

# بررسی ژئوشیمی و کانی‌شناسی مواد تشکیل دهنده گل‌فشان‌های حاشیه جنوب خاوری دریای مازندران و رسوبات بستر حاشیه دریا

محمد علی آربین<sup>۱\*</sup> و جلال فصل بهار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> مربی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۰۴

## چکیده

مواد تشکیل دهنده گل‌فشان‌های واقع در بخش جنوب باختری دریای مازندران (کشور آذربایجان) با هدف پی‌بردن به خاستگاه شان از نظر روند تشکیل، کانی‌شناسی و ژئوشیمی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، ولی تاکنون گل‌فشان‌های منطقه گمیشان با دیدگاه کانی‌شناسی و ژئوشیمی بررسی نشده است. این پژوهش برای اولین بار با هدف پی‌بردن به خاستگاه آنها از گل‌فشان‌ها و رسوبات بستر حاشیه دریای منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری و بررسی شده است. نتایج ژئوشیمی و کانی‌شناسی نمونه‌های برداشته شده که با روش‌های XRD, XRF, ICP تعیین اندازه آنیون‌ها انجام شده، نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی سه گل‌فشان قارناریق، نفتلیجه و اینچه برون و رسوبات بستر دریا را کوارتز، کلسیت و آلپیت و کانی‌های فرعی آنها را عمدتاً هالیت، کانی‌های رسی نظیر ساپونیت، ناترولیت و مسکوویت تشکیل می‌دهند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هر سه گل‌فشان خاستگاه مشترکی دارند. در ضمن نتایج آزمایش‌های انجام شده با نتایج آزمایش‌هایی که در مورد گل‌فشان داش‌گیل (واقع در کشور آذربایجان) از نظر اندازه اکسیدها و عناصر با هدف مشابه انجام شده و شیمی دریای مازندران (خزر) که از طرف پژوهشگران صورت گرفته، مقایسه شده است. از این مقایسه مشخص شد که گل‌فشان‌های مورد مطالعه منطقه از نظر عناصر Na, K, Ca, Al نسبت به گل‌فشان داش‌گیل و دریای خزر غنی و از نظر CI فقیر است.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی، کانی‌شناسی، گل‌فشان، جنوب خاوری دریای مازندران، گمیشان.

\* نویسنده مسئول: محمد علی آربین

E-mail: Maa1361@yahoo.com

## ۱- پیش‌نویس

به خاستگاه، ژرفا و واکنش گل‌شل با سنگ‌های پیرامون آن ژئوشیمی گل‌فشان داش‌گیل را مورد بررسی قرار داده و با اندازه‌گیری گازهای گل‌فشان مشخص کردند که ۹/۹۴-۶/۹۹ درصد گازمتان و ۳/۰-۱/۵ درصد CO<sub>2</sub> و گاز اتان کمتر از ۴/۰ درصد تشکیل داده است (Mazzini et al., 2009). ۴) این پدیده اغلب با منابع هیدروکربور ارتباط نزدیک دارند و به منظور پی‌بردن به ذخایر آنها از جمله شاخص قابل توجه هستند (Mazzini et al., 2009).

در کل گل‌فشان‌ها را می‌توان از نظر فعالیت و رفتار به سه صورت رده‌بندی کرد. ۱) انفجاری (eruptive)، این نوع فعالیت به میزان فشار وارده به گل آماده به خروج دارد و دوره‌ای است. ۲) خوابیده (dormant) در این گونه گل‌فشان‌ها، در فاصله میان فوران‌ها گاز خارج نمی‌شود، یا به صورت حباب‌های کوچک و یا به صورت نقطه‌ای در سیال‌های و یا رسوبات مشخص می‌شوند. ۳) غیرفعال (ex-tinct) یا خاموش، هیچ اثری از فوران سیال و یا خرده سنگی از آنها ثبت نشده است (Mazzini et al., 2009). به طور کلی فوران‌های گل‌فشان با آزاد شدن گازمتان ترموژنیک که اغلب در ژرفای بیش از ۱۰ کیلومتر تولید شده است صورت می‌گیرد (Mazzini et al., 2009). فوران‌های گل‌فشان امکان دارد بر اثر فعالیت لرزه‌ای، فشار امواج ناشی از آن و شکستگی‌ها به وجود آید. به طور کلی گل‌فشان‌ها در راستای گسل‌ها رخ می‌دهند، شکستگی‌های ناشی از چین‌خوردگی‌ها آنها را کنترل می‌کنند. (Guliyev et al., 2002; Mellors et al., 2007)

اختلاط آب‌های زیرزمینی و سطح زمین طی صعود به طرف بالا امکان دارد با انبار گل‌فشان ارتباط داشته باشد، بنابراین، آب گل ممکن است مخلوطی از آب زیرزمین و سطح باشد (Di et al., 1999) و به فرایندهای شیمیایی کانی‌ها نظیر هیدراته شدن، جذب سطحی، واجدبی سطحی کانی‌های رسی، رسوب، انحلال، واکنش‌های کاهش و تخریب مواد آلی تأثیر بگذارد (Planke et al., 2003).

گل‌فشان‌های حاشیه جنوب خاوری دریای خزر (گمیشان) نیز از این اصول پیروی کرده و در حال حاضر سه گل‌فشان نیمه فعال آرام در منطقه گمیشان استان

در دهه‌های اخیر ژئوشیمی و کانی‌شناسی پدیده گل‌فشان‌ها مورد توجه پژوهشگران علوم زمین قرار گرفته است، به‌ویژه زمین‌شناسانی که در زمینه اکتشاف نفت کاوش می‌کنند پدیده گل‌فشان عمدتاً در مناطقی، به وجود می‌آید که رسوبات ریزدانه نظیر رس و سیلت دارند، (Inna et al., 1997). شرایط تشکیل گل‌فشان‌های منطقه را ۱) رسوب‌گذاری سریع رسوبات کواترنری که از جمله رسوبات سبتر دنیا به‌شمار می‌آید (بیش از ۱۰<sup>۶</sup>، ۲/۴ کیلومتر در سال)، ۲) به تله افتادن گاز متان در لایه‌های ژرف رسی و رسوبات ریز دانه و ۳) تاقدیس‌های تله که ناشی از نیروهای فشارشی زمین‌ساخت به وجود آمده، فراهم می‌کند (Mazzini et al., 2009; Mellors et al., 2007; Guliyov et al., 2002).

بررسی گل‌فشان‌ها به چند دلیل اهمیت دارند که به برخی از آنها اشاره می‌شود ۱) همراه گل وجود قطعاتی از سازندها و یا واحدهای زیرسطح زمین، اطلاعات ارزشمندی درباره آنها می‌دهد. برای مثال مطالعاتی که روی گل‌فشان‌های حاشیه جنوب باختری دریای مازندران انجام شده است، قطعاتی از واحدهای زیرسازند مایکوپ همراه گل به سطح زمین آمده‌اند گفتنی است که سازند مایکوپ در ژرفای ۸/۵ تا ۱۱ کیلومتری حاشیه باکو قرار گرفته است (Planke et al., 2003). ۲) با بررسی کانی‌شناسی گل‌ها می‌توان درباره ژرفای دیابیرشان اطلاعات با ارزشی به دست آورد. برای مثال در سال ۲۰۰۱ کوپر در ارتباط با ژرفای انباره گل مطالعاتی انجام داده و نتیجه گرفته که انباره در ژرفای ۱۴ کیلومتری است (Cooper, 2001). آلئویی به اتفاق همکارانش با بررسی میزان کانی‌های اسیمکیت و ایلپیت در لایه‌های دربرگیرنده انباره دو گل‌فشان به نام‌های مکنز (Maknes) و گیرسبورگ (Grisburg) واقع در خلیج کادیز (Cadiz) توانستند ژرفای انباره دو گل‌فشان را برآورد نمایند (Alaoui Mhammedi et al., 2008) ۳) گاز متان خارج شده از دهانه گل‌فشان‌ها از جمله مواردی است که در تغییرات آتمسفر نقش دارد. بنابر مطالعاتی که پژوهشگران در این باره انجام داده‌اند، مشخص کرده‌اند که تقریباً بیش از ۹-۶ mt/y گازمتان وارد آتمسفر می‌شود (Elipe & Milkov, 2004). مازینی و همکارانش به‌منظور پی‌بردن

(Mazzini et al., 2009) و دریای خزر (Planke et al., 2003) در جدول ۷ آمده است.

#### ۴-۱. گل‌فشان قارنیاریق

گل‌فشان قارنیاریق با مختصات  $23^{\circ}$  و  $54^{\circ}$  طول و  $07^{\circ}$  و  $37^{\circ}$  عرض جغرافیایی در ۲۵ کیلومتری شمال باختری گمیشان قرار گرفته است و با شهرستان آق‌قلا ۱۵ کیلومتر فاصله دارد (شکل ۱). قطر این گل‌فشان در حدود ۷۰۰ متر و از دو کراتر تودرتو به وجود آمده است (شکل ۲). ارتفاع کراتر بیرونی در حدود ۲۰ تا ۳۰ متر با شیب تقریباً  $60^{\circ}$  درجه و از خرده سنگ‌هایی به سن کرتاسه-میوسن تشکیل شده، ارتفاع کراتر درونی در حدود ۱۰ متر با شیب تقریباً  $40^{\circ}$  درجه و از رسوبات ریزدانه نظیر رس، سیلت و ماسه ریزه رنگ خاکستری، خاکستری روشن تشکیل شده است. بافت آن بسیار سست‌تر از بافت رسوبات کراتر بیرونی است. سطح آن توسط جانوران حفر شده و شاید هم محل خروج گاز و یا گل باشد (فصل‌بهار، ۱۳۹۱؛ موسوی روح‌بخش، ۱۳۸۰). سطح فضای میان دو کراتر در فصل تابستان خشک است. در حاشیه جنوبی کراتر بیرونی دو گودال به قطر حدود ۸۰ سانتی‌متر وجود دارد که از سطح آن حباب گاز متان تقریباً هر دو دقیقه ظاهر می‌شود (شکل ۳). در ضمن در شکل ۲ تغییرات ریخت‌شناسی دو بازدید نشان داده شده است.

رسوبات گل از رس، سیلت و ماسه ریز خاکستری تیره رنگ تشکیل شده است و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش XRD کانی‌های اصلی آن را کوارتز، کلسیت و کانی‌های فرعی را آلپیت، ارتوکلاز، هورنبلند، کلریت، مسکوویت، ایلیت و هالیت تشکیل می‌دهد (جدول ۱).

باتوجه به داده‌های آزمایش XRF گل‌فشان قارنیاریق نسبت به دو گل‌فشان دیگر از نظر اکسیدهای  $CaO$ ،  $SiO_2$ ،  $P_2O_5$ ،  $Gn$  و از نظر  $Al_2O_3$ ،  $MgO$ ،  $TiO_2$ ،  $MnO$  کمی بیشتر و از لحاظ اکسیدهای  $Na_2O$ ،  $K_2O$ ،  $Fe_2O_3$  فقیر است (شکل ۴) (جدول ۳). اندازه عناصر  $Ca$ ،  $Zn$ ،  $Pb$  این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر زیاد، اندازه عناصر  $Sr$ ،  $Cr$ ،  $Ge$ ،  $V$ ،  $Cl$ ،  $Ni$ ،  $Ba$  کمی بیشتر و از نظر عناصر  $Sr$ ،  $Cr$  فقیر است در شکل ۵ اندازه برخی از عناصر آن نشان داده شده است. اندازه آنیون‌های  $Br$ ،  $NO_3$  این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر بیشتر و از نظر  $SO_4$ ،  $Cl$  متوسط است (جدول ۴؛ شکل ۶). بر اساس داده‌های آزمایش ICP میزان درصد عناصر این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر از نظر  $Al$ ،  $Ca$ ،  $K$ ،  $Na$  غنی و از نظر  $Fe$ ،  $Mg$  متوسط است. میزان عناصر در حد ppm این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر از نظر  $As$ ،  $Ba$ ،  $Ni$ ،  $Pb$  غنی و از نظر  $Cr$ ،  $Sr$  کمی بیشتر و از نظر  $S$  فقیر است (جدول ۸).

#### ۴-۲. گل‌فشان نفتلیجه

گل‌فشان نفتلیجه به عرض جغرافیایی  $4^{\circ}$  و  $54^{\circ}$  طول جغرافیایی  $8^{\circ}$  و  $37^{\circ}$  در ۵ تا ۷ کیلومتری شمال خاوری گمیشان قرار گرفته است. قطر آن در حدود ۳۰ متر است که در مقایسه با بازدید سال ۱۳۸۸ تپه آن نسبت به تپه‌های مجاور در حدود ۱/۵ متر بلندتر بود، در بازدید ۱۳۹۱ بر اثر فرورفتن ریخت‌شناسی آن به صورت قیف پلکانی درآمده است و در وسط در چند نقطه دایره‌تودرتو که محل خروج گاز است در حال جوشش دیده می‌شود (شکل‌های ۷، ۸). گل آن از رس، سیلت به رنگ خاکستری تیره تشکیل شده است و در حاشیه قیف بر اثر تبخیر ترک‌های چند ضلعی به وجود آمده است (شکل ۹). بر اساس مطالعات میدانی و آزمایشگاهی سن رسوبات میوسن بالایی-کواترن تعیین شده است (موسوی روح‌بخش، ۱۳۸۰؛ فصل‌بهار و همکاران، ۱۳۹۰-ب).

طبق داده‌های آزمایش XRD کوارتز، کلسیت و آلپیت کانی‌های اصلی و هالیت، کلریت، مسکوویت، ایلیت، پیریت و ارتوکلاز کانی‌های فرعی گل‌فشان را تشکیل می‌دهند (جدول ۱). با توجه به داده‌های آزمایش XRF اندازه درصد اکسیدهای اصلی این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر از نظر  $P_2O_5$ ،  $K_2O$ ،  $SiO_2$ ،  $Fe_2O_3$ ،  $Na_2O$  متوسط و از نظر  $CaO$ ،  $MgO$ ،  $TiO_2$ ،  $MnO$  ضعیف است (جدول ۳)

گلستان (شمال خاوری ایران) ظاهر شده‌اند. گل‌فشان‌های جنوب خاوری نسبت به تعداد گل‌فشان‌های جنوب باختری دریای خزر (کشور آذربایجان) بسیار کم هستند و دلیل آن کم ستیرا بودن رسوبات کواترنی در این منطقه و افزایش ستیرا سازندهای چلکن، آقچاگیل و آبشرون از شمال خاوری به سوی شمال باختری است (فصل‌بهار و همکاران، ۱۳۹۰-الف).

#### ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال-شمال خاوری استان گلستان و میان طول‌های جغرافیایی  $54^{\circ}$  و  $55^{\circ}$  و عرض‌های  $37^{\circ}$  تا  $38^{\circ}$  واقع شده است. منطقه از نظر توپوگرافی کم‌شیب است، به طوری که اختلاف میان بلندترین نقطه تا پست‌ترین نقطه حداکثر ۷۰ متر است. رسوباتی که منطقه گمیشان را می‌پوشاند عمدتاً رسوبات دریاچه‌ای (سیلت، رس و ماسه بادی) و در آق‌قلا رسوبات آبرفتی کم ستیرا می‌پوشاند که زیر آن رسوبات دریاچه‌ای قرار دارد. البته این نهشته‌ها به طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل نمونه‌برداری از گل‌فشان‌ها و بستر حاشیه دریا نشان داده شده است.

#### ۳- مواد و روش‌ها

ضمن بررسی و مقایسه ریخت‌شناسی این سه گل‌فشان طی دو بازدید یعنی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱، از نقاط مختلف گودال گل‌فشان‌ها به منظور بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی چندین نمونه از ژرفای حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری آنها برداشت شد و در شیشه‌هایی که از قبل با اسید شستشو و آماده شده بود، قرار گرفت. در محل درجه حرارت گل سه گل‌فشان اندازه‌گیری شد که به طور میانگین میان  $28-29$  درجه سانتی‌گراد بودند. pH گل سه گل‌فشان  $7-8$  بود. نمونه‌ها در حرارت  $4$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. از میان نمونه‌های جمع‌آوری شده ۶ نمونه با کدهای S1, S2, S3, S4, S5, S6 انتخاب شد که کدهای S1, S2, S3, S4, S5, S6 به گل‌فشان نفتلیجه، S4 به گل‌فشان قارنیاریق و S5, S6 به گل‌فشان اینچه برون تعلق دارد و به دو گروه تقسیم شد. گروه ۱ برای تعیین نوع کانی‌های اصلی و فرعی با روش XRD انتخاب شد که در دو مرحله (الف) تعیین نوع کانی به روش XRD (ب) برای تعیین نوع کانی‌های رسی توسط دستگاه مدل PW1800 ساخت فیلیپس در شرکت کانساران بینالود انجام شده است. سه نمونه از سه گل‌فشان نیز به منظور تعیین عناصر اصلی و فرعی با روش ICP با دستگاه اندازه‌گیری ICP.OES ساخت آلمان شرکت اسپکترومدل آرکوزدر شرکت زرکاوان البرز انجام شد. به منظور دقت بیشتر نمونه‌ها با کدهای S1, S2, S3, S4, S5, S6 در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود توسط دستگاه با مدل PW1480 ساخت فیلیپس نیز مورد آزمایش XRF قرار گرفتند. سه نمونه با کدهای S2, S4, S6 برای تعیین آنیون‌های  $NO_3$ ،  $SO_3$ ،  $Br$ ،  $Cl$  انتخاب شد که در آزمایشگاه شرکت فرآورده‌های معدنی توسط دستگاه طیف سنجی مدل Waters 2695 Alliance به روش آنیون کروماتوگرافی ۱۱ - ASTM D 4327 و Conductivity 432 Detector تجزیه شدند. به منظور بررسی کانی‌ها و عناصر بستر حاشیه دریا نیز از سه نقطه خواجه نفس با کد N1، گمیشان با کد N2 و میان گمیشان و خواجه نفس با کد N3 که از سطح دریا ۱۰ متر ژرفا داشتند، توسط غواصان با دو منظور به ژرفای ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از رسوبات بستر نمونه‌برداری شد و در ظروف از پیش آماده شده قرار گرفته‌اند. نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت بینالود برای تعیین نوع کانی و عناصر با روش‌های XRF، XRD ارسال شد.

#### ۴- نتایج کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

نتایج ژئوشیمیایی نمونه‌های برداشته شده از سه گل‌فشان و بستر دریا با روش XRD و ICP و مقایسه آنها با مقادیر عناصر موجود در گل‌فشان داش‌گیل

(شکل ۱۰). عناصر Ni, Cr, Ce این گل‌فشان زیاد و از نظر Zn, Pb, Sr, Cu کمی بیشتر و اندازه عناصر Ba, Ge, Cl آن کم است. در شکل ۱۱ میزان برخی از عناصر آن نشان داده شده است. اندازه آنیون‌های  $\text{Br}$ ,  $\text{NO}_3$  در آن نسبت به دو گل‌فشان دیگر متوسط و از نظر  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_3$  کمترین مقدار را دارد (شکل ۶). با توجه به داده‌های آزمایش ICP اندازه در صد عناصر Al, Fe نسبت به دو گل‌فشان دیگر غنی، از نظر اندازه K کمی بیشتر و از نظر اندازه Ca, Mg, Na فقیر است. از نظر عناصر Cr, S, Sr, Zn, Zr در حد ppm نسبت به دو گل‌فشان دیگر غنی، Ba, Pb, Ti کمی بیشتر، از نظر Ni فقیر است (جدول ۸؛ شکل ۱۷).

#### ۴-۳. گل‌فشان اینچه برون

این گل‌فشان به عرض ۳۱' و ۵۴° و به طول ۱۲' و ۳۷° در ۲۶ کیلومتری شمال شهرستان آق‌قلا واقع شده است. این گل‌فشان از نظر ریخت‌شناسی به صورت گودال با دیواره‌ای در حدود ۷۰ درجه که متناسب با میزان بارندگی در منطقه ژرفای آن تغییر می‌کند. در دیواره گودال این موضوع به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۱۲). گل این گل‌فشان بسیار شل و در سطح آن بر اثر خروج گاز متان در چند نقطه جوشش دیده می‌شود. در منطقه بوی گازهای متان و دیگر ترکیبات هیدروکربن به شدت احساس می‌شود. گل از ذرات رس، سیلت به رنگ خاکستری روشن تشکیل شده است. در شکل ۱۲ مقایسه دو بازدید از گل‌فشان نشان داده شده است.

بر اساس داده‌های آزمایش XRD با کدهای S5, S6 کوارتز، کلسیت کانی‌های اصلی این گل‌فشان است. گفتنی است که در نمونه S5 هالیت کانی اصلی است، در نمونه S6 کانی فرعی به شمار می‌آید؛ به همین شکل کانی آلپیت در نمونه S6 کانی اصلی، در نمونه S5 کانی فرعی است. کانی‌های ارتوکلاز، ژپس، کلریت، مسکوویت در هر دو نمونه فرعی هستند (جدول ۱). با توجه به داده‌های آزمایش XRF اندازه در صد اکسیدهای این گل‌فشان نسبت به دو گل‌فشان دیگر از نظر  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$  غنی، از نظر CaO به نسبت زیاد و از نظر  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  فقیر است (جدول ۳؛ شکل ۱۳). در این گل‌فشان عناصر Cl, Ba, Sr, Ge در حد ppm زیاد، عناصر Cu, Cr در حد ppm به نسبت زیاد، از نظر Zn, Pb, Ni, V, Ce, La فقیر است (شکل ۱۴). داده‌های آزمایش ICP نشان می‌دهد که اندازه نسبت در صد Mg نسبت به دو گل‌فشان دیگر زیاد، از نظر Ba, Ni, Pb, S در حد ppm و عناصر Al, Ca, Na در حد درصد به نسبت زیاد است، ولی از نظر عناصر Sr, Cr, Zr, Ti, Zn در حد ppm و Fe و K فقیر است (شکل ۱۵؛ جدول ۸). از نظر اندازه آنیون‌های  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_3$  غنی، ولی از نظر  $\text{Br}$ ,  $\text{NO}_3$  نسبت به دو گل‌فشان دیگر متغیر است (شکل ۱۶؛ جدول ۶).

از بستر حاشیه دریا از سه نقطه خواجه نفس با کد N1، گمیشان با کد N2 و میان گمیشان و خواجه نفس با کد N3 که از سطح دریا ۱۰ متر ژرفا داشتند، توسط غواصان با دو منظور به ژرفای ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر از رسوبات بستر نمونه‌برداری شد و در ظروف از پیش آماده شده قرار گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت بینالود برای تعیین نوع کانی و عناصر ارسال شد. موقعیت و نتایج آزمایش‌های XRD و XRF سه نمونه به ترتیب به شرح زیر است:

#### ۴-۴. نمونه N1

از بستر منطقه خواجه نفس از ژرفای تقریباً ۱۰ متر و از ساحل در حدود ۱۲ کیلومتر فاصله دارد. مختصات محل نمونه‌برداری ۳۸° ۵۳' و ۳۷° ۰۰' شمالی و نتیجه آزمایش XRF این نمونه در جدول ۴ آمده است. عناصر S, Cl, Sr, Zn بی‌هنجاری مثبت دارند. طبق نتیجه به دست آمده از تجزیه XRD در این نمونه کانی‌های کوارتز، کلسیت، دولومیت آلپیت، ساپونیت و دولومیت آهن‌دار وجود دارد (جدول ۲؛ شکل ۱).

#### ۴-۵. نمونه N2

از بستر منطقه گمیشان با موقعیت ۳۷° ۰۴' شمالی و ۴۲° ۵۳' خاوری نمونه برداشت شده است. نتیجه آزمایش XRF این نمونه در جدول ۴ بیان شده است. عناصر S,

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با هدف پی‌بردن به خاستگاه گل‌فشان‌های جنوب خاوری دریای مازندران (خزر)، کانی‌شناسی و ژئوشیمی مواد تشکیل دهنده آنها و رسوبات بستر منطقه تحت مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته است.

بر اساس نتایج XRD کانی‌های اصلی مواد تشکیل دهنده گل‌فشان‌های مورد مطالعه را کوارتز، کلسیت و آلپیت و کانی‌های فرعی‌شان را کلریت، هالیت و مسکوویت و کانی‌های اصلی نمونه‌های برداشته شده از سه نقطه بستر حاشیه دریا (گمیشان، خواجه نفس و میان آن دو که موقعیت هر یک پیش‌تر گفته شده است)، کوارتز و کلسیت و کانی‌های فرعی‌شان را عمدتاً آلپیت و کانی‌های مختلف رس نظیر ساپونیت، ناترولیت و مسکوویت تشکیل می‌دهد (جدول‌های ۱ و ۲). وجود کانی ژپس در گل‌فشان‌های نفتلیچه و اینچه برون و پیریت در گل‌فشان‌های قارناریق و نفتلیچه نشانگر محیط احیایی هستند.

بر اساس داده‌های آزمایش XRF اندازه درصد اکسیدهای  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$  گل‌فشان قارناریق نسبت به دو گل‌فشان دیگر زیاده‌تر و از نظر اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  کمتر است. در مقابل اندازه درصد اکسیدهای  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$  گل‌فشان اینچه برون نسبت به گل‌فشان نفتلیچه غنی و از نظر اکسیدهای  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  فقیر است (جدول ۳).

نتایج XRF نمونه N1 بستر دریا از نظر Zn نسبت به دو نمونه غنی و از نظر Sr, Cl, S فقیر است. نمونه N2 از نظر Cl نسبت به نمونه N1 غنی، ولی نسبت به نمونه N3 فقیر است. نمونه N3 از نظر عناصر Sr, Cl, S نسبت به دو نمونه غنی و از نظر Zn نسبت به نمونه N2 غنی، ولی نسبت به نمونه N1 فقیر است (جدول ۵).

بنابر نتایج آزمایش آنیون‌ها کلراید در گل‌فشان اینچه برون بیشتر از دو گل‌فشان دیگر است. برامید در گل‌فشان قارناریق بیشتر از دوتای دیگر است. نترات در گل‌فشان اینچه برون بیشتر از دو گل‌فشان است. سولفات در گل‌فشان اینچه برون بیشتر از قارناریق و نفتلیچه است. به طور کلی میزان برامید و نترات در گل‌فشان قارناریق و کلراید و سولفات در گل‌فشان اینچه برون زیاد است (جدول ۶).

با توجه به نتایج آزمایش XRF نمونه‌ها در مقایسه با میزان عناصر Al, Cl, Fe, Pb, Na, K موجود در دریای خزر (Planke et al., 2003) و گل‌فشان داش‌گیل (Mazzini, 2009) می‌توان چنین تفسیر کرد که میزان Cl گل‌فشان نفتلیچه ۷۲۲۳-۱۴۴۶۰ ppm نسبت به میزان Cl دریای خزر ۵۶۵۰-۱۹۳۵۴ ppm و گریفون گل‌فشان داش‌گیل کم و نسبت به گودال و چشمه آن زیاد است (جدول ۴). میزان Na گل‌فشان‌های منطقه مورد مطالعه ۲۰۹۰۰-۲۶۱۰۰ ppm است که نسبت به میزان Na دریای خزر ۱۰۷۶۳ ppm و چشمه و گودال داش‌گیل ۷۸۷۶-۵۰۸۴۲ ppm بیشتر و نسبت به گریفون آن کم است. میزان عنصر K در گل‌فشان‌های مورد مطالعه ۱۶۰۰۰-۱۸۰۰۰ ppm که نسبت به میزان K دریای خزر ۳۹۹ ppm و گودال داش‌گیل ۹۰ ppm و گریفون ۳۴۱ ppm و چشمه آن ۱۷۵ ppm زیاد است. میزان عنصر Ca سه گل‌فشان ۸۷۲۰۰-۱۱۰۲۰۰ ppm است که نسبت به میزان Ca دریای خزر



در سه گل‌فشان و تغییر کانی‌های فرعی که عمدتاً به محیط رسوبی بستگی دارند و اندازه دانه‌های موجود در گل‌فشان‌ها در حد رس و سیلت است. از سوی دیگر میزان درصد اکسیده، عناصر در نمونه‌ها خاستگاه مشترکی را نشان می‌دهند و چه بسا هسته دیاپیری مشترکی داشته باشند که بر اثر فشارهای زمین‌ساختی از شکاف‌ها و درزهای ناشی از آنها با فاصله در سطح به صورت گل‌فشان ظاهر شده‌اند. دلیل دیگری که به این فرضیه قوت می‌دهد، در یک راستا بودن گل‌فشان‌ها است که احتمالاً در راس یکی از تاق‌دیس‌های زیر سطح زمین قرار گرفته است (شکل ۱۹).

۴۱۱ ppm و چشمه ۱۹۸ ppm، گریفون ۱۸۴ ppm و گودال ۱۸۹ ppm زیاد است. میزان Al گل‌فشان‌های منطقه ۳۰۰۲۵-۵۳۶۰۰ ppm است که نسبت به میزان Al دریای خزر ۰/۰۱ و گودال ۸۶ ppm، گریفون ۸۹ ppm و چشمه ۶۶ ppm گل‌فشان داش‌گیل بسیار زیاد است. میزان عنصر Fe گل‌فشان‌های منطقه حداقل ۲۰۴۰۰ و حداکثر ۳۶۰۰۰ ppm است که نسبت به میزان Fe دریای خزر ۰/۰۱ ppm و گودال ۳۲۴ ppm، گریفون ۲۹۹ ppm و چشمه ۲۹۵ ppm زیاد است (جدول ۴؛ شکل ۱۸). نتایج داده‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد که به دلیل مشترک بودن کانی‌های اصلی



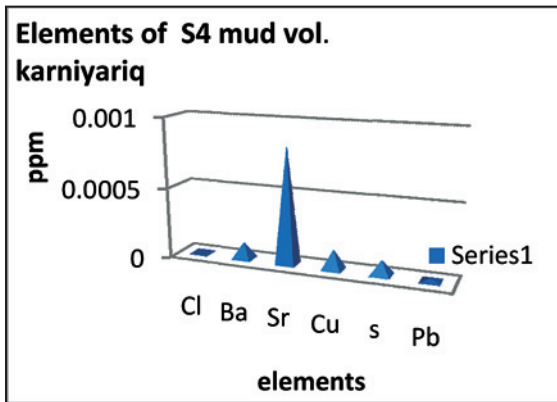
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و علامت محل نمونه‌برداری از گل‌فشان‌ها و بستر حاشیه دریا را نشان می‌دهد.



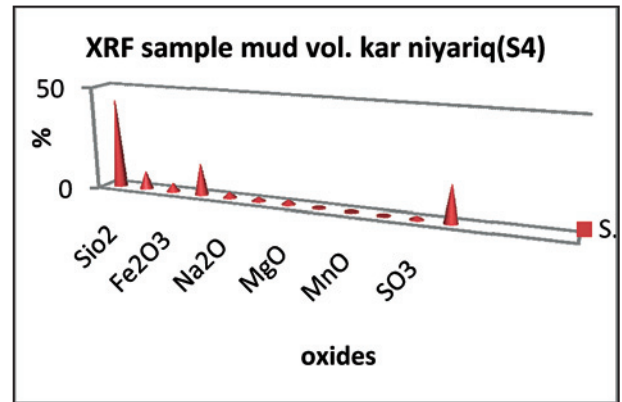
شکل ۳- گودال گل حاشیه کراتر بیرونی.



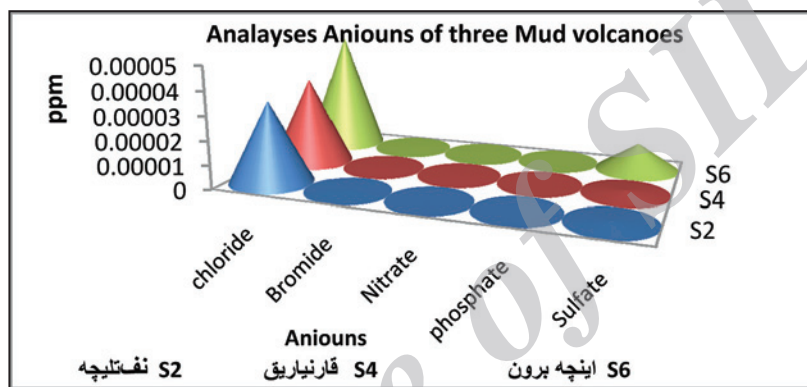
شکل ۲- نمای دو کراتر گل‌فشان قارناریق و مقایسه دو بازدید (سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱).



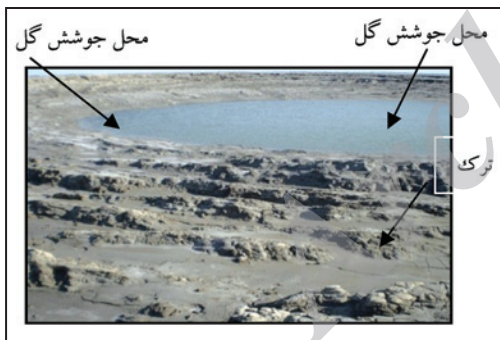
شکل ۵- اندازه برخی از عناصر گل فشان قارنیاریق به روش XRF.



شکل ۴- اندازه اکسیدهای اصلی به روش XRF گل فشان قارنیاریق.



شکل ۶- نتایج آنیون‌های سه گل فشان.



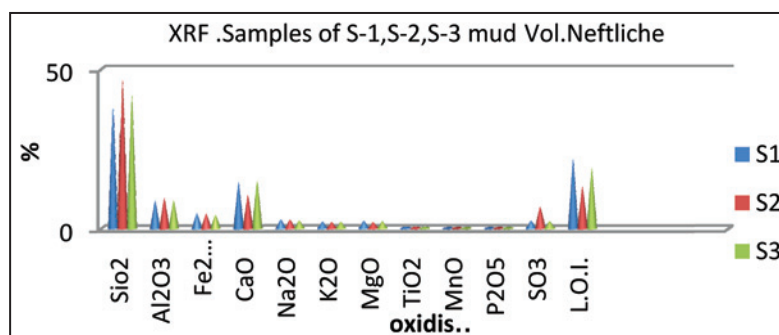
شکل ۹- دهانه و مورفولوژی قیف پلکانی گل فشان نفتلیچه در سال ۱۳۹۱.



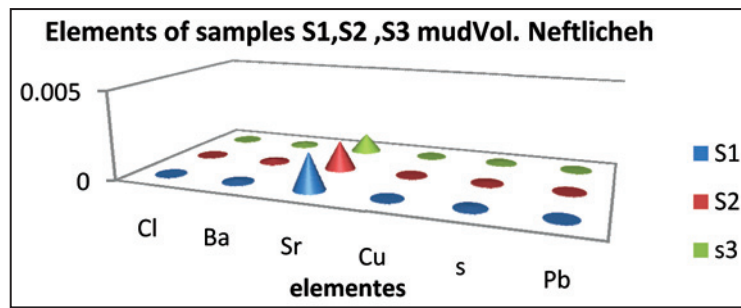
شکل ۸- نمای گل فشان در سال ۱۳۹۱.



شکل ۷- نمای گل فشان در سال ۱۳۸۸.



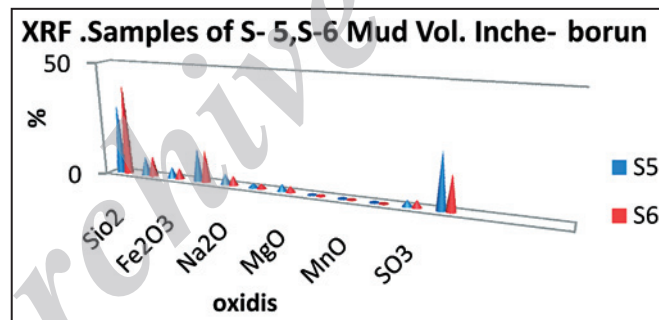
شکل ۱۰- اندازه اکسیدهای اصلی گل فشان نفتلیچه.



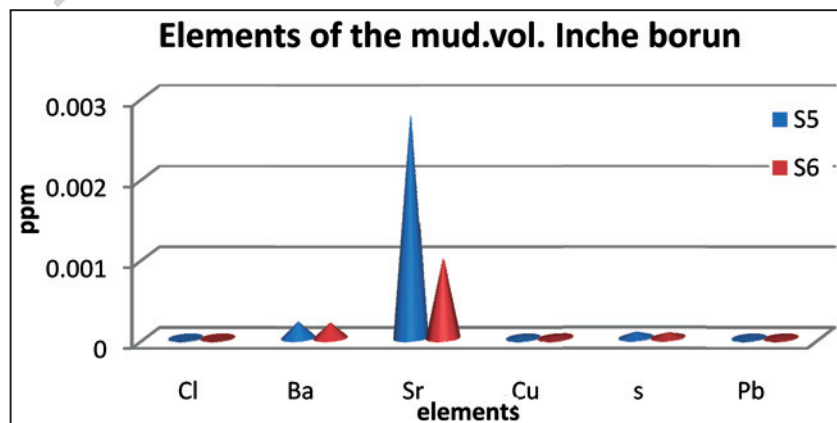
شکل ۱۱- اندازه برخی از عناصر گل فشان نفتلیچه.



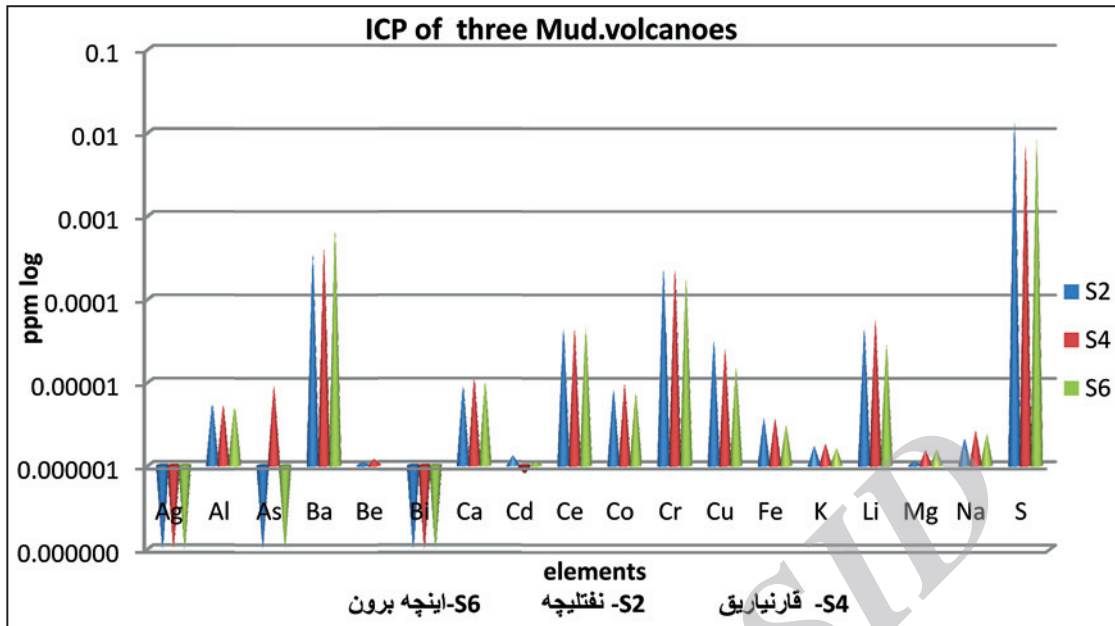
شکل ۱۲- گل فشان اینچه برون، مقایسه مورفولوژی در دو بازدید (سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱).



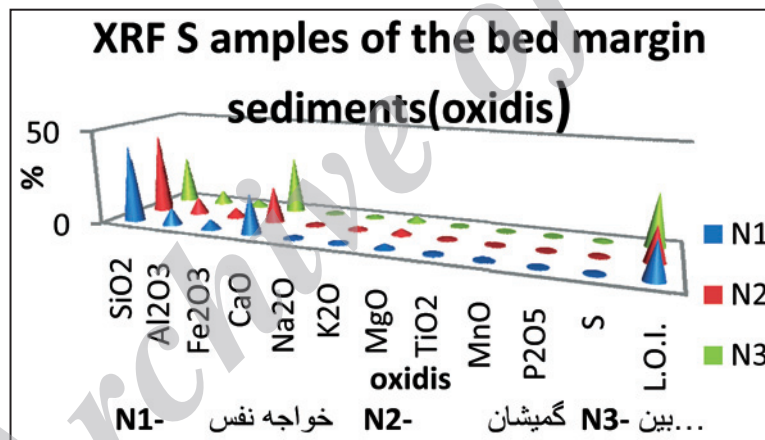
شکل ۱۳- اندازه اکسیدهای اصلی گل فشان اینچه برون.



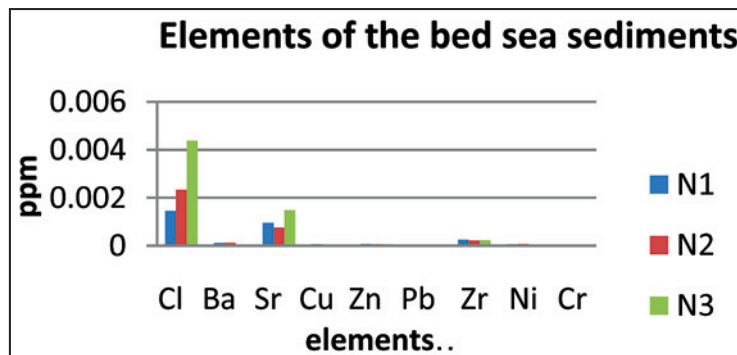
شکل ۱۴- اندازه برخی از عناصر گل فشان اینچه برون.



شکل ۱۵- اندازه عناصر سه گل فشان به روش ICP.

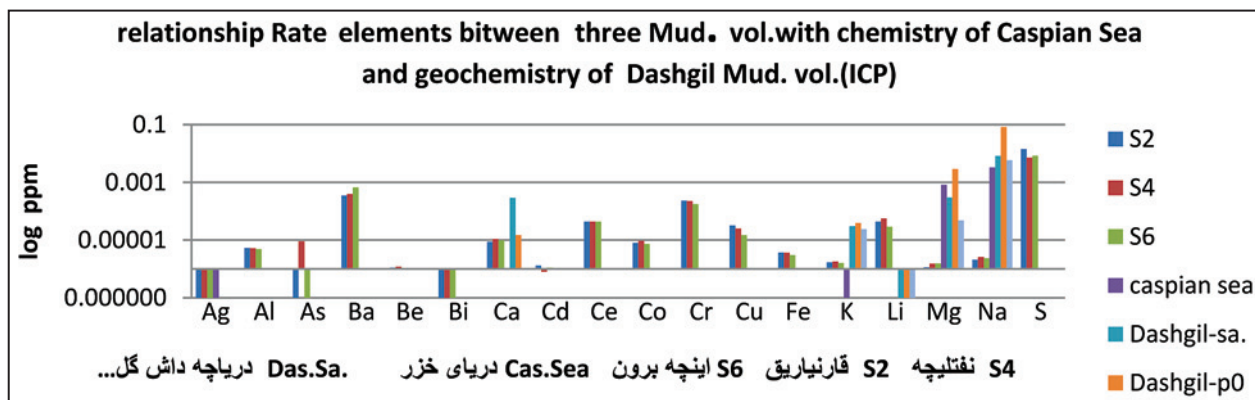


شکل ۱۶- اندازه اکسیدهای اصلی سه نمونه از بستر دریا به روش XRF.

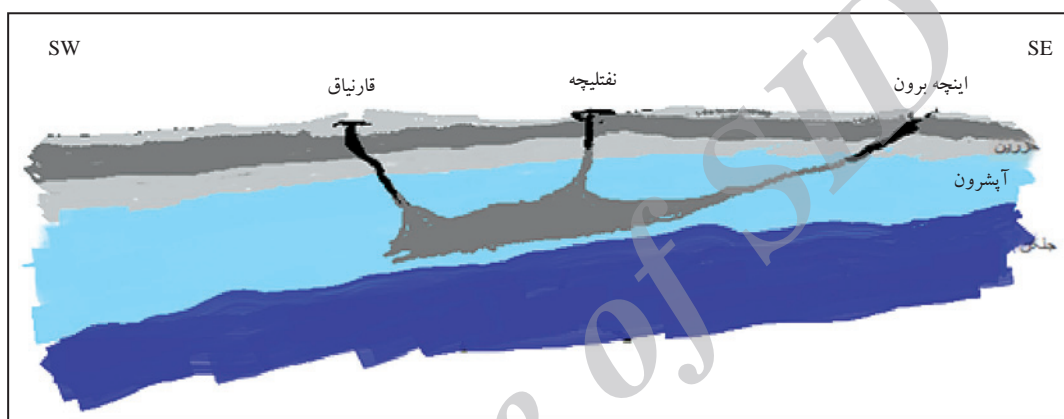


شکل ۱۷- اندازه برخی از عناصر در نمونه‌های برداشته شده از بستر دریا باروش XRF..





شکل ۱۸- مقایسه عناصر با روش ICP بین سه گل‌فشان و ترکیب شیمیایی دریای خزر و ژئوشیمی مواد گل‌فشان داش‌گیل.



شکل ۱۹- نمایش انباره گل و موقعیت گل‌فشان روی سطح.

جدول ۱- نتایج کانی‌شناسی گل‌فشان‌های منطقه به روش XRD.

کد نمونه	قارنیاریق		نفتلیچه		اینچه برون	
	فرعی	اصلی	فرعی	اصلی	فرعی	اصلی
S1			هالیت، کلریت، مسکوویت، ایلیت، پیریت، ارتو کلاز	کوارتز، کلسیت، آلپیت		
S2			هالیت، کلریت، مسکوویت، ایلیت، ژپیس، ارتو کلاز	کوارتز، کلسیت، آلپیت		
S3			هالیت، کلریت، مسکوویت، ایلیت، پیریت	کوارتز، کلسیت، آلپیت، ارتو کلاز		
S4	آلپیت، ارتو کلاز، هورنبلند، کلریت، مسکوویت، ایلیت	کوارتز، کلسیت				
S5					آلپیت، ارتو کلاز، کوارتز، ایلیت، ژپیس، کلریت، مسکوویت	کوارتز، کلسیت
S6					ارتو کلاز، ژپیس، کلریت، مسکوویت، ایلیت، هالیت	کوارتز، کلسیت

جدول ۲- نتایج کانی‌شناسی نمونه‌های برداشته شده از بستر حاشیه دریا به روش XRD؛ N1 خواجه نفس، N2 گمیشان، N3 بین گمیشان و خواجه نفس.

کد نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
N1	کوارتز، کلسیت	دولومیت، آلپیت، ساپونیت، دولومیت آهن دار
N2	کوارتز، کلسیت	دولومیت، آلپیت، کلینوکلرو، ناترونیت
N3	کوارتز، کلسیت	دولومیت، مسکوویت



جدول ۳- اندازه اکسیدهای اصلی نمونه‌های برداشته شده از گل فشان‌ها بر روش XRF؛ نتایج- S1, S2, S3، قارناریق- S4، اینچه برون- S5, S6.

No.cod	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
S1	37.78	8.87	4.79	14.53	2.75	2.04	2.32	0.544	0.057	0.12	2.388	21.85
S2	46.66	9.64	4.67	10.61	2.61	1.92	1.93	0.525	0.056	0.119	6.648	13.21
S3	42.12	8.84	4.28	15	2.38	1.98	2.22	0.525	0.06	0.118	2.2	18.99
S4	43.53	8.54	4.11	15.16	2.85	1.87	2.23	0.516	0.059	0.127	1.615	17.61
S5	30.7	8.16	4.81	14.22	4.6	1.89	3.07	0.389	0.109	0.094	2.713	23.79
S6	39.94	8.68	4.68	14.19	4.11	2.21	2.6	0.649	0.098	0.098	3.088	15.16

جدول ۴- اندازه اکسیدهای اصلی نمونه‌های برداشته شده از بستر دریا به روش XRD؛ N1- خواجه نفس، N2- گمیشان، N3- بین گمیشان و خواجه نفس.

No.Cod	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	L.O.I.
N1	40.21	8.78	4.92	20.45	0.8	1.49	2.48	0.726	0.044	0.147	0.455	18.82
N2	42.45	8.45	4.92	18.52	0.91	1.77	2.96	0.698	0.057	0.123	0.415	17.96
N3	25.04	6.84	3.67	29.83	0.79	1.4	2.93	0.457	0.032	0.107	0.966	26.96

جدول ۵- برخی از عناصر در نمونه‌های برداشته شده از بستر دریا؛ N1- خواجه نفس، N2- گمیشان، N3- بین گمیشان و خواجه نفس.

No cod	Cl	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb	Zr	Ni	Cr
N1	1451	115	955	65	77	39	254	59	37
N2	2340	125	766	22	70	30	214	72	38
N3	4383	12	1487	36	61	26	237	53	20

جدول ۶- نتایج آزمایش آنیون‌های نمونه‌های برداشته شده از گل فشان‌ها.

No cod	chloride	Bromide	Nitrate	Phosphate	Sulfate
S2	33.6	0.17	0.06	N,d	0.9
S4	36.1	0.18	0.08	N,d	1.3
S6	49.6	0.16	0.02	N,d	11.2

جدول ۷- نتایج آزمایش ژئوشیمیایی نمونه‌های سه گل فشان و بستر دریا به روش XRF، در مقایسه آنها با ترکیب شیمیایی دریای خزر (Planke et al., 2003) و گودال، چشمه و گریفون گل فشان داش گیل (Mazzini et al., 2009) (مقادیر بر حسب ppm است).

نتایج- S1, S2, S3، قارناریق- S4، اینچه برون- S5, S6؛ N1- خواجه نفس، N2- گمیشان، N3- بین گمیشان و خواجه نفس.

No	Li	B	Na	Mg	Al	K	Ca	Cr	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	U	Cl	Br	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	
S1	-	-	-	-	-	-	-	47	-	-	69	28	79	1	2041	-	107	13	-1	14460	-	-	-	
S2	44	-	20900	11300	53600	17000	8720	33	3670	516	58	29	74	2	1608	1.3	155	15	1	7723	0.17	0.06	0.9	
S3	-	-	-	-	-	-	-	39	-	-	62	27	72	2	1024	-	141	26	1	9619	-	-	NO <sub>3</sub>	
S4	57	-	26100	15200	30025	18000	1102	28	3600	557	62	139	103	1	825	0.8	117	23	-	12381	0.18	0.08	-	
S5	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	67	26	69	1	2762	-	201	18	-1	53270	-	-	-	
S6	29	-	23800	15500	48500	16000	9740	32	2040	508	55	23	60	2	985	1.1	189	17	1	38280	0.16	0.02	11.2	
N1	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	59	65	77	2	955	-	115	39	1	1451	-	-	-	
N2	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	72	22	70	4	766	-	125	30	3	2340	-	-	-	
N3	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	53	36	61	3	1487	-	12	26	4	4383	-	-	-	
Casp.sea	0.18	4.5	10.763	1.292	0.01	399	411	5E-05	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0001	0.03	3E-05	0.003	19.354	67	0.5	2.710	
Dash.sal.	0.2	<2	5.842	160	86	90	189	10	2	324	42	91	84	1.6	17	0.9	0.02	0.3	0.004	0.09	11.457	58	<2	2
Dash.G.	0.26	12.5	14.010	270	89	341	184	102	299	42	95	100	62	17	1.4	0.07	0.1	0.015	14383	23.938	150	252	2.985	
Dash.pol.	0.2	<2	7.876	306	66	175	198	102	295	42	93	92	61	19	2.9	0.08	0.2	0.03	0.37	13.895	59	<2	832	

جدول ۸- نتایج ICP نمونه‌های برداشته شده از گل‌فشان‌ها.

No.	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Na	S
*S	0.1	5.36	1>	350	1.1	1>	8.75	1.3	44	8	230	32	3.67	1.7	44	1.13	2.09	14212
**S	0.1	5.23	9	400	1.1	1>	11.02	0.8	44	9.4	226	25	3.6	1.8	57	1.52	2.61	7177
***S	0.1	4.85	1>	667	1.1	1>	9.79	1.1	44	7.4	177	15	3.04	1.6	29	1.55	2.38	8372

## کتابکاری

- فصل بهار، ج.، پورکرمانی، م.، فصل بهار، ش.، ۱۳۹۰ الف- بررسی زمین‌شناسی گل‌فشان‌های جنوب خاوری دریای خزر، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و تحقیقات معدنی ایران، ۲۰، شماره. ۷۲
- فصل بهار، ج.، پورکرمانی، م.، فصل بهار، ش.، ۱۳۹۰ ب- زمین‌ساخت گل‌فشان‌های جنوب خاوری دریای خزر، علوم زمین، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، دانشکده علوم پایه. فصل بهار، ج.، ۱۳۹۱- گل‌فشان، انتشارات آریز زمین، شماره. ۲۳.
- موسوی روح بخش، س. م.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی دریای خزر، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، شماره ۸۰.

## References

- Alaoui Mhammedi, N., El Moumni, B., El Hmaidi, A., Raissouni, A. & ElArrim, A., 2008- Mineralogical and geochemistry study of mud volcanoes in north Moroccan atlantic margin African journal of Environmental science and technology, Vol.2(11), pp.387-396.
- Aliyev, A., Guliyev, I. S. & Belov, I. S., 2002- Catalogue of recorded eruptions of mud volcanoes of Azerbaijan. Nafta Press, Baku.
- Allen, M. B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M. & Andersen, L., 2002- Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin Geology, Geological Society of America, v.30, N9, p.775-778.
- Cooper, C., 2001- Mud volcanoes of Azerbaijan visualized using 3D seismic depth cubes the importance of overpressured fluid and gas instead of non extant diapirs. In Abstr. Vol. Subsurfaace Sediment Mobilization Conf. 10-13 September .Ghent, Belgium, p71.
- Dia, A. N., Castrec- Rouelle, M., Boulegue, J. & Comeau, P., 1999-Trinidad mud volcanoes ;Where do the expelled fluids come from? Geochimica et cosmochimca Acta 63(7-8),1023-1038.
- Eliope, G. & Milkov, A., 2004- A new estimate of global methane flux from onshore and shallow submarine mud volcanoes to the atmosphere ,Environmental Geology 46,997-1002
- Guliyev, I. S., 2002- South-Caspian depression—an intensive area of hydrocarbon fluid formation and migration. In: Abstr Vol 7thInt Conf Gas in Marine Sediments, 7–12 October 2002, Baku, Azerbaijan. Nafta Press, Baku, pp 66–69 .
- Inan, S., Naamik Yalein, M., Guliev, I. S., Kuliev, K. & Feizullayyev, A. A., 1997- Deep Petroleum occurrence in the Lower Kura Depression ,South Caspian Basin. Azerbaijan an organic geochemical and basin modeling study. Mar. Petrol Geo.14:731-762.
- Mazzini, A., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G. G., Fallik, T. & Banks, D., 2009- When mud volcanoes sleep ;insight from seep geochemistry at the Dash gill mud volcanoes Azerbaijan, Elsevier, Marine and petroleum geology, P.1704-1715.
- Mellors, R., Kilb, D., Aliyev, A., Gasanov, A. & Yetirmishli, G., 2007-Correlation between earthquakes and large mud volcanoes eruptions journal of geologysical Research 112,BO4304.
- Planke, S., Svensen, H., Hovland, M. & Banks, D. A., 2003- Mud an fluid migra tion in active mud volcanoes in Azerbaijan, Geo. Mar let. No.23,P.258-268,Dol 10-1007/SOO 367-003-0152-z .