

تحلیل مقایسه‌ای پارامترهای ژئومورفولوژیکی و ژئوشیمیایی گل‌فشان‌های درابول شرقی و غربی واقع در جلگه دشتیاری، سیستان و بلوچستان

صمد فتوحی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
مسعود سعیدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
حسین نگارش - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

چکیده

امروزه مطالعه گل‌فشان‌ها بعنوان یکی از عوارض ناشناخته و متحصر بفرد زمین مورد توجه متخصصان علوم مختلف قرار گرفته است. گل‌فشان درابول غربی در شرق روستای ریمدان و در فاصله ۵ کیلومتری شمال غربی کوه‌های درابول مرز مشترک ایران و پاکستان قرار دارد و گل‌فشان درابول شرقی دقیقاً در یک کیلومتری شرق گل‌فشان درابول غربی قرار دارد. در گام نخست، با حضور در منطقه، مطالعات میدانی مستقیم انجام گردید و کلیه پارامترهای ژئومورفولوژیکی گل‌فشان‌ها ثبت شد و نمونه‌های گل و آب جهت بررسی و آنالیز شیمیایی XRD و XRF به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گل‌فشان درابول غربی بدلیل خروج روانه‌های گلی با غلظت بالاتر و گرانبوی کمتر مرتفع‌تر شده و در دامنه‌ها دارای شیب بیشتری نیز می‌باشد اما گل‌فشان درابول شرقی بدلیل رقیق‌تر بودن روانه‌های خروجی آن دارای ارتفاع کمتر و قطر قاعده، مساحت و محیط بیشتری است. همچنین وجود صدفها، دوکفه‌ایها و گاستروپودها در روانه‌های گلی، نشان از عمق پایین هر دو گل‌فشان دارد. در نتایج بدست آمده از آنالیز شیمیایی به روش XRD، هر دو گل‌فشان دارای فاز اصلی شامل، کوارتز، شاموزیت، ایلیت و آلپیت و فاز فرعی شامل کلسیت هستند. در آنالیز شیمیایی به روش XRF عناصر (۲SiO) دی‌اکسید سیلیسیوم یا کوارتز، (۳O۲Al) اکسید آلومینیوم، (۲Na) دی‌اکسید سدیم، (MgO) اکسید منیزیم، (۲K) دی‌اکسید پتاسیم، (۲TiO) دی‌اکسید تیتانیوم، (MnO) اکسید منگنز یا منگنزیت، (CaO) اکسید کلسیم، (۵O۲P) دی‌اکسید فسفر، (۳O۲Fe) هماتیت، (۳So) تری اکسید سولفور و (LOI) مواد آلی وجود دارد که در میزان آن درصدی کمی با هم تفاوت دارند.

واژگان کلیدی: گل‌فشان، درابول غربی، درابول شرقی، پارامترهای ژئومورفولوژیکی، آنالیز شیمیایی، XRF، XRD

مقدمه

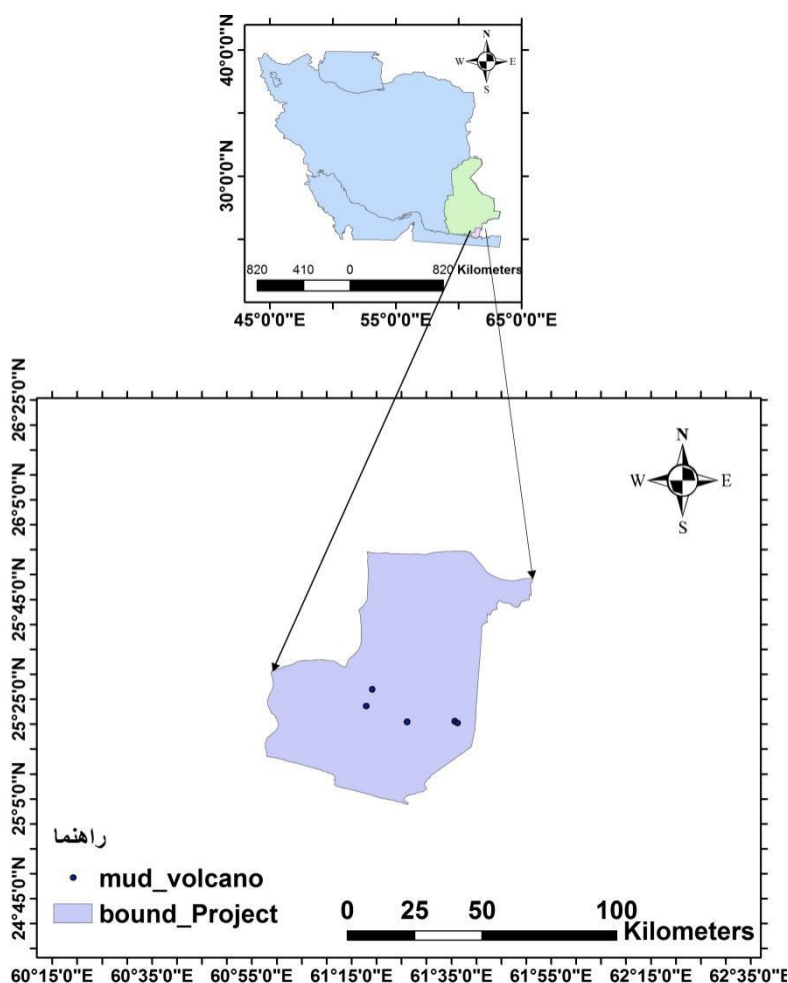
از هدف‌های اساسی متخصصان علوم زمین تفسیر پدیده‌های سطح زمین برای پیش‌بینی فرآیندهای درونی زمین می‌باشد. در سالهای اخیر ژئوشیمی و کانی‌شناسی گل‌فشان‌ها مورد توجه محققان مختلف علوم زمین قرار گرفته است به ویژه زمین‌شناسان و محققانی که بدنبال اکتشاف منابع نفتی هستند (آرین و همکاران ۱۳۹۲). از نظر زمین‌شناسان گل‌فشان‌ها، نشان‌دهنده فعالیت‌های تکتونیکی جوان، زون‌های ضعیف یا گسله، فعالیت آتشفشانها و نواحی فرورانش هستند. (Judd, A., ۲۰۰۵). با توجه به اینکه گل‌فشان‌ها از درون زمین سرچشمه می‌گیرند می‌توانند شواهد خوبی برای وضعیت درونی زمین به‌همراه داشته باشند (نگارش و همکاران ۱۳۸۹). گل‌فشان‌ها با بیرون راندن سطحی رسوبات و سیالات از مخازن تحت فشار زیاد، به سرعت در حال تکامل هستند. (Verónica Antunes et al, ۲۰۲۲). مواد بسیار سریع انجام می‌شود که باعث تشکیل حباب شده و همراه با صدا می‌باشد. (Clark Audrey N, ۱۹۸۵). گل‌فشان‌ها از منابع تولید و انتشار گازهای کربنی، به ویژه گازهای گلخانه‌ای و متان هستند. سوخت‌های فسیلی شامل نفت و گاز در عمق سه تا چهار کیلومتری اعماق زمین و در خلل و فرج لایه‌های آن و با فشار چند صد اتمسفر بصورت ذخیره می‌باشند. گاز متان در حرارت و فشار موجود در کانسارها متراکم نمی‌گردد، بنابراین همیشه بصورت گاز باقی مانده ولی در مخازنی که تحت فشار بالا هستند بشکل محلول در می‌آید. بیشتر در مناطقی که گل‌های حاوی مواد آلی و سرشار از گازهای هیدروکربوری مثل متان در مدت زمان کوتاهی مدفون شده و ممکن است به دلیل وجود متان به حالت معلق درآمده و تحت تاثیر فشارهای تکتونیکی از مجاری و شکاف گسل‌های منطقه خارج شود (نگارش، ۱۳۸۰). گل‌فشان‌های واقع در شمال غربی کلمبیا توسط مردم محلی به عنوان مراکز تفریحی و همچنین تندرستی ارزان قیمت استفاده می‌شوند. (Maurizio Palmisano et al 2023) ترکیب معدنی این گل‌فشان‌ها را مورد بررسی قرار داد و عناصر تشکیل دهنده آنها را شامل کوارتز، فیلسیلیکات‌ها (کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت و کلریت)، فلدسپات، کربنات‌ها (دولومیت، کلسیت) مشخص نمود. در دسته‌بندی دیگری سه گروه را مشخص نمود: غنی از کائولینیت، غنی از ایلیت و غنی از کلریت. این گل‌فشان‌ها به دلیل سطوح بسیار کم آلاینده‌های مضر برای سلامت انسان، مناسب هستند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که گل‌ها و آب‌های حرارتی آزاد شده توسط این گل‌فشان‌ها دارای ارزش درمانی بالقوه هستند. فتوحی و نگارش در سال ۲۰۱۲ مطالعه‌ای بر روی فازهای اصلی و فرعی گل‌فشان نفتلیجه واقع در جنوب غربی دریای خزر و غرب تالاب گمیشان در استان گلستان انجام دادند. نتایج حاصل از آزمایشات XRD و XRF نشان داد که فازهای اصلی شامل کوارتز، کلسیت و ایلیت و همچنین میزان کوارتز (SiO₂) ۴۰٫۸۸ درصد، مواد آلی (Loi) ۱۹٫۱۵ درصد و اکسید کلسیم (CaO) ۱۳٫۹۷ درصد می‌باشد. در تحقیقی که توسط Xiangxian Ma و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام شد، گل‌فشان‌های Aiqigou، Dushanzi و Baiyanggou در فعال‌ترین منطقه گل‌فشانی سراسر چین واقع در حوضه جنوبی Junggar در طول چهار فصل مورد بررسی قرار گرفتند. ترکیبات مولکولی اصلی گاز و آب، ایزوتوپ‌های کربن و هیدروژن، کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همچنین ایزوتوپ‌های اکسیژن آب، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. گازهای منتشر شده از این گل‌فشان‌ها متان CH₄، مقدار کمی اتان C₂H₆، دی‌اکسید کربن CO₂ و نیتروژن N₂ می‌باشد. اندازه‌گیری میزان گازها اغلب بدلیل تخمین ذخایر هیدروکربور انجام می‌شود از همین رو از شاخص‌های مهم و قابل توجه در بررسی گل‌فشان‌ها، اندازه‌گیری میزان گاز آن می‌باشد (Mazzini et al, ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای که بر روی منشاء گازهای هیدروکربوری گل‌فشان‌های خشکی سواحل مکران انجام شد میزان نسبت ایزوتوپی هیدروژن متان و کربن و گازهای دیگر هیدروکربوری مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که منشاء گازهای خروجی، گرم‌زاد یا ترموژنیک است که بدلیل گرم شدن مواد آلی در اعماق زمین بوجود می‌آیند و حضور سیستم‌های هیدروکربوری و سنگ منشاء فعال را در این ناحیه تکتونیکی فعال نشان می‌دهد (مهین فرهادیان بآبادی و همکاران، ۱۳۹۶)

در مطالعه مشابهی که بر روی گل فشان پیرگل انجام شد ویژگیهای ژئوشیمیایی و ایزوتوپی گازهای خارج شده از این گل فشان مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که گازهای خروجی غالب از آن دی اکسید کربن و متان هستند. منشأ گرمزاد گازهای هیدروکربوری گل فشان در ارتباط با شکستن حرارتی مواد آلی است که بیانگر احتمال حضور سیستم هیدروکربوری در این منطقه است. گوشته بالایی به عنوان یکی از منشأهای احتمالی گازهای خروجی از گل فشان پیرگل نقش دارد که ممکن است مرتبط با حضور سیالات سیستم‌های زمین گرمایی منطقه باشد. (panelMartina Busetti) و همکاران در سال ۲۰۲۳ مجموعه‌ای از گل فشان‌ها را در حاشیه قاره‌ای قطب جنوب در دریای Ross که در بستر دریا قرار دارند شناسایی کردند. این گل فشان‌ها دارای چندین کیلومتر عرض و دهها متر ارتفاع هستند. جهت شناسایی این گل فشان از داده‌های مورفومتریک، پروفیل لرزه‌ای چند کانالی با وضوح متوسط، پروفیل Chirp با وضوح بالا و همچنین خطوط مغناطیسی استفاده شد. در نهایت با بکارگیری تکنیک‌های پردازش هدفمند و همچنین شناخت خصوصیات ژئوفیزیکی اشکال برجسته مدفون شده در کف دریا و ویژگی‌های زمین شناسی زیربنایی، این گل فشان‌ها شناسایی شدند. این سازندها احتمالاً از سنگهایی با منشأ رسی مربوط به میوسن تغذیه می شوند. به نظر می رسد برخی از این سازندها با یک سیستم لوله کشی مرتبط هستند که گاز را از اعماق به سطح انتقال می دهند.

در سال ۲۰۲۳ (Yanlin Wang) و همکارانش یک کوه غیر معمول را در اعماق دریای چین جنوبی با استفاده از مدل سازی گرانش رو به جلو سه بعدی بر اساس محدودیت داده‌های لرزه‌ای (انعکاس و شکست) مورد بررسی قرار دادند. این مدل برای شناسایی بهتر و دقیقتر اشکال و عناصر چند ضلعی و چند وجهی کاربرد دارد. پوسته زیر این کوه ۱/۶ کیلومتر و نازک است که دارای گسل های بسیار زیاد می باشد. نفوذ آب دریا از طریق پوسته نازک بسیار آسان است و منجر به درجه بالایی از ماریپیج شدن سنگ های گوشته بالایی می شود. این کوه ماریپیج، با چگالی ظاهری کم و همچنین سرعت لرزه‌ای کم، احتمالاً وجود یک گل فشان ماریپیج در مرکز اقیانوس میانی را با سرعت گسترش کم نشان می دهد. از آنجایی که گل فشان های ماریپیج کشف شده قبلی همگی در حاشیه صفحات همگرا محدود نی باشند، این مطالعه به درک جدیدی از مکانیسم گل فشان ماریپیج منجر خواهد شد.

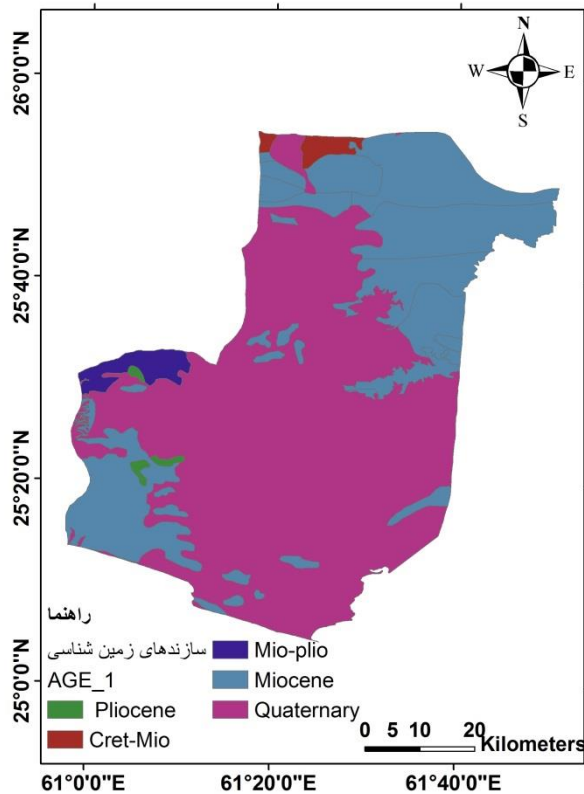
موقعیت منطقه مورد مطالعه

جلگه پهناور دشتیاری در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران و در جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان بین ۲۵ تا ۲۵,۴۵ درجه عرض شمالی و ۶۱ تا ۶۱,۳۰ درجه طول شرقی قرار دارد و یکی از بخش‌های شهرستان چابهار است. جلگه دشتیاری از شرق به کشور پاکستان، از جنوب به دریای عمان و از جنوب غرب به شهر چابهار می‌رسد. گل فشان درابول شرقی و درابول غربی در شرق روستای ریمدان و در فاصله ۵ کیلومتری شمال غربی کوه‌های درابول مرز مشترک ایران و پاکستان قرار دارند. این دو گل فشان در فاصله یک کیلومتری از هم قرار دارند. برای دسترسی به این گل فشان‌ها، در ۶۵ کیلومتری جاده راسک چابهار به سمت جاده فرعی آسفالت ریمدان در سمت چپ وارد می‌شویم. بعد از پیمودن ۳۰ کیلومتر به سمت شرق وارد مسیر خاکی فرعی در سمت راست جاده می‌شویم، بعد از طی حدود ۵ کیلومتر، به گل فشان‌ها می‌رسیم.



شکل شماره ۱: موقعیت نسبی جلگه دشتیاری

بر اساس روش آمبرژه اقلیم منطقه دشتیاری از نوع اقلیم بیابانی با گرمای فوق العاده شدید بوده و جزء نواحی بیابانی ایران محسوب می‌شود. عرض جغرافیایی، ارتفاع، نزدیکی با آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان و جهت وزش بادهای نمناک دریایی مهمترین عوامل تعیین کننده اقلیم منطقه جلگه دشتیاری می‌باشند. منطقه دشتیاری از بقایای دوران سنوزویک محسوب می‌شود (میر، علیرضا، ۱۳۹۱) و جزء ساختار بیرونی (ساحلی) منطقه مکران بشمار می‌آید. از نظر توپوگرافی کوه‌ها و تپه‌های اطراف جلگه دشتیاری از ارتفاع نسبتاً کمی برخوردارند که بیشتر دارای سنگ‌های رسوبی از نوع ماسه سنگ و شیل و میان لایه‌های مارن، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا می‌باشند. این بالا آمدگی‌ها معمولاً فاقد گیاه می‌باشند و عمدتاً در بخش شمالی، شرقی، غرب، جنوب‌غربی و نواحی داخلی جلگه پراکنده شده‌اند. (فریفته، جمشید، ۱۳۶۷). از ویژگی‌های این زون (بیرونی یا ساحلی) وجود مجموعه‌های افیولیتی و نهشته‌های فلیشی، برونزدگی سنگ‌های دوره کرتاسه و همچنین ساختار و امتداد لایه‌های آن با یک روند عمومی شرقی - غربی می‌باشد. شدت چین‌خوردگی متوسط و محور چین‌خوردگی گاه‌آخمیدگی نشان می‌دهد. در منطقه مطالعاتی واحدهای سنگی متعلق به دوره‌های میوسن و پلیوسن زیاد بوده و تعیین میزان ضخامت واقعی آنها به راحتی مقدور نیست. واحدهای رسوبی این ناحیه از مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده که همه متعلق به نواحی کم عمق دریا هستند. ضخامت زیاد واحدهای سنگی نشان می‌دهد که رسوبگذاری در دوره مربوطه سریع انجام شده است.



شکل شماره ۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

اساساً مطالعات جغرافیایی بالاخص تحقیقات ژئومورفولوژیکی به صورت جمع‌آوری اطلاعات کتابخانه‌ای و مطالعات مستقیم میدانی انجام می‌شود (نگارش، حسین، ۱۳۸۹). برای مطالعه بر روی این گل‌فشان از روش مطالعات میدانی مستقیم و مطالعات آزمایشگاهی استفاده گردید.

مهمترین بخش این مطالعه مربوط به بررسی میدانی از گل‌فشان است که در زمان بازدید میدانی، گل‌فشان درابول غربی غیر فعال و گل‌فشان درابول شرقی فعال بود. در گام اول موقعیت گل‌فشان‌ها با سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید، دمای محیط با دما سنج اندازه‌گیری شد و بعد از آن تمامی پارامترهای ژئومورفیک و مورفومتریک آن اندازه‌گیری شد. در مرحله بعدی اقدام به جمع‌آوری نمونه گل و آب از گل‌فشان گردید. به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی چندین نمونه از حاشیه و قسمت‌های مرکزی و از عمق‌های مختلف حدود ۱۵ الی ۲۰ سانتی متری برداشت انجام شد. نمونه جمع‌آوری شده در ظروف مخصوص نگه‌داری و پس از آن جهت انجام آزمایش‌های تجزیه شیمیایی XRD و XRF مشخص کردن ترکیبات معدنی آن به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج حاصله به صورت جداول، نقشه و نمودار تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و یافته‌های تحقیق

بازدید میدانی از گل‌فشان درابول غربی

گل‌فشان درابول غربی در نزدیکی کوه‌های درابول در مرز ایران و پاکستان قرار دارد. این گل‌فشان مرتفع‌ترین گل‌فشان جلگه دشتیاری است. این گل‌فشان در هر چهار دامنه دارای بدلندهای زیادی است. در زمان بازدید میدانی از گل‌فشان درابول غربی، صدفهای دریایی و دوکفه‌ایها بسیار زیاد مشاهده گردید. این دوکفه‌ایها به همراه آب و گل از گل‌فشان بیرون آمده و در زمان فرسایش سطح گل‌فشان ظاهر می‌شوند. این گل‌فشان در زمان بازدید غیر فعال بود ولی گسترش و ارتفاع زیاد این گل‌فشان نشان از فعالیت زیاد آن در ادوار گذشته داشته است. همچنین میزان ریل و گالی تشکیل شده در گل‌فشان درابول غربی بسیار زیاد است. در پایان و پس از ثبت کلیه پارامترهای ژئومورفولوژیکی به میزان ۵۰۰ گرم از نمونه‌هایی که هوازده نشده‌اند از عمق ۱۵ الی ۲۰ سانتی متری جهت انتقال به آزمایشگاه برداشت گردید.



شکل شماره ۳: گل‌فشان درابول غربی را نشان می‌دهد



شکل شماره ۴: وجود دوکفه‌ایها و گاستروپودها در گل‌فشان درابول غربی

بازدید میدانی از گل فشان درابول شرقی

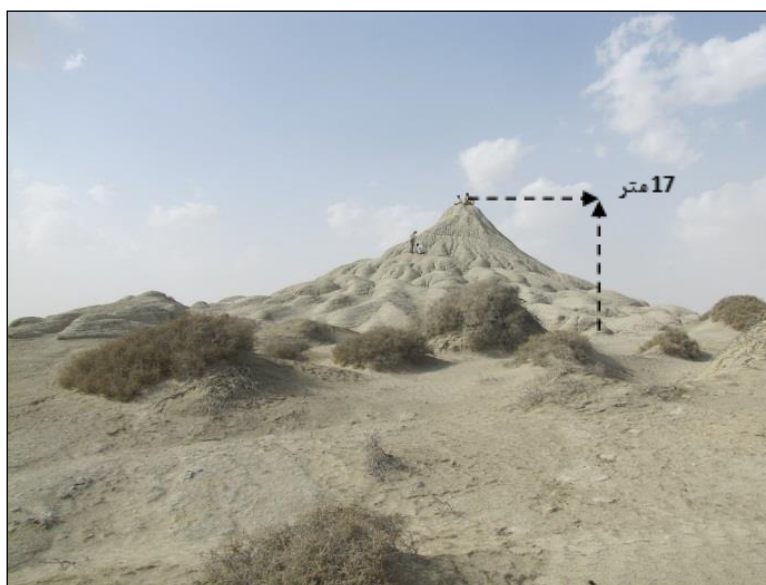
گل فشان درابول شرقی در مشرق گل فشان درابول غربی و در یک کیلومتری آن قرار دارد. ارتفاع این گل فشان نسبت به گل فشان درابول غربی کوتاه تر است. این گل فشان دارای یک مخروط اصلی و چند مخروط فرعی است. در چند متری مخروط اصلی مخروط جدیدی در حال شکل گیری است. مخروط فرعی در زمان بازدید فعال بود و گل و آب نسبتاً رقیقی از آن خارج می شد. این گل فشان دارای تعداد زیادی دهانه فرعی بود که بصورت ردیفی در امتداد هم قرار داشتند. پس از ثبت کلیه پارامترهای ژئومورفولوژیکی نسبت به جمع آوری آب و گل گل فشان به میزان ۵۰۰ سی سی اقدام و برای مطالعات دقیق تر به آزمایشگاه منتقل گردید.



شکل شماره ۵: گل فشان درابول شرقی را نشان می دهد

پارامترهای ژئومورفولوژیک گل فشان درابول غربی

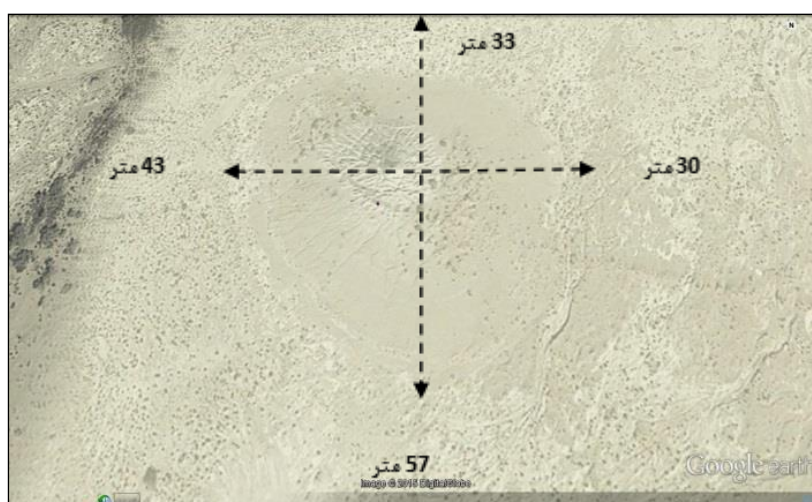
گل فشان درابول غربی در ۲۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۲/۴ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۹/۵ ثانیه طول شرقی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۱ متر و ارتفاع آن از سطح منطقه ۱۷ متر است که مرتفع ترین گل فشان واقع در جلگه دشتیاری است. این گل فشان شکل مخروطی کاملی دارد و از زیباترین گل فشان های جلگه دشتیاری است. گل فشان درابول غربی دارای یک مخروط اصلی و یک دهانه اصلی به قطر یک متر است که در بالای مخروط اصلی و در راس گل فشان قرار داشته و مخروط فرعی ندارد، اما در قسمت غربی آن ۳ نقطه بسیار کوچک خروج گل مشخص است که هنوز تشکیل مخروط نداده است و ممکن است در آینده تشکیل مخروط بدهد. قطر قاعده آن ۴۰/۷۵ متر است. دمای محیط در زمان بازدید ۲۶٫۲ درجه سلیسیوس و دمای گل فشان ۳۰/۵ درجه سلیسیوس به ثبت رسید. در هر چهار دامنه این گل فشان ریل و گالی فراوانی وجود دارد. میزان ریل و گالی در دامنه های غربی و جنوبی بیشتر و در دامنه های شمالی و شرقی کمتر می باشد. مساحتی که گل فشان درابول غربی اشغال کرده در حدود ۵۲۱۴/۱۶ متر مربع است. همچنین محیط این گل فشان در حدود ۲۵۵/۹۱ متر می باشد.



شکل شماره ۶: ارتفاع گل فشان درابول غربی را نشان می دهد

جدول شماره یک: میزان شیب دامنه گل فشان درابول غربی

شیب (درجه)	دامنه
۳۱/۲	شمالی
۳۴/۶	غربی
۳۷/۷	شرقی
۳۰/۸	جنوبی



شکل شماره ۷: شعاع گسترش روانه های گلی گل فشان درابول غربی

میزان روانه‌های گلی در گل فشان درابول غربی در چهار دامنه اندازه‌گیری شد که نتایج زیر بدست آمد.

جدول شماره ۲: شعاع گسترش روانه های گلی گل فشان در ابول غربی

دामنه	شعاع گسترش (متر)
جنوبی	۵۷
غربی	۴۳
شمالی	۳۳
شرقی	۳۰

شعاع گسترش این روانه ها در دامنه جنوبی بیشتر از بقیه دامنه ها می باشد و این نشان از فعالیت بیشتر در این دامنه بوده است.



شکل شماره ۸: وضعیت تشکیل ریل در گل فشان در ابول غربی

رنگ مواد خارج شده از این گل فشان خاکستری روشن متمایل به سفید است که جهت خروج مواد بیشتر در دامنه شمالی دیده می شود. ترکهای گلی و بدلند در هر چهار سمت به وضوح دیده می شود اما پرتاب مواد جامد در روانه ها دیده نمی شود. جنس مواد خارج شده بیشتر مارن، رس و سیلت هستند. از نظر وضعیت پوشش گیاهی مخروط فاقد پوشش گیاهی است ولی نواحی اطراف گل فشان بوته زار همراه با تک درختان چش و کهور است.

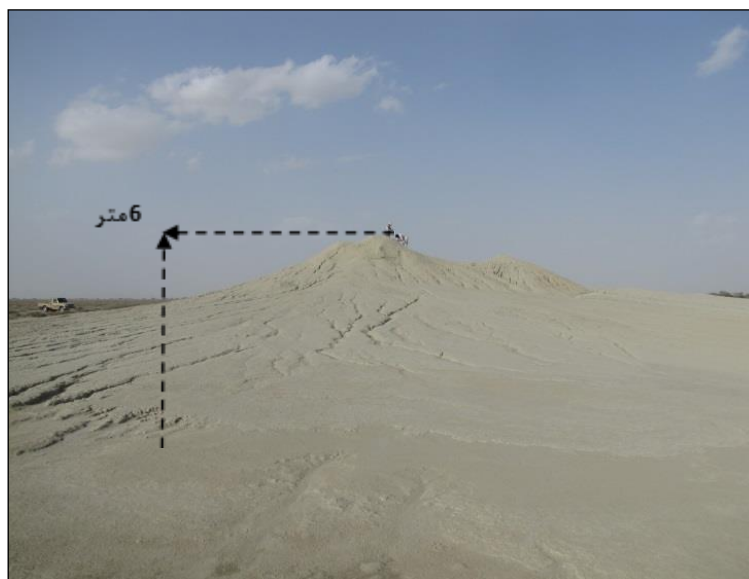
جدول شماره ۳: پارامترهای ژئومورفولوژیکی گل فشان در ابول غربی

توضیحات	پارامترهای ژئومورفولوژیکی	توضیحات	پارامترهای ژئومورفولوژیکی
مخروطی کامل	شکل گل فشان	۲۱ متر	ارتفاع از سطح دریا
در هر چهار دامنه	وضعیت تشکیل بدلند	۱۷ متر	ارتفاع از سطح منطقه
دارد	ریل و گالی / دارد-ندارد	۳۱/۲ درجه	شیب دامنه شمالی

شیب دامنه جنوبی	۳۰/۸ درجه	وضعیت ترکهای گلی	دارد
شیب دامنه شرقی	۳۷/۷ درجه	پرتاب مواد جامد در گل	ندارد
شیب دامنه غربی	۳۴/۶ درجه	جنس مواد خروجی	رس، سیلت و مارن
تعداد دهانه های اصلی	غیرفعال	غلظت مواد خروجی	-
تعداد دهانه های فرعی	ندارد	رنگ مواد بیرون ریخته	خاکستری روشن
تعداد مخروط اصلی	یک مخروط	جهت خروج مواد	در دامنه جنوبی
تعداد مخروط فرعی	ندارد	میزان رسوب برداشت شده	۵۰۰ گرم
قطر دهانه اصلی	یک متر	دمای آب	-
قطر دهانه فرعی	غیرفعال	دمای گل	-
عمق دهانه اصلی	ندارد	دمای گل خشک شده	۳۰/۵ درجه سیلیسیوس
عمق دهانه فرعی	ندارد	دمای محیط	۲۶/۲ درجه سیلیسیوس
قطر قاعده	۴۰/۷۵ متر	PH آب	-
شعاع گسترش روانه ها	۴۰/۷۵ متر	PH گل	-
محیط گل فشان	۲۵۵/۹۱ متر	TDS آب	-
مساحت گل فشان	۵۲۱۴/۱۶ متر	جهت باد در هنگام بازدید	جنوب شرقی شمال غربی
وضعیت فعالیت	خاموش	-	-

پارامترهای ژئومورفولوژیک گل فشان درابول شرقی:

گل فشان درابول شرقی در شرق روستای ریمدان و در فاصله ۵ تا ۶ کیلومتری شمال غربی کوه‌های درابول مرز مشترک ایران و پاکستان و دقیقاً در یک کیلومتری شرق گل فشان درابول غربی قرار دارد. این گل فشان در ۲۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ دقیقه و ۳۶ دقیقه و ۱۰/۶ ثانیه طول شرقی قرار دارد. مخروط اصلی گل فشان درابول شرقی در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا و ارتفاع ۶ متری از سطح منطقه قرار دارد. دهانه فرعی که در زمان بازدید فعال بود، ارتفاع آن از سطح دریا ۶ متر و ارتفاع آن از سطح منطقه یک متر به ثبت رسید.

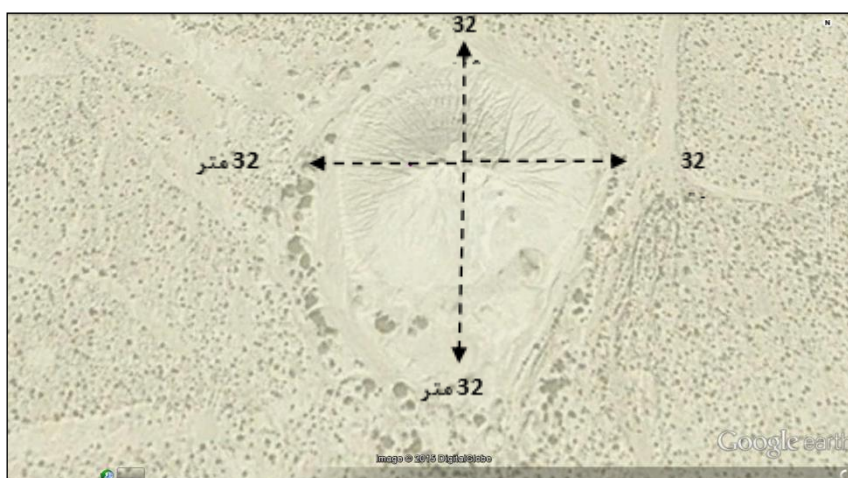


شکل شماره ۹: ارتفاع گل فشان درابول شرقی

جدول شماره ۴: میزان شیب دامنه گل فشان درابول شرقی

شیب (درجه)	دامنه
۲۹/۶	غربی
۲۶/۹	جنوبی
۱۶/۴	شمالی
۱۲	شرقی

ملاحظه می شود که دامنه غربی بیشترین شیب را دارد و این نشان دهنده فعالیت بیشتر آن در گذشته در همین سمت بوده است. دامنه شرقی آن با ۱۲ درجه شیب دارای کمترین شیب است که شامل چندین دهانه است که در امتداد هم قرار گرفته و تا پایین گل فشان ایجاد شده اند. این گل فشان دارای ۲ مخروط اصلی و ۶ مخروط فرعی است. همچنین دهانه های اصلی آن ۲ عدد و دهانه های فرعی آن ۶ عدد هستند. دهانه های اصلی دارای قطری به میزان ۱/۵ متر و دهانه های فرعی آن دارای قطری به میزان ۴۰ سانتی متر تا ۸۰ سانتی متر اندازه گیری و به ثبت رسیدند. عمق دهانه های اصلی در آن زیاد مشخص نبود ولی عمق دهانه های فرعی آن حدوداً ۴۰ سانتی متر هستند.



شکل شماره ۱۰: شعاع گسترش روانه‌های گل فشان درابول شرقی

شکل شماره ۵: شعاع گسترش روانه‌های گلی گل فشان درابول شرقی

شعاع گسترش (متر)	دامنه
۳۶/۵	غربی
۵۷	جنوبی
۳۲	شمالی
۴۱	شرقی

فعالیت گل فشان درابول شرقی بصورت خروج گل همراه با صدای ملایم با حبابهای بسیار کوچک به صورت روانه‌های گلی رقیق که تا فاصله حدود ۷ متری یکی از دهانه‌های فرعی گسترش داشت.



شکل شماره ۱۱: دهانه فعال (دهانه فرعی) گل فشان درابول شرقی

دمای محیط در حدود ۲۶/۲ درجه سیلیسیوس و دمای گل خشک شده مخروط اصلی ۲۶/۲ درجه سیلیسیوس و دمای گل و آب خارج شده از دهانه فعال آن نیز ۲۶/۲ درجه سیلیسیوس به ثبت رسید. غلظت مواد خروجی یا ویسکوزیته گل فشان درابول شرقی رقیق و رنگ مواد بیرون ریخته از دهانه فعال آن خاکستری تیره است. همچنین رنگ مواد خارج شده از مخروط اصلی به رنگ سفید است که در حال حاضر غیر فعال است. در هر چهار دامنه و در دور تا دور گل فشان ریل و گالی دیده می شود اما در دامنه های شمالی، شرقی و غربی بیشتر مشهود هستند. جهت خروج مواد در مخروط فرعی و فعال، بیشتر در شرق و غرب است اما در مخروط اصلی بیشتر در دامنه جنوبی فعال تر بوده است.



شکل شماره ۱۲: وضعیت ریل در گل فشان درابول شرقی

بدلند در هر چهار دامنه و دور تا دور آن تشکیل شده بویژه در دامنه شمالی، شرقی و غربی که بیشتر از دامنه جنوبی می باشد. ترکهای گلی در این گل فشان مشاهده نشد ولی به همراه مواد خارج شده از گل فشان پوسته صدفهای دریایی بویژه دوکفه ایها مشاهده گردید ولی پرتاب مواد جامد دیگر مثل سنگ در آن دیده نشد. جنس مواد خارج شده از این گل فشان بیشتر رس، سیلت و مارن است. از نظر وضعیت پوشش گیاهی خود گل فشان فاقد گیاه است ولی نواحی اطراف بوته زار همراه با تک درختان اندک چش و کهور است.



شکل شماره ۱۳: دوکفه ایها و صدف های خارج شده از گل فشان در ابول شرقی

جدول شماره ۶: پارامترهای ژئومورفولوژیکی گل فشان در ابول شرقی

توضیحات	پارامترهای ژئومورفولوژیکی	توضیحات	پارامترهای ژئومورفولوژیکی
مخروطی دو دهانه ای	شکل گل فشان	ارتفاع از سطح دریا	اصلی ۱۰ متر-فرعی ۶ متر
دارد	وضعیت تشکیل بدلدن	ارتفاع از سطح منطقه	۶ متر
دارد	ریل و گالی/دارد-ندارد	شیب دامنه شمالی	۱۶/۴ درجه
ندارد	وضعیت ترکهای گلی	شیب دامنه جنوبی	۲۶/۹ درجه
صدفها و دوکفه ایها	پرتاب مواد جامد در گل	شیب دامنه شرقی	۱۲ درجه
رس، سیلت ومارن	جنس مواد خروجی	شیب دامنه غربی	۲۹/۶ درجه
رقیق	غلظت مواد خروجی	تعداد دهانه های اصلی	۲ دهانه
خاکستری تیره و سفید	رنگ مواد بیرون ریخته	تعداد دهانه های فرعی	۶ دهانه
چهار جهت	جهت خروج مواد	تعداد مخروط اصلی	۲ مخروط
۵۰۰ گرم	میزان رسوب برداشت شده	تعداد مخروط فرعی	۶ مخروط
۲/۲۶درجه سیلیسیوس	دمای آب	قطر دهانه اصلی	۱/۵ متر
۲/۲۶درجه سیلیسیوس	دمای گل	قطر دهانه فرعی	از ۴۰ تا ۸۰ سانتی متر
۲/۲۶درجه سیلیسیوس	دمای گل خشک شده	عمق دهانه اصلی	غیرفعال
۲/۲۶درجه سیلیسیوس	دمای محیط	عمق دهانه فرعی	۴۰ سانتی متر

قطر قاعده	۴۲/۶۲ متر	PH آب	-
شعاع گسترش روانه ها	۴۲/۶۲ متر	PH گل	-
محیط گل فشان	۲۶۱/۳۷ متر	TDS آب	-
مساحت گل فشان	۵۴۴۰/۴۹ متر	جهت باد در هنگام بازدید	جنوب شرقی-شمال غربی
وضعیت فعالیت	فعال	سرعت باد در هنگام بازدید	۶ و ۴/۵ متر بر ثانیه

آنالیز شیمیایی گل فشان در ابول غربی به روش XRD :

جدول شماره ۷: نتایج حاصل از آزمایش XRD در گل فشان در ابول غربی

	Mineral name:	Chemical formula:	Group:
فاز اصلی	Quartz,	SiO ₂	Quartz group
	Chamosite	(Fe , Al , Mg , Mn) ₆ (Si , Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Illite	(K , H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Albite,	NaAlSi ₃ O ₈	Feldspar group
فاز فرعی	Calcite,	CaCO ₃	Calcite group

آنالیز شیمیایی گل فشان در ابول غربی به روش XRF :

جدول شماره ۸: نتایج حاصل از آزمایش XRF در گل فشان در ابول غربی

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
46278-4	51.76	13.66	3.13	4.46	2.71	0.53	0.09	5.01	0.15	6.59	0.16	10.87
Sample	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	U	Th	Ce	Cl		
	ppm	Ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm		
46278-4	200	19	170	42	7	104	23	20	98	7483		
Sample	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zr	Zn	Mo				
	ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	ppm	Ppm				
46278-4	15	80	96	70	21	112	70	11				

آنالیز شیمیایی گل فشان درابول شرقی به روش XRD :

جدول شماره ۹: نتایج حاصل از آزمایش XRD در گل فشان درابول شرقی

	Mineral name:	Chemical formula:	Group:
فاز اصلی	Quartz,	SiO ₂	Quartz group
	Chamosite	(Fe , Al , Mg , Mn) ₆ (Si , Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Illite	(K , H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Albite	NaAlSi ₃ O ₈	Feldspar group
فاز فرعی	Calcite,	CaCO ₃	Calcite group

آنالیز شیمیایی گل فشان درابول شرقی به روش XRF :

جدول شماره ۱۰: نتایج حاصل از آزمایش XRF در گل فشان درابول شرقی

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
46279-5	55.25	13.12	1.32	4.36	2.34	0.49	0.09	7.24	0.15	5.33	0.09	10.02
	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	Ppm		
46279-5	214	14	156	7	11	76	6	20	52	894		
Sample	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zr	Zn	Mo				
	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm				
46279-5	24	72	126	67	20	129	65	10				

نتیجه گیری

گل فشان‌ها از اشکال زیبا و منحصر بفرد زمین بوده که می‌توانند استفاده و کاربردهای زیادی داشته باشند. بطور نمونه می‌توان از اهمیت تکنیکی آنها در تشکیل برخی از جزایر و همچنین وجود منابع نفت و گاز در بعضی از آنها، استفاده از انرژی زمین گرمایی، خاصیت درمانی در تأمین بعضی از عناصر کمیاب بدن، تشکیل اکوسیستم‌های محلی جانوری و گیاهی، استفاده از گل آن‌ها در صنعت کوزه‌گری، سفال و سرامیک سازی و در نهایت از نقش گرد شگری و صنعت پردرآمد و سودمند توریسم اشاره نمود. با توجه به اینکه حدود ۶۰ درصد از کل گل فشان‌های ایران در استان سیستان و بلوچستان قرار دارند، می‌توانند بعنوان یکی از مهمترین قطب‌های اقتصادی و گرد شگری استان محسوب شده و نقش بسیار مهمی را در توسعه ژئوتوریسم منطقه داشته باشند.

در بررسی به روش XRD که بر روی گل فشان‌های واقع در شمال غربی کلمبیا انجام شده ترکیبات تقریباً مشابهی مانند کوارتز و ایلیت در فاز اصلی و کلسیت در فاز فرعی بدست آمد. در مطالعه دیگری تجمع هیدروکربن‌ها و همچنین

پیدایش هسته‌های فرومگنز، در گل‌فشان‌های واقع در آب‌های جنوب شرقی دونگشا در شمال دریای چین جنوبی که در سوبات ضخیم بر جای مانده از دوران مزوزوئیک است را در این منطقه نشان می‌دهد.

در منطقه شمالی ایران، در ساحل جنوبی دریای خزر در دشت گرگان، گل نفتلیجه واقع شده است. آنالیز XRD و XRF نتایج مشابهی با گل‌فشان‌های مورد مطالعه در این تحقیق را دارد.

همچنین در بررسی مشابه دیگری که توسط آرین و فصل بهار بر روی کانی شناسی و ژئوشیمیایی گل‌فشان‌های حاشیه جنوب خاوری دریای مازندران انجام شده نشان می‌دهد که نتایج حاصل شده در فازهای اصلی شامل کوارتز، کلسیت و آلبیت با نتایج بدست آمده در دو گل‌فشان مورد مطالعه در این تحقیق یکسان می‌باشد.

در نهایت با مقایسه و بررسی پارامترهای ژئومورفولوژیکی و نتایج حاصل شده از آزمایشات ژئوشیمیایی در دو گل‌فشان درابول شرقی و درابول غربی تفاوت و تشابه در ترکیبات این دو گل‌فشان را مشخص می‌سازد. با توجه به اینکه عناصر تشکیل دهنده و ترکیبات معدنی هر دو گل‌فشان با منشأ رسی بوده و سطوح آلاینده‌های مضر برای سلامت انسان در آن‌ها کم می‌باشد هیچ تهدیدی برای سلامتی انسان نداشته و می‌توانند برای پلوتراپی و گل‌درمانی نیز استفاده شوند.

از نظر شکل، گل‌فشان درابول غربی مخروطی کامل و غیر فعال و درابول شرقی مخروط دو دهانه‌ای است و فعال است. نتایج حاصله از ارتفاع، شیب دامنه‌های چهار جهت، شعاع گسترش روانه‌های گلی، قطر قاعده، محیط و مساحت نشان دهنده غلظت بیشتر و گرانیروی کمتر مواد خروجی گل‌فشان درابول غربی دارد به این معنی که هر چه گل‌فشان مرتفع‌تر باشد غلظت مواد خروجی آن بیشتر است. همچنین شعاع گسترش روانه‌های گلی، قطر و مساحت بیشتر گل‌فشان درابول شرقی نشان می‌دهد که در مسیر صعود و خروج گاز، از منابع و لایه‌های آبدار بیشتری عبور می‌کند همچنین تداوم فعالیت آن نیز بیشتر بوده است و همین امر باعث شده تا مواد خروجی از آن رقیق‌تر باشد و در اطراف به راحتی روانه شده و در نتیجه قطر قاعده، مساحت و محیط آن نیز بیشتر شود. از نظر تعداد دهانه و مخروط، گل‌فشان درابول غربی دارای یک مخروط و دهانه اصلی به قطر یک متر است و مخروط و دهانه فرعی ندارد اما گل‌فشان درابول غربی بدلیل فعالیت بیشتر دارای ۲ مخروط و دهانه اصلی به قطر ۱/۵ متر و ۶ مخروط و دهانه فرعی به قطر ۴۰ تا ۸۰ سانتی متر و عمق ۴۰ سانتی متر می‌باشد. عوارض ژئومورفولوژیکی مثل ریل و گالی در چهار سمت هر دو گل‌فشان ایجاد شده اما گل‌فشان درابول شرقی ترک‌های گلی ندارد. عدم وجود ترک‌های گلی در این گل‌فشان بدلیل فعالیت بیشتر و مداوم آن است. با توجه به اینکه میزان انقباض ناشی از خشک شدن ۲۰ تا ۳۰ درصد است، تشکیل ترک‌ها تدریجی و طی چندین سال پیش می‌رود برای همین ترک‌ها چندین هفته پس از توقف روانه‌ها شروع به ظاهر شدن کرده و تا چندین سال پس از آن افزایش می‌یابند.

شواهد گذشته نشان از فعالیت داخل حوضچه‌ای و بسیار ملایم گل‌فشان درابول غربی را دارد. جنس مواد خارج شده از این گل‌فشان رس، سیلت و مارن و به رنگ خاکستری روشن هستند. دمای محیط اطراف گل‌فشان ۲۶/۲ درجه و دمای گل خشک شده ۳۰/۵ درجه ثبت شد. همچنین فعالیت در گل‌فشان درابول شرقی، بصورت خروج گل همراه با صدای ملایمی می‌باشد که حباب‌های بسیار کوچکی نیز تشکیل می‌دهد. جنس مواد خارج شده رس، سیلت و مارن به رنگ خاکستری تیره و سفید می‌باشند. دمای محیط اطراف این گل‌فشان ۲۶/۲ درجه و دمای مواد خارج شده ۲۶/۲ درجه به ثبت رسید. صدفهای دریایی و دوکفه‌ایهای بسیار زیادی در هر دو گل‌فشان درابول غربی و درابول شرقی رویت گردید. این دوکفه‌ایها به همراه آب و گل از گل‌فشان بیرون آمده و در زمان فرسایش سطح گل‌فشان ظاهر می‌شوند. وجود صدفهای دریایی، دوکفه‌ایها و گاستروپودها، عمق پایین این گل‌فشان‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج آزمایش XRD، عناصر گل‌فشان درابول غربی را در دو فاز اصلی شامل، کوارتز، شاموزیت، ایلیت، آلبیت و فاز فرعی شامل کلسیت و در گل‌فشان درابول شرقی فاز اصلی شامل، کوارتز، شاموزیت، ایلیت، آلبیت و فاز فرعی شامل کلسیت دسته‌بندی کرده است. آنالیز شیمیایی به روش XRF در هر دو گل‌فشان انجام شد و عناصر موجود به ترتیب گل‌فشان درابول غربی و شرقی به شرح زیر بدست آمده است. (SiO_2) دی‌اکسید سیلیسیوم یا کوارتز (۵۱/۷۶) و (۵۵/۲۵) درصد،

(Al_2O_3) اکسید آلومینیوم یا Corundum کوراندوم ($۱۳/۶۶$) و ($۱۳/۱۲$) درصد، (Na_2O) دی اکسید سدیم ($۳/۱۳$) و ($۱/۳۲$) درصد، (MgO) اکسید منیزیم یا Periclase پریکلاس ($۴/۴۶$) و ($۴/۳۶$) درصد، (K_2O) دی اکسید پتاسیم ($۲/۷۱$) و ($۲/۳۴$) درصد، (TiO_2) دی اکسید تیتانیوم یا Rutile روتیل ($۰/۵۳$) و ($۰/۴۹$) درصد، (MnO) اکسید منگنز یا منگنیزیت ($۰/۰۹$) و ($۰/۰۹$) درصد، (CaO) اکسید کلسیم ($۵/۰۱$) و ($۷/۲۴$) درصد، (P_2O_5) دی اکسید فسفر ($۰/۱۵$) و ($۰/۱۵$) درصد، (Fe_2O_3) هماتیت ($۶/۵۹$) و ($۵/۳۳$) درصد، (SO_3) تری اکسید سولفور ($۰/۱۶$) و ($۰/۰۹$) درصد و (LOI) مواد آلی ($۱۰/۸۷$) و ($۱۰/۰۲$) درصد.

همانطور که مشاهده می شود عنصر یکسان و کاملا مشابهی در هر دو گل فشان درابول شرقی و درابول غربی چه در آنالیز شیمیایی به روش XRD و چه به روش XRF وجود دارد با این تفاوت که میزان آنها کمی با هم متفاوت است که چشمگیر نمی باشد. اما در بررسی پارامترهای ژئومورفولوژیکی گل فشان درابول غربی غیر فعال، دارای شیب بیشتر در هر چهار دامنه، مرتفع تر و مواد خارج شده از آن دارای غلظت بیشتر و گرانیوی کمتر بود اما گل فشان درابول شرقی، فعال، دارای چندین دهانه فرعی، دارای قطر قاعده، محیط و مساحت بیشتر و مواد خروجی آن رقیق تر بودند.

منابع

- نگارش، ح.، ۱۳۸۰، گل فشانها و گستره جغرافیایی آنها در ایران، مجله علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سال ۷، شماره پیاپی ۱۳، صص ۲۱۳-۲۲۸.
- نگارش، ح.، ۱۳۸۳، بررسی گل فشان پیرگل واقع در شرق آشفشان بزمان و ویژگی‌های آن، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲، شماره ۴، پاییز و زمستان، ۱۹۱-۲۰۸.
- نگارش، ح.، ۱۳۹۱، ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، انتشارات مرنديز مشهد، صص ۴۴-۵۳.
- نگارش، ح.، و خسروی، م.، ۱۳۷۷، کلیات ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۸۵-۱۸۹.
- نگارش، ح.، ۱۳۷۶، طرح تحقیقاتی مطالعه گل فشان‌های بلوچستان جنوبی، حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۳-۲۰.
- میر، ع.، میرشکاری، ل.، ۱۳۹۱، استان شناسی سیستان و بلوچستان، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، صص ۲-۱۴.
- فریفته، ج.، ۱۳۶۷، تحولات ژئومورفولوژی در جلگه دشتیاری (بلوچستان)، مرکز تحقیقات کویری و بیابانی ایران، صص ۸۵-۲۰.
- فرهادیان بآبادی، م.، مهربانی، ب.، مازینی آ.، پلودتکینا، ا.، و شاکری، عطا.، ۱۳۹۵، منشاء گازهای هیدروکربوری گل فشانهای خشکی سواحل مکران ایران، نشریه علمی پژوهشی زمین شناسی نفت ایران سال ۶، شماره ۱۲، پاییز و زمستان، صص ۸۰-۹۳.
- فرهادیان بآبادی، م.، مهربانی، ب.، تاسی، ف.، زلنسکی، م.، چپلیگین، ا.، شاکری، ع.، و ونتوری، ا.، ۱۳۹۹، ویژگیهای ژئوشیمیایی و ایزوتوپی گازهای گسیل شده از گل فشان پیرگل، جنوب شرق ایران، پژوهشهای دانش زمین، سال ۱۱، شماره ۴۲، صص ۱۵۹-۱۷۴.
- Mazzini, A., Svensen, H., G.Akhmanov G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sorensen, A., Istadi, B., (2007). Triggiring and Dynamic Evolution of the LUSI Mud Volcano, Indonesia, *Earth and Planetary Science*, 261 (3-4), 375-388.

- Van Rensbergen, P., Davy, D., Pannemans, B., Moerkerke, G., Van Rooij, D., Marsset, B., Akhmanov, G., Blinova, V., Ivanov, M., Rachidi, M., Magalhaes, V., Pinheiro, L., Cunha, M., & Henriot, J-P., (2005). *The El Arraiche mud volcano field at the Moroccan Atlantic slope, Gulf of Cadiz, International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics, Marine Geology, (219), 1-17.*
- Nakayama, N., Ashi, J., Tsunogai, U., Gamoi, T., & Michiro Tanahashi, (2010). *Sources of pore water in a Tanegashima mud volcano inferred from chemical and stable isotopic studies, Geochemical Journal, (44), 561-569.*
- Kassi, A, M., Khan, S, D., Bayraktar, H., & Kasi, A, K., (2014). *Newly discovered mud volcanoes in the Coastal Belt of Makran, Pakistan tectonic implications, Arab J Geosci, Saudi Society for Geosciences, (7), 4899–4909 .*
- Antunes, V., Planès, & Lupi, T, M., (2022), *Insights into the dynamics of the Nirano Mud Volcano through seismic characterization of drumbeat signals and V/H analysis, Journal of Volcanology and Geothermal Research, (431), 1-13.*
- Ma, X., Ma, Y., Zang, L., Sajjad, W., Xu, W., Shao, Y., Pinti, D,L., Fan, Q., & Zheng, G., (2022), *Seasonal variations of geofluids from mud volcano systems in the Southern Junggar Basin, NW China, Science of The Total Environment, (844), .*
- JUDD, A., 2005, *Gas emissions from mud volcanoes, Mud Volcanoes, Geodynamics and Seismicity, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Mud Volcanism, Geodynamics and Seismicity, Baku, Azerbaijan, 20-22, 147-157.*
- Mazzini, A. Nermon, M. Krotkiewski, Y. Podladchikov, S. Planke, H. Svensen, (2009) *Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structures. Implications for the Lusi mud volcano, Indonesia, Marine and Petroleum Geology, 26 (9), 1751-1765.*
- Fotoohi, S., & Negaresh, H., (2016). *Investigating Morphological Characteristics and Chemical Composition of Naflige Mud Volcano in Golestan Province, Eastern Part of the Caspian Sea, Geografiska Annaler: Series A Physical Geography, 98 (3), 207-219.*
- Palmisano, P., Balassone, G., Maggi, S., Arenas, A, A., Banda Guerra, I, M., Correa Valero, L, E., Ippolito, F., Mondillo, N., Giraldo, D, F, M., Mormone, A., Pellino, A., Putzolu, F., Di Lucciom, D., (2023), *Geochemistry and mineralogy of muds and thermal waters from mud volcanoes in the NW Caribbean Coast of Colombia and their potential for pelotherapy, Catena , 235, 1-18.*
- Buseti, M., Geletti, R., Civile, D., Sauli, C., Brancatelli, G., Forlin, E., Accettella, D., Savonuzzi, L, B., Santis, L, D., Vesnaver, A., Cova, A., (2023), *Geophysical evidence of a large occurrence of mud volcanoes associated with gas plumbing system in the Ross Sea (Antarctica), Geoscience Frontiers, 15(1), 1-21.*

- Wang, Y., Yan, P., Yu, J., Tu, G., Wang, J., Qiu, Y., Chen, Ch., (2023) *Geophysical evidence for a serpentine mud volcano in the relict slow-spreading center of the South China Sea*, *Tectonophysics*, 846, 1-24.
- Yunfan, Z., Pengchun, L., Yongbin, J., Xingjian, L., Yanlin, W., Pin, Y., Guangjian, Z., Yunying, Z., (2023), *Genesis of ferromanganese nodules associated with mud volcanoes in the southeastern Dongsha waters of the northern South China Sea: Implications for regional deep Mesozoic hydrocarbon prospects*, *Marine and Petroleum Geology*, 155, 106388