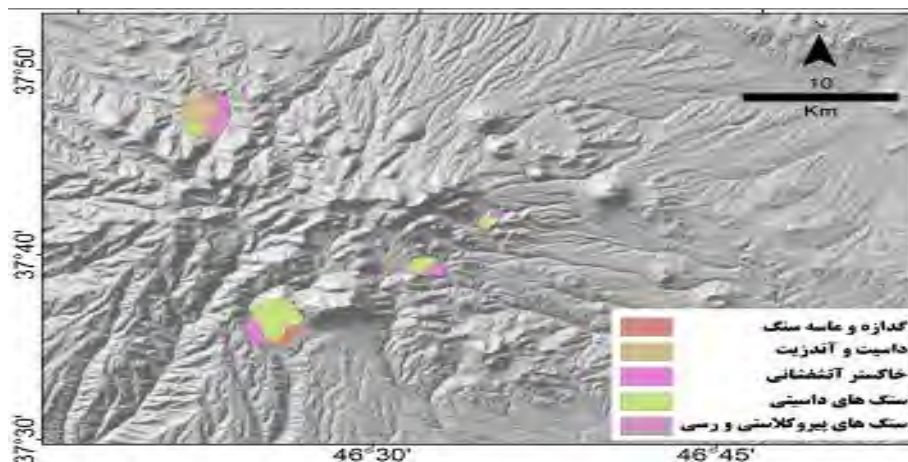
شکل ۴: توزیع فضایی دهانه‌های دایره‌ای شکل و سنگ‌شناسی آنها

جدول ۳ و شکل ۵ ویژگی‌ها ارتباط فضایی بین دهانه‌های کشیده و سنگ‌شناسی را نشان می‌دهد. بیشترین درصد سنگ‌شناسی در این نوع دهانه با ۴۵ درصد، مربوط به سنگ‌های داسیتی ساب و لکانو و کمترین آن مربوط به جریان خاکستر و سنگ‌های آذر آواری، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل است.

جدول ۳: ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مورفومتریکی دهانه‌های کشیده (محاسبات نگارندگان)

ردیف	توضیحات	مساحت (m^2)	درصد	تابع
۱	جریان خاکستر و سنگ‌های آذر آواری وابسته، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل	۱۹۹	۷	INTERSECT
۲	سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت	۵۲۹	۱۷	
۳	جریان خاکستر و سنگ‌های وابسته	۵۵۸	۱۸	
۴	سنگ‌های داسیتی ساب و لکانو	۱۳۵۵	۴۵	
۵	آذر آواری‌ها و سنگ‌های رسی همراه با لایه‌های بقایای جانوری	۴۰۳	۱۳	

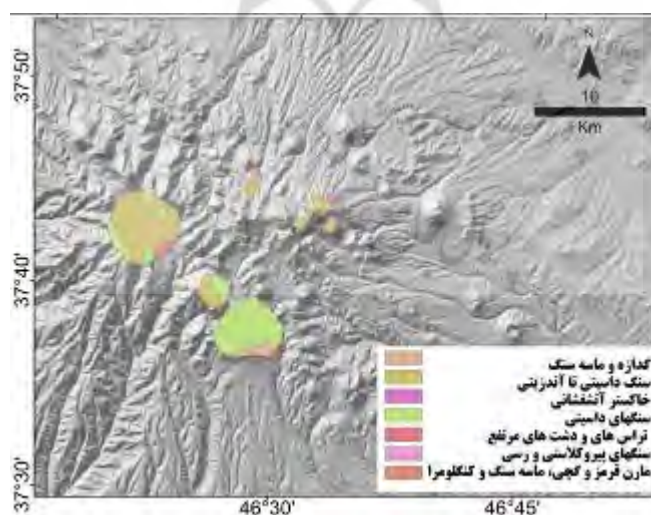
سنگ‌شناسی مربوط به سومین کلاس یعنی دهانه‌های شکاف‌دار در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۴، درصد هر کدام از سنگ‌های غالب نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود که سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت با ۴۸ درصد بیشترین و سنگ‌های آذر آواری و رسی همراه با لایه‌های بقایای جانوری کمترین فراوانی را دارند.



شکل ۵: توزیع فضایی دهانه‌های کشیده و سنگ‌شناسی آنها

جدول ۴: ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مورفومتریکی دهانه‌های شکافدار (محاسبات نگارندگان)

ردیف	توضیحات	مساحت (m ²)	درصد	تابع
۱	جریان خاکستر و سنگ‌های آذر آواری وابسته، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل	۲۹۴	۴	INTERSECT
۲	سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت	۳۵۴	۴۸	
۳	جریان خاکستر و سنگ‌های وابسته	۱۳۲	۲	
۴	سنگ‌های داسیتی ساب ولکانو	۳۱۶	۴۳	
۵	مخروط‌افکنه پایکوهی سطح بالا و نهشته‌های تراس دره‌ای	۱۵	۲۵	
۶	سنگ‌های آذرآواری و رسی به همراه با لایه‌های بقایای جانوری	۵	۱	
۷	مارن قرمز رنگ، مارن گچی، ماسه سنگ و کنگلومرا	۴۲	۱	

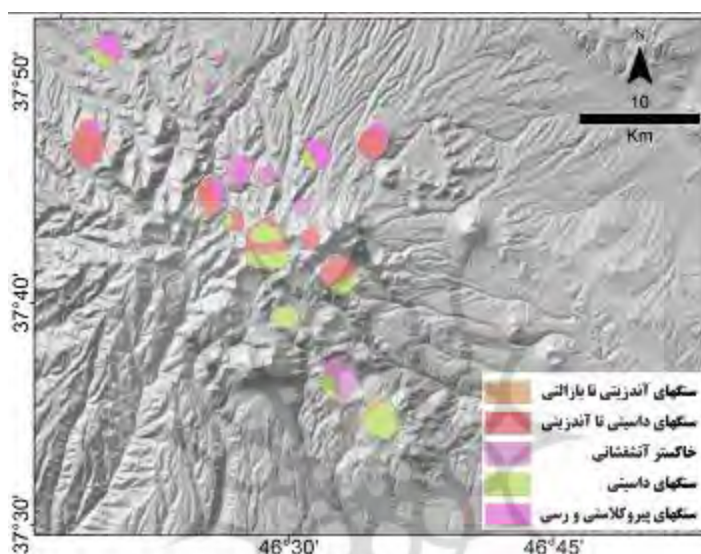


شکل ۶: توزیع فضایی دهانه‌های شکافدار و سنگ‌شناسی آنها

آخرین گروه از انواع دهانه‌های موجود در کوهستان سهند، دهانه‌های متغیر است. جدول ۵ و شکل ۷ ویژگی‌های کلی این نوع از دهانه‌ها را نشان می‌دهد. این دهانه‌ها اغلب از سنگ‌های داسیت تا آندزیت (۳۴ درصد) و سنگ‌های داسیتی ساب ولکانو (۳۲ درصد) تشکیل شده‌اند. در این گروه سنگ‌های آندزیتی - بازالتی، کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

جدول ۵: ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مورفومتریکی دهانه‌های متغیر (محاسبات نگارندگان)

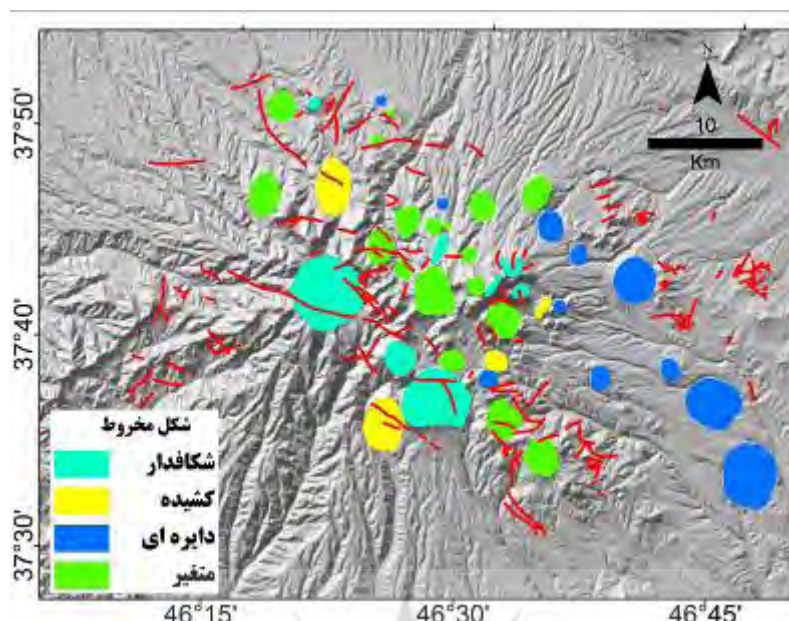
ردیف	توضیحات	مساحت (m^2)	درصد	تابع
۱	آندزیت تا بازالت	۱۵۹	۲	INTERSECT
۲	سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت	۲۸۸۶	۳۴	
۳	جریان خاکستر و سنگ‌های وابسته	۱۳۱	۱۵	
۴	سنگ‌های داسیتی ساب ولکانو	۲۷۱۹	۳۲	
۵	آذر آواری‌ها و سنگ‌های رسی همراه با لایه‌های بقایای جانوری	۱۴۵۱	۱۷	



شکل ۷: توزیع فضایی دهانه‌های متغیر و سنگ‌شناسی آنها

عملکرد تکتونیک در سه‌پند

کوهستان سه‌پند در دوره میوسن به صورت آنتی کلیناریوم (طاق‌دیس‌ی بزرگ)، دچار چین خوردگی شده است. این تغییر شکل در رابطه با نیروهای تکتونیکی عظیمی بوده که این منطقه از آذربایجان نیز در ارتباط با آن تغییر شکل یافته است. این سیستم مربوط به چین‌خوردگی آلپی بوده است. استمرار نیروهای تکتونیکی بر روی طاق‌دیس بزرگ سه‌پند باعث به وجود آمدن گسل‌های بزرگی شده که امتداد این گسل‌ها شمال غرب - جنوب شرق است که از امتداد گسل تبریز تبعیت می‌کنند. این گسل‌ها موجب راه‌یابی و هدایت مواد مذاب به سطح زمین شده است که در طول، به طرق گوناگون اشکال متنوعی را ایجاد نموده‌اند. البته از نظر نحوه پراکندگی دهانه‌های آتشفشانی، نظم مشخصی وجود ندارد. ولی به طور کلی امتداد این دهانه‌ها نیز از امتداد گسل‌های موجود در منطقه تبعیت می‌کند (شکل ۸).



شکل ۸: ارتباط فضایی گسل‌ها و انواع دهانه‌های آتشفشانی سه‌سند

نتیجه تحلیل‌های انجام شده در مدل ساز تحلیلی در رابطه با نقشه دهانه‌های آتشفشانی منطقه و نقشه بافر ۲۰۰ متری گسل‌ها، در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول ارتباط دهانه‌ها، گسل‌ها و ریز گسل‌ها در منطقه حاصل می‌شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود دهانه‌های دایره‌ای کم‌ترین تعداد گسل و دهانه‌های شکافدار بیشترین تعداد گسل را دارند. مورفولوژی دهانه‌هایی که از جابجایی گسل‌ها تأثیر کمتری گرفته‌اند، به شکل دایره است. به عبارتی هر چه گسل‌ها در موفونز دهانه‌ها کمتر دخالت داشته، دهانه شکل ایده‌آل تری به خود می‌گیرد. اما هرچه گسل‌ها در دهانه و حواشی آن بیشتر باشد، به همان نسبت شکل دهانه از حالت دایره‌ای فاصله می‌گیرد. البته نباید تأثیر سایر عوامل را در شکل دهانه‌ها نادیده گرفت.

جدول ۶: ارتباط دهانه‌ها با گسل‌ها (تحلیل‌های نگارندگان)

تابع	درصد	مساحت (m^2)	تعداد گسل در دهانه	نوع دهانه
INTERSEC T	۰	۰	۰	دایره‌ای
	۴۹	۸۶۸	۴۲	شکافدار
	۱۷	۳۰۳	۵	کشیده
	۳۳	۵۸۱	۲۸	متغیر

نتیجه‌گیری

بررسی ارتباط توپوگرافی و دهانه‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع میانگین ۳۰۶۰/۸۷ متر مربوط به دهانه‌های شکافدار و کمترین ارتفاع میانگین، ۲۴۱۲/۴۰ متر مربوط به دهانه‌های دایره‌ای است. ضمن اینکه توپوگرافی اغلب دهانه‌های سه‌سند، جدا از شکل آن‌ها، تا حدی وابسته به نوع فواران این آتشفشان می‌باشد. در واقع، به دلیل ارتفاع زیاد سه‌سند، فشارهای زیادی برای بالا آمدن لاوا و رسیدن آن به دهانه قله لازم بوده است. به همین دلیل مواد مذاب (ماگما) آسان‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر را انتخاب و در سطح پایین تری یعنی در دامنه‌های آتشفشان اصلی بیرون ریزی کرده است. در نهایت اینکه ارتفاع دهانه‌ها نمی‌تواند به تنهایی تعیین‌کننده نوع دهانه از لحاظ شکل باشد.

سنگ‌شناسی غالب در دهانه‌ها در سه‌پند بیشتر سنگ‌های آندزیت تا داسیت است و سایر سنگ‌ها با درصد متفاوتی ظاهر شده‌اند. البته فقط تنها سنگ‌شناسی نمی‌تواند به تنهایی شکل دهانه‌ها را تعیین کند و عوامل دیگری نیز چون تکتونیک و گسل، فرسایش و قدمت دهانه و نوع فوران در طول زمان شکل نهایی دهانه را به وجود می‌آورد. با استفاده از داده‌ها و نرم افزارهای مختلف ابتدا دهانه‌ها کلاس بندی شد و بر اساس توپوگرافی، سنگ‌شناسی و فراوانی گسل‌ها بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که گسل‌ها و فراوانی آن‌ها بر روی شکل دهانه‌ها تأثیر گذاشته است. نتایج حاصل از هم پوشانی لایه گسل‌ها و انواع دهانه‌ها از لحاظ شکل (شکل ۸)، این امر را اثبات می‌کند. با توجه به بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته مشخص گردید که دهانه‌های دایره‌ای در مکان‌هایی تشکیل شده‌اند که هیچگونه خط گسلی در آن وجود ندارد. با توجه به شکل ۸ و جدول ۶ مشاهده می‌شود که از ۱۱ دهانه دایره‌ای، هیچکدام در محدوده گسل‌ها قرار ندارند. از طرف دیگر، با وجود همگنی تقریبی هر چهار نوع دهانه از لحاظ سنگ‌شناسی، می‌توان نتیجه گرفت که خطوط گسلی در به هم زدن شکل دهانه‌ها مؤثر واقع شده‌اند. طوری که هر جا تعداد گسل بیشتری داشته، شکل دهانه از حالت ایدال دایره‌ای خارج شده و به اشکال مختلف در آمده است. با توجه به تحلیل‌های انجام یافته در مدل بیلدر، ارتباط بین گسل‌ها و شکل دهانه‌ها به دست آمد. به طوری که دهانه‌های دایره‌ای کمترین تعداد و کمترین مساحت را در بافر گسل دارا هستند. در نهایت این نتیجه حاصل می‌شود که مورفولوژی و مورفومتری دهانه‌های آتشفشانی سه‌پند علاوه بر تأثیر پذیرفتن از نوع فوران، از خطوط گسلی نیز تأثیر پذیرفته است. در ضمن می‌توان گفت که در مورفولوژی دهانه‌های آتشفشانی سه‌پند یک عامل به تنهایی نقش نداشته بلکه عوامل مختلف با شدت و ضعف‌های متفاوت تأثیر داشته‌اند.

منابع و ماخذ

- امامی، محمد هاشم. (۱۳۷۹). *ماگماتیسزم در ایران*، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ص ۱۲۴.
- امینی آذر؛ قدیرزاده. (۱۳۸۷). *گزارش زمین شناسی ورقه هشترود*، سازمان زمین شناسی مرکز تبریز، ص ۳۴.
- آل کثیر، عبدالامیر (۱۳۷۴). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی و هیدرومورفولوژی دامنه شرقی سه‌پند*، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ص ۶۵.
- پیرمحمدی، فرهاد؛ عامری، علی؛ جهانگیری، علی؛ چانگ‌هاوا چن؛ کسکین، محمد. (۱۳۹۰). *بررسی منشاء و محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی خاور سه‌پند (جنوب خاور تبریز) با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی*، مجله علوم زمین، سال بیست و یکم، شماره ۸۱، ص ۱۷۹-۱۹۰.
- جهانگیری، احمد؛ اشرفی، ناصر. (۱۳۸۴). *کانی‌شناسی و ژئز لایه‌های رسی واحدهای پیروکلاستیک شرق مجموعه آتشفشانی سه‌پند (جنوب استان آباد)*، مجموعه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین. مجموعه مقالات سیزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ص ۱۲۷-۱۲۳.
- خیام، مقصود. (۱۳۶۹). *سه‌پند آتشفشان پلیو- پلیستوسن و تحول مورفولوژیکی آن در کوآترنر*، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره اول و دوم، سال ۲۳، ص ۲۰۰-۲۱۶.
- رجبی، معصومه، مریم بیاتی خطیبی، (۱۳۹۰). *ژئومورفولوژی شمال غرب ایران*، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ص ۲۷۸.
- رسولی، علی اکبر. (۱۳۶۷). *بررسی ژئومورفولوژی دامنه شمالغربی سه‌پند (حوضه آبریز اسکو)*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، ص ۱۰۵.
- علائی طالقانی، محمود، (۱۳۸۲). *ژئومورفولوژی ایران*، انتشارات قومس، چاپ دوم، ص ۸۱.
- غیوری، ن. معین وزیری. (۱۳۸۱). *مطالعه چینه‌شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی افق‌های ایگنمبریته سه‌پند*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی گرایش پتروژئولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۱۶۷.

وزیری، معین، امین سبحانی (۱۳۵۶)، **سپند از نظر ولکانولوژی ولکانوسدیمانولوژی**، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۵۹.

- Allen, M., Jackson, J. & Walker, R., 2004, **Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and Long-term deformation rates**, Tectonics, No 23, TC2008, PP1-17.
- Hasenaka, T., Carmichael, I., 1985, **the cinder cones of Michoacán-Guanajuato, central Mexico: their age, volume, distribution and magma discharge rate**. Journal of Volcanology and Geothermal Research No 25, PP 104–124.
- Hooper, D.M., 1995, **Computer-simulation models of scoria cone degradation in the Colima and Michoacan-Guanajuato volcanic fields, Mexico**. Geofísica Internacional, No 34, PP 321–340.
- Hooper, D.M., Sheridan, M.F., 1998, **Computer-simulation models of scoria cone degradation**. Journal of Volcanology and Geothermal Research, No 83, PP. 241–287.
- Inbar, M., Gilichinsky M, Melekestsev, I, Melnikov, D., Zaretskaya, N., 2011, **Morphometric and morphological development of Holocene cinder cones: A field and remote sensing study in the Tolbachik volcanic field, Kamchatka**. Journal of Volcanology and Geothermal Research, No 201 PP 301–311.
- Inbar, M., Risso, C., 2001, **A morphological and morphometric analysis of a high density cinder cone volcanic field Payun Matru, south-central Andes, Argentina**. Zeitschrift für Geomorphologie, No 45, PP 321–343.
- Kereszturi, G, Németh, K., 2012, **Structural and morphometric irregularities of eroded Pliocene scoria cones at the Bakony–Balaton Highland Volcanic Field, Hungary**, Geomorphology, Volume 136, PP 45-58.
- Kervyn, M., Ernst, G.G.J., Carracedo, J.-C. Jacobs P., 2012, **Geomorphometric variability of “monogenetic” volcanic cones: Evidence from Mauna Kea, Lanzarote and experimental cones**, Geomorphology, Volume 136, PP 59-175.
- Keskin, M., Pearce, J. A., Mitchell, J. G., 1998, **Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Ezurum-Kars Plateau, northeastern Turkey**, Journal of Volcanology and Geothermal Research No 85, PP. 355-404.
- Martin, U., Németh, K., 2006, **How Strombolian is a “Strombolian” scoria cone? Some irregularities in scoria cone architecture from the Transmexican Volcanic Belt, near Volcán Ceboruco, (Mexico) and Al Haruj (Libya)**, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 155, (1–2), PP 104-118.
- Mazzarini, F., D’Orazio, M., 2003, **spatial distribution of cones and satellite-detected lineaments in the Pali Aike Volcanic Field (southernmost Patagonia): insights into the tectonic setting of a Neogene rift system**. Journal of Volcanology and Geothermal Research, No 125, PP 291-305.
- Moinvaziri, H. & Aminsobhani, I., 1978, **Volcanologic and Volcanosedimentological Study Of Sahand Mountain**. University of Tarbeyat Moallim, Tehran, PP 59

- Parrot, J.F., 2007, **Tri-dimensional Parameterization: An Automated Treatment To study The evolution Of Volcanic Cones**. Geomorphology No 3, PP 247–258.
- Porter, S.C., 1972, **Distribution, Morphology And Size Frequency of Cinder Cones On Mauna Kea Volcano, Hawaii**. Geological Society of America Bulletin No 83, PP 3607–3612.
- Stoklin, J., 1968, **Structural history and tectonics of Iran: a review**. Amer. Assoc, **Petroleum Geology**. No 52, PP 1229-1258.
- Thouret, J.C., 1999, **Volcanic Geomorphology-An Overview**. Earth Sciences Reviews, No 47, PP 95–131.
- Wood, C.A., 1980a, **Morphometric Evolution Of Cinder Cones**. Volcanology and Geothermal Research. No 7, PP 387–413.
- Wood, C.A., (1980b). **Morphometric Evolution Of Cinder Cones**, Volcanology and Geothermal Research, No 8, PP 137–160.

