

پهنه‌بندی خطر تفرا، گدازه، ابر سوزان و لاهار ناشی از فوران احتمالی آتشفشان دماوند

احمد خیاط‌زاده^۱، احمد عباس‌نژاد^{۱*}، حجت اله رنجبر^۲، حمید احمدی‌پور^۱ و بهنام عباس‌نژاد^۱

^۱گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۲گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

دماوند یکی از مستعدترین آتشفشان‌های ایران برای فوران در آینده است. شواهدی نظیر میزان سرپا بودن مخروط (نبود فرسایش شدید آن)، وجود چشمه‌های آبگرم فراوان، کوتاه بودن فاصله زمانی از آخرین فوران و حضور شرایط زمین‌ساختی مناسب، همگی، نشانگر استعداد فوران آن در آینده می‌باشند. شدت فوران آن احتمالاً در حد ۳-۵ در مقیاس VEI خواهد بود. در اثر آن، خاکسترها، ابرهای سوزان، جریان‌های گدازه و لاهارهای تولیدی مشکلاتی را به وجود خواهند آورد. بنابراین، هدف این مطالعه پهنه‌بندی این خطرها است. برای پهنه‌بندی این تهدیدها از مدل‌های ارتفاعی رقومی (DEM)، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI، VORIS استفاده شد. برای تهیه نقشه گسترش خاکسترهای آن مدل فرارفت - انتشار، و برای تهیه نقشه پراکنش ابر سوزان مدل مالین و شریدان مورد استفاده قرار گرفتند. در ارتباط با گسترش خاکسترهای آن، اطلاعات جوی مورد نیاز از داده‌های پایگاه NCEP/NCAR اخذ شدند. همچنین، مدل شبیه‌سازی جریان برای تهیه نقشه گسترش جریان گدازه به کار گرفته شد. برای تهیه نقشه محدوده‌های گسترش لاهار، با استفاده از DEM منطقه، موقعیت آبراهه‌های اصلی سطح مخروط و دره‌های اطراف مشخص شد و با در نظر گرفتن بافر ۵۰ متری، محدوده گسترش لاهار تهیه گردید. براساس این مطالعه، پلوم خاکسترهای آتشفشانی به سمت خاور گسترش می‌یابد و چند آبادی را تهدید می‌کند. گدازه‌ها و ابرهای سوزان نیز برخی از روستاهای اطراف مخروط را تهدید می‌کنند. لاهارهای حاصل از این آتشفشان، ضمن حرکت در خط‌العمل‌های موجود در سطح مخروط، وارد دره‌های اصلی منطقه (هزار و دلیچای) می‌شوند و در مسیر خود آبادی‌های متعددی را تهدید خواهند کرد. نقشه‌های ارائه شده راهنمای مفید و ضروری برای مدیریت این خطرهای می‌باشند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

دماوند

خطر گدازه

خطر تفرا

خطر ابر سوزان

خطر لاهار

۱- پیش‌نوشتار

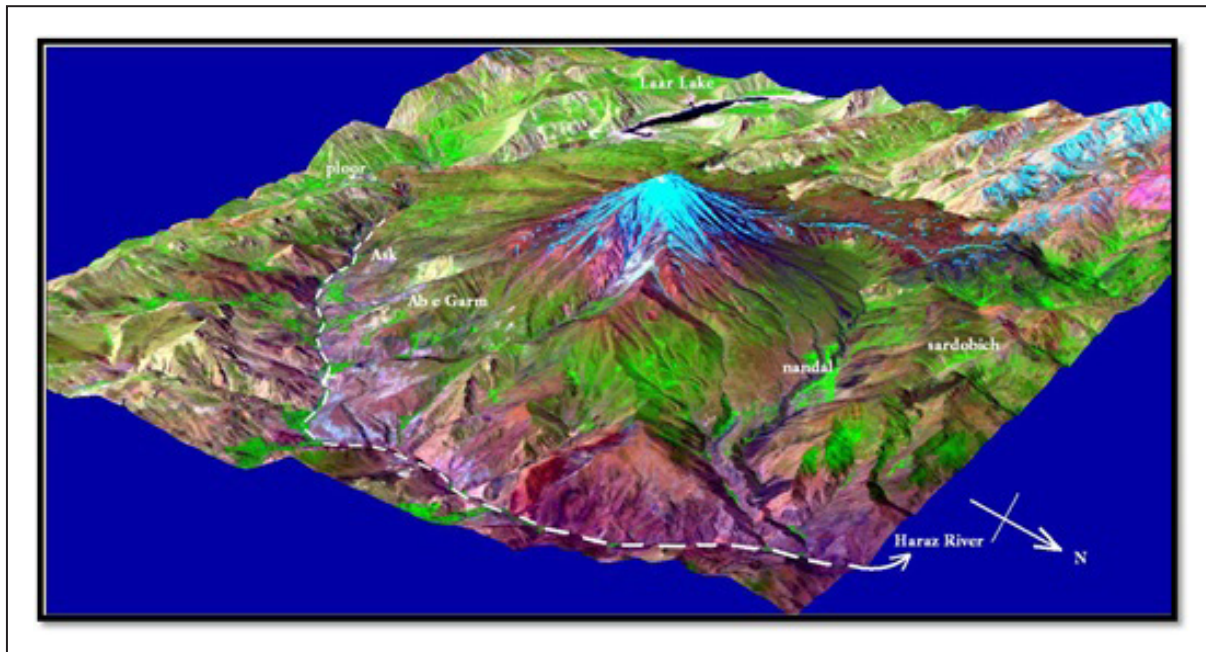
آتشفشان‌ها به شکل‌های مختلفی نظیر جریان گدازه (Gallant, 2019)، پیرو کلاستیک‌های جریانی (Cole et al., 2015)، خاکستر (Bonadonna et al., 2021; Connor et al., 2001)، تغییرات آب و هوایی (Chester, 1988; Toon, 1980) و گازهای خفه‌کننده (Hansell and Oppenheimer, 2004; Williams- Jones and Rymer, 2015) می‌توانند انسان، سرمایه و محیط زیست او را تهدید کنند. از این میان، استراتوولکان‌های شبیه به دماوند به طور عمده از طریق جریان گدازه، ابر سوزان، لاهار و خاکستر مشکل آفرین هستند. براساس مطالعات خیاط‌زاده و عباس‌نژاد (۱۳۹۵)، از بین آتشفشان‌های موجود در ایران، دماوند دارای بیشترین استعداد فوران در آینده است. با توجه به کاربری‌های متعدد موجود در اطراف این آتشفشان، فوران آن می‌تواند مشکلات مهمی برای کشور ایجاد کند. اطلاع بر نوع تهدیدها و موقعیت آنها که براساس تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی انجام می‌شود اساس مدیریت خطر آن در مراحل پیش و هنگام فوران را تشکیل می‌دهد.

از آنجا که در دوران تاریخی در ایران هیچ فوران آتشفشانی دیده نشده است، در مقایسه با دیگر خطرهای (مانند زلزله و سیل)، توجه چندانی به این تهدید نشده است. اگرچه مطالعات متعددی روی آتشفشان دماوند و دیگر آتشفشان‌های مهم

ایران صورت گرفته است، اما هدف اکثریت آنها شناخت آتشفشان از منظر علم آتشفشان‌شناسی بوده است نه از منظر تهدید ناشی از آتشفشان. از این نظر، مطالعه مرتضوی و همکاران (Mortazavi et al., 2009) که بیشتر به خطر تفرا این آتشفشان پرداخته‌اند یک استثنا است. نبود آمادگی و هرگونه برنامه در زمان فوران که پیش‌نیاز آنها ارزیابی خطر و وجود نقشه‌های پهنه‌بندی است می‌تواند ابعاد فاجعه را به شدت افزایش دهد. براین اساس، در این مطالعه اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر خاکستر، ابر سوزان، گدازه و لاهار برای این مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آتشفشان ایران شده است.

۲- مواد و روش‌ها

اطلاعات زمین‌شناختی مورد نیاز برای شناخت دماوند و نوع فوران‌ها و مواد خروجی آن از منابع متعدد و نسبتاً کامل موجود به دست آمدند. این اطلاعات برای ارزیابی پتانسیل فوران آبی و نوع خطرهای مربوطه هم مورد استفاده قرار گرفتند. از تصاویر DEM ۳۰ متر به عنوان اطلاعات ارتفاعی رقومی استفاده شد و موزاییک تصویری آن به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر سه‌بعدی مخروط آتشفشانی دماوند.

مداوم و به تفکیک فضایی در صفحات افقی با ابعاد ۲/۵ در ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی و در ۱۷ نقطه ارتفاعی (سطوح همفشار ۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰، ۷۰۰، ۶۰۰، ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ هکتوپاسکال) ارائه می‌دهد که تا ارتفاع ۳۰ کیلومتر (داخل استراتوسفر زمین) را پوشش می‌دهد. البته، در عمل سطوح هم فشار دارای شرایط بادی مشابه ادغام شده و سطوح جوی با ارتفاع ۶، ۹، ۱۶، ۲۰ و ۲۵ کیلومتر در نظر گرفته شدند. همچنین، میانگین سرعت و جهت وزش باد اخذ شده برای هر سطح ارتفاعی به مدل وارد شدند. در ضمن، حجم مواد فورانی ۰/۵ کیلومتر مکعب (برابر با فوران سنت هلنس در سال ۱۹۸۰) و اندازه تفر (مشابه با ارقام در نظر گرفته شده توسط مرتضوی و همکاران (Mortazavi et al., 2009)) اعمال گردیدند.

۲-۲- پخش جریان‌های گدازه

عملکرد مدل شبیه‌ساز جریان گدازه بر این مبنا است که جریان گدازه تابع توپوگرافی است، به‌طوری که جریان از یک پیکسل به هر یک از ۸ پیکسل مجاور در صورتی امکان‌پذیر است که اختلاف ارتفاع پیکسل موردنظر که گدازه در آن قرار دارد با پیکسل مجاور دیگر مثبت باشد (آنها در ارتفاع کمتری قرار داشته باشند). با انتخاب یک یا چند پیکسل به عنوان مبدأ گدازه، محاسبات برای تعیین مسیر حرکت گدازه با استفاده از میانگین‌های الگوریتم مونت کارلو انجام می‌شود. گفتنی است که ارقام توپوگرافی همان مقادیر پیکسلی مدل ارتفاعی رقمی (DEM) محدوده مورد مطالعه بوده‌اند.

در ضمن، برای اجرای مدل، موارد دیگری مانند حداکثر طول جریان (که در این مطالعه ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد)، تصحیح ارتفاعی و تعداد از سرگیری محاسبات هم وارد شدند. محل شروع فوران به صورت دستی و با یک کلیک روی پیکسل یا پیکسل‌های موردنظر در DEM محل انتخاب می‌شود که در این مطالعه دهانه آتشفشان فرض شد.

۲-۳- انتشار ابرهای سوزان

جریان‌های ابر سوزان که در منابع علمی جریان‌های آذرآواری (Pyroclastic Density Currents) با علامت اختصاری PDC نیز نامیده می‌شوند براساس مدل ارائه

از مدل ارتفاعی رقمی برای تهیه تصاویر سه‌بعدی این آتشفشان از نرم‌افزار ENVI استفاده شد. این نرم‌افزار امکان چرخش تصویر سه بعدی و تغییر اندازه آن را هم فراهم کرد. تصاویر سه بعدی حاصله برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی انواع خطر مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، تصویر توپوگرافیک سایه‌دار (Hill Shade) آن با استفاده از نقشه DEM و نرم‌افزار ENVI تهیه شد. این نوع تصاویر با استفاده از فیلتر Sharpen واضح شده و برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به محیط Arc Map وارد شدند. افزون بر این، از تصاویر ماهواره لندست ETM+ و گوگل ارث (Google Earth) برای شناسایی و به نقشه درآوردن کاربری زمین استفاده شد.

۲-۱- انتشار خاکستر آتشفشانی

چند مدل برای بررسی نحوه انتشار خاکستر آتشفشانی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها براساس مدل فرافرت- انتشار (Advection- Diffusion) عمل می‌کند. در این مطالعه از آن استفاده شد. در این مدل، با دور شدن از دهانه آتشفشان خاکستر ستون فوران تحت تأثیر جریان باد و همرفت قرار گرفته و در نهایت، براساس وزن خود نهشته می‌شود. در آن، ستون فوران به صورت یک سیلندر عمودی بر روی دهانه در نظر گرفته شد، از جریان باد در محور عمودی و انتشار عمودی صرف نظر شد و ضرایب افقی انتشار برابر فرض شدند. همچنین، جو زمین به تعدادی لایه تقسیم شد که در هر لایه حرکت باد افقی در نظر گرفته شد (Felpeto et al., 2007).

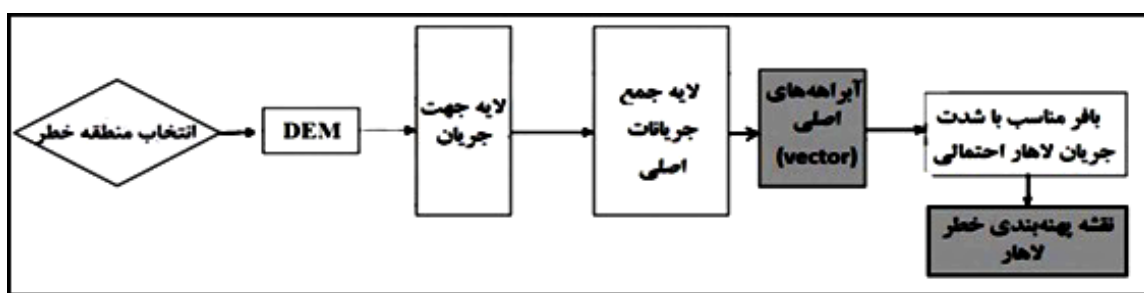
در این مطالعه، از نرم‌افزار VORIS استفاده شد که بر مبنای مدل بالا عمل می‌کند. در آن، با وارد کردن مقادیر مناسب و اجرای نرم‌افزار، نقشه نشان‌دهنده محدوده هم ستبرای خاکستر به عنوان خروجی سیستم به دست می‌آید (خیاط‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

ناگفته نماند که در این مدل لایه‌های متعدد تشکیل‌دهنده جو زمین هر کدام دارای سرعت و جهت باد مخصص به خود است. ذرات منتقل شده توسط باد در هر لایه با ورود به لایه‌های پایین‌تر (ناشی از وزن خود) تحت تأثیر این لایه جدید حرکت می‌کنند. این مراحل تا رسیدن ذره به سطح زمین ادامه می‌یابند (Mortazavi et al., 2009). نکات بالا حاکی از این می‌باشند که برای اجرای آن نیاز به اطلاعات کافی در مورد سرعت و جهت باد در لایه‌های مختلف جو در محلی است که آتشفشان قرار گرفته است. بدین منظور، در این مطالعه از اطلاعات پایگاه NCEP/NCAR استفاده شد. این پایگاه آمار خود را از سال ۱۹۴۸ به طور

محاسبات انجام و لایه‌ای به عنوان مدل مخروط احتمالی انرژی ارائه می‌شود که با داشتن آن محدوده گسترش ابر سوزان، و در نتیجه، نقشه پهنه‌بندی آن تهیه می‌شود (Felpeto, 2009).

۲-۴- پخش لاهار

مراحل شبیه‌سازی پخش لاهار به صورت فلوجارت در شکل ۲ ارائه شده‌اند. براساس آن، با داشتن DEM منطقه مورد مطالعه، لایه موقعیت جریان‌های لاهاری تهیه شد که نشان‌دهنده خط‌القع‌های موجود در مخروط آتشفشان و اطراف آن است. سپس، باتوجه به آبراهه‌های اصلی و دره‌های اطراف مخروط، لایه‌برداری محل جریان مشخص شد. براساس حداکثر مسافت قابل تصور برای این جریان‌ها، محدوده‌های حرکت لاهار، و در نتیجه، نقشه پهنه‌بندی خطر لاهار تهیه شد.



شکل ۲- فلوجارت مراحل شبیه‌سازی پخش لاهار.

۳- منطقه مورد مطالعه

سنگ‌های آتشفشانی قطعه قطعه (ولکانی کلاستیک‌ها) در جنوب، خاور و باختر دماوند دیده می‌شوند. در آن، حجم نهشته‌های آذرآواری بسیار کمتر از گدازه است (مرادی، ۱۳۷۵). آذرآواری‌های جریان (پامیس) در تمامی نواحی اطراف قله آن به چشم می‌خورند. ماهیت شوشونیتی سری‌های ماگمایی دماوند به طور قطع مورد قبول واقع شده و اغلب نمونه‌های آزمایش شده باناکیتی می‌باشند. ناهنجاری‌های منفی Nb، Ta و Ti گدازه‌های آن نشان می‌دهند که آنها از یک پوسته نیمه‌قاره‌ای تشکیل شده‌اند (قلماش و همکاران، ۱۳۹۹). نقشه زمین‌شناسی این آتشفشان در شکل ۱۳ ارائه شده است.

به باور قربانی (۱۳۸۲)، تعدادی دهانه جانبی در ارتفاعات بالای مخروط آتشفشانی دماوند در سمت جنوب باختری و شمال خاوری قرار دارند. ولی فعالیت اصلی دماوند از دهانه مرکزی آن صورت گرفته است. همچنین، در سردویج واقع در شمال آن دیواره قوسی شکلی از گدازه با شیب ملایم به سمت شمال وجود دارد که به عقیده آلن باخ دماوند پیر به سن ۰/۸ تا ۲ میلیون سال قبل است. بر روی گدازه‌های این ناحیه لایه نازکی از قطعات آذرآواری به چشم می‌خورد که در قالب جریانی از لاهار دره منتهی به روستای حاجی دلا را پر کرده است (Davidson et al., 2004). قطر این دهانه قدیمی حدود ۴ کیلومتر است که امروزه رودخانه ناندل در آن جریان دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). جالب اینکه از نظر سنگ‌شناختی این دو فاز فعالیت آن تفاوتی نشان نمی‌دهند (Davidson et al., 2004). جریان‌های گدازه با ترکیب متوسط تا اسیدی، و به ندرت بازالتی، همراه با آذرآواری‌های این آتشفشان بر روی نهشته‌های کهن‌تر قرار گرفته‌اند (بهره‌مند، ۱۳۷۶). به باور ملکوتیان و همکاران (۱۳۸۶) فعالیت آتشفشانی دماوند اساساً از دهانه مرکزی آن صورت گرفته و در آن فوران‌های جانبی کم اهمیت بوده‌اند. ریخت‌شناسی این آتشفشان تا حدودی تحت‌تأثیر فرایندهای یخچالی و رودخانه‌ای پس از آخرین فعالیت آن قرار گرفته است (مقیم و همکاران، ۱۳۸۸). منصوریان و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از تلفیق

شده توسط مالین و شریدان (Malin and Sheridan, 1982) مدل‌سازی شد. این مدل براساس ارتفاع نقطه شروع جریان (H_c) و نسبت آن با طول مسافت جریان (L) که از طریق اصطکاک بر جریان تأثیر می‌گذارد عمل می‌کند. زاویه میل جریان (α_c) از طریق محاسبه $\arctan H_c/L$ به دست می‌آید (Felpeto, 2009).

در مدل، محاسبات با در نظر گرفتن ارتفاع شروع حرکت جریان خیزی (surge) آتشفشانی یا ابر سوزان، مقدار α_c و توپوگرافی محل عمل می‌کنند. بنابراین، ابر سوزان تا محلی پیش می‌رود که h_{ij} آن که از رابطه زیر محاسبه می‌شود بیش از صفر باشد:

$$H_{ij} = H_0 + H_c - \tan \alpha_c d_{ij} - h_{oij} \quad (1)$$

که در آن H_0 ارتفاع نقطه شروع جریان، H_c میزان سقوط ارتفاعی جریان، d_{ij} فاصله بین محل خروج جریان و سلول (پیکسل) ij و h_{oij} ارتفاع سلول ij می‌باشند (Felpeto, 2009). برای اجرای مدل، لازم است از DEM منطقه استفاده شود و مختصات جغرافیایی نقطه یا محدوده شروع جریان وارد سیستم شوند. با فرمان RUN

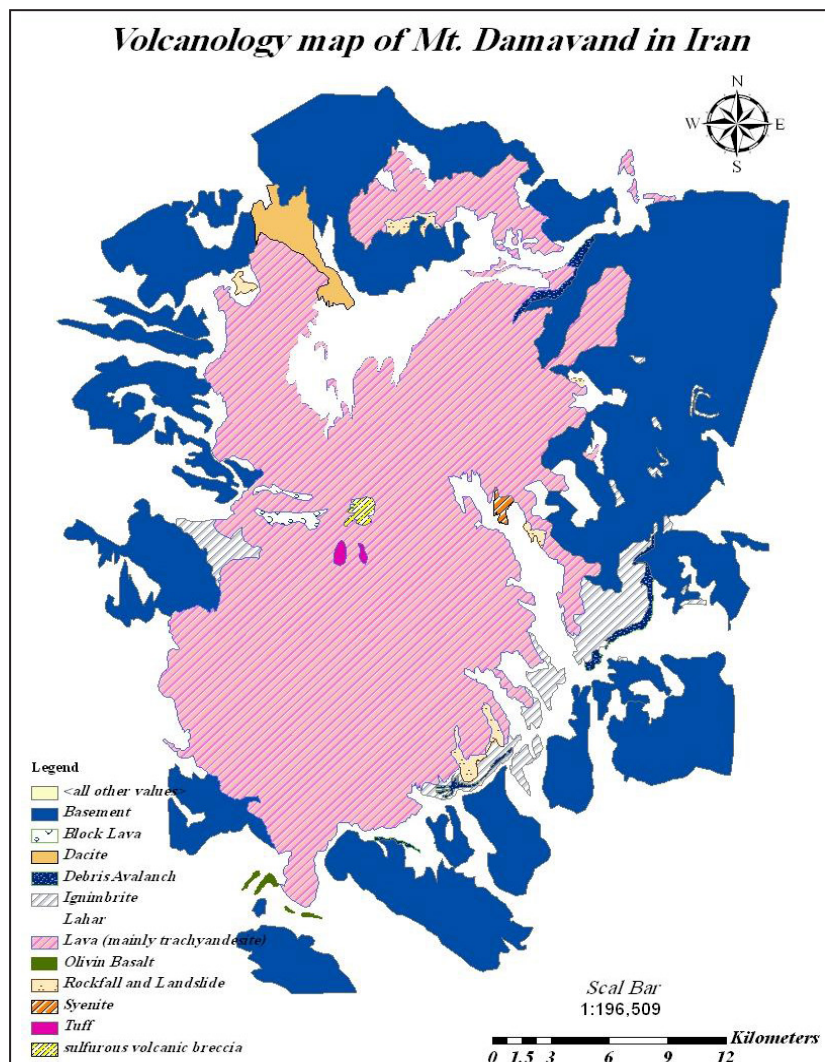
استراتولوکان دماوند با ارتفاع ۵۶۱۹ متر در میانه رشته کوه البرز، در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال شهر دماوند و حدود ۵۰ کیلومتری شمال خاور تهران قرار دارد. این آتشفشان مخروطی شکل و سرپا دارای دهانه قله‌ای کوچکی به قطر حدود ۱۵۰ متر و ژرفای حدود ۲۷ متر است. آب موجود در این دریاچه کراتری یخ زده است و در حاشیه آن فعالیت‌های سولفاتاری متعددی دیده می‌شوند که با تشکیل گوگرد باعث گسترش رنگ زرد در پیرامون شده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). در نزدیکی قله آن پوشش برف و یخ دائمی وجود دارد و رواناب‌های سطح آن جویبارهای مشک انبار و تلخ رود را ایجاد می‌کنند که به رودخانه هراز می‌پیوندند.

مخروط زیبای آتشفشانی دماوند که خود شامل سه جزو نیم مخروط جنوبی و باختری، برآمدگی شمالی و خاوری و نیم‌دایره حاشیه‌ای است (مرادی، ۱۳۷۵) روی سازندهای شمشک و لار (به ترتیب به سن ژوراسیک و کرتاسه) شکل گرفته است. وسعت محدوده‌ای که توسط آن اشغال شده حدود ۴۰۰ کیلومترمربع است. دویسون و دیسلوا (Davidson and De Silva, 2000) براساس ارتفاع این آتشفشان از پی‌سنگ که ۲۰۰۰ متر می‌باشد و مساحت آن که ۴۰۰ کیلومترمربع است، و با فرض مسطح بودن پی‌سنگ آن، حجم مواد این آتشفشان را ۶۰۰ کیلومترمکعب محاسبه کرده‌اند.

دماوند از تناوب گدازه، پامیس، توف و رسوبات لاهاری تشکیل شده است (امامی، ۱۳۷۹). گدازه‌های آن از نوع آلکالن‌سدیک بوده و سنگ‌های تراکی‌آندزیت و تراکیت در آن غلبه دارند (مرادی، ۱۳۷۵). مقدار سنگ‌های بازیک در مخروط این آتشفشان نسبتاً کم است ولی گدازه‌های الیون‌بازالت تا لاتیت در آن شناسایی شده‌اند. گدازه‌های بازیک تنها در دامنه‌های کم شب و معمولاً دور از مخروط دیده می‌شوند. در این آتشفشان، ترکیب شیمیایی ماگمای به‌وجود آورنده در طی حدود ۲ میلیون سال سن آن نسبتاً ثابت بوده است که یک امر غیر عادی است (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰).

جنوب خاوری آن قرار دارند (مرادی، ۱۳۷۵). چشمه‌های آبگرم آن توسط شاه‌بیک (۱۳۷۲) معرفی شده‌اند و کمالی‌نژاد و عباس‌نژاد (۱۳۹۸) ویژگی‌های هیدروشیمیایی آنها را توضیح داده‌اند. مهمترین چشمه‌های آبگرم آن عبارتند از آبگرم اسک، بایجان، لاریجان، پلور و آب آهن.

تصاویر ماهواره‌ای ASTER و SPOT با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و بررسی‌های صحرایی، بیش از ۳۷ مورد گسیختگی دامنه‌ای در مخروط این آتشفشان را شناسایی کرده‌اند. در اطراف دماوند چشمه‌های آبگرم متعددی وجود دارند که حاکی از بالا بودن دمای زمین در ژرفای نه چندان زیاد می‌باشند. بیشتر چشمه‌ها در بخش جنوبی و



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی آتشفشان دماوند.

می‌پردازند. از جمله این نوع نظریات می‌توان به آلن‌باخ (Allen-bach) اشاره کرد. او، مشابه با اسینیکو (Ovcinnikow, 1930) باور دارد که گسل‌های موجود در سازندهای رسوبی منطقه موجب رسیدن مواد آتشفشانی به سطح زمین شده‌اند (امامی، ۱۳۷۱). ولی درویش‌زاده (۱۳۶۴)، امامی (۱۳۷۱) و آقائباتی (۱۳۸۳) گسل‌های ژرف را عامل شکل‌گیری دماوند می‌دانند. گروه دوم شامل نظریاتی است که تشکیل دماوند را مرتبط با فروانش می‌دانند. از جمله، بروس و همکاران (Brousse et al., 1977) تشکیل آن را به فروانش ارتباط داده‌اند. البته این دو گروه نظریه الزاماً با هم منافات ندارند. به این ترتیب که فروانش می‌تواند عامل تشکیل ماگما، و گسل‌ها هدایت‌کننده آن به سطح زمین باشند.

اگرچه دماوند فاقد فوران در دوره تاریخی بوده است، ولی فورمول‌های حلقه‌وار اطراف قله آن که بخار آب و گازهای گوگردی متصاعد می‌کنند، و نیز چشمه‌های آبگرم متعدد پیرامون آن، نشانگر نیمه فعال بودن و احتمال فوران آن می‌باشند. نوع مواد خروجی از دماوند نشان‌دهنده فعالیت‌های متناوب انفجاری و خروج

سنگ‌های مختلف دماوند توسط حسن‌زاده و همکاران (۱۳۸۰) سن‌سنجی شده‌اند (جدول ۱). براساس آن، سن سنگ‌های دماوند در محدوده زمانی ۱/۸ میلیون تا ۳۸۵۰۰ سال پیش قرار دارند. تفاوت سن‌ها معرف تعدد فازهای فورانی آن است. مجادله‌آمیزترین موضوع در مورد دماوند نحوه تشکیل آن است. تاکنون افراد مختلفی در مورد چگونگی تشکیل آن اظهارنظر کرده‌اند که از جمله می‌توان به اسینیکو (Ovcinnikow, 1930)، آلن‌باخ (Allen-bach, 1966)، بروس و همکاران (Brousse et al., 1977)، معین‌وزیری (Moine Vaziri, 1985)، درویش‌زاده (۱۳۶۴)، امامی (۱۳۶۸)، (۱۳۷۱)، مهدی‌زاده (۱۳۷۰)، مرادی (۱۳۷۵)، پندآموز (۱۳۷۷)، باشکوه (۱۳۸۱)، امیدیان (۱۳۸۶)، قلمقاش و همکاران (۱۳۹۹)، اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2018) و زلنسکی و همکاران (Zelenski et al., 2020) اشاره کرد.

در مجموع، نظریات مربوط به چگونگی تشکیل این آتشفشان را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. یک گروه به ارتباط بین گسل‌های البرز مرکزی با این آتشفشان

زمین‌ساختی به‌وجود آورنده این آتشفشان همگی مؤید امکان‌پذیر بودن فوران آن در آینده می‌باشند. مرتضوی و همکاران (Mortazavi et al., 2009) شدت فوران احتمالی بعدی آن را در حد ۴ در مقیاس VEI برآورد کرده‌اند، ولی براساس فوران آتشفشان‌های مشابه، و نیز پیش‌بینی فوران تفتان (خیاطزاده و همکاران، ۱۳۹۵) و بزمان (خیاطزاده و همکاران، ۱۴۰۱) که آنها هم استراتولوکان نیمه فعال می‌باشند، فوران احتمالی دماوند در حد ۳-۵ در مقیاس VEI پیش‌بینی می‌شود.

گدازه از آن در طی کوتاه‌تر است. مرتضوی و همکاران (Mortazavi et al., 2009) آخرین فعالیت آن را در یک محدوده زمانی چند ساعته تا چند روزه یاد کرده‌اند. تصور بر این است که فوران‌های این آتشفشان از نوع استرومبولی، ولکانی و حتی پله‌ای بوده‌اند. مرادی (۱۳۷۵) معتقد است که فعالیت آن از نوع استرومبولی و نیمه‌پلینی بوده است. در مجموع، حضور فومرول‌ها و چشمه‌های آبگرم، کوتاه بودن زمان از آخرین فوران، سرپا بودن مخروط، و نیز حضور و ادامه عملکرد نیروهای

جدول ۱- نمونه‌های سن‌سنجی شده و موقعیت برداشت آنها از آتشفشان دماوند (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰)

نمونه	جنس سنگ	موقعیت برداشت	سن
۱	تراکی آندزیت	دیواره شمالی گودال ناندل به عنوان کهن‌ترین گدازه‌ها	۱ تا ۱/۲ میلیون سال
۲	تراکی آندزیت	حجم اصلی مخروط آتشفشان دماوند	۱ تا ۰/۸ میلیون سال
۳	پامیس	بین جاده پلور و سه راهی لاسم در زیر بازال‌ها	۰/۴ تا ۱/۷۸ میلیون سال
۴	کنگولومرا	لابه‌لای رس‌های سفید رنگ دیواره باختری جاده هراز	۸۱۲/۵ تا ۲/۷ میلیون سال
۵	رسوبات	رودخانه‌ای-دریاچه‌ای کرم رنگ پلور	۱/۸ میلیون تا ۸۰۰ هزار سال
۶	تراکی آندزیت	در شمال سه راهی لاسم، دارای درزهای ستونی	۰/۶ تا ۲۵/۴ هزار سال
۷	رسوبات	رسوبات رودخانه لار به روش کربن ۱۴	۳۸۵۰۰ سال

این خطر‌ها، کاربری زمین در محدوده این آتشفشان هم توضیح داده خواهد شد.

۴-۱- تأثیر ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی ماگما بر روی فوران

دماوند، استراتولوکانی است که دوره‌های متناوب فعالیت و استراحت را طی کرده و به همین دلیل، ترکیب ماگمای سازنده آن نیز در طول زمان، تغییرات محسوسی داشته است. طبق مشاهدات مرادی (۱۳۷۵)، اولین محصولات فورانی این آتشفشان، ترکیب بازیک داشته و شامل سنگ‌هایی همچون الیوین بازالت بوده‌اند. به تدریج، ترکیب شیمیایی ماگما و سنگ‌های حاصل از آن به سمت حدواسط و فلسیک (تراکی آندزیت و تراکیت) تغییر یافته‌اند (مرادی، ۱۳۷۵)، و آخرین فازهای فورانی آن، با انفجار و ایجاد مقدار زیادی مواد آذرآواری از جنس آذرآواری‌های ریزشی و جریانی همراه بوده است (مرتضوی، ۱۳۹۲). این تغییرات ترکیبی، محصول پدیده‌هایی همچون تفریق بلورین، آلودگی و هضم بوده و منجر به افزایش میزان سیلیس، مواد فرار و عناصر ناسازگار در ماگما شده و ترکیب ماگما را به سمت حدواسط ($\text{SiO}_2 = 64-57 \text{ wt} \%$) سوق داده است (Eskandari et al., 2018).

بررسی‌ها نشان داده که ویسکوزیته ماگماهای حدواسط در مخازن ماگمایی حدود ۱۰۴ تا ۱۰۳ پواز بوده و پس از فوران و جایگیری در سطح زمین می‌تواند تا ۱۰۹ پواز نیز برسد (Eskandari et al., 2018)، اما وجود آب و مواد فرار در ماگما باعث کاهش ویسکوزیته شده و تحرک ماگما را افزایش می‌دهد. وجود کانی‌های آب‌داری همچون آمفیبول و بیوتیت در گدازه‌های تراکی آندزیتی و تراکیتی دماوند (مرادی، ۱۳۷۵)، نشان از وجود آب در ماگمای انتهایی دارد. افزون بر این، محاسبات اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2018) نشان داد که ماگمای سازنده این سنگ‌ها در دماوند به طور متوسط ۴ درصد وزنی آب داشته است. این مقدار آب می‌تواند ویسکوزیته ماگما را تا ۱۰۳ پواز کاهش دهد که صعود آن را به سطوح بالاتر آسان می‌کند. ماگمای حدواسطی با این مقدار آب، در ژرفای حدود ۳ کیلومتری زمین (معادل فشار ۷۵۰ اتمسفر) از آب اشباع شده و شروع به تشکیل

قلمقاش و همکاران (۱۳۹۹) محصولات فورانی زمان‌های مختلف فعالیت این آتشفشان را از نظر سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی مورد مطالعه قرار داده و معتقدند دماوند از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازیک تا میانه طی دو میلیون سال گذشته تشکیل شده است. ترکیب گدازه‌های کهن دماوند الیوین بازالتی تا تراکیتی-آندزیتی و ترکیب سنگ‌های جوان تر تراکیتی است. از این رو، به نظر می‌رسد سنگ‌های الیوین بازالتی و تراکیتی آندزیتی دماوند در اثر لایه لایه شدن لیتوسفر قاره‌ای و هجوم گوشته آستونسفری از ذوب بخشی گوشته غنی شده پدید آمده‌اند (قلمقاش و همکاران، ۱۳۹۹). ماگمای سنگ‌های آتشفشانی جوان دماوند نسبت به ماگمای سنگ‌های آتشفشانی کهن مدت زمان بیشتری در پوسته بالایی توقف داشته و دچار آلودگی پوسته‌ای بارزتری شده است (قلمقاش و همکاران، ۱۳۹۹). اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2018) سامانه ذخیره‌سازی ماگما در زیر این آتشفشان را توضیح داده‌اند. بر اساس مطالعات نامبردگان، سامانه ذخیره‌سازی ماگمای متعلق به این آتشفشان پیچیده‌تر از مدل زمین فیزیکی است که در آن سه زون تجمعی در ژرفای ۲۰، ۶-۸ و ۳-۴ کیلومتری در نظر گرفته می‌شود.

همچنین، براساس مطالعات زلنسکی و همکاران (Zelenski et al., 2020) دمای گازهای فومرولی آن 175°C است و در آن بخار آب (به مقدار زیاد)، CO_2 ، H_2S ، SO_2 (به مقدار کمتر)، HCl و HF وجود دارند. مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ - δD گازهای این آتشفشان حاکی از این می‌باشند که ۶۰ تا ۶۵ درصد آن‌ها منشأ ماگمایی داشته و این ترکیب گازی آن‌ها بیانگر قوسی بودن منشأ دماوند است.

۴-۲- نتایج و بحث

در ارتباط با پهنه‌بندی خطر فوران احتمالی آتشفشان دماوند و اثرات آن، لازم است ابتدا تأثیر ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی ماگما بر فوران آن مورد بررسی قرار گیرد تا براساس آن بهتر بتوان در مورد شدت فوران و خطرهای احتمالی اظهار نظر کرد. اما چون اثرات خطرهای ناشی از فوران متأثر از کاربری زمین می‌باشند، پیش از بررسی

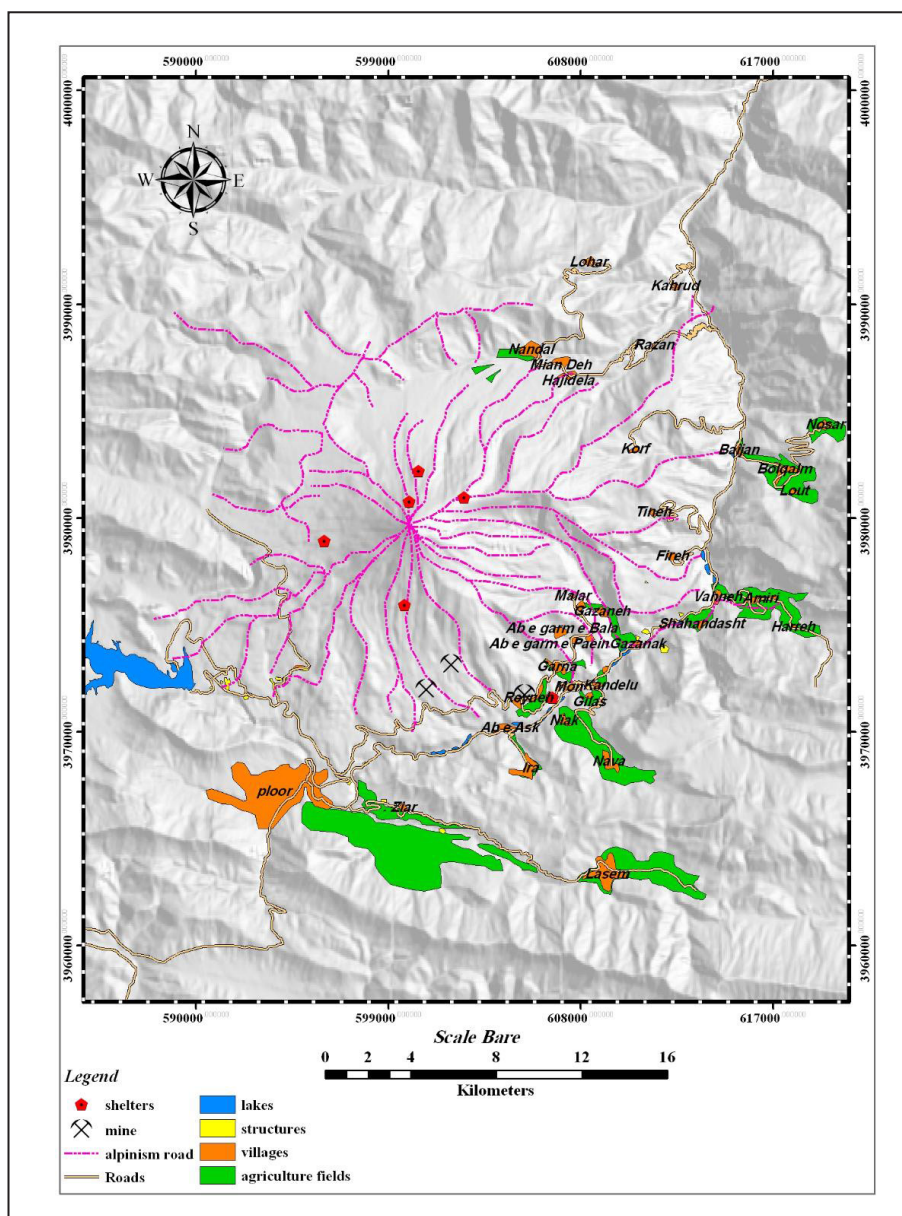
پوسته‌ای و اختلاط باشد، به تدریج، ترک‌بیش فلسیک‌تر شده، مواد فرار آن افزایش یافته و قدرت انفجاری آن نیز زیاد خواهد شد. به طوری که فوران بعدی می‌تواند ستون فورانی بسیار مرتفعی را تولید کرده و مواد آذرآواری ریزشی را در سطح وسیعی منتشر کند. افزون بر این، همراه این فوران‌های انفجاری، معمولاً "جریان‌های داغ و پرقدرت آذرآواری و لاهار نیز تشکیل می‌شوند (Cas and Wright, 1996) که به دلیل وجود دامنه‌های پرشیب دماوند، می‌توانند با سرعت زیاد به پایین حرکت کرده و بسیار مخرب باشند.

۴-۲- کاربری زمین

در اطراف مخروط آتشفشان دماوند تعداد زیادی روستا و چند شهر کوچک قرار دارند. در سطح مخروط چند معدن و ۵ جان‌پناه و پناهگاه در ارتفاع بالاتر از ۴۰۰۰ متر و ده‌ها جان‌پناه و پناهگاه در ارتفاع کمتر از ۳۰۰۰ متر وجود دارند (شکل ۴).

حباب و جوشش می‌نماید (Cas and Wright, 1996) و بخار آب به صورت یک مایع یا بخار دمای بالا از آن جدا می‌شود. پس، در همین ژرفا، به شکل کف مانند درآمده و افزایش حجمی معادل با ۵۰ درصد را تجربه خواهد کرد. از این رو، فشاری را که ایجاد می‌کند بیش از فشار لیتواستاتیک سنگ‌های سقف مخزن ماگمایی (۷۵۰ اتمسفر) خواهد بود و به طور حتم سنگ‌های سقف را شکسته و به صورت انفجاری فوران خواهد کرد. در دماوند، به همین دلیل، فوران‌های انتهایی انفجاری‌تر بوده و مواد آذرآواری بیشتری را تولید کرده‌اند. با توجه به اینکه اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2018) معتقدند که مخازن ماگمایی مختلفی در ژرفاهای ۲۲-۲۸ کیلومتری (معادل ۶ تا ۸ کیلومتر)، ۱۵-۲۲ کیلومتری (معادل ۶-۴ کیلومتر) و ۱۱-۲ کیلومتری (معادل ۳-۰/۶ کیلومتر) در زیر آتشفشان دماوند وجود دارند، چنین استدلالی دور از انتظار نیست.

آخرین فوران دماوند، انفجاری و از نوع نیمه پلینی بوده است (مرتضوی، ۱۳۹۲). چنانچه ماگما، در مخازن زیر سطحی دماوند، همچنان در حال تفریق، هضم مواد



شکل ۴- کاربری‌ها و سرمایه‌های موجود در سطح و اطراف دماوند.

خاکستر به ۱۱ رده (۱-۳ میلی‌متر تا بیش از ۳ متر) نشان داده شده است. بنابراین، آبادی‌های مستقر در خاور دماوند به شدت در معرض خاکسترهای ناشی از فوران آن قرار خواهند داشت. این آبادی‌ها عبارتند از ملار، تینه، فیره، امیری، گزانه و بایجان که البته تینه و فیره در معرض مشکلات شدید ناشی از خاکستر متراکم در هوا و ستبرای زیاد آن در سطح قرار خواهند داشت.

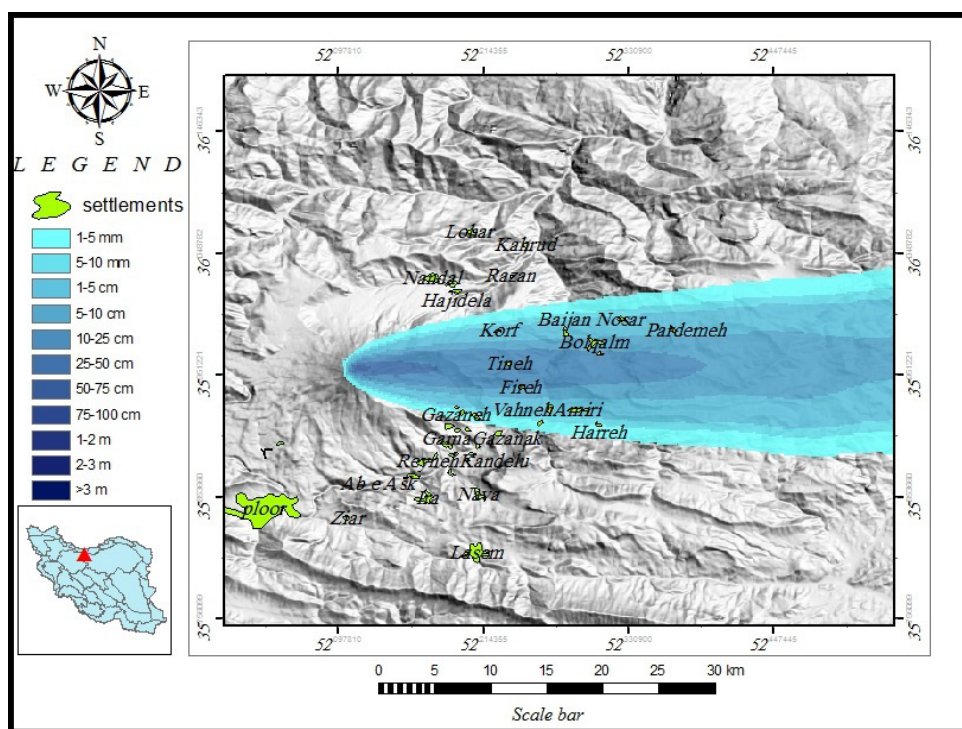
اگر ستبرای خاکستر در پشت بام منازل به بیش از حدود ۰/۵ متر برسد خطر ریزش سقف وجود دارد. همچنین، خاکستر باعث مشکلات تنفسی، آلودگی منابع آب سطحی، خسارت به محصولات کشاورزی، کاهش دید در جاده‌ها و حتی مشکلاتی برای هواپیماهای عبوری از محل خواهد شد. نقشه گسترش خاکستر آتشفشان دماوند توسط مرتضوی و همکاران (Mortazavi et al., 2009) هم تهیه شده است که با نقشه تهیه شده در این مطالعه تا حدی هماهنگ است.

در ضمن، قابل توجه است که جهت و سرعت باد در ارتفاعات بالا در ایام مختلف سال تا حدی تغییر می‌کند. بنابراین، بستگی به زمان فوران و شرایط هوا، ممکن است پلوم خاکستر با نقشه ارائه شده (شکل ۵) که بر اساس متوسط شرایط باد تهیه شده مقداری تفاوت نشان دهد.

در روستاهای اطراف آن، مهمترین فعالیت‌ها شامل کشاورزی، باغبانی، زنبورداری، پرورش ماهی و دامپروری است. چند مجتمع استفاده از آبگرم معدنی نیز در خاور آن دایر شده است (مقیعی و همکاران، ۱۳۸۸). در محدوده دماوند نقش و اهمیت گردشگری و کوهنوردی رو به گسترش است (Kastka, 2002). بزرگراه مواصلاتی هراز که یکی از راه‌های ارتباطی پایتخت به شمال کشور است از جمله عناصر تحت خطر این آتشفشان است (مرتضوی و همکاران، ۲۰۰۹). تعداد جاده‌های درجه ۲ و ۳ در اطراف و سطح مخروط نسبتاً زیاد است که به علت جدید بودن بسیاری از آنها و اهمیت کمتر، در نقشه کاربری زمین درج نشده‌اند. مقیمی و همکاران (۱۳۸۸) نیز نقشه موقعیت روستاها، پناهگاه‌ها و معادن اطراف این آتشفشان را ارائه کرده‌اند.

۴-۳- خطر تفرّا

نقشه گسترش خاکستر ناشی از فوران احتمالی دماوند در شکل ۵ ارائه شده است. باتوجه به مسیر کلی بادها در ارتفاعات بالای این عرض جغرافیایی که باختر به خاور است، پلوم خاکستر در خاور این آتشفشان قرار می‌گیرد. در این پلوم، ستبرای



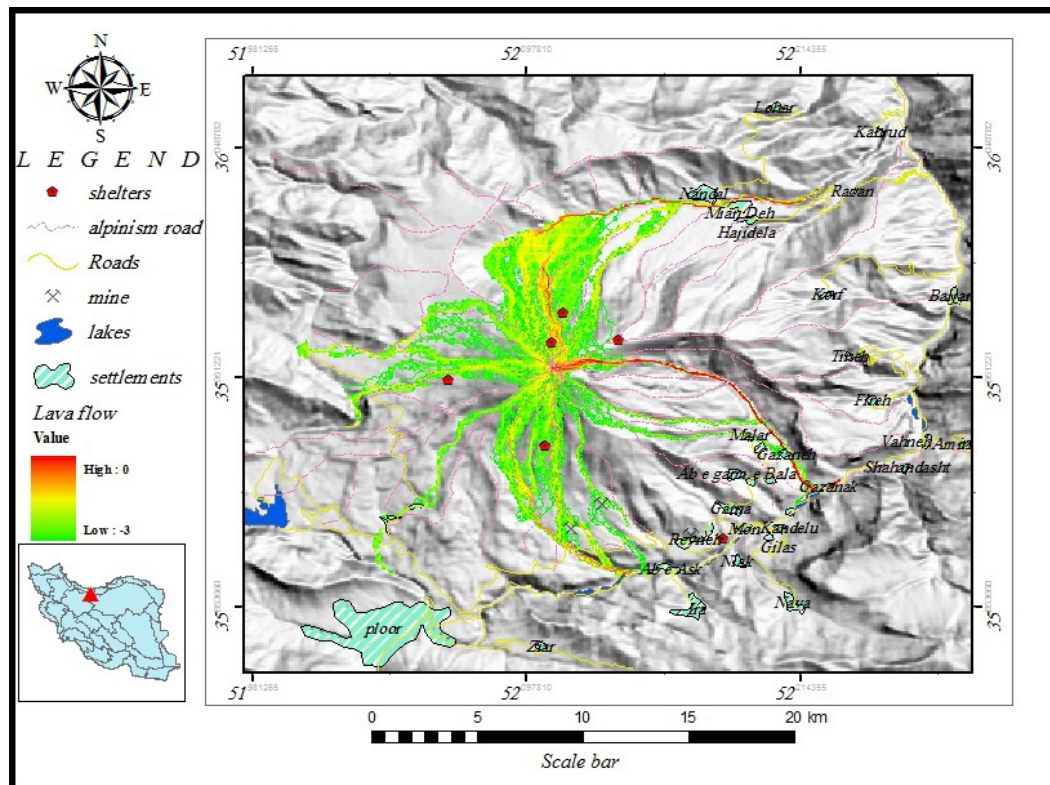
شکل ۵- نقشه انتشار خاکسترهای ناشی از فوران احتمالی دماوند.

۴-۴- خطر گدازه

خاور یا جنوب) در نهایت وارد دره هزار شده و به سمت شمال حرکت خواهند کرد. همچنین، جریان‌های دامنه باختری در دلیچای به هم پیوسته و به سمت جنوب منحرف می‌شوند (شکل ۶).

ناگفته نماند که معمولاً گدازه در همه بخش‌های دامنه آتشفشان جاری نمی‌شود و بستگی به شرایط و موقعیت دقیق انفجار پیش از خروج، آنها یکی از مسیرهای معرفی شده را پیش می‌گیرند، اما این مسیر که تابع نحوه انفجار پیش از خروج گدازه و موقعیت دقیق آن است قابل تعیین نیست.

مسیرهای احتمالی گدازه در فوران احتمالی آتشفشان دماوند در شکل ۶ مشخص شده‌اند. باتوجه به آن، جریان گدازه در شمال مسیر رودخانه ناندال را طی می‌کند. البته، روستاهای حاجی‌دلا، ناندال، میان‌ده و رزان موجود در این محدوده در معرض تهدید قرار ندارند، ولی سه جان‌پناه دامنه شمالی (نزدیک به قله) در مسیر گدازه قرار دارند. مسیر اصلی جریان گدازه در دامنه‌های جنوبی و خاوری خواهد بود که در این صورت روستاهای آب اسک، ملار، گزانه و گزنک می‌توانند تهدید شوند. در صورت خروج مقدار کافی گدازه بازالتی، جریان‌ها (خواه از محورهای شمال،



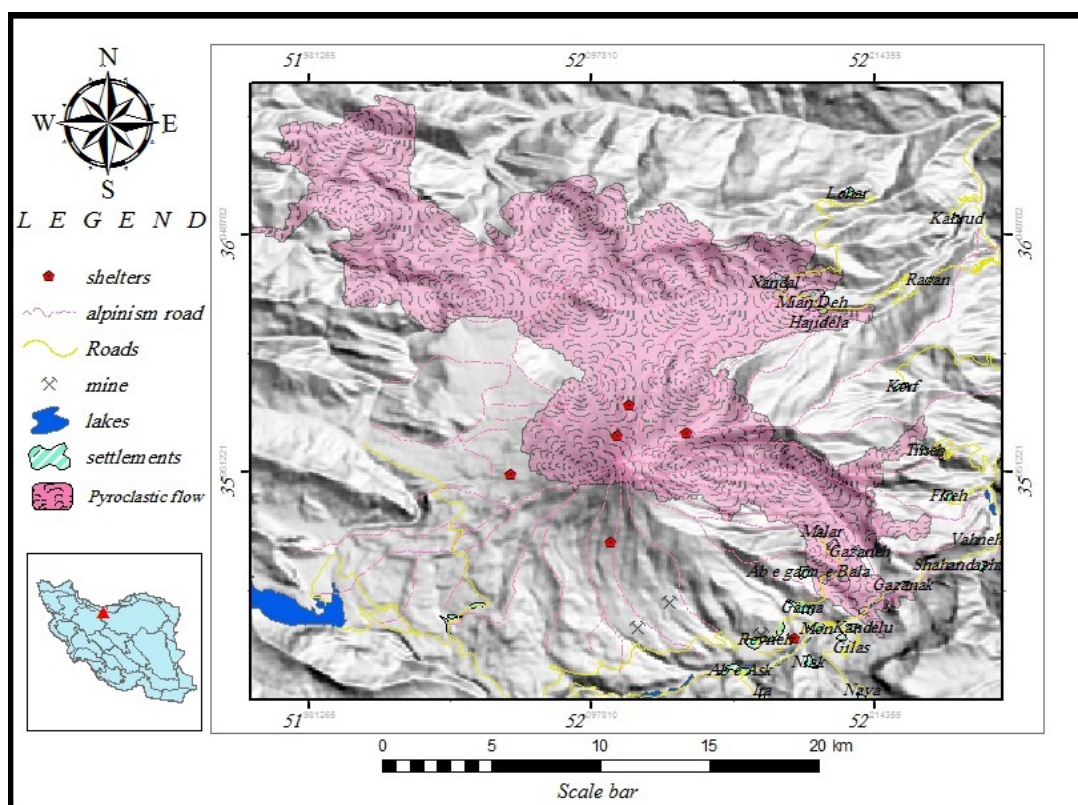
شکل ۶- مسیر گدازه‌های ناشی از فعالیت دماوند.

۴-۵- خطر ابر سوزان

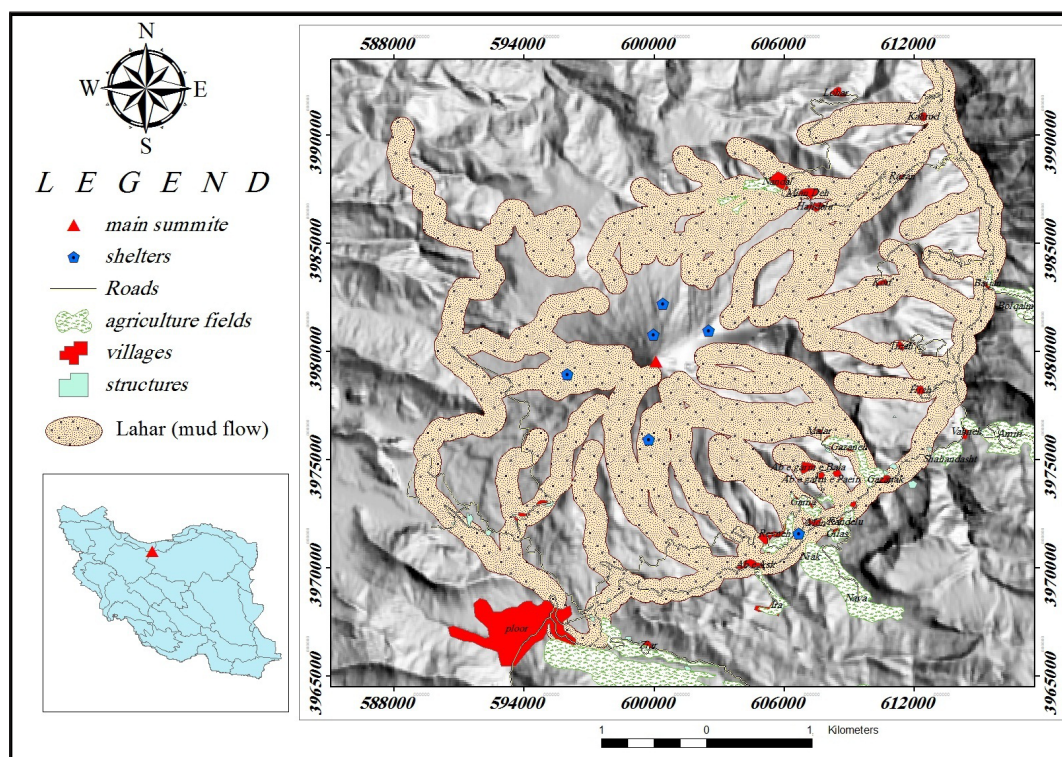
نقشه گسترش ابرهای سوزان در فوران احتمالی آتشفشان دماوند در شکل ۷ ارائه شده است. براساس آن، روستاهای حاجی‌دلا، ناندال و میان‌ده در دره ناندال (شمال آتشفشان) و روستاهای ملار، گزنه، آبگرم لاریجان، گزنک و کندلو در جنوب خاوری آن در معرض این خطر قرار دارند. همچنین، دو جان‌پناه در دامنه شمالی و استراحتگاه تخت فریدون در یال خاوری در محدوده خطر ابر سوزان قرار دارند. ناگفته نماند که نقشه پهنه‌بندی حاصله با فرض ارتفاع متناظر سقوط ابر سوزان به میزان ۲۰۰ متر و زاویه معادل سقوط (زاویه بین ارتفاع سقوط ابر سوزان و شیب توپوگرافی) ۶ درجه در نظر گرفته شده است، ولی هر دوی این مقادیر می‌توانند کمتر یا بیشتر بوده و محدوده پخش متفاوت باشد. فرضیات بالا برای شرایط متوسط که معمولاً محتمل‌تر هستند در نظر گرفته شده‌اند.

۴-۵- خطر لاهار

نقشه پهنه‌بندی خطر لاهار در شکل ۸ ارائه شده است. براساس آن، روستاهای



شکل ۷- گسترش ابرهای سوزان ناشی از فوران احتمالی دماوند.



شکل ۸- نقشه گسترش لاهارهای ناشی از فوران احتمالی دماوند.

۵- نتیجه‌گیری

شواهد مختلف موجود نشانگر احتمال فوران آتشفشان دماوند در آینده می‌باشد، اگرچه زمان فوران قابل پیش‌بینی نیست. فوران این آتشفشان در حد ۳-۵ در مقیاس VEI پیش‌بینی می‌شود. در صورت فوران، مهمترین تهدیدها عبارتند از خاکستر، ابر سوزان، لاهار و گدازه. باتوجه به اینکه رژیم بادهای مرتفع در این منطقه تقریباً باختر به خاور است، خاکستر فوران به سمت خاور پخش می‌شود و می‌تواند مشکلاتی را برای چند روستا ایجاد کند. بستگی به شرایط انفجار پیش از خروج گدازه، گدازه‌های خروجی از آن ممکن است در هر بخشی از مخروط؛ در خاور، باختر، شمال و جنوب؛ حرکت کنند. ولی تحت تأثیر توپوگرافی، گدازه در حین جریان محدوده‌های خاصی را می‌پوشاند. در مجموع، چند جان‌پناه و چند آبادی در جنوب مخروط می‌توانند توسط گدازه تهدید شوند.

براساس نقشه پهنه بندی خطر ابرسوزان، این مواد می‌توانند چند جان‌پناه و چندین روستا در شمال و جنوب مخروط آتشفشان را تهدید کنند. از آنجا که این مواد به شدت کشنده هستند، لازم است در صورت بروز نشانه‌های فوران، اهالی این روستاها به سرعت محل را ترک کنند. همزمان با فوران، یا حتی ماه‌ها و سال‌ها پس از آن، احتمال ایجاد لاهار وجود دارد. جریان‌های لاهاری به تبعیت از توپوگرافی و شیب از بخش‌های پر برف و یخ مخروط شروع شده و در پایین دست آن به دره‌های اطراف مخروط می‌رسند. آنها می‌توانند مسافت

قابل ملاحظه‌ای در دره‌های اصلی منطقه (هزار و دلیچای) حرکت کنند. این جریان‌ها به دلیل وجود مقادیر زیادی خاکستر و ذرات و قطعات درشت‌تر (درمقایسه با سیل) سطح مقطع بزرگتری از دره‌ها را اشغال می‌کنند. به همین دلیل، می‌توانند به آبادی‌ها و کاربری‌های نزدیک بستر این دره‌ها آسیب زیادی وارد سازند. از آنجا که قطعیت کافی در مورد فوران این آتشفشان وجود ندارد، مهمترین راهکار مدیریتی توجه به لرزه‌خیزی منطقه (به‌ویژه در زیر مخروط آتشفشان) است. در صورتی که میزان لرزه‌خیزی نسبت به وضعیت زمینه افزایش معنی‌داری نشان داد بهتر است با نصب لرزه‌نگارهای بیشتر و استفاده از دیگر پیش‌نشانگرهای آتشفشانی، دماوند به خوبی تحت مراقبت قرار گیرد. گفتنی است که در حین زمین لرزه‌های مختلف آتشفشانی، انواع با امواج هارمونیک و دوام زیاد بیش از دیگران می‌توانند معرف حرکت رو به بالای ماگما و احتمال فوران باشند. بنابراین، توجه به وقوع این نوع زلزله‌ها و تغییر ژرفای آنها نسبت به زمان می‌تواند برای پیش‌بینی زمان فوران و هشدار بسیار مفید باشد. در این مطالعه، محتمل‌ترین مقادیر حجم، ارتفاع و اندازه ذرات تفر که در این نوع آتشفشان‌ها معمولاً وجود داشته و مبنای مدل‌سازی قرار می‌گیرند، به کار گرفته شدند. ولی جا دارد در مطالعات بعدی شرایط با متغیر فرض کردن هریک از این موارد، مدل‌سازی شده و اثرات آنها بررسی شوند.

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- امامی، م. ه.، ۱۳۶۸، آتشفشان دماوند و بررسی احتمال فوران مجدد آن، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور.
- امامی، م. ه.، ۱۳۷۱، بررسی احتمال فوران مجدد آتشفشان دماوند (فاز اول: بررسی پتروژنز و نحوه فعالیت آتشفشان)، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- امامی، م. ه.، ۱۳۷۹، ماگماتیسیم در ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- امیدیان، ص.، ۱۳۸۶، تعیین جایگاه زمین‌ساختی آتشفشان دماوند براساس شواهد ساختاری و ژئوشیمیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- باشکوه، ب.، ۱۳۸۱، دگرسانی گرمابی در شرق یخچال یخار و جایگاه آن در تاریخچه تکوین آتشفشان دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- بهره مند، ا.، ۱۳۷۶، گزارش نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- پندآموز، ع. ت.، ۱۳۷۷، تعیین جایگاه روانه‌های بازالتی در توالی آتشفشانی دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- حسن‌زاده، ج.، پندآموز، علی، سون جان، د. و استو کلی، د.، ۱۳۸۰، آتشفشان دماوند: نگاهی به تاریخ تکوین آن بر پایه داده‌های ژئوشیمی و سن‌سنجی جدید، مجموعه مقالات پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران، ۴۹-۴۴.
- خیاطزاده، ا.، عباس‌نژاد، ا.، رنجبر، ح.، احمدی‌پور، ح. و عباس‌نژاد، ب.، ۱۴۰۱، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر تفر، گدازه و ابرهای سوزان ناشی از فوران احتمالی آتشفشان بزمان، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، DOI: AAG.2022.40960.2299/10.22055.
- خیاطزاده، ا. و عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۹۵، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری EN-SAW و ANP در مطالعات زمین‌شناسی: ارزیابی و اولویت‌بندی خطر فعال شدن استراتوولکان‌های ایران به عنوان مطالعه موردی، فصلنامه علوم زمین، (۱۰۲) ۲۶، ۱۴۶-۱۳۷.
- خیاطزاده، ا.، عباس‌نژاد، ا. و رنجبر، ح.، ۱۳۹۵، پهنه‌بندی خطر تفر، گدازه و ابرهای سوزان ناشی از فوران احتمالی آتشفشان تفتان، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۸) ۵، ۳۰-۱۷.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۶۴، اصول آتشفشان‌شناسی، انتشارات دانشگاه تهران.
- شاه‌بیک، ا.، ۱۳۷۲، آب‌های معدنی و گرم ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۲، آتشفشان‌شناسی، با نگرشی بر آتشفشان‌های ایران، نشر آریین زمین.
- قلمقاش، ج.، رشید، ح. و محمدی‌آزاد، ل.، ۱۳۹۹، پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان دماوند: مقایسه نسل‌های مختلف آتشفشانی، فصلنامه کوآترنری ایران، (۴) ۶، ۵۴۷-۵۶۶.
- کمالی‌نژاد، م. و عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۹۸، مطالعه چشمه‌های آبگرم و معدنی ایران: ویژگی‌های شیمیایی، درمانی و گردشگری، نشر سنجش و دانش.
- مرادی، م.، ۱۳۷۵، تفروکرونولوژی و دینامیک آتشفشان دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- مقیمی، ا.، بدری‌فر، م. و زارعی‌نژاد، م.، ۱۳۸۸، مورفودینامیک توده آتشفشانی دماوند و مدیریت محیط با استفاده از GIS و RS، علوم زمین، (۸) ۷۲، ۷۲-۶۳.
- منصوریان، ع.، زارعی‌نژاد، م.، مقیمی، ا. و امیدیان، ص.، ۱۳۸۷، ایجاد بانک اطلاعات ژئومورفولوژیکی - زیست‌محیطی دماوند تحت Web GIS، مجله علوم زمین، ۶۹، ۷۴-۸۵.
- مهدی‌زاده، ح.، ۱۳۷۰، بررسی پتروشیمی دماوند و مقایسه آن با مرکز فعالیت آتشفشانی مسایف ساترال، مجله علوم دانشگاه تهران، (۲) ۲۰، ۱۲۴-۱۰۹.
- ملکوتیان، س.، حق‌نظر، ش. و معین‌وزیری، ح.، ۱۳۸۶، کانی‌شناسی سنگ‌های آتشفشانی دماوند، سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط‌زیست.

References

- Allen-bach, P., 1966. Geologic und Petrographic des Damavand and seiner Umgeburg (Zentral Elburz), Iran, Mitteilong. Na 63, Geoiogisches Institut, ETH –Zurich, 114P.
- Bonadonna, C., Biass, S., Menoni, S., and Gregg, C. E., 2021. Assessment of risk associated with tephra-related hazards. In Forecasting and planning for volcanic hazards, risks, and disasters , pp. 329-378.
- Brousse, B., Lefevre, C., Maury, R.C., Moein Vaziri, H., and Aminsobhani, E., 1977. Le Damavand; un volcan shoshonitic dela plague Iranienne, Comptes Rendus, Acoind Sc., Serie D, 285 (2), 131- 134.
- Cas, R.A.F., and Wright, J.V., 1996. Volcanic Successions, Modern and Ancient, Chapman and Hall, 528 p.
- Chester, D. K., 1988. Volcanoes and climate: recent volcanological perspectives, progress in physical Geography: Earth and Envionment, 12 (1), 1-35.
- Cole, P. D., Neri, A. and Baxter, P. J., 2015. Hazards from Pyroclastic Density Currents, in: The Encyclopedia of Volcanoes (2nd ed), 943- 956.
- Connor, C. B., Hill, B. E., Brandi, W., Franklin, N. M., and La Femina, P. C., 2001. Estimation of volcanic hazards from tephra fallout, Natural Hazards Review, 2 (1), 33-42.
- Davidson, J., and De Silva, S., 2000. Composite volcanoes, Encyclopedia of volcanoes, 1, 663- 681.
- Davidson, J., Hassanzadeh, J., Stockli, D. H., Bashkoo, B., Turrin, B., and Pannamouz, A., 2004. The Geology of Damavand volcano, Alborz Mountains, Northern Iran, GSA Bulletin, 116(1-2), 16- 29.
- Eskandari, A., Amini, S., De Rosa, R., and Donato, P., 2018. Nature of the magma storage system beneath the Damavand volcano (N. Iran): An integrated study. Lithos, 300, 154-176.
- Felpeto, A., 2009. VORIS, a GIS based tool for volcanic hazard assessment, user Guide, Observatorio Geofisico Central, IGN.
- Felpeto, A., Marti, J., and Ortiz, R., 2007. Automatic GIS- based system for volcanic hazard assessment, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 166, 106- 116.
- Gallant, E., 2019. Modelling and Assessing Lava Flow Hazards, University of South Florida.
- Hansell, A., and Oppenheimer, C., 2004. Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. Archives of Environmental Health: An International Journal, 59(12), 628-639.
- Kostka, R., 2002. The world mountain Damavand: documentation and monitoring of human activities using remote sensing data. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 57(1-2), 5-12.
- Malin, M. C., and Sheridan, M. F., 1982. computer- assisted mapping of pyroclastic surges, Science, 217, 637- 640.
- Moine Vaziri, H., 1985. Volcanisme Tertiaire et Quaternaire en Iran, Theses de doctorates Terre, Ocean.
- Mortazavi, M., Sparks, R. S. J., and Amigo, A., 2009. Evidence for Recent Large Magnitude Explosive Eruptions at Damavand Volcano, Iran, with Implication of volcanic Hazards, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, university of Tehran, 20 (20), 253- 264.
- Ovcinnikow, A., 1930. Outline of the geology of the Damavand region. Bull. Naturalists Moseou, sect. geol, 8(4).
- Toon, O. B., 1980. Volcanoes and climate. Atmospheric Effects and Potential Climatic Impact of the 1980 Eruptions of Mount St. Helens, 15-36.
- Williams- Jones, G., and Rymer, H., 2015. Hazards of volcanic gases, in: The Encyclopedia of volcanoes, Academic Press,), 985- 992.
- Zelenski, M., Chaplygin, I., Babadi, M. F., Taran, Y., Campion, R., Mehrabi, B., and Kuznetsova, O., 2020. Volcanic gas emissions from Taftan and Damavand, the Iranian volcanoes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 397, 106880.

Original Research Paper

Tephra, Lava flow, Nuee Ardente and Lahar Hazard Zoning of Damavand Volcano

Ahmad Khaiatzadeh¹, Ahmad Abbasnejad^{1*}, Hojjatollah Ranjbar², Hamid Ahmadipour¹ and Behnam Abbasnejad¹

¹Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

²Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022 June 23

Accepted: 2022 August 01

Available online: 2022 December 22

Keywords:

Damavand

Lava hazard

Tephra hazard

Nuee ardente hazard

Lahar hazard

ABSTRACT

Damavand is one of the most potential volcanoes of Iran for future eruption. Such indicators as having a slightly- eroded cone, presence of many thermal springs, eruption activity in Late Quaternary, as well as the progression of the generating tectonic regime, all, attest this claim. The intensity of eruption is anticipated to be about 3-5 in Volcanic Explosivity Index (VEI) scale. As a result, such hazards as tephra (ash), nuee ardente, lava flow and lahar may pose problems. Thus, this study deals with zoning these hazards. For zoning, Digital Elevation Models (DEM= 30 m), Landsat ESTM+ pictures as well as Arc GIS, ENVI and VORIS softwares were employed, and for construction of nuee ardente- hazard zoning, Malin and Sheridan (1982) model were used. Atmospheric data for the spread of ashes were taken for NCER/NCAR center. Lava flow routes were determined using a simulation model which is based on the assumption that topography plays the main role on the route of flow, and lavas flow from a point to the nearby one if their differences are positive. In order to construct lahar hazard map, locations of main troughlines on the cone and around the volcano were determined and lahar invasion areas were determined using a proper buffer zone. Based on this study, volcanic ash plume will form at the east of volcano and a number of towns and villages would be threatened. Lava flows and nuee ardentes would threaten some villages around the cone. Lahars would flow via throughlines on the cone and arrive the main vallies around it (Hezar and Delichai). They would threaten many residential areas in their route. The prepared hazard maps are useful and necessary for management of these hazards.

* Corresponding author: Ahmad Abbasnejad; E-mail: Aabbas@uk.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2022.348628.2009

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.24.0

