



## ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Mud volcano activity: Evidence of seismicity on the Makran coast, southeastern Iran

A. Tajvar<sup>1</sup>, A. Sheikh bahaei<sup>2</sup><sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Oceanography, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran<sup>2</sup> PhD candidate in Physical Oceanography at University of Hormozgan and Iranian National Institute of Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

## ARTICLE INFO

## Article History:

Received: 2025/02/14

Revised: 2025/03/10

Accepted: 2025/03/10

## Keywords:

Mud volcano

Earthquakes

Subduction zone

Makran coast

Southeastern Iran

\*Corresponding author:

✉ [Tajvar@cmu.ac.ir](mailto:Tajvar@cmu.ac.ir)Doi: [10.52547/joc.15.60.2](https://doi.org/10.52547/joc.15.60.2)ORID: [0000-0001-8231-4625](https://orcid.org/0000-0001-8231-4625)

## ABSTRACT

**Background and Objectives:** A mud volcano is a geological phenomenon that forms as a dome-shaped feature and sometimes as a small basin. Most of the world's mud volcanoes have formed in active tectonic zones such as orogenic belts and subduction zones. One of the most important tectonic zones that contains a large number of mud volcanoes is the Makran accretionary wedge in southeastern Iran. The subduction of the Oman oceanic plate under the Eurasian continental plate of Iran and Pakistan has caused the formation of the accretionary prism, which has played a significant role in the formation and eruption of mud volcanoes and also controls the seismic behavior of this region. Therefore, the present study, by investigating the tectonic characteristics of the Makran zone, analyzed the relationship between the seismicity of this region and mud volcano eruption and compared it with similar cases in the world.

**Methods:** In this study, first, by collecting existing data and using satellite images, the tectonic characteristics of the Makran zone were discussed, and by using ArcGis 10.4, fault distribution map was prepared. Then, by deducing the history of earthquakes in the Makran zone, the seismicity formula of this region was calculated and the return period for earthquakes of different magnitudes was estimated. Finally, the relationship between the occurrence of earthquakes and mud volcano activity in the Makran zone was investigated and compared with similar cases around the world.

**Findings:** Based on the results, faults with a general E-W trend throughout the Makran zone play an important role in the occurrence of earthquakes. The most important of these faults, from south to north, are the main Makran thrust, the Chahkhan thrust, the Qasr-e-Qand thrust, and the Bashagard thrust. Movement along each of these faults and their numerous branches causes earthquakes in this region. Based on the earthquakes that occurred in the Makran zone, the seismicity formula ( $\log N = 2.9 - 0.8M_s$ ) of this region has been determined, and the return period for earthquakes with magnitudes of 5, 6, and 7 on the Richter scale has been calculated as once every 22 years, once every 158.5 years, and once every 1222 years, respectively.

**Conclusion:** Although there are no precise statistics on mud volcano activity and the occurrence of earthquakes related to them in the Makran zone, the subduction of the Oman oceanic plate under the Eurasian continental plate (Iran and Pakistan) and the resulting compressive stress, the numerous active faults in this region, the abundance of active and semi-active of mud volcanoes, and the occurrence of numerous earthquakes, all indicate active tectonics in this region. In such a way that the hypocenter of most earthquakes in the Makran zone follows the trend of faults that are closely related to the formation of mud volcanoes.



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF REFERENCES

66

## مقاله پژوهشی

## فعالیت گل فشان‌ها؛ شاهدی بر لرزه‌خیزی سواحل مکران، جنوب خاوری ایران

عزیز الله تاج ور<sup>۱\*</sup>، علی شیخ بهایی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> استادیار، گروه اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه هرمزگان / پژوهشکده فناوری و مهندسی دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۶  
 تاریخ بازبینی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰  
 تاریخ پذیرش: ۱۴۱۴/۰۳/۲۰

## واژگان کلیدی:

گل فشان  
 زمین لرزه  
 پهنه فرورانش  
 سواحل مکران  
 جنوب خاوری ایران

\*نویسنده مسئول

✉ [Tajvar@cmu.ac.ir](mailto:Tajvar@cmu.ac.ir)

Doi: 10.52547/joc.15.60.2

ORID: 0000-0001-8231-4625

**پیشینه و اهداف:** گلفشان یک پدیده زمین‌شناختی است که به صورت یک عارضه گنبدی شکل و در برخی مواقع به صورت حوضچه‌ای تشکیل می‌شود. بیشتر گل‌فشان‌های جهان در مناطق زمین‌ساختی فعال مانند کمرندهای کوهزایی و پهنه‌های فرورانش شکل گرفته‌اند. یکی از مهمترین مناطق زمین‌ساختی که تعداد بسیار زیادی از گل‌فشان‌ها را در خود جای داده، منشور برافزایشی مکران در جنوب خاوری ایران است. فرورانش ورقه‌ای اقیانوسی عمان به زیر ورقه‌ای قاره‌ای اوراسیایی ایران و پاکستان سبب تشکیل منشور برافزایشی شده، نقش پر رنگی در شکل‌گیری و فعالیت گل‌فشان‌ها داشته و رفتار لرزه زمین‌ساختی این منطقه را نیز کنترل می‌کند. از این رو، پژوهش حاضر با بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی پهنه مکران، ارتباط لرزه‌خیزی این منطقه با فعالیت گل‌فشان‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با موارد مشابه در جهان مقایسه کرده است.

**روش‌ها:** در این پژوهش، ابتدا با گردآوری داده‌های موجود و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای خصوصیات زمین‌ساختی منطقه مکران مورد بحث و بررسی قرار گرفته و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.4 نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه تهیه شده است. سپس با استنتاج پیشینه زمین‌لرزه‌های منطقه مکران، فرمول لرزه‌خیزی منطقه محاسبه و دوره بازگشت برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگ‌های مختلف برآورد شده است. در نهایت، ارتباط بین وقوع زمین‌لرزه‌ها و فعالیت گل‌فشان‌ها در پهنه مکران بررسی و با نمونه‌های مشابه در جهان مقایسه شده است.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، گسل‌هایی با روند عمومی E-W در سرتاسر پهنه مکران نقش مهمی در رخداد زمین‌لرزه‌ها ایفا می‌کنند. مهمترین این گسل‌ها، از جنوب به شمال راندگی اصلی مکران، راندگی چاه‌خان، راندگی قسرقند و راندگی بشاگرد هستند. جنبش در امتداد هر یک از این گسل‌ها و سرشاخه‌های بی‌شمار منشعب از آنها سبب رخداد زمین‌لرزه در این منطقه می‌شود. بر اساس زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه مکران فرمول لرزه‌خیزی ( $\log N = 2.9 - 0.8Ms$ ) منطقه تعیین شده و دوره‌ی بازگشت برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای ۵، ۶ و ۷ ریشتر به ترتیب هر ۲۲ سال یکبار، هر ۱۵۸/۵ سال یکبار و هر ۱۲۲۲ سال یکبار برآورد شده است.

**نتیجه‌گیری:** اگر چه آمار دقیقی از فعالیت گل‌فشان‌ها و وقوع زمین‌لرزه‌های مرتبط با آنها در پهنه مکران وجود ندارد؛ اما فرورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای اوراسیا (ایران و پاکستان) و اعمال تنش فشاری ناشی از آن، گسل‌های فعال بی‌شمار در منطقه، فراوانی تعداد گل‌فشان‌های فعال و نیمه فعال و وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد همگی نمایانگر زمین‌ساخت فعال در این منطقه است. به گونه‌ای که کانون عمقی بیشتر زمین‌لرزه‌های منطقه مکران از روند گسل‌هایی پیروی می‌کنند که ارتباط نزدیکی با شکل‌گیری گل‌فشان‌ها دارند.

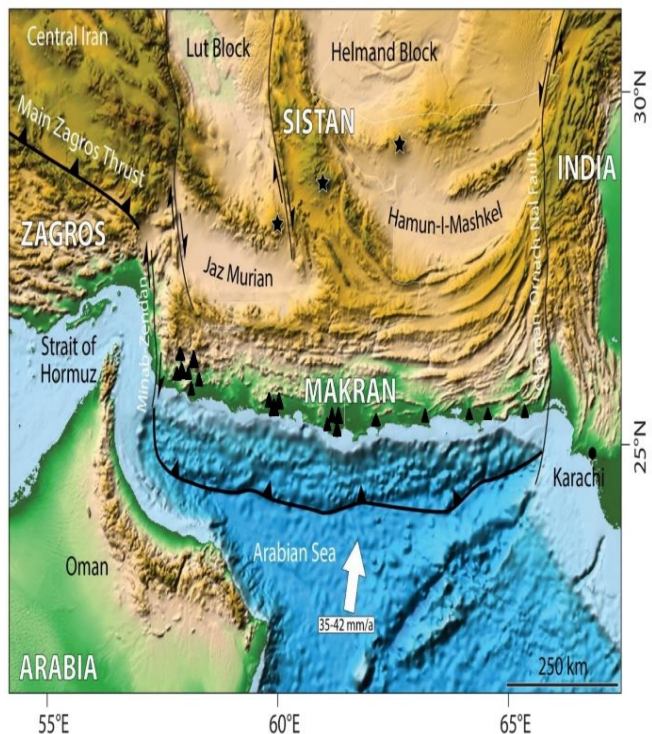
## مقدمه

که به لحاظ زمین‌ساختی فعال هستند [۸،۱۱،۱۲،۱۳] (شکل ۱). از جمله این مناطق می‌توان به مناطق برخوردی مانند پهنه‌های فرورانش و کمربندهای کوهزایی اشاره کرد که بیشترین تعداد گل‌فشان‌ها را در خود جای داده‌اند [۱۴،۱۵] (شکل ۱). یکی از مهمترین مناطق زمین‌ساختی که تعداد بسیار زیادی از گل‌فشان‌ها را در خود جای داده، پهنه زمین‌ساختی مکران در جنوب خاوری ایران است. منطقه مکران، یک پهنه فرورانش محسوب می‌شود. در این منطقه، فرورانش ورقه‌ی اقیانوسی عمان به زیر ورقه‌ی قاره‌ی اوراسیایی ایران و پاکستان از کرتاسه فوقانی آغاز شده، امروزه نیز ادامه دارد و منشور برافزایشی مکران را پدید آورده است [۱۶،۱۷،۱۸،۱۹]. این ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مکران سبب گردیده تا پژوهشگران مختلف هر کدام به نحوی فعالیت گل‌فشان‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناختی آنها را در این منطقه مورد مطالعه قرار دهند [۲۰،۲۱،۲۲،۲۳]. با این وجود، تابحال پژوهشی ارتباط بین فعالیت گل‌فشان‌ها و ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی منطقه را مورد بررسی قرار نداده است. از این رو، پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی پهنه مکران پرداخته و ارتباط لرزه‌خیزی این منطقه با فعالیت گل‌فشان‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. امید آن می‌رود با بررسی فعالیت گل‌فشان‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌ساختی این پهنه، نگاهی جدید به پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای منطقه مکران باز شده و از پیامدهای ناشی از مخاطرات لرزه‌ای کاسته شود.

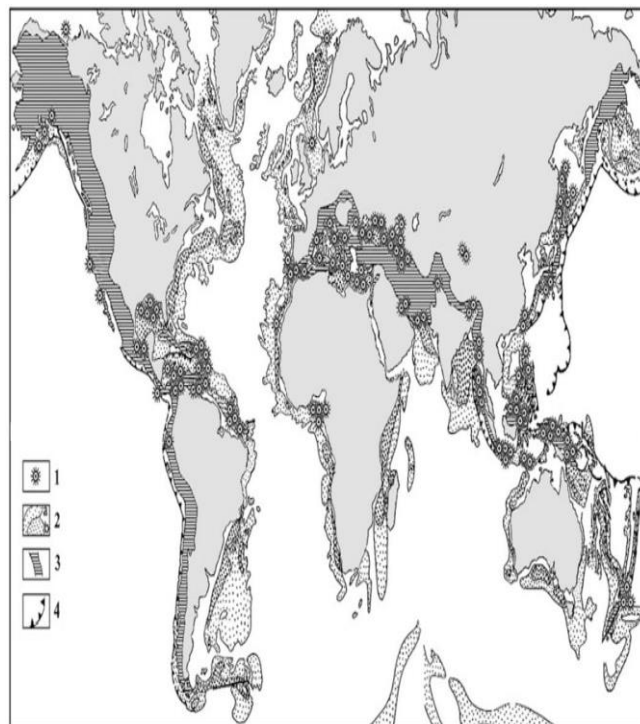
## روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا با گردآوری اطلاعات و داده‌های دفتری شامل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، داده‌های ماهواره‌ای و پژوهش‌های انجام گرفته، خصوصیات زمین‌ساختی منطقه مکران مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS منطقه و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.4 نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه تهیه و آمار زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه بر روی آن پیاده شده است. سپس با استفاده از آمار زمین‌لرزه‌های منطقه مکران، فرمول لرزه‌خیزی منطقه محاسبه و دوره بازگشت انواع زمین‌لرزه‌ها با بزرگای مختلف برآورد شده است. در ادامه با تهیه نقشه پراکندگی گل‌فشان‌های منطقه مکران تلاش شده است ارتباط بین وقوع زمین‌لرزه‌ها و فعالیت گل‌فشان‌ها بررسی شده و با نمونه‌های مشابه در جهان مقایسه شود.

گل‌فشان‌ها از عوارض مهم مورفولوژیکی و زمین‌شناسی هستند که بیشتر مخروطی شکل قرینه و گاه بی‌قرینه تشکیل شده و در دشت‌ها و جلگه‌های مشرف بر دریا دیده می‌شوند. ارتفاع مخروط آنها از ۲ متر تا حداکثر ۳۰ یا ۴۰ متر متغییر بوده و با قاعده‌ای به قطر ۲۰ متر تا حداکثر ۳۵ متر به دشت پیرامون منتهی می‌شوند. مخروط‌های مذکور گاه به صورت انفرادی و در برخی مناطق با یک یا چند مخروط کوچک‌تر و فرعی همراه هستند [۱]. در اغلب موارد بخش اعظم گل‌فشان‌ها از رس‌ها و کانی‌های رسی تشکیل می‌دهند؛ اما در برخی موارد نیز بخش مرکزی آن‌ها از جنس ماسه و بخش خارجی از رس تشکیل شده است. گل‌فشان‌ها به صورت قله‌ای مرتفع از دشت پیرامون خود متمایز شده و دارای یک دهانه اصلی و چندین دهانه کوچک‌تر فرعی هستند که گل همراه با گاز و مواد فرار به طور مداوم یا متناوب گل سردی از آن‌ها به خارج پرتاب و روان شده و با انباشته شدن روی هم، کم‌کم مخروط‌های کوچک و بزرگی را تشکیل می‌دهد [۲]. دهانه اصلی دایره‌ای شکل و در مرکز قله‌ی گل‌فشان قرار گرفته و دهانه‌های فرعی یا جانبی، به صورت پراکنده و با فاصله متفاوت نسبت به دهانه اصلی قرار دارند. این دهانه‌های جانبی ثابت و دائمی نبوده و در برخی مواقع فعال هستند. دهانه‌های گل‌فشان به یک مجرای شبیه به یک دودکش باریک و نسبتاً کم عرض متصل می‌شود که شباهت زیادی به یک قیف برگشته دارد و از درون زمین تغذیه می‌شود [۳]. فوران گل‌ولای از دهانه‌ی گل‌فشان‌ها به مرور زمان موجبات شکل‌گیری مخروط گل‌فشان را فراهم می‌نماید. فوران گل‌فشان‌ها گاهی به صورت انفجاری بوده؛ ولی با این حال اغلب گل‌فشان‌ها فاقد فوران انفجاری هستند و به صورت دوره‌ای و آرام (و یا به اصطلاح به صورت چشمه‌های نبض‌دار) فعالیت می‌کنند. فوران گل‌فشان‌ها مخلوطی از گل‌ولای، گاز، آب و مواد فرار است که به صورت روانه‌های گلی از دهانه خارج شده و به سمت دامنه جریان می‌یابد [۲]. گل‌فشان‌ها هم در خشکی و هم در بستر دریاها و اقیانوس‌ها گزارش شده‌اند. اگر چه موضوعاتی در رابطه با شکل‌گیری و حضور گل‌فشان‌ها همراه با فعالیت آتشفشان‌ها مطرح شده و تشکیل آن‌ها به آتشفشان‌ها نسبت داده شده است [۳،۴]؛ اما بررسی بیشتر نشان می‌دهد در برخی مناطق بدون فعالیت آتشفشانی شاهد شکل‌گیری و فعالیت گل‌فشان‌ها هستیم. برخی از محققان نیز فعالیت گل‌فشان‌ها را پیامد پدیده‌های خاص زمین‌شناسی نظیر وقوع زمین‌لرزه و یا تغییرات فشار در لایه‌های مختلف زمین مرتبط می‌دانند [۵،۶،۷،۸]. برخی دیگر نیز بر این باور هستند گل‌فشان‌ها در اعماق زمین با تله‌های نفتی و ذخایر هیدروکربوری در ارتباط هستند [۹،۱۰]. با وجود نظریات مختلف در رابطه با منشأ و فعالیت گل‌فشان‌ها، اغلب پژوهشگران در یک موضوع با هم هم عقیده هستند که اغلب گل‌فشان‌های جهان در مناطقی گزارش شده‌اند



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای منشور برافزایشی مکران. مثلث‌های سیاه رنگ موقعیت گل‌فشان‌های پهنه مکران و ستاره‌های سیاه رنگ آتشفشان‌های تفتان، بزمان و کوه سلطان را به نمایش می‌گذارند. موقعیت گل‌فشان‌های پاکستان بر اساس [۲۹] و میزان همگرایی بین ورقه عربی و مکران بر اساس [۳۰]



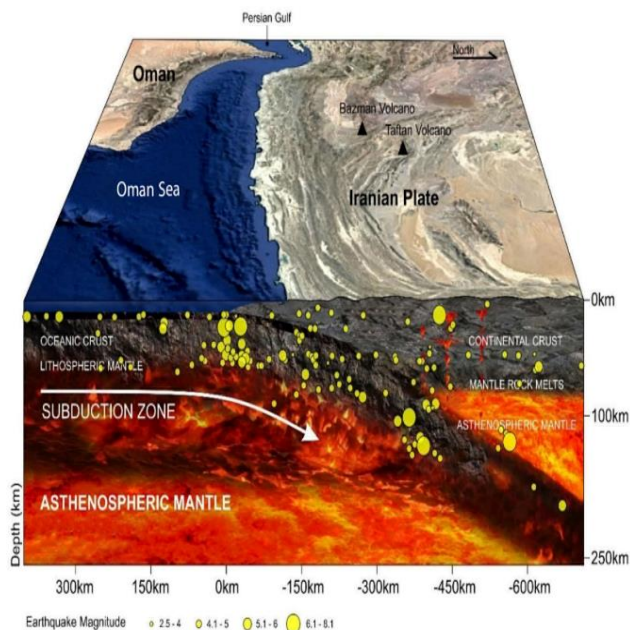
شکل ۱: نقشه پراکندگی گل‌فشان‌ها بر روی کره زمین: ۱- موقعیت گل‌فشان‌ها و کمرندهای جهانی گل‌فشان بر روی کره زمین. ۲- ضخامت رسوبات در مناطق خارج از فلات قاره: (a) بین ۱ تا ۴ کیلومتر، (b) بیشتر از ۴ کیلومتر. ۳- مناطق همگرا (فشاری). ۴- پهنه‌های فرورانش [۱۴]

### ۱. جایگاه زمین‌ساختی مکران

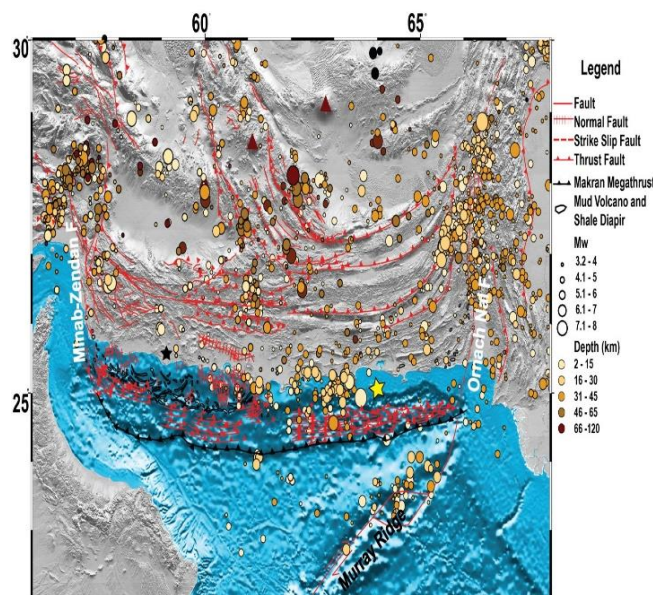
سرگذشت زمین‌شناسی جنوب خاوری ایران تحت تاثیر همگرایی بین صفحه عربی و اوراسیا قرار دارد. ورقه عربی ۳۵ میلیون سال قبل به سندج-سیرجان و ایران مرکزی برخورد کرده است و منجر به شکل‌گیری رشته کوه زاگرس با روند NW-SE در ایران گردیده است [۱۹، ۲۴، ۳۰]. امروزه به سمت جنوب خاوری، سنگ‌کره‌ی اقیانوسی عمان به زیر سنگ‌کره‌ی قاره‌ای اوراسیایی ایران و پاکستان فرورانده می‌شود و منشور برافزایشی مکران را پدید آورده است [۲۵] (شکل ۲). فرورانش در این منطقه از کرتاسه پسین آغاز شده و اکنون نیز ادامه دارد؛ به گونه‌ای که هنوز برخورد نهایی ورقه‌ها صورت نگرفته است [۳۱، ۳۲]. فروافتادگی‌های جازموریان در ایران و ماشکل در پاکستان به عنوان حوضه‌های جلوی کمان ماگمایی شناخته شده و کمان ماگمایی حاصل از این فرورانش در فاصله ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتری در شمال منطقه شکل گرفته است (آتشفشان‌های بزمان، تفتان و کوه سلطان در شکل ۲) [۳۳، ۳۴]. فاصله به نسبت زیاد بین درازگودال فرورانشی در جنوب و کمان ماگمایی بزمان - تفتان (در ایران) و کوه سلطان (پاکستان) در شمال، نمایانگر شیب بسیار کم (پیرامون ۲ درجه) ورقه‌ی فرورانشی در این منطقه است [۳۱، ۳۲]. امروزه نرخ همگرایی در این منطقه ۳۵/۵ تا ۳۶/۵

منشور برافزایشی مکران به عنوان یکی از بزرگ‌ترین منشورهای برافزایشی زمین شناخته می‌شود که در جنوب ایران و پاکستان گسترش دارد [۲۴]. این منطقه با گستره‌ای پیرامون ۱۰۰۰ کیلومتر مربع از گسل میناب (زندان) در باختر تا گسل چمن-اورناچ (Chaman-Ornach) در خاور (در پاکستان)، از نوار ساحلی دریای عمان در جنوب تا فروافتادگی‌های جازموریان و ماشکل (Jaz Murian and Mashkel depression) در شمال گسترش دارد [۲۵، ۲۶] (شکل ۲). در این پهنه نزدیک به ۲۵ عدد گل‌فشان فعال، نیمه فعال و یا غیرفعال گزارش شده است [۲۷، ۲۸]. از این تعداد، ۵ مورد آن‌ها بین بندر جاسک و میناب، ۹ عدد بین چابهار و بندر جاسک و ۶ عدد هم بین چابهار و مرز ایران و پاکستان به ویژه شمال خلیج گواتر واقع شده است [۲۷]. از این رو، به منظور درک نحوه شکل‌گیری و فعالیت این گل‌فشان‌ها و همچنین ارتباط آنها با لرزه‌خیزی در منطقه، ابتدا لازم است جایگاه زمین‌ساختی و ویژگی‌های لرزه‌خیزی منطقه مکران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس توزیع و پراکندگی این گل‌فشان‌ها بررسی خواهد شد.

لرزه‌های با فوران‌های گل‌فشان‌ها می‌تواند در پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای گسل‌های منطقه مهم باشد.



شکل ۳: بازسازی هندسه پهنه فرورانش در منطقه مکران بر مبنای عمق، بزرگا و موقعیت کانون عمقی زمین‌لرزه‌های منطقه [۳۸]



شکل ۴: تصویر ماهواره‌ای منشور برافزایشی مکران که بر روی آن پراکندگی و توزیع انواع گسل‌ها، گل‌فشان‌ها و زمین‌لرزه‌ها نشان داده شده است

## ۲. لرزه‌خیزی مکران

منطقه جنوب شرق ایران از دیرباز دارای سابقه وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد بوده است. مهمترین منطقه از لحاظ لرزه‌خیزی در جنوب شرق ایران، زون زمین‌ساختی مکران است. در واقع همانطور که اشاره شد، فرورانش سنگ‌کره‌ی اقیانوسی عمان به زیر سنگ‌کره‌ی قاره‌ای اوراسیایی ایران و پاکستان عامل اصلی ایجاد تنش و رخداد زمین‌لرزه در این منطقه است. در

میلیمتر در سال در باختر و ۴۰ تا ۴۲ میلیمتر در سال در بخش‌های خاوری منطقه برآورد شده است (شکل ۲) [۳۰].

شواهد نشان می‌دهد، فرورانش ورقه اقیانوسی در پهنه‌ی مکران در زمان میوسن به اوج خود رسیده و از آن پس نیز با شدت کمتری همچنان ادامه دارد [۳۵]. زیرا که به لحاظ تداوم فرورانش، در منطقه مکران، گسل‌ها هنوز فعال‌اند و زمین به بالا آمدن ادامه می‌دهد که این عمل با چین‌خوردگی، کوتاه‌شدگی و با پسروری خط ساحلی همراه است. راندگی‌ها سبب شده‌اند پهنه‌ی مکران از ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه شود [۲۴]. عامل چین‌خوردگی، به طور عمده، فشارهای ناشی از فرورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر مکران است که با عملکرد گسل‌های راندگی شدت می‌یابد به گونه‌ای که رویداد گسل آفرینی با چین‌خوردگی شدید پرکلینال با برتری الگوی جناغی همراه است [۳۶]. کوتاه‌شدگی، بیشتر، با راندگی همراه است، به گونه‌ای که به تقریب مرز بسیاری از واحدهای سنگ چینه‌ای از نوع راندگی است. بدین‌سان، ساختار مکران، الگویی فلسی (Imabridged) دارد که فلس‌ها با گسل‌های معکوس پر شیب مرزبندی می‌شوند و فرجام آن رانده شدن مواد سنگی از پس‌خشکی (Hinterland) به سمت پیش‌خشکی (Foreland) است [۲۴].

فرآیند فرورانش و جابه‌جایی ورقه‌ها نسبت به یکدیگر سبب شده تا تنش بسیار زیادی در بین واحدهای سنگی حاکم باشد. در بخش‌هایی که این تنش فشاری از حد مقاومت بلوک‌های سنگی عبور می‌کند، شکستگی‌هایی با مقیاس‌های متفاوت در منطقه شکل گرفته است (شکل ۳). این شکستگی‌ها که در امتداد آنها واحدهای سنگی جابه‌جا شده‌اند، همان گسل‌های راندگی و معکوس متعددی هستند، که با روند عمومی E-W در سرتاسر منطقه مکران تشکیل شده‌اند. یکی از بزرگترین و مهمترین این گسل‌ها، مگاتراست مکران (یا گسل راندگی اصلی مکران) است که در محل لبه‌ی فرورانش شکل گرفته است. از دیگر تراست‌های بزرگ منطقه می‌توان به ترتیب از جنوب به شمال به تراست چاه‌خان، تراست قصرقند و تراست بشاگرد اشاره کرد [۲۴]. تمامی این گسل‌ها و سرشاخه‌های بی‌شماری که از آنها منشعب می‌شوند، جزو گسل‌های فعال محسوب شده و هر آن احتمال فعالیت مجدد آنها و رخداد زمین‌لرزه در منطقه وجود دارد (شکل ۴) بسیاری از گل‌فشان‌های منطقه مکران در ارتباط با همین گسل‌ها شکل گرفته‌اند. به گونه‌ای که گسل‌ها به عنوان شکستگی‌های عمیق، معبر بسیار مناسبی را برای به حرکت در آمدن و صعود گل‌ولای به همراه مواد فرار به سمت بالا فراهم کرده و موجبات شکل‌گیری و فعالیت گل‌فشان‌های را فراهم می‌کنند. از طرف دیگر، فعالیت این گسل‌ها سبب رخداد زمین‌لرزه‌های متعددی با عمق متوسط تا زیاد (بین ۳۰ تا ۸۰ کیلومتر) و با بزرگای متفاوت از ۳ تا بالای ۸ ریشتر در منطقه شده است [۳۷]. بررسی ارتباط این فعالیت‌های

با بزرگ‌های متفاوت برآورد شده و در جدول (۲) آورده شده است. اگرچه دقت این برآوردها همواره با خطا مواجه است، اما یک سیمایی از رفتار لرزه‌ای پهنه مکران در اختیار قرار می‌دهد. به عنوان مثال بر مبنای داده‌های جدول (۲)، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵ ریشتر هر تقریباً ۲۲ سال یکبار و زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۶ ریشتر ۱۵۸/۵ سال یکبار در پهنه مکران به وقوع می‌پیوندد.

در کنار کمبود و یا نبود شواهد موجود از زمین‌لرزه‌های تاریخی در منطقه مکران، آثار و شواهد رویداد زمین‌لرزه‌های دستگاهی ویرانگر مانند سونامی اخیر ۲۸ نوامبر ۱۹۴۵ در اقیانوس هند و نیز شواهد همراه با پادگانه‌های دریایی هولوسن و نرخ سریع بالالآمدگی در امتداد سواحل مکران نشان می‌دهد؛ زون فرورانش مکران مستعد رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد با بزرگ‌های متفاوت است که وقوع هر کدام از آنها در گستره دریا منجر به ایجاد سونامی مخربی خواهد شد. شواهدی بسیاری در لایه‌های رسوبی و سنگ‌های منطقه وجود دارد که نشان می‌دهند، در سال ۱۹۴۵ سونامی که در نتیجه وقوع زمین‌لرزه در اقیانوس هند رخ داد، بر سواحل مکران نیز تاثیر داشته است؛ به گونه‌ای که از سمت باختر به سمت خاور ارتفاع موج افزایش داشته و سواحل پاکستان امواج با ارتفاع بلندتر و به مراتب خطرناک‌تری را تجربه کرده‌اند.

با تفاسیر فوق و نگاهی به ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی منطقه‌ی مکران، مطالعه و بررسی سازوکار گسل‌های منطقه، تجزیه و تحلیل زمین‌لرزه‌های رخ داده و محاسبه دوره‌ی بازگشت آنها نشان می‌دهد سواحل مکران مستعد رخداد زمین‌لرزه و یا حتی سونامی است. از این‌رو، لزوم پایش مداوم جنبش‌های زمین‌ساختی منطقه و بررسی رفتار لرزه‌ای گسل‌های منطقه در کنار توسعه‌ی سامانه‌های هشدار سونامی برای این منطقه از مهمترین ضروریات است.

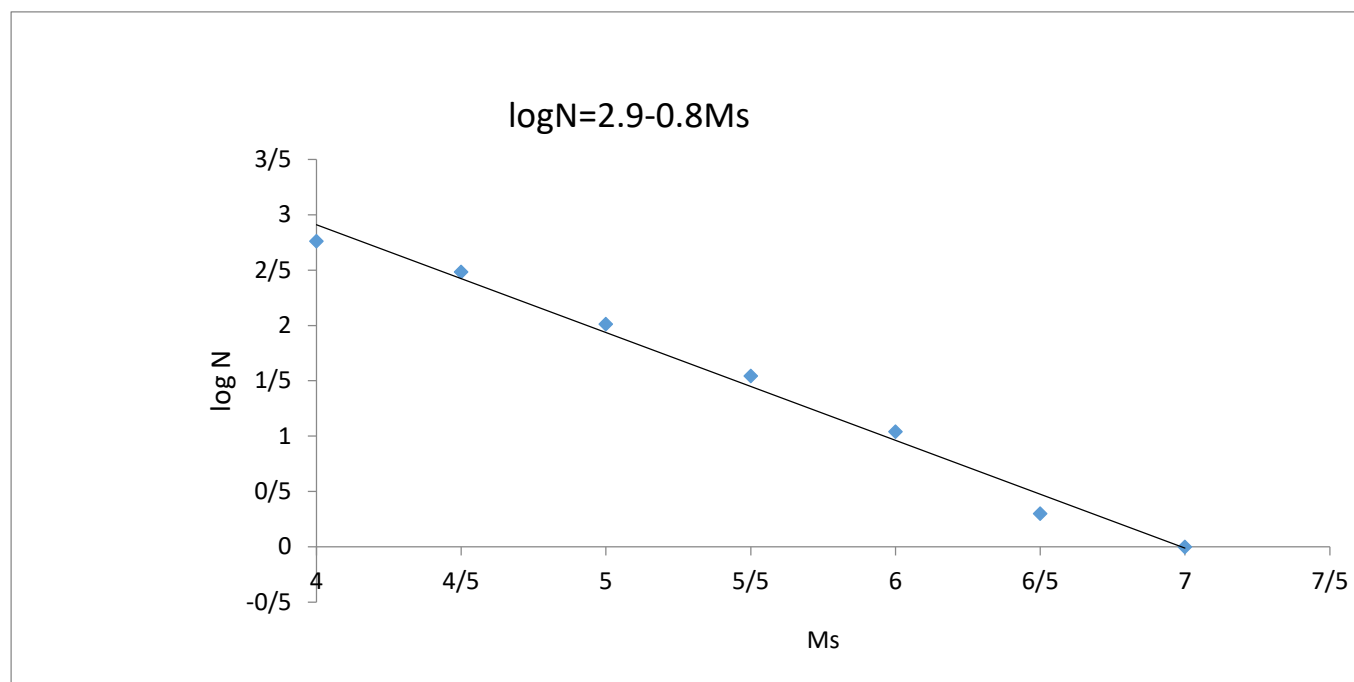
شکل (۴) موقعیت و مشخصات زمین‌لرزه‌های ثبت شده در منطقه مکران نشان داده شده است. همانگونه که در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است، تا فاصله ۷۰ کیلومتری از ساحل، رومرکز (کانون عمقی) اغلب زمین‌لرزه‌های مکران کم ژرفا هستند، ولی پس از فاصله ۷۰ کیلومتری، زمین‌لرزه‌ها کانون ژرف‌تری پیدا می‌کنند؛ به گونه‌ای که در جنوب کمان آتشفشانی تفتان - بزمان، رومرکز زمین‌لرزه‌ها به ژرفای حدود ۸۰ کیلومتر می‌رسد [۳۹].

کانون سطحی غالب زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه مکران، بیشتر در بخش‌های شمالی منطقه یعنی حوالی گسل‌های بزرگ و مهم مانند چاه‌خان، قصرقند و بشاگرد واقع شده‌اند. کانون سطحی زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ نیز از روند همین گسل‌ها پیروی می‌کنند. البته به استثنای کانون چند زمین‌لرزه که نسبت به گسل‌های اصلی منطقه فاصله‌ی به نسبت زیادی داشته و ارتباط دادن آنها به گسل‌های اصلی سخت است. از این رو، بنظر می‌رسد که این زمین‌لرزه‌ها حاصل فعالیت گسل یا گسل‌هایی باشند که با همین روند در عمق قرار دارند و هیچگونه شواهد و گسیختگی سطحی ندارند. افزون بر اینها، زمین‌لرزه‌های متعددی نیز در دریا و در ارتباط با مگاتراست اصلی مکران ثبت شده است. همچنین چند کانون زمین‌لرزه با روند E-W در جنوب خاوری چابهار و داخل دریا واقع گردیده‌اند که می‌توان آنها را به گسل یا گسل‌هایی داخل دریا نسبت داد.

به منظور برآورد رفتار لرزه‌ای پهنه مکران از آمار مربوط به زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در این منطقه استفاده شده است. بدین منظور فراوانی زمین‌لرزه‌های ثبت شده از ۱۹۰۰ میلادی تا سال ۲۰۲۰ جمع‌آوری گردیده و در جدول (۱) خلاصه شده است. با استفاده از بزرگای زمین‌لرزه‌ها بر حسب ریشتر و همچنین فراوانی وقوع آنها، فرمول لرزه‌خیزی پهنه مکران محاسبه شده است (شکل ۵). سپس با استفاده از فرمول لرزه‌خیزی منطقه و زمین‌لرزه‌های رخ داده تا سال ۲۰۲۰، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های مختلف

جدول ۱: فراوانی زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در منطقه مکران برای تعیین فرمول لرزه‌خیزی منطقه (Ms) بزرگا بر حسب ریشتر، (N) فراوانی

Ms	N	log N
4	578	2.761928
4.5	306	2.485721
5	103	2.012837
5.5	35	1.544068
6	11	1.041393
6.5	2	0.30103
7	1	0
7.5	0	0



شکل ۵: نمودار محاسبه فرمول لرزه خیزی برای پهنه مکران جدول ۲: آمار زمین لرزه های منطقه مکران از ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی و برآورد دوره ی بازگشت برای هر کدام

MS	N	T	MS	N	T	MS	N	T
4	0.316228	3.2	5.1	0.036728	27.2	6.2	0.004266	234.4
4.1	0.260016	3.8	5.2	0.0302	33.1	6.3	0.003508	285.1
4.2	0.213796	4.7	5.3	0.024831	40.3	6.4	0.002884	346.7
4.3	0.175792	5.7	5.4	0.020417	49.0	6.5	0.002371	421.7
4.4	0.144544	6.9	5.5	0.016788	59.6	6.6	0.00195	512.9
4.5	0.11885	8.4	5.6	0.013804	72.4	6.7	0.001603	623.7
4.6	0.097724	10.2	5.7	0.01135	88.1	6.8	0.001318	758.6
4.7	0.080353	12.4	5.8	0.009333	107.2	6.9	0.001084	922.6
4.8	0.066069	15.1	5.9	0.007674	130.3	7	0.000891	1122.0
4.9	0.054325	18.4	6	0.00631	158.5	7.1	0.000733	1364.6
5	0.044668	22.4	6.1	0.005188	192.8	7.2	0.000603	1659.6

الف) گل فشان های واقع در استپ های شرق دریای کاسپین

ب) گل فشان های سواحل مکران در حد فاصل میناب تا بندر گواتر

گل فشان های گمیشان، قارنیارق و نفتلیجه بزرگترین گل فشان های حوزه دریای کاسپین هستند که تعدادشان محدود بوده و به فرایند فرونشست پوسته اقیانوسی کاسپین جنوبی، گسل های منطقه و همچنین ذخایر هیدروکربوری بستر دریای کاسپین نسبت داده شده اند [۴۰، ۴۱]. اما بخش

### ۳. گل فشان های مکران

مناطق عمده پراکندگی گل فشان های ایران، منحصر به سواحل پست شمالی و جنوبی کشور بوده و در حال حاضر بیشتر آنها خاموش و یا غیرفعال هستند. برخی دیگر فعال بوده و دارای فعالیت متناوبی هستند. به طور کلی گل فشان های ایران در دو ناحیه ذیل مشهود هستند:

است (شکل ۶، d). اما قرار گیری در نزدیکی آتشفشان نیمه فعال تفتان، احتمال ارتباط بین این دو پدیده زمین‌ساختی را تقویت می‌نماید. به طوری که محققان مختلف، فعالیت ماگمایی تفتان را به عنوان کمان آتشفشانی ناشی از فرورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای ایران در نظر گرفته‌اند و شکل‌گیری گل‌فشان پیرگل را نیز به این فرایند نسبت داده‌اند.

### ۳.۳. گل‌فشان بربروک

گل‌فشان بربروک که در گویش محلی بولوبولو هم نامیده می‌شود؛ در ۹۵ کیلومتری غرب بندر کنارک، در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب غربی روستای کهپر قرار داشته و از جاده کهپر به زرآباد ۳ کیلومتر فاصله دارد. این گل‌فشان دارای سه قله نسبتاً کوچک به ارتفاع ۱۰ متر است که یکی از آنها برخی ایام فعال است و بقیه آن‌ها نیز از چندین سال قبل به صورت غیرفعال در آمده‌اند. فعالیت این گلفشان محدود بوده و به طور متناوب گل خاکستری رنگ از آن بیرون می‌آید و به سوی دامنه‌سازیر می‌شود (شکل ۶، e)، دوره تناوب این پدیده کمیاب و زیبا ده تا پانزده دقیقه است

[۴۲].



شکل ۶: نقشه پراکنندگی گل‌فشان‌ها و آتشفشان‌های پهنه مکران در استان سیستان و بلوچستان [۲۷]، (ب) نمای از فوران گل از دهانه اصلی گل‌فشان تنگ، (ج) نمای از مخروط گل‌فشان تنگ، (د) نمای از مورفولوژی پیرامون گل‌فشان پیرگل، (ه) تصویری از فوران آرام گل‌فشان بربروک در سواحل مکران.

### ۴. ارتباط گل‌فشان‌ها با زمین‌لرزه

به طور کلی تشکیل گل‌فشان‌ها متأثر از عوامل زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، زمین‌شیمی و آب‌شناختی آب‌های زیرزمینی است. این عوامل به همدیگر وابسته هستند و به همراه هم در شکل‌گیری گل‌فشان‌ها نقش ایفا می‌کنند [۴۳]. گل‌فشان‌ها در یکی از دو پهنه‌ی زمین‌ساختی ذیل تشکیل می‌شوند. سایر فاکتورها مانند آب‌های زیرزمینی و یا وجود ذخایر هیدروکربوری نقش محلی داشته و بیشتر تحت تاثیر عوامل اصلی ذکر شده در بالا هستند [۱۳، ۱۴].

(الف) پهنه‌های زمین‌ساختی همگرا با حاشیه قاره‌ای فعال

اعظم گل‌فشان‌های ایران در جنوب و جنوب شرق کشور در منطقه‌ای واقع در کرانه‌های دریای عمان در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان واقع شده‌اند (شکل ۶، a). گل‌فشان‌های جنوب و جنوب شرق کشور خاستگاه زمین‌ساختی داشته و فرورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای ایران مهمترین نقش را در پیدایش و فعالیت آنها دارد. در جنوب شرق ایران تعداد ۲۰ گل‌فشان وجود دارد که بیشتر آنها غیرفعال هستند؛ اما فعالیت آنها در فصول مختلف سال و از سالی به سال دیگر متغییر است. گل‌فشان تنگ، گل‌فشان عین، گل‌فشان پیرگل و گل‌فشان بربروک جزو بزرگترین و معروفترین گل‌فشان‌های سواحل مکران هستند که در ادامه به اختصار توصیف شده است.

### ۱.۳. گل‌فشان تنگ

گل‌فشان تنگ که به نام‌های گل‌فشان کهپر و ناپک هم شناخته می‌شود در فاصله ۱۰۰ کیلومتری غرب شهرستان چابهار واقع شده است. ارتفاع مخروط گل‌فشان تنگ، به عنوان یکی از بزرگترین گل‌فشان‌های ایران، حدود ۴۵ متر از سطح دریا بوده و دامنه گسترش روانه‌های گلی در اطراف مخروط آن تا ۴۰۰ الی ۵۰۰ متر گسترش دارد [۴۲] (شکل ۶، b). مخروط این گل‌فشان دارای سه دهانه کوچک است که یکی از آنها در حال حاضر فعال است و بقیه آنها نیز از چند سال قبل به صورت غیرفعال هستند. فوران گل با تشکیل حباب‌هایی با اشکال گوناگون همراه بوده (شکل ۶، c)، دوره فوران و پرتاب گل از دهانه گل‌فشان تنگ به طور متناوب بین ۳ تا ۵ دقیقه یکبار است که این عمل با لرزش خاک همراه بوده و در برخی مواقع هنگام خروج گل صدایی همانند شلیک تفنگ از آن به گوش می‌رسد. این روانه‌های گلی سرد که از دهانه مخروط گل‌فشان خارج می‌شوند با گذشت زمان به صورت لایه لایه روی هم قرار گرفته و تا مسافتی دور از دهانه گسترش یافته و در مجاورت هوای گرم و آفتاب شدید منطقه خشک شده و شکاف‌هایی در آنها پدید می‌آید. وجود مارن‌های فراوان در گل‌های خارج شده سبب گردیده تا رنگ خاکستری به قله و دامنه گلفشان دهد.

### ۲.۳. گل‌فشان عین

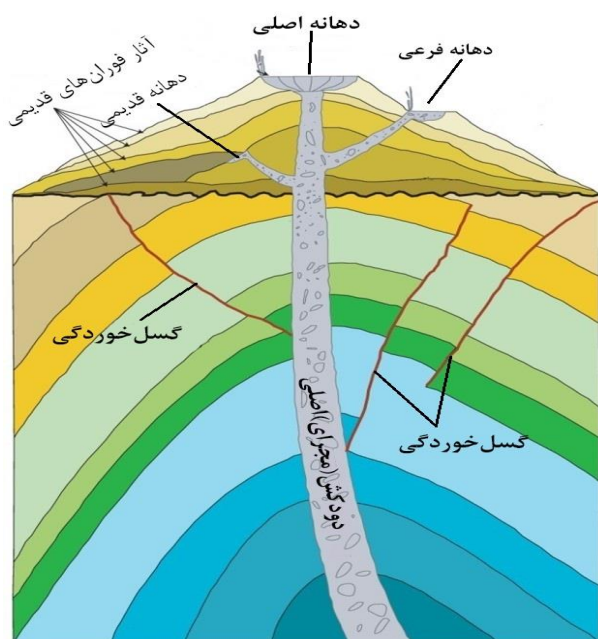
گل‌فشان عین در فاصله ۱۱۰ کیلومتری غرب شهرستان واقع شده است. برای رسیدن به این گلفشان از مسیر جاده چابهار به زرآباد باید اقدام کرد. گلفشان عین در فاصله ۷ کیلومتری روستای کهپر و در ضلع شمال غربی گلفشان تنگ قرار دارد. به لحاظ شکل ظاهری این گلفشان شباهت زیادی به حوضچه شبیه به چشم انشان دارد. از این رو تحت عنوان گل‌فشان عین نامیده می‌شود. ارتفاع مخروط این گل‌فشان حدود ۵ متر از سطح زمین و ۱۷ متر از سطح دریا است.

### ۲.۳. گل‌فشان پیرگل

گل‌فشان پیرگل با فاصله بسیار زیادی نسبت به سایر گل‌فشان‌های منطقه از سواحل مکران، در مجاورت آتشفشان تفتان واقع شده است. برای رسیدن به مخروط این گلفشان می‌بایست از طریق جاده خاش به ایرانشهر اقدام نمود. در کیلومتر ۷۵ این جاده آسفالته، از طریق جاده فرعی به روستای پیرگل و گل‌فشان پیرگل می‌رسیم. گل‌فشان پیرگل شباهت زیادی به گنبد‌های نمکی داشته و در پیرامون آن چندین گنبد نمکی نیز گزارش شده



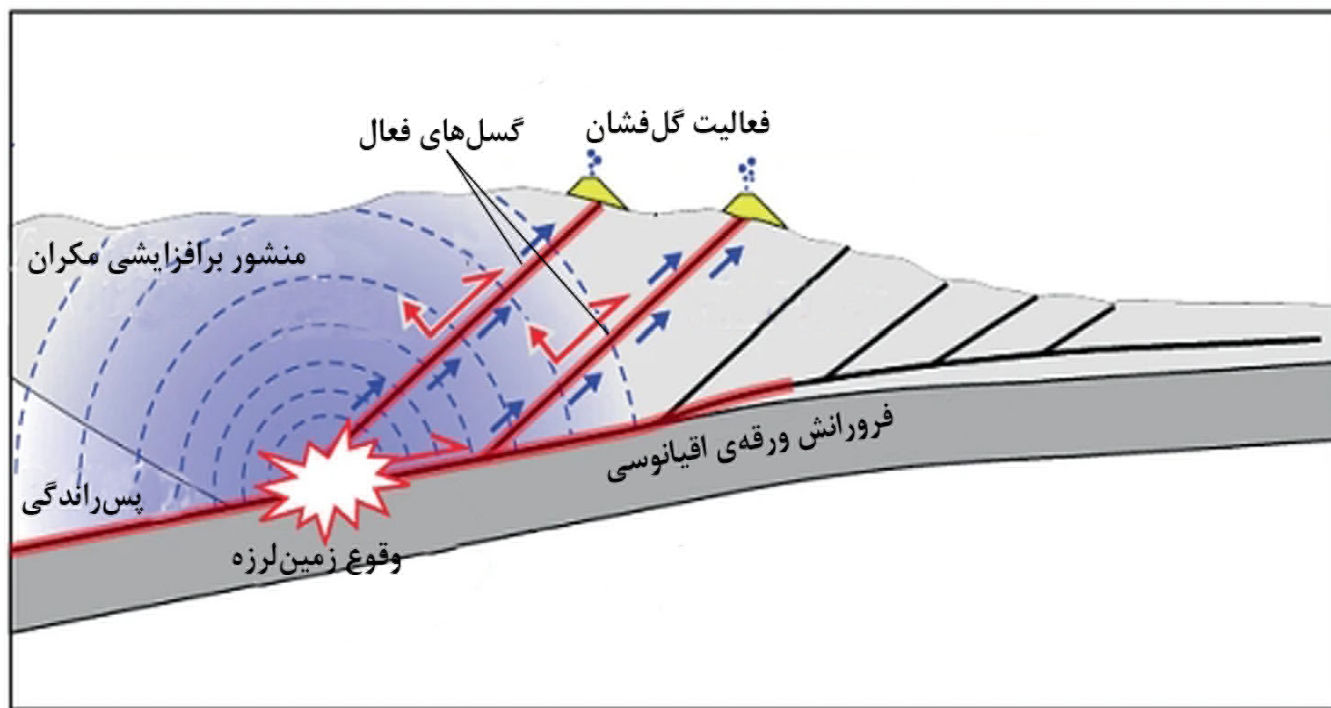
واقع این شکستگی‌های یک گسل هستند که از یک طرف موجبات نفوذ آب‌های جوی به درون زمین را فراهم می‌کنند و از طرف دیگر در هنگام افزایش فشار درون زمین، سبب حرکت به سمت بالای گل‌ولای به همراه گاز و مواد فرار می‌شوند (شکل ۸). زمانی که اجزای سازنده یک گل‌فشان یعنی رسوب، آب، گاز و مواد فرار شروع به تراکم نماید، به علت تحرک بیشتر مواد فرار، گاز و آب خیلی سریع به هسته گسل هجوم می‌آورند. مخلوطی از گل‌ولای، آب و مواد فرار از طریق شکستگی ناشی از گسل به سمت بالا حرکت کرده و از قسمت بالایی ساختمان گنبدی شکل را به وجود می‌آورد.



شکل ۷: یک تصویر شماتیک از ساختار درونی مخروط گل‌فشان، تصحیح شده از [۴۶]

ب) پهنه‌های زمین ساختی واگرا و نرخ رسوبگذاری بالا در بخشهای ژرف. همانگونه که اشاره شد، منشا تشکیل گل‌فشان‌ها در سواحل دریای کاسپین به فرونشست ورقه اقیانوسی کاسپین و گسل‌های موجود در منطقه نسبت داده شده است [۴۱]. هر چند که تنش فشاری ناشی از حرکت ورقه‌ی قاره‌ای توران نیز در شکل‌گیری گل‌فشان‌های این منطقه بی‌تاثیر نبوده است [۴۰]. در مورد گل‌فشان‌های سواحل مکران، فرورانش ورقه اقیانوسی عمان نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و فعالیت آنها ایفا می‌کند. سواحل مکران به علت فرورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای اوراسیا (ایران و پاکستان)، به لحاظ زمین‌ساختی جزو حاشیه قاره‌های فعال و جوان به شمار می‌آید. این فرورانش که عامل بسیاری از پدیده‌های زمین‌ساختی در این منطقه است، عامل شکل‌گیری و فعالیت گل‌فشان‌ها در این منطقه نیز به شمار می‌آید.

تاکنون زمین‌لرزه‌های متعددی در نتیجه فوران یک گل‌فشان به وقوع پیوسته است [۴۴]. اگرچه در بسیاری از موارد نیز هیچگونه ارتباطی بین فعالیت یک گل‌فشان و رخداد زمین‌لرزه وجود ندارد [۴۵]. به منظور درک بهتر و بیشتر این موضوع و همچنین بررسی نقش فرایندهای زمین‌ساختی در مکانسیم شکل‌گیری و فوران گل‌فشان‌ها ساختار یک گل‌فشان توصیف شده است (شکل ۷) [۴۶]. همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است، گسل خوردگی‌ها نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری و فوران یک گل‌فشان ایفا می‌کنند. همانگونه که در شکل نیز آشکار است دهانه اصلی و مجراهای فرعی گل‌فشان به یک دودکش باریک به سمت پایین منتهی می‌شود که از حوضچه پایین (درون زمین) تغذیه می‌کند. این دودکش یا معبر زمانی شکل می‌گیرد که یک شکستگی عمیق (گسل) دو بلوک سنگ را از هم جدا کرده و جابه‌جایی بین آنها صورت پذیرد. بنابراین گسل خوردگی‌ها یکی از مهمترین عوامل در تشکیل و یا فعالیت یک گل‌فشان محسوب می‌شود. در



شکل ۸: بازسازی نقش ورقه اقیانوسی فرورانده شده در شکل‌گیری گسل‌ها، رخداد زمین‌لرزه و فعالیت گل‌فشان. پیکان‌های به سمت پایین نمایانگر نفوذ آب‌های جوی و حرکت آب‌های زیرزمینی و پیکان‌های به سمت بالا نشان‌دهنده حرکت رو به بالای گل‌ولای و گازهای فرار در هنگام فوران یک گل‌فشان است. تصحیح شده از [۴۷]

بحرانی در امتداد شکستگی گسل شده و هنگامی که فشار سیال از آستانه تحمل بلوک‌های سنگی بیشتر شد، شکستگی رخ داده و امواج درونی زمین آزاد می‌شوند [۴۷]. البته Maestrelli و همکاران ۲۰۱۷ بر این باورند که عکس این فرایند نیز می‌تواند رخ دهد و عبور امواج لرزه‌ای از نزدیکی مخروط گل‌فشان‌های نیمه فعال سبب فوران گل‌فشان شود [۴۸]. اگرچه همواره این رخدادها به هم مرتبط نیستند، اما وجود چنین پیوند نزدیکی بین گسل‌ها و فعالیت گل‌فشان در پهنه‌های زمین‌ساختی فعال، می‌تواند برای مستند کردن فعالیت‌های لرزه‌ای گذشته و تخمین رفتار لرزه‌ای آینده در یک منطقه کمک قابل توجهی کند.

اگرچه در آمار دقیقی از ارتباط بین زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه مکران و فوران گل‌فشان‌ها وجود ندارد، اما بررسی این ارتباط در مناطقی که گل‌فشان‌های فعال دارند، می‌تواند جالب توجه باشد. به عنوان نمونه در جدول ۳ ارتباط بین رخداد زمین‌لرزه و وقوع فوران گل‌فشان در منطقه ایتالیا آورده شده است [۶]. همانگونه که داده‌های این جدول نشان می‌دهد ارتباط نزدیکی بین فوران گل‌فشان و به دنبال آن وقوع زمین‌لرزه وجود دارد. افزون بر این، ارتباط نزدیکی بین بزرگای زمین‌لرزه و فاصله مرکز سطحی آن از مخروط گل‌فشان وجود دارد. به طوری که در نمودار شکل (۹) نیز نشان داده شده است، هر چه فاصله مرکز سطحی زمین‌لرزه از مخروط گل‌فشان بیشتر باشد، به همین نسبت بزرگای زمین‌لرزه تحت تاثیر فعالیت گل‌فشان نیز کمتر خواهد داشت.

پس از بررسی مکانسیم شکل‌گیری مخروط یک گل‌فشان و ارتباط مستقیم آن با گسل‌های یک منطقه، در شکل (۸) تاثیر فرورانش ورقه اقیانوسی در تشکیل گسل‌ها و به دنبال آن فعالیت گل‌فشان‌ها نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل به خوبی بازسازی شده، فرورانش ورقه‌ای اقیانوسی عمان، تنش فشاری ناشی از آن و جابه‌جایی ورقه‌ها و به تبع آن بلوک‌های سنگی نسبت به یکدیگر سبب گردیده تنش بسیار زیادی در بین واحدهای سنگی منطقه مکران حاکم باشد. در بخش‌هایی که این تنش فشاری از حد مقاومت بلوک‌های سنگی عبور می‌کند، شکستگی‌هایی با مقیاس‌های متفاوت در منطقه شکل گرفته است. این شکستگی‌ها که در امتداد آنها واحدهای سنگی جابه‌جا شده‌اند، همان گسل خوردگی‌های متعدد هستند که در سرتاسر منطقه مکران تشکیل شده‌اند. شکستگی‌های ناشی از این گسل‌ها نه تنها معبر و مجرای بسیار مناسبی برای شکل‌گیری و فوران گل‌فشان‌ها محسوب می‌شوند؛ بلکه فعالیت هر یک از این گسل‌ها سبب رخداد زمین‌لرزه در منطقه خواهد شد. اگر چه تاکنون اطلاعات و یا داده‌ای در رابطه با همزمانی فعالیت لرزه‌ای در منطقه مکران و فوران گل‌فشان‌ها وجود ندارد، اما بررسی رفتار لرزه‌ای گسل‌ها در سایر مناطقی که حاوی گل‌فشان هستند، ثابت می‌کند رابطه مستقیم و معنا داری بین فوران گل‌فشان و وقوع زمین‌لرزه در آن منطقه وجود دارد. Bonini (۲۰۰۹)، بر این باور است که سیالات نقش بسیار مهمی در رخداد زمین‌لرزه‌های مرتبط با گل‌فشان ایفا می‌کنند [۴۷]. به طوری که وقوع پدیده آبگونگی (liquefaction) و فشار ناشی از سیال و مواد فرار سبب ایجاد یک حالت

جدول ۱. ارتباط بین فوران گل فشان و رخداد زمین لرزه در مناطق همجوار

نام گل فشان	زمان فوران گل فشان	نوع فوران گل فشان	منبع	زمان وقوع زمین لرزه	بزرگای زمین لرزه	فاصله کانون از گل فشان (km)	منبع
Pietramala	۲۰۰۸/۰۲/۲۷	تغییرات زمین شیمیایی در سیالات خروجی از دهانه گل فشان	[۶]	۲۰۰۸/۰۳/۰۱	۴/۶	۹	[۴۹]
Regnano	۱۹۸۸/۰۳/۱۵	افزایش پس لرزه‌ها همراه با خروج سیال و گاز	[۵۰]	۱۹۸۸/۰۳/۱۵	۴/۷	۲۶/۹	[۵۱]
Nirano	۱۹۸۸/۰۳/۱۵	افزایش پس لرزه‌ها همراه با خروج سیال و گاز	[۵۰]	۱۹۸۸/۰۳/۱۵	۴/۷	۳۲/۴	[۵۱]
Portico di * Romagna	۱۹۵۶/۰۵/۲۶	خروج نسبتاً زیاد گاز و مواد فرار همراه با اشتعال متان، انفجار و لرزش زمین	[۵۲]	۱۹۵۶/۰۵/۲۶	۵/۱	۱۵/۵	[۵۱]
Regnano	۱۹۳۰/۱۰/۱۹	؟	[۵۰]	۱۹۳۰/۰۹/۲۴	۴/۸	۵	[۵۱]
Porretta	پس از زمین لرزه	خروج نسبتاً زیاد گاز و مواد فرار همراه با اشتعال متان، انفجار و لرزش زمین	[۵۲]	۱۹۲۹/۰۴/۲۰	۵/۵	۳۷/۲	[۵۱]
Fiorano	پس از زمین لرزه	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶]	۱۹۲۹/۰۴/۲۰	۵/۵	۲۶/۵	[۵۱]
Regnano	۱۹۱۵/۱۰/۱۱	؟	[۵۰]	۱۹۱۵/۱۰/۱۰	۵/۱	۲۱	[۵۱]
Portico di Romagna	۱۸۹۵/۰۹/۰۴	خروج نسبتاً زیاد گاز و مواد فرار همراه با اشتعال متان، انفجار و لرزش زمین	[۵۳]	۱۸۹۵/۰۹/۰۴	۵	۴/۱	[۵۱]
Nirano	۱۸۷۳/۰۵	افزایش پس لرزه‌ها همراه با خروج سیال و گاز	[۵۴]	۱۸۷۳/۰۵/۱۶	۵/۱	۱۴/۶	[۵۱]
Montegibbio	۱۸۷۳/۰۵	؟	[۵۵]	۱۸۷۳/۰۵/۱۶	۵/۱	۱۲/۱	[۵۱]
Torre	پس از زمین لرزه	؟	[۵۶]	۱۸۷۳/۰۵/۱۶	۵/۱	۲۸/۸	[۵۱]
Rivalta	پس از زمین لرزه	؟	[۵۶]	۱۸۷۳/۰۵/۱۶	۵/۱	۲۹/۸	[۵۱]
Montegibbio	پس از زمین لرزه	؟	[۵۰]	۱۸۳۷/۰۴/۱۱	۵/۶	۶۱	[۵۱]
Montegibbio	۱۷۸۱/۰۴/۰۵	فوران انفجاری شدید همراه با اشتعال گاز متان، لرزش شدید زمین، پرتاب گسترده گل و لای و تشکیل ستون دود به ارتفاع یک آسمان خراش	[۵۷]	۱۷۸۱/۰۴/۰۴	۵/۸	۸۷	[۵۱]
Sassuno	۱۷۸۰/۰۷	فوران گسترده و جریان یافتن گل و لای همراه با پرتاب شدید گل، خروج گاز از دهانه‌های مخروط و احتمالاً لرزش، غرش زمین	[۵۸]	۱۷۷۹/۰۶/۰۴	۴/۹	۱۳/۷	[۵۱]
Sassuno	۱۷۸۰/۰۷	فوران گسترده و جریان یافتن گل و لای همراه با پرتاب شدید گل، خروج گاز از دهانه‌های مخروط و احتمالاً لرزش، غرش زمین	[۵۸]	۱۷۸۰/۰۲/۰۴	۴/۸	۳۳/۲	[۵۱]
Paternó	۱۹۹۰/۱۲/۱۳	؟	[۵۹]	۱۹۹۰/۱۲/۱۳	۵/۶	۳۹	[۵۱]
Paternó	پس از زمین لرزه	فوران گسترده و جریان یافتن گل و لای همراه با پرتاب شدید گل، خروج گاز از دهانه‌های مخروط و احتمالاً لرزش، غرش زمین	[۶۰، ۶۱]	۱۸۷۸/۱۰/۰۴	۵/۱	۳۴	[۵۱]
Paternó	۱۸۷۸/۱۲/۲۴	فوران گسترده و جریان یافتن گل و لای همراه با پرتاب شدید گل، خروج گاز از دهانه‌های مخروط و احتمالاً لرزش، غرش زمین	[۶۰]	۱۸۷۸/۱۲/۲۴			[۶۰]
Paternó	پس از زمین لرزه	فوران گسترده و جریان یافتن گل و لای همراه با پرتاب شدید گل، خروج گاز از دهانه‌های مخروط و احتمالاً لرزش، غرش زمین	[۶۲]	۱۸۶۵/۰۷/۱۹	۵	۲۷	[۵۱]
Paternó	پس از زمین لرزه	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۲]	۱۸۴۸/۰۱/۱۱	۵/۴	۳۳	[۵۱]
Paternó	پس از زمین لرزه	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۲]	۱۸۳۳/۱۱/۲۴	۴/۸	۱۰/۶	[۵۱]
*Caltanissetta	۱۸۲۳/۰۳/۰۵	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۳، ۶۴]	۱۸۲۳/۰۳/۰۵	۵/۸	۵۶	[۵۱]
Caltanissetta	پس از زمین لرزه	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۵]	۱۸۱۹/۰۵/۰۲	۵/۴	۴۸	[۵۱]
*Paternó	۱۸۱۸/۰۲/۲۰	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۶]	۱۸۱۸/۰۲/۲۰	۶	۲۲	[۵۱]
Caltanissetta	پس از زمین لرزه	جریان یافتن گل ولای، خروج گاز و در مواردی همراه با پرتاب گل از دهانه و لرزش زمین	[۶۵]	۱۷۸۳/۰۲/۰۵	۶/۹	۱۸۸	[۵۱]

Journal of the Geological Society, 165(4): 769-780 (11 pages).

<https://doi./10.1144/0016-76492007-118>

[2] Istadi, B. P., Wibowo, H. T., Sunardi, E., Hadi, S., Sawolo, N., Dar, I. A. (2012). Mud volcano and its evolution. Earth Sciences, Dr. Imran Ahmad Dar (Ed.), 375-434 (58 pages).

<https://doi.org/10.1130/G51235.1>

[3] Dimitrov, L. I. (2002). Mud volcanoes—the most important pathway for degassing deeply buried sediments. Earth-Science Reviews, 59(1-4), 49-76 (27 pages).

[https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00069-7)

[4] Niemann, H., Boetius, A. (2010). Mud Volcanoes. In Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology (pp. 205-214). Springer-Verlag Berlin (11 pages).

[https://doi.org/10.1007/978-3-642-00810-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00810-8_3)

[5] Bonini, M. (2012). Mud volcanoes: indicators of stress orientation and tectonic controls. Earth-Science Reviews, 115(3), 121-152 (32 pages).

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.09.002>

[6] Bonini, M. (2009). Mud volcano eruptions and earthquakes in the Northern Apennines and Sicily, Italy. Tectonophysics, 474 (3-4), 723-735 (12 pages).

<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.05.018>

[7] Wang, C. Y., Manga, M. (2021). Mud volcanoes. In Water and earthquakes (pp. 323-342). Cham: Springer International Publishing (21 pages).

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-64308-9\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-64308-9_12)

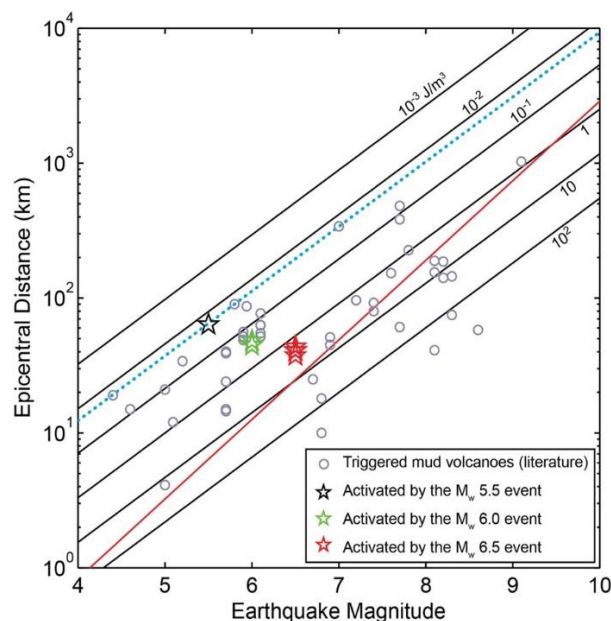
[8] Bonini, M. (2021). Structural controls and earthquake response of Taiwan mud volcanoes. Marine and Petroleum Geology, 128, 105050, 474 (50 pages).

<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105050>

[9] Ustyugov, G. V., Ershov, V. V. (2021). Mud volcanism as a dangerous phenomenon for oil and gas facilities. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 946 (1): 012030. IOP Publishing (18 pages).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/946/1/012030>

[10] Krylov, A. A., Khlystov, O. M., Semenov, P. B., Sagidullin,



شکل ۹: نمودار بزرگای زمین لرزه در مقابل فاصله مرکز سطحی از مخروط گل فشان، بر اساس این نمودار با فاصله گرفتن از مخروط گل فشان، بزرگای زمین لرزه‌ها نیز به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند

### نتیجه‌گیری

وجود گل فشان‌ها در هر منطقه نشانه‌ی بارزی از زمین‌ساخت فعال و جوان در آن منطقه است. این بدین معنی است که این منطقه از نظر لرزه‌خیزی فعال بوده و احتمال جنبش گسل‌ها و وقوع زلزله زیاد است. بنابراین در ساخت و ساز سازه‌های زیربنایی، بزرگ و ماندگار و همچنین سکونت‌گاه‌های جدید می‌بایست توجه ویژه نمود. تشکیل گل فشان‌ها و فوران آنها در چنین منطقه‌ای ارتباط تنگاتنگی با جنبش بلوک‌های گسلی و فعالیت لرزه‌ای آنها دارد. از این‌رو، با مستند کردن فوران گل فشان‌ها با وقوع زمین لرزه در اینگونه مناطق می‌توان به رفتار لرزه‌ای آن منطقه پی برد و جنبش‌های لرزه‌ای آینده را نیز پیش‌بینی کرد.

اگرچه آمار دقیقی از فعالیت گل فشان‌ها و وقوع زمین لرزه مرتبط با آنها در پهنه مکران وجود ندارد؛ اما فورانش ورقه اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای اوراسیا (ایران و پاکستان) و اعمال تنش فشاری ناشی از آن، فراوانی تعداد گل فشان‌های فعال و نیمه فعال و وقوع زمین لرزه‌های متعدد همگی نمایانگر زمین‌ساخت فعال در این منطقه است.

### مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشتند.

### تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

### منابع

[1] Evans, R. J., Stewart, S. A., Davies, R. J. (2008). The structure and formation of mud volcano summit calderas.

- [17] Darin, M. H., Umhoefer, P. J. 2022. Diachronous initiation of Arabia–Eurasia collision from eastern Anatolia to the southeastern Zagros Mountains since middle Eocene time. *International Geology Review*, 64(18): 2653-2681 **(28pages)**.  
<https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2048272>
- [18] Koshnaw, R. I., Schlunegger, F., Stockli, D. F. 2021. Detrital zircon provenance record of the Zagros Mountain building from the Neotethys obduction to the Arabia–Eurasia collision, NW Zagros fold–thrust belt, Kurdistan region of Iraq. *Solid Earth*, 12(11): 2479-2501 **(20pages)**.  
<https://doi.org/10.5194/se-12-2479-2021>
- [19] Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine* 148: 692-725 **(33 pages)**.  
<https://doi.org/10.1017/S001675681100046>
- [20] Tingting, W., Xiguang, D., Huiqiang, Y., Bin L., Jinfeng M., Syed Waseem, H., Zongze, Y., Lifeng W., Miao, Y., Jianfei, L., Naimatullah, S., Noor Ahmed, K., Sanober, K., Jiangong W., (2021). Distribution and development of submarine mud volcanoes on the Makran Continental Margin, offshore Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 207: 104653 **(16 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104653>
- [21] Feizi, F., Arian, M., Arian, A. (2015). Mud Diapirism on the Makran, Iran: Case Study on the Napag Mud Volcano. *Open Journal of Geology*, 5: 300-308 **(8 pages)**.  
<https://doi.org/10.4236/ojg.2015.55027>
- [22] Negaresh, H. (2008). Mud volcanoes in Sistan and Baluchestan Provinces, Makran Coast, Southeast Iran. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 54: 1–7 **(6 pages)**.  
[https://gsm.org.my/wp-content/uploads/gsm\\_file\\_2/702001-100493](https://gsm.org.my/wp-content/uploads/gsm_file_2/702001-100493)
- [23] Nezhad Afzali, K. (2022). Geomorphological and Geochemical Characteristics Mud Volcanoes Near Zendan Fault ,Iran. *Sustainable Earth Review* 2(4): 48-54 **(6 pages)**.
- A. K., Malyshev, S. A., Bukin, S. V., Ismagilov, Z. R. (2023). Sources of Hydrocarbon Gases in the Kedr Mud Volcano, Southern Basin of Lake Baikal: Results of Experimental Studies. *Lithology and Mineral Resources*, 58(6), 534-543. **(9 pages)**.  
<https://doi.org/10.1134/S0024490223700335>
- [11] Kirkham, C., Cartwright, J. (2022). Mud volcanoes and dissolution structures as kinematic markers during salt tectonic deformation. *Basin Research*, 34(1), 99-120 **(21 pages)**.  
<https://doi.org/10.1111/bre.12612>
- [12] Soto, J. I., Hudec, M. R. (2023). Mud volcanoes guided by thrusting in compressional settings. *Geology*, 51(8), 779-784 **(5 pages)**.  
<https://doi.org/10.1130/G51235.1>
- [13] Xu, S., Menapace, W., Hüpers, A., Kopf, A. (2021). Mud volcanoes in the Gulf of Cadiz as a manifestation of tectonic processes and deep-seated fluid mobilization. *Marine and Petroleum Geology*, 132, 105-188 **(83 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105188>
- [14] Dimitrov, L. I. (2003). Mud volcanoes—a significant source of atmospheric methane. *Geo-Marine Letters*, 23, 155-161 **(6 pages)**.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00367-003-0140-3>
- [15] Menzies, C. D., Price, R. E., Ryan, J., Sissmann, O., Takai, K., Wheat, C. G. (2022). Spatial variation of subduction zone fluids during progressive subduction: Insights from Serpentine Mud Volcanoes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 319: 118-134 **(16 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.10.030>
- [16] Mohammadi, A., Kaveh-Firouz, A., Cai, F., Dolati, A., Lom, N., Şengör, A. C. (2023). Migration of the Palaeozoic magmatic front from Zagros to Alborz Mountains with progressive closure of the Palaeo-Tethys Ocean; Insights from Zagros detrital zircon U-Pb age and Hf isotopic composition. *Tectonophysics*, 849: 229-729 **(23pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229729>

- J. Bialas, D. Klaeschen. (2000). Structure of the Makran subduction zone from wide-angle and reflection seismic data, *Tectonophysics*, 329: 171–191 (**21 pages**).  
[https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00195-5)
- [32] Hafkenscheid, E., Wortel, M. J. R., Spakman, W., (2006). Subduction history of the Tethyan region derived from seismic tomography and tectonic reconstructions. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 111 (**21 pages**).  
<https://doi.org/10.1029/2005JB003791>
- [33] Farhoudi, G., Karig, D. E. (1977). Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*, 5(11), 664-668 (**5 pages**).  
[https://doi.org/10.1130/009113\(1977\)5<664:MOIAPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/009113(1977)5<664:MOIAPA>2.0.CO;2)
- [34] McCall, G. J. H. (2002). A summary of the geology of the Iranian Makran. *Tectonic and Climatic Evolution of the Arabian Sea Region* 195: 147-204. (**51 pages**).  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.195.01.10>
- [35] McCall, G. J. H., Kidd, R. G. W. (1982). The Makran, Southeastern Iran: the anatomy of a convergent plate margin active from Cretaceous to Present. *Geological Society, London, Special Publications*, 10(1), 387-397 (**10 pages**).  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1982.010.01.26>
- [36] Dolati, A. (2010). Stratigraphy, structural geology and low-temperature thermochronology across the Makran accretionary wedge in Iran. [Ph.D. thesis]. Swiss Institute of Technology (ETH) (**370 pages**).  
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006226348>
- [37] Tajvar, A. (2021). Seismotectonic in Makran Region and Its Relation with Tsunami. 40th National Conference on Earth Sciences, Tehran (**11 pages**) Persian.  
<https://civilica.com/doc/1471879>
- [38] Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C. J. (2006). Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements. *Journal of the Geological Society*, 163(1): 143-148 (**6 pages**).  
<https://doi.org/10.1144/0016-764905-031>
- <https://doi.org/10.48308/ser.2023.232758.1012>
- [24] Burg, J.-P. (2018). Geology of the onshore Makran accretionary wedge: Synthesis and tectonic interpretation. *Earth-Science Reviews* 185: 1210-1231 (**21 pages**).  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.011>
- [25] Smith, G., McNeill, L., Henstock, T. J., Bull, J. (2012). The structure and fault activity of the Makran accretionary prism. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B7) (**21 pages**).  
<https://doi.org/10.1029/2012JB009312>
- [26] Grando, G., McClay, K. (2007). Morphotectonics domains and structural styles in the Makran accretionary prism, offshore Iran. *Sedimentary geology*, 196(1-4), 157-179 (**22 pages**).  
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.05.030>
- [27] Afshari, S., Ghasemi, A. (2000). Preliminary Study of Mud Volcanoes of Southern Balochistan, Sistan and Baluchestan Province. Tehran, Iran: Centers of Academic Jihad (**8 pages**) Persian.  
<https://sid.ir/paper/786820/fa>
- [28] Ahmadi, A., Asadi, Z., Balochi, N., Kohistianian, E. (2013). Evaluation of geotourism potentials of the southern slopes of Makran (southern Balochistan). *Geography Thought*, 7(14), 119-136. (**17 pages**) Persian.  
[https://geonot.znu.ac.ir/article\\_20830.html?lang](https://geonot.znu.ac.ir/article_20830.html?lang)
- [29] Abbasi, I. A., Kakar, D. M., Khan, M. A., Sana, A. (2016). Mud volcanoes in an active fore-arc setting: a case study from the Makran Coastal Belt, SW Pakistan. *Tsunamis and Earthquakes in Coastal Environments: Significance and Restoration*, 79-95 (**16 pages**).  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-28528-3\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-28528-3_6)
- [30] DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International* 181: 1-80 (**79 pages**).  
<https://doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>
- [31] Kopp, C., J. Fruehn, E. R. Flueh, C. Reichert, N. Kukowski,

[2006jb004489](#)

- [46] Dimitrov, L. I. (2002). Mud volcanoes—the most important pathway for degassing deeply buried sediments. *Earth-Science Reviews*, 59(1-4), 49-76 **(28 pages)**.  
[https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00069-7)
- [47] Bonini, M. (2019). Seismic loading of fault-controlled fluid seepage systems by great subduction earthquakes. *Scientific reports*, 9(1): 11332 **(21 pages)**.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-47686-4>
- [48] Maestrelli, D., Bonini, M., Delle Donne, D., Manga, M., Piccardi, L., Sani, F. (2017). Dynamic triggering of mud volcano eruptions during the 2016–2017 Central Italy seismic sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(11): 9149-9165 **(17 pages)**.  
<https://doi.org/10.1002/2017JB014777>
- [49] INGV. (2008a). Rapporto Tecnico-Scientifico sulla Sequenza Sismica del Mugello del 1 Marzo 2008. [http://cnt.rm.ingv.it/~xoolab/contents/File/MONITORAGGIO/RETE%20SISMICA%20NAZIONALE/RAPPORTI%20TECNICI/Sequenza\\_Mugello.pdf](http://cnt.rm.ingv.it/~xoolab/contents/File/MONITORAGGIO/RETE%20SISMICA%20NAZIONALE/RAPPORTI%20TECNICI/Sequenza_Mugello.pdf)
- [50] Martinelli, G., Bassignani, A., Ferrari, G., Finazzi, P.B. (1989). Predicting earthquakes in Northern Apennines: recent developments in monitoring of Radon 222. *Proceedings of the 4th International Symposium on The Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Bechyne Castle, Czechoslovakia*, 4 (9): 192–208. **(20 pages)**.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.195.01.10>
- [51] CPTI Working Group. (2008). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2008 (CPTI08). INGV, Milano. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI08/>
- [52] Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., Valensise, G. (2007). Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.–1997) and Mediterranean Area (760 B.C.–1500). INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- [53] Trabucco, N. (1895). Terremoto della Romagna Toscana del 4 Settembre 1895. *Boll. Soc. Geol. Ital.* 14: 284–286. **(3 pages)**.
- [39] Pajang, S., Cubas, N., Letouzey, J., Le Pourhiet, L., Seyedali, S., Fournier, M., Mokhtari, M. (2021). Seismic hazard of the western Makran subduction zone: insight from mechanical modelling and inferred frictional properties. *Earth and Planetary Science Letters*, 562: 116789 **(23 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.116789>
- [40] Ghaderi, D., Rahbani, M. (2022). Mud volcano as a feature of emergence in Caspian Sea. *Oceanologia*, 64(3): 503-513 **(10 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.03.006>
- [41] Huseynov, D. A., Guliyev, I. S. (2004). Mud volcanic natural phenomena in the South Caspian Basin: geology, fluid dynamics and environmental impact. *Environmental geology*: 46, 1012-1023 **(11 pages)**.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-004-1088-y>
- [42] Nejad Afzali, K., Lak, R., Qorashi, M. (2017). Investigation of geomorphological changes and sediment characteristics of Napag Mud volcano, Makran, Iran. *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 26(104): 261-266 **(5 pages)** Persian.
- [43] Wan, Z., Yang, X., Zhong, S., Chen, C., Lin, G., Yuan, Y. (2018). The Formation and Evolution of Mud Volcano: The Significance of Scientific Research on the Earth System. *Acta Geologica Sinica (English Edition)* 105-108 **(4 pages)**.  
<http://www.geojournals.cn/dzxben/ch/index.aspx>
- [44] Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G. G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sørensen, A., Istadi, B. (2007). Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters*, 261(3-4): 375-388 **(19 pages)**.  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.001>
- [45] Mellors, R., Kilb, D., Aliyev, A., Gasanov, A., Yetirmishli, G. (2007). Correlations between earthquakes and large mud volcano eruptions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B4) **(51 pages)**.  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/>

- [60] Silvestri, O. (1879). Eruzione di fango presso l'Etna. Bull. Vulcan. Ital. 6: 28–31 **(4 pages)**.
- [61] Silvestri, O. (1866). Le salse e l'eruzione fangosa di Paternò (Siria). Osservazioni e ricerche. Stabilimento Tipografico C. Galatola, Catania **(30 pages)**.
- [62] La Via, G.B. (1825). Sopra una eruzione fangosa di un Vulcano Idro-Argilloso della Sicilia. G. Arcadico Sci., Lett. Arti 27: 174–176 **(3 pages)**.
- [63] La Via, G.B. (1828). Sur une éruption fangeuse d'un volcan hydro-argileux (Salse) de la Sicile. Bull. Sci. Nat. Géol. 13: 33–35. **(3 pages)**.
- [64] Li Volsi, S. (1828). Sur un volcan d'air de Terrapilata dans le territoire de Caltanissetta, en Sicile. Bull. Sci. Nat. Géol. 14: 195–198. **(4 pages)**.
- [65] Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., Valensise, G. (2007). Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 BC-1997) and Mediterranean Area (760 BC-1500) **(6 pages)**.  
[https://earthprints.org/bitstream/2122/3411/1/CFTI4Med\\_summary](https://earthprints.org/bitstream/2122/3411/1/CFTI4Med_summary)
- [54] Coppi, F. (1875). Brevi note sulle Salse Modenesi. Boll. R. Com. Geol. 7(8): 1–7 **(8 pages)**.
- [55] Mercalli, G. (1883). Geologia d'Italia: vulcani e fenomeni vulcanici in Italia, Milano **(11 pages)**.
- [56] Strobel, P. (1888). Borboj del Parmigiano. Parma. **(13 pages)**.
- [57] Calegari, M., Canestrini, G. (1867). Storia della Salsa di Sopra presso Sassuolo della sorgente della Salvarola e dei pozzi oleiferi di Montegibbio. Ann. Soc. Nat. Modena 2: 151–168. **(20 pages)**.
- [58] Calindri, S. (1781–1783). Dizionario corografico, georgico, orittologico, storico della Italia. Montagna e Collina del territorio bolognese, vol. I–V. Stamperia S. Tommaso d'Aquino, Bologna.
- [59] D'Alessandro, W., Parello, F., Valenza, M. (1996). Gas manifestations on Mount Etna Area: historical notices and new geochemical data (1990–1993). Acta Vulcanol. 8: 23–29. **(7 pages)**.
- Silvestri, O. (1878). Eruzione di fango a Paternò presso l'Etna. Bull. Vulcan. Ital. 5: 131–132 **(2 pages)**.



در فایل بدون نام، این بخش حذف شود

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Tajvar, A.** Assistant Professor, Department of Oceanography, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

✉ [Tajvar@cmu.ac.ir](mailto:Tajvar@cmu.ac.ir)

 0000-0001-8231-4625

**Sheikh bahai, A.** PhD candidate in Physical Oceanography at University of Hormozgan and Iranian National Institute of Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

✉ [Ali.Sheikhbahai@inio.ac.ir](mailto:Ali.Sheikhbahai@inio.ac.ir)

 6949-5361-0004-0009

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



### HOW TO CITE THIS ARTICLE

#### Citation (Vancouver)

 <http://doi.org/10.52547/joc.15.59.1>

 <http://joc.inio.ac.ir/>

 <https://orcid.org/0000-0001-8231-4625>



### COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.