



## استفاده از داده های زمین لرزه ای و بررسی ارتباط آن با علل نشت نفت و گاز در میادین مناطق نفتخیز جنوب

علیمراد درویشی<sup>۱</sup>، عباس کنگی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکترای زمین شناسی - دانشگاه آزاد واحد شاهرود

۲- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

\* نویسنده مسئول

### چکیده

هدف این مطالعه بررسی پیش لرزه ها و زمین لرزه ها در یکی از میادین نفتی مناطق نفتخیز جنوب و استفاده از داده های ریزلرزه ای در شناسایی علل نشت نفت و گاز در آن میدان و امکان ارتباط آن می باشد. در راستای این مطالعه کاتالوگ زمین لرزه ای پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله در بازه زمانی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ (قبل از شروع تزریق گاز) و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ (بعد از تزریق گاز و پساب) مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال حد آستانه بزرگا و حذف زمین لرزه های وابسته، هریک از زمین لرزه های اصلی باقیمانده در کاتالوگ، به تنهایی جهت یافتن پیش لرزه در یک پنجره زمانی مکانی مشخص بررسی شدند. بررسی بازه های مذکور بیانگر افزایش زمین لرزه ها پس از شروع و افزایش میزان تزریق گاز به میدان بوده است. میدان مذکور دارای چاههای تولیدی نفت و تزریقی گاز و دفعی پساب نیز می باشد. حجم زیاد تزریق گاز برنامه شده و میزان پساب دفعی در میدان مذکور و وجود گسل در نزدیکی محل نشت، می توانند عوامل مهمی در ایجاد افزایش زمین لرزه و به تبع آن آسیب دیدگی بعضی از چاههای تولیدی نفت در عمق بخصوص گردیده که منجر به خروج سیال به سطح زمین شده است. همچنین احتمال دارد که بدلیل ناکافی بودن تعداد ایستگاههای لرزه نگاری تمامی زمین لرزه ها در این بازه زمانی ثبت نشده باشند.

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱

پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲

ارائه در سایت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۲

کلید واژگان:

پیش لرزه ها

حد آستانه بزرگا

مناطق نفتخیز جنوب

پساب

## Using seismic data to investigate the possibility of its relationship with the causes of oil and gas leakage in one fundamental oil fields of the south

Alimorad Darvishi<sup>1</sup>, Abbas Kangi<sup>2,\*</sup>

1- Ph.D student in Geology - Azad University, Shahrood branch.

2- professor of Islamic Azad University, Shahrood branch.

\* Corresponding Author

### Article Information

Original Research Paper  
Received 18 March 2023  
Accepted 02 October 2023  
Available Online 04 October 2023

**Keywords:**  
Foreshocks  
Magnitude Cut-Off Threshold  
National Iranian South Oil  
Effluent

### Abstract

The goal of this study is to investigate foreshocks and earthquakes in one of National Iranian South Oil and to use seismic data in identification of causes of oil and gas leaks in the field and probability of connection. This field contains production oil, injection gas and effluent disposal wells. To do so, the earthquake catalog for International Institute of Seismology and Earthquake Engineering has been evaluated between 2000-2009 (prior to gas injection) and 2009-2019 (after gas and effluent injection). After applying magnitude cut-off threshold and eliminating associated earthquakes, important earthquake parameters were investigated in different time window. The study of intervals indicates the increase in earthquakes after initiating and increasing gas injection into the field. Massive planned injection gas and effluent disposal in the field and fault at proximity of leak location may be important factors in increasing earthquake and subsequently, damage of some production wells in a specific depth which has been led to fluid leakage to surface. It is also possible that all of the earthquakes have not been recorded due to insufficiency of seismic stations.

## ۱- مقدمه

بزرگترین زمین لرزه در یک گروه از زمین لرزه ها، شوک اصلی نام دارد. زمین لرزه های قبل از شوک اصلی، پیش لرزه و زمین لرزه های بعد از شوک اصلی را پس لرزه می نامند. زمین لرزه های کوچک با بزرگای مشابه، فوج زمین لرزه (Swarm) نامیده شده اند [۱]. زمین لرزه های بزرگتر با بزرگای مشابه، لرزه های چندتایی (Multiplets) و زمین لرزه هایی راکه خارج از یک گروه رخ می دهند را زمینه نامگذاری کرده اند [۲]. زلزله های ضعیف که بزرگی آنها ۳ ریشتر و یا کمتر از ۳ ریشتر بوده و غالباً افزایش ناگهانی و نامنظم آنها نشانه قریب الوقوع بودن زمین لرزه اصلی می باشد. زمین لرزه های القائی در اوکلاهما، ایالات متحده، ارتباط بین تزریق WASTE WATER INJECTION و توالی زمین لرزه ای MW ۵.۷ سال ۲۰۱۱ می باشد. زمین لرزه های درون قاره ای مهم به طور روزافزون در ایالات متحده آمریکا رخ می دهد، از جمله ۵ زلزله به بزرگی  $(M_w) \leq 5.0$  در سال ۲۰۱۱. به طور همزمان، حجم سیال تزریق شده به زیرزمین مربوط به تولید منابع نامتعارف همچنان رو به افزایش است. زمین لرزه ای به بزرگی Mw 5.7 که در نوامبر ۲۰۱۱ در اوکلاهما رخ داد. این زمین لرزه حداقل در ۱۷ ایالت احساس شده و خسارت هایی را در منطقه لرزه ای ایجاد کرد. این زمین لرزه به صورت توالی با ۲ زمین لرزه Mw 5 و یک توالی پس لرزه ای رخ داد. از پس لرزه ها برای مشخص کردن گسل های رخ داده در توالی استفاده شده، و نوک شروع گسستگی در فاصله ۲۰۰ متری از چاه های تزریق فعال و در فاصله ۱ کیلومتری سطح تعیین شد؛ ۳۰٪ از پس لرزه های اولیه در بخش رسوبی اتفاق می افتد. داده های زیرسطحی نشان می دهد که سیال به reservoir - bounding با افزایش حجم سیال پس از گذشت ۱۸ سال از تزریق، باعث کاهش فشار مؤثر بر روی منبع گسل شد. به طور جدی، این مورد نشان می دهد که وجود فاصله چندین دهه ای از شروع تزریق سیال و وقوع زمین لرزه های ناشی از آن امکان پذیر است و اصطلاح رایج در این زمینه "حوادث ناشی از سیال" است. گسستگی پیشرونده سه صفحه گسلی در این توالی نشان می دهد که تغییرات فشار ناشی از شکستگی اولیه باعث وقوع زمین لرزه های پی در پی، یکی بزرگتر از قبلی، می شود. سه زمین لرزه درون قاره ای با بزرگی ۵.۰، ۵.۷ و ۵.۰ (بزرگی لحظه ای از کاتالوگ جهانی global centroid moment tensor GCMT; <http://www.globalcmt.org>) در آمریکای شمالی در نزدیکی پاراگوئه، اکلاهما، ایالات متحده (شکل ۱) در ۵، ۶ و ۸ نوامبر ۲۰۱۱ با فاصله حدود ۱۸۰ کیلومتر با نزدیکترین گسل فعال کوتاه تر (quaternary - active fault)، رخ داده است. زمین لرزه های با بزرگی  $M_w \geq 5.0$  در شرق کوه های راکی ایالات متحده نادر است؛ با این حال تعداد لرزه های درون قاره ای ثبت شده در بین سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ در مقایسه با سال های ۱۹۷۶-۲۰۰۷، ۱۱ برابر افزایش یافته است. از کل لرزه های ثبت شده در منطقه حدود ۶۶٪ در سال ۲۰۱۱ رخ داده است (از GCMT). زمین لرزه Mw 5.7، بزرگترین زلزله ثبت شده در اوکلاهما بود. شدت لرزه ایجاد شده در کانون لرزه ای برابر VIII بود، که موجب تخریب ۱۴ خانه، آسیب رسیدن به بسیاری از ساختمان های دیگر، مجروح شدن ۲ نفر، و تاب (buckled pavement) برداشتن آسفالت شد (سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا، ۲۰۱۱). زمین لرزه های سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ پاراگوئه در میدان نفتی کنترل ساختاری ویلزتا، درون کمپلکس سیستم گسلی ویلزتا به سن پنسیلوانین (وی، ۱۹۸۳) به طول ۲۰۰ کیلومتر رخ داد. تله های ساختاری (structural traps)

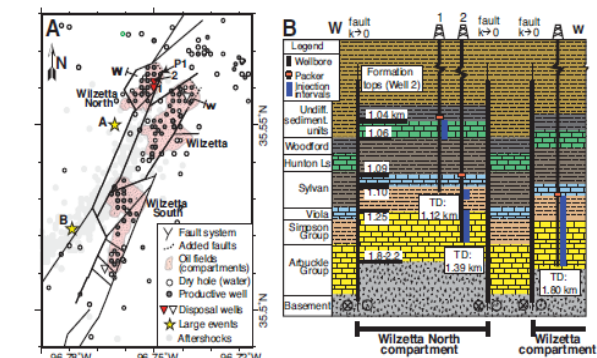
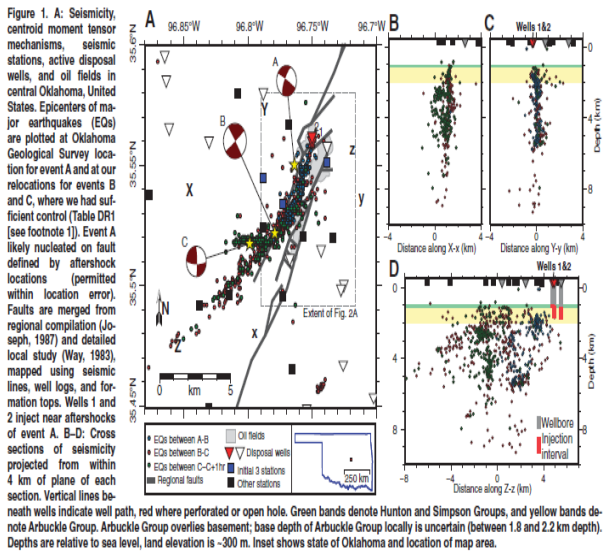


Figure 2. Subsurface geology and compartmentalization in Wizzetta oilfields, Oklahoma, United States. A: Wizzetta fault system (area shown in Fig. 1) including fault-bounded compartments, disposal wells, earthquakes, and exploration wells into Hunton Limestone or deeper units. Boundaries between producing and dry wells closely correlate to mapped faults. Wells 1, 2, and P1 are discussed in text. B: Schematic cross-section W-W across Wizzetta North and Wizzetta compartments. High-permeability reservoirs are interbedded with low-permeability shale units vertically, and faults are low-permeability barriers to fluid flow. Well paths and injection intervals are from Oklahoma Corporation Commission Well Data System (<http://www.occperrmit.com/WellBrowse>) database. Relative offset of fault blocks is based on formation tops at closely spaced production wells (not shown). Depths to formation tops and total depth (TD) of each injection well are noted (in km below sea level).

میدان ویلزتا بر اثر انحراف سنگ آهک متخلخل در امتداد گسل های پرب شیب (high-angle) تشکیل شده اند (شکل ۲). تولید نفت در میدان شمالی ویلزتا، جایی که توالی زلزله شروع شده، در درجه اول در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در سنگ آهک هانتون رخ داده؛ و به صورت محدود ادامه یافته است. سه چاه تزریق سیال فعال در فاصله ۱.۵ کیلومتری پس لرزه های رویداد A و دو مورد در میدان شمالی ویلزتا وجود دارد (شکل ۱). تزریق سیال در این چاه ها پس از سال ۱۹۹۳ شروع شده و در واحد هایی از سنگ آهک هانتون (Limestone Hunton) تا گروه عمیق تر اربوکل، که عمدتاً سنگ آهک دولومیتی به عمق ۱.۳ تا ۲.۱ کیلومتری، رخ می دهد (سیستم داده های چاه کمیسون شرکت اوکلاهما; <http://www.occperrmit.com/WellBrowse>; شکل ۲) معمولاً هنگامی که معیارهای تعیین شده توسط دیویس و فرولیچ (۱۹۹۳) که شامل نزدیکی به چاه های تزریقی، تغییر در لرزه نگاری پس زمینه و همبستگی با پارامترهای تزریق پساب (waste water) رعایت شوند، زمین لرزه ها ناشی از دفع پساب محسوب می شوند.

## ۲- موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه (جنوب استان خوزستان در جنوب غرب ایران) در کمربند چین خورده زاگرس قرار دارد. این کمربند بخشی از سامانه کوهزایی آلپ - هیمالیا است که با بسته شدن اقیانوس تیتیس جوان (Neo -

کمربندهای چین خورده و گسل های رانده شده با امتداد شمال غرب - جنوب شرق تقسیم می شود. تغییر شکل ساختمانی و خصوصیات ارتفاعی ( Topography ) این ناحیه به سمت جنوب غرب کاهش یافته و سبب جدایش زون ساده چین خورده از زون راندگی زاگرس می گردد. به دلیل وجود تفاوت در شکل ساختارها و چین خوردگی هایی که در این ناحیه مشاهده می شوند، تقسیم بندی ناحیه ای زاگرس کار ساده ای نخواهد بود. تفاوت و اختلافات موجود در شکل ساختارها کاملاً وابسته به تغییرات رخساره ای و واکنش های مکانیکی متفاوت نسبت به دگر شکلی خواهد بود که توسط گسل های پی سنگی کنترل می گردند. رخساره های رسوبی و شکل های ساختمانی متفاوت، کمر بند چین خورده زاگرس را به واحدهای کوچک تری تقسیم می کند که عمود بر امتداد کمر بند چین خورده می باشند. ( ه . مطیعی، ۱۹۹۵، م. ستوده نیا، ۱۹۷۸ ) این واحدها عبارتند از:

- لرستان
- ناحیه فارس
- ناحیه ایذه
- ناحیه راندگی
- فروافتادگی دزفول
- هینترلند بندرعباس ( سرزمین دور افتاده )
- دشت آبادان

ساختار میدان نفتی مورد مطالعه در ناحیه فروافتادگی دزفول واقع شده است. فروافتادگی دزفول یکی از مهم ترین واحدهای کمر بند چین خورده زاگرس است. این فروافتادگی دارای سطوح ارتفاعی قابل ملاحظه ای است و در جنوب غرب زاگرس گسل خورده واقع شده است. مرز غربی این واحد خمش بالاورد و مرز شرقی آن گسل کازرون است. به سمت جنوب غرب، چین خوردگی کاهش یافته و ساختارهای قدیمی تر شمالی - جنوبی به جای ساختارهای شمال غرب - جنوب شرق پدیدار می گردند. حداکثر ارتفاع در این ناحیه حدود هزار متر بالای سطح آب دریاها بوده و قدیمی ترین رخنمون آن متعلق به الیگوسن می باشد. تاقدیس مورد مطالعه یکی از ساختارهای با امتدادی مشابه راستای زاگرس است و یکی از معروف ترین میدان های نفتی خاورمیانه می باشد. مخزن آسماری میدان مورد مطالعه در سال ۱۹۳۶ میلادی کشف گردید. این میدان میانی فروافتادگی دزفول و در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز واقع است. طول این میدان ۸۰ کیلومتر است و دارای دو پلانژ جدا از هم بر روی سازند مورد مطالعه می باشد.

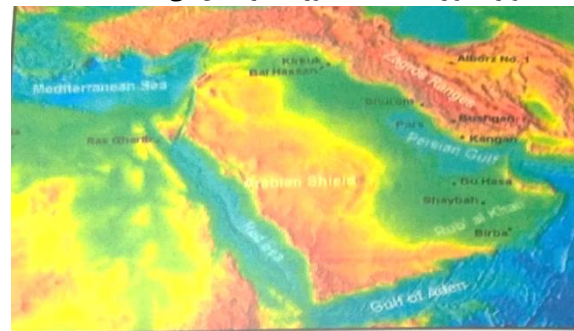
- گسل های موجود در تاقدیس آسماری

چندین گسل را می توان در ساختار آسماری مشاهده کرد که یا با استفاده از داده های چاه ها و یا از طریق تفسیرهای ساختمانی تعیین شده اند. گسل های موجود در تاقدیس آسماری به پنج گروه تقسیم می شوند که به شرح ذیل می باشند:

- گسل های رورانده ( Thrust faults ) :

گسل های راندگی گروه عمده ای از گسل هایی است که نقشی عمده را در شکل گیری ساختمان های زمین شناسی دارند. دریاال جنوبی ساختار یک گسل رورانده اصلی وجود دارد که مرز جنوبی ساختار را تشکیل می دهد. با توجه به حرکت و فرو ریزش توده های سنگی در یال جنوبی می توان یک زون Trishear را تشخیص داد. رانش مورد مطالعه بر روی مارون نیز یکی دیگر از فعالیت های گسل راندگی در یال جنوبی است.

( Tethys ) و با برخورد صفحات افریقا - عربستان و اوراسیا شکل گرفته است. شکل ۱، تصویر ماهواره ای منطقه خاورمیانه را نشان می دهد.

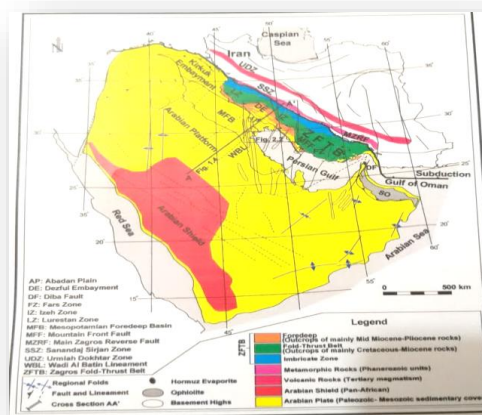


شکل ۱-

کمر بند چین خورده زاگرس توسط ساختارهای مایل نسبت به سامانه‌ی کوهزائی ( گسل های بالاورد و کازرون ) به پهنه های لرستان و ایذه تقسیم می گردد. فروبار دزفول در ایران و فروبار کرکوک در عراق ( شکل ۲ ) دو فروافتاده ناحیه ای هستند که در جنوب غرب کمر بند چین خورده زاگرس واقع شده اند. در زیر پوشش رسوبی کمر بند چین خورده زاگرس، پی سنگ صفحه عربستان واقع شده که عمق آن بطرف جنوب غرب کاهش می یابد. در سپر عربستان به سطح زمین می رسد.

ناحیه مورد مطالعه، بخشی از فروبار دزفول را در بر می گیرد. ( شکل

۲ )



شکل ۲-

قسمت عمده این ناحیه هموار بوده بطوریکه با رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشیده شده است. رخنمون گروه فارس با سن اواخر ترشیری، بصورت ارتفاعات کوچکی در شرق و شمال شرق ناحیه مورد مطالعه مشاهده می شوند و سنگهای کرتاسه و اوایل ترشیری در مناطق کوهستانی پهنه ایذه رخنمون یافته اند.

میدان مورد مطالعه در ناحیه خوزستان در ۹۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز، واقع شده است.

مختصات جغرافیایی این میدان بصورت زیر می باشد :

عرض جغرافیایی : ۳۰ درجه تا ۳۲ درجه شمالی

طول جغرافیایی : ۴۸ درجه تا ۵۱ درجه شرقی.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه:

زاگرس یکی از مهم ترین بخش های زمین شناسی ایران است. بر اساس خصوصیات ریخت شناسی و تغییر شکل ساختمانی در این ناحیه، زاگرس به

محل دوم : در سال ۹۲ ۱۳ نشت شدید گاز در حوالی یکی از چاه های نفتی مشاهده گردید. متعاقب ایمن سازی با نصب پلاک و تعمیر چاه پدیده نشت نفت تا حدودی کم و در مقطعی قطع گردید.

محل سوم مربوط به چاه تولیدی نفتی در همان محل دوم و محل جدیدی نزدیک به نشت قبلی با فاصله ۲۰۰ متری فعال که با بررسی های صورت گرفته و تعمیر چاه E با دکل تأثیرات مثبتی در کاهش نشت نفت دیده شد. اما کامل کنترل و رفع نگردید.

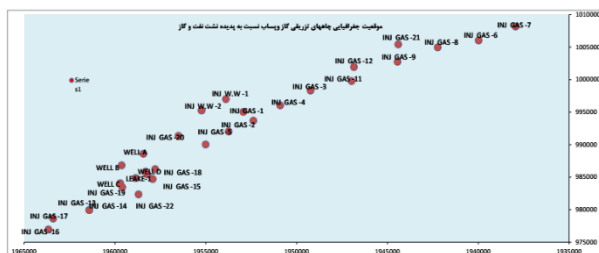
محل چهارم در نزدیکی چاه تزریقی گاز: با فعال شدن این محل بررسی بیشتری صورت گرفته که در این بررسی ها آسیب دیدگی چاه نفتی آشکار و در برنامه تعمیر با دکل قرار گرفت.

آخرین و جدید ترین محل نشت نفت :

در جدید ترین مورد ، این پدیده در حوالی یکی از روستاهای تابعه شهرستان ( سال ۹۶ ) متعاقب انجام عملیات جاده سازی مشاهده شده و منشأ آن بر اساس نظر اداره زمین شناسی ، چاه نفتی دیگری تخمین زده شده است.

### بررسی موقعیت مکانی و عمق آسیب دیدگی و زمان چاههای مرتبط با پدیده :

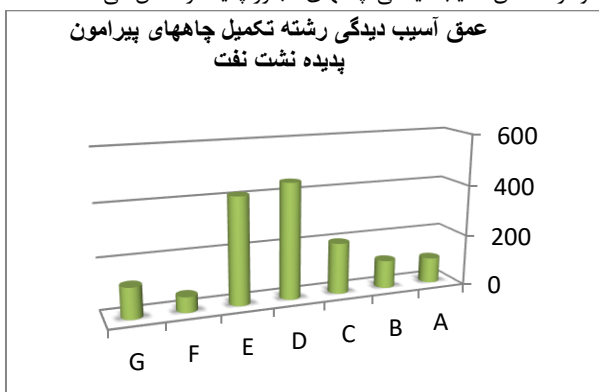
در نمودار ذیل موقعیت جغرافیایی لامبرت چاههای تزریق گاز و دفعی پساب نسبت و چاههای آسیب دیده مرتبط با پدیده نشت نفت و گاز مشاهده می شود.



نمودار - موقعیت چاههای تزریق گاز و دفعی پساب با محل پدیده های نشت نفت و گاز را نشان می دهد.

نمودار - عمق آسیب دیدگی چاههای مجاور پدیده را نشان می دهد.

### عمق آسیب دیدگی رشته تکمیل چاههای پیرامون پدیده نشت نفت



محل های مذکور فوق همگی منشأیی در یکی از چاههای نفتی داشته اند که پس از راندن نمودارهای مخصوص مشخص گردید که در عمق بخصوصی آسیب دیده اند. جدول ذیل نشان دهنده عمق آسیب دیدگی رشته تکمیلی چاههای مذکور می باشد.

گسل های رورانده دیگری در بخش شرقی یال شمالی این میدان دیده می شود. ساختارهای بالا آمده بواسطه فعالیت های گسل رورانده و پس رانده شده در یال شمالی میدان بوجود آمده است.

گسل های بلوکی ( Block Fault ) :

در خلال چین خوردگی و بالا آمدن ساختار آسماری ، مقاومت قسمتی از ساختار آسماری در برابر نیروهای ناحیه ای ، باعث ایجاد یک قطعه تأخیری ( Lag Block ) شده است. دوگسل شیب لغز و یک گسل انقطاع شیب ( Cross Dip ) این قطعه را بوجود آورده اند.

گسل عادی ( Normal Fault ) :

حداقل یک گسل عادی در شرق یال جنوبی ، بخش هایی از سازند آسماری را بریده است.

گسل معکوس ( Reverse Fault ) :

باتوجه به مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده توسط Naftkav- Teknika یک گسل معکوس در میان ساختارهای مورد مطالعه و پازنان تشخیص داده شده است.

گسل های ریزش ستیغی ( Crestal Collapsing Fault ) :

در مقطع لرزه نگاری و چاه مورد مطالعه حداقل یک زوج گسل ستیغی مشاهده شده است. به نظر می رسد که گسل های ریزشی بیشتری در سازند آسماری میدان مورد مطالعه وجود داشته است.

نکته مهم - گسل اصلی میدان با جابجایی بیش از ۱۰۰۰ متر میدان را قطع کرده و به سطح زمین رسیده است این گسل در مسیر خود از اولین چاه حفاری شده میدان می گذرد و اثر آن را در قرار گرفتن سازند آغاجاری در زیر بخش ۵ سازند گچساران در این چاه می توان بخوبی مشاهده نمود. عملکرد همین گسل در محل کوه سوخته باعث نشت گاز مخزن شده است.

### مختصری از تاریخچه نشت نفت و گاز در میدان مورد مطالعه و اقدامات صورت گرفته :

نشت سطحی نفت تاکنون در چندین نقطه از میدان مورد مطالعه و یال شمالی آن مشاهده شده و هرکدام تحت بررسی و مطالعه قرار گرفته و اقداماتی در هر مورد انجام شده است.



شکل - یکی از محل های نشت سیال به محیط

محل اول و قدیمی : اولین بار در اردیبهشت ۱۳۸۴ نشت نفت و گاز در نزدیکی چاههای A و B در محدوده یکی از واحد بهره برداری مشاهده گردید که با تشکیل گروه کارشناسی موضوع به شکل جدی بررسی شد. در سالهای ۸۴ تا ۸۷ نشت محدوده چاههای مذکور نیز امتداد و گسترش یافت.



زمان شروع داده‌های لرزه‌ای فهرست‌نامه، تغییرات در ایستگاه‌ها و شبکه‌های لرزه‌نگاری با الگوریتم‌های ثبت زلزله‌ها، تغییرات مقیاس بزرگی در طول زمان، حضور رویدادهایی که زلزله نیستند (انفجارها)، وجود زلزله‌های غیرمستقل و ناهمگنی ناشی از ثبت یا عدم ثبت رخدادها، کوچک به‌عنوان تابعی از زمان و مکان، مواردی هستند که در اغلب فهرست‌نامه‌های زلزله دیده می‌شوند و معمولاً موجب بروز اشتباهاتی در نتایج و تجزیه و تحلیل‌ها می‌شوند.

بنابراین، فهرست‌نامه خام زلزله‌ها برای مطالعه پارامترهای لرزه‌خیزی a و b و فرکتال و مطالعات مشابه قابل استفاده نیست و یکی از گام‌های مهم قبل از هرگونه تجزیه و تحلیل، بررسی این موضوعات هست.

نرم‌افزارهای تخصصی استفاده شده

نرم‌افزار مورد استفاده در این مطالعه، نرم‌افزاری به نام ZMAP است که منبع باز است و توسط ویمر (۲۰۰۱)، نوشته شده است. این نرم‌افزار، تحت نرم‌افزار مطلب اجرا می‌شود و نرم‌افزاری قوی برای بررسی فهرست‌نامه زمین‌لرزه‌ها، بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی و سایر محاسبات آماری مرتبط می‌باشد که برای استفاده عموم به‌طور رایگان در وب سایت <http://www.carthquake.ethz.chsoftwarezmap> گذاشته شده است.

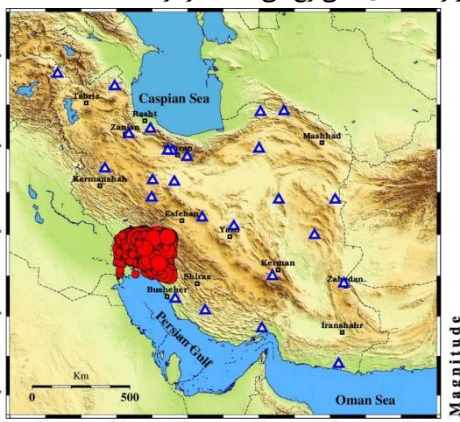
جهت کاربرد از این نرم‌افزار، فهرست‌نامه داده‌ها در فرمت ASCII آماده شد و عمده محاسبات آماری با این نرم‌افزار انجام گرفت از نرم‌افزارهای Global Mapper و ArcGIS نیز برای ترسیم بعضی نقشه‌ها و محاسبات این تحقیق، استفاده گردید.

- تعیین فهرست‌نامه داده‌ها

استفاده از بیشتر رخدادها برای تحلیل، باعث به دست آمدن نتایج خوبی می‌شود. هر قدر بازه زمانی انتخابی برای تجزیه و تحلیل یک پژوهش طولانی‌تر باشد، زلزله‌های بیشتری در دسترس خواهد بود و هم‌چنین مقدار بزرگی کامل شده (Mc) با افزایش بازه زمانی و تعداد زمین‌لرزه‌ها با کیفیت بهتری بدست می‌آید.

- شناسایی و حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها

محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی a و b یک ناحیه، با فرض توزیع پواسنی و مستقل بودن رویدادهای لرزه‌ای انجام می‌گیرد اما وجود پیش‌لرزه‌ها و به خصوص پس‌لرزه‌ها در بیشتر فهرست‌نامه‌ها، این فرض را از بین می‌برد. مدل پواسنی شرح می‌دهد که زمین‌لرزه‌ها برحسب زمان به‌صورت تصادفی و بدون حافظه زمانی از رخدادهای قبلی رخ می‌دهند (کرامر، ۱۹۹۶).



شکل - نقشه لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه قبل از دی کلاستر کردن

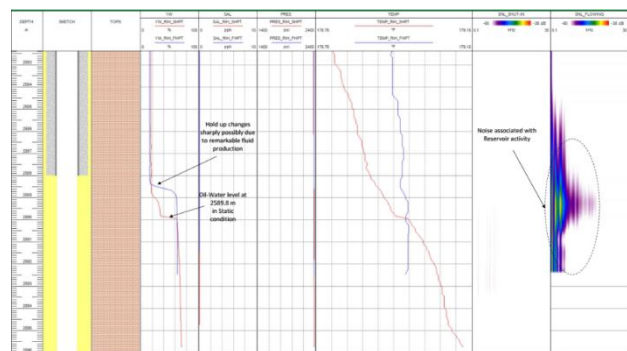
داده‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹



نمودار - زمان آسیب دیدگی چاههای نفتی پیرامون پدیده نشت نفت و

گاز

نمونه ای از لاگ های رانده شده جهت تشخیص آسیب دیدگی رشته تکمیلی چاههای مورد نظر :



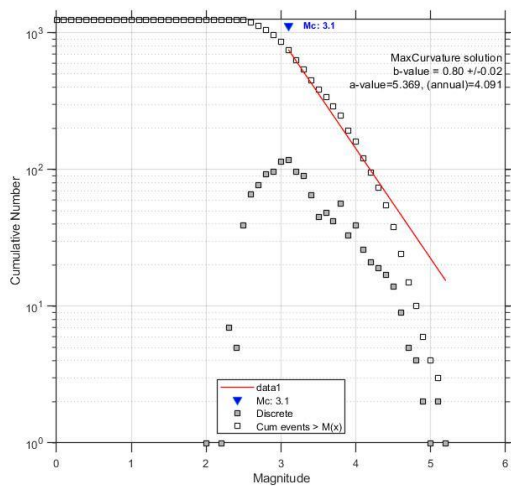
پس از راندن نمودارهای مختلف درون چاهی و تأیید عمق آسیب دیدگی رشته تکمیلی چاههای اطراف محل های پدیده نشت نفت ، چاهها یکی پس از دیگری تحت تعمیر با دکل قرار گرفتند. باتوجه به قطعیت آسیب دیدگی خارجی رشته تکمیلی چاهها و مجاورت آنها با پدیده نشت نفت عاملی گردید که این تحقیق با هدف بررسی امکان ارتباط تزریق گاز و پساب و زمین لرزه های ناشی از تزریق سیالات بر گسل های موجود در میدان که منجر به آسیب دیدگی چاهها و نهایتاً خروج سیال نفتی به محیط گردیده است صورت می پذیرد.

### ۳- مراحل و روش کلی انجام تحقیق

این پژوهش، با مطالعه کتابخانه‌ای و اسناد معتبر علمی آغاز شد. بررسی مقالات مربوط به زمین‌ساخت گستره، بررسی عکس‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، مطالعه اسناد و مقالات مربوط به محاسبه و کاربرد پارامترهای لرزه‌خیزی a و b و بعد فرکتال در این بخش انجام گرفت. در گام بعدی، جمع‌آوری و سپس پردازش داده‌های لرزه‌ای گستره با کمک نرم‌افزارهای تخصصی انجام گرفت. در پایان، پارامترهای لرزه‌خیزی و بعد فرکتال گستره مورد مطالعه محاسبه شد و با تلفیق اطلاعات، تحلیل‌ها و تفسیرهای مورد هدف پژوهش انجام گرفتند.

تهیه فهرست‌نامه همگن داده‌های لرزه‌ای

مفهوم و هدف کلی



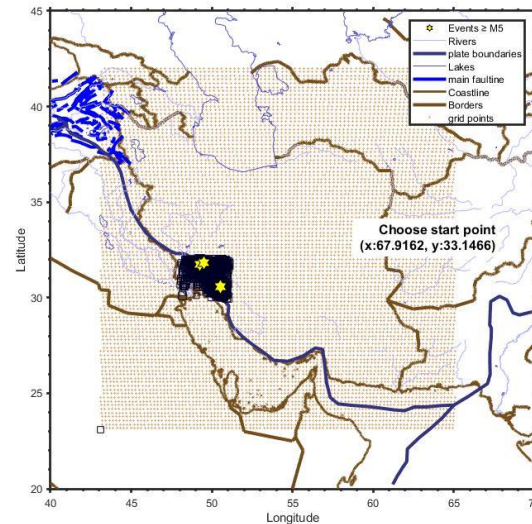
شکل ۱ - نمودار توزیع فراوانی - بزرگی زمین‌لرزه‌های منطقه و محاسبه بزرگی کاملی در دوره مورد بررسی همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رابطه خطی در نمودار فراوانی بزرگی، فقط در محدوده خاصی از بزرگی‌ها برقرار است. برای رخدادهای خیلی کوچک یا خیلی بزرگ، فراوانی به سرعت کاهش می‌یابد و بنابراین یک رابطه غیرخطی دیده می‌شود. دو دلیل برای این انحراف از حالت خطی وجود دارد: الف) در بزرگی که به دلیل ناکامل بودن بانک داده، رویدادها از حالت خطی در نمودار فراوانی - بزرگی پیروی نمی‌کنند. البته ممکن است کاهش فراوانی زلزله‌های کوچک در یک ناحیه با یک دوره زمانی خاص، واقعی باشد و ارتباطی با ناکامل بودن بانک داده‌ها نداشته باشد.

ب) در بزرگی زیاد: به دلیل دوره زمانی فهرست‌نامه، با فقدان اطلاعات زلزله‌های بزرگ روبه‌رو هستیم برای تعیین دقیق بزرگی کاملی در طول زمان، به بررسی و تعیین تغییرات بزرگی کاملی در طول زمان نیاز است. برای محاسبه دقیق بزرگی کاملی در طول زمان، تغییرات زمانی  $M_c$  داده‌ها را به روش پنجره‌های متحرک (ویمر و همکاران، ۱۹۹۸)، بررسی نمودیم (شکل ۲). این بررسی نشان می‌دهد تغییرات  $M_c$  از حدود ۲/۲ در اوایل دوره مورد بررسی شروع می‌شود و در ادامه به بزرگی کوچک‌تر از ۲ (حدود ۱/۹) می‌رسد.

لازم به ذکر است که توقف ارسال داده‌های یک یا چند ایستگاه به دلایل مختلف و تأثیر میزان دقت و توجه اپراتور شبکه‌ها به ثبت رویدادهای کوچک که موجب آشفتگی  $M_c$  می‌شوند و همچنین وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ تا متوسط که موجب افزایش مقدار  $M_c$  برای مدت زمان کوتاهی می‌شوند (ویمر و کاتسوماتا، ۱۹۹۹).

تغییرات بزرگی کاملی یک منطقه در طول زمان، به دلیل تغییر در تعداد و تراکم ایستگاه‌های لرزه‌نگاری آن ناحیه می‌باشد. البته در بررسی تغییرات زمانی بزرگی کاملی، به این نکته می‌بایست توجه داشت که کاهش فراوانی زلزله‌های کوچک در یک ناحیه یا یک دوره زمانی خاص، و در نتیجه افزایش بزرگی کاملی برای مدت زمان نسبتاً کوتاهی، ممکن است واقعی باشد و ارتباطی با کیفیت ثبت زمین‌لرزه‌ها با وقوع رویداد بزرگ نداشته باشد.

داده‌های مورد استفاده، از بانک داده‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (<http://irsc.ut.ac.ir>)، در بازه زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی بر گرفته شده است. این مجموعه داده، شامل شدت زمین‌لرزه‌ای با بزرگی بین ۰/۱ تا ۶/۵ در گستره مورد مطالعه است (شکل ۲-۱).



شکل ۲ - توزیع رو مرکز زلزله‌های ثبت شده منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹.

#### ۴- بررسی فاکتورهای مهم در منطقه مورد مطالعه بصورت کلی:

##### - تخمین بزرگی کاملی ( $M_c$ )

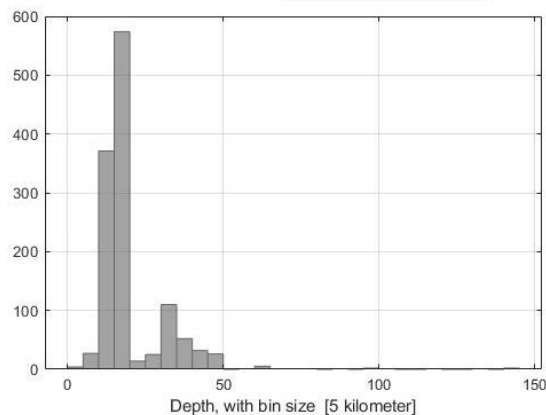
برای هر ناحیه با توجه به ایستگاه‌ها و شبکه‌های لرزه‌نگاری مجاور آن، بزرگی وجود دارد که بالاتر از آن بزرگی، تمام زلزله‌های منطقه امکان ثبت توسط لرزه‌نگارها را دارند. این بزرگی، بزرگی کاملی نامیده می‌شود و طبق تعریف، کوچک‌ترین بزرگی است که بزرگ‌تر از آن، همه زلزله‌های ناحیه ثبت می‌شوند (ویمر و ویس، ۲۰۰۰).

بزرگی کاملی شده به‌عنوان تابعی از مکان و زمان در سراسر فهرست داده‌های لرزه‌ای تغییر می‌کند و این شرایط را پیچیده می‌نماید. از این‌رو برآورد درستی از بزرگی کاملی شده در جایی که تعداد زمین‌لرزه‌های در دسترس زیاد است مشکل می‌شود.

با توجه به تغییراتی مانند تعداد و تراکم ایستگاه‌ها، محاسبه  $M_c$  ضروری است. بدین منظور، نمودار فراوانی بزرگی رویدادهای گستره را در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ ترسیم کردیم و با کمک روش بیشینه انحنای (ویمر و ویس، ۲۰۰۰)، مقدار بزرگی کاملی را محاسبه نمودیم (شکل ۳-). روش بیشینه انحنای از جمله روش‌هایی است که می‌توان با کمک آن، بزرگی کاملی را برای داده‌هایی که از قانون گوتنبرگ ریشتر تبعیت می‌کنند، محاسبه کرد. با این روش مقدار  $M_c = 3/1$  برای کل منطقه محاسبه شده است.

شکل - (a) نمودار تجمعی بزرگی زمین‌لرزه‌ها بر حسب تعداد. (b) نمودار تجمعی تعداد زمین‌لرزه‌ها بر حسب سال در بررسی هیستوگرام بزرگی، که بزرگی زلزله‌ها در مقابل تعداد زلزله‌های فهرست داده‌ها رسم گردیده است، نشان‌گر کاهش نسبتاً منظم و تندی تا بزرگی حدود ۳ دیده می‌شود. پس از آن، شاهد شیب ثابتی در تعداد رویدادها تا بزرگی ۵/۵ در این ناحیه هستیم.

شکل (---) نمودار تجمعی تغییرات عمق نسبت به تعداد رخدادها را نمایش می‌دهد که نشان‌گر این است، که عمق زلزله‌های این منطقه تا عمق ۳۵ کیلومتری می‌باشد.



شکل ۲-۱۱: نمودار تجمعی تغییرات عمق نسبت به تعداد زلزله‌ها

#### تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی $a$ و $b$ گستره مورد مطالعه

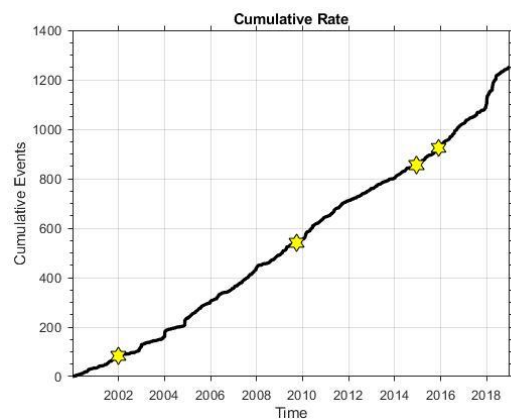
بعد از تهیه فهرست‌نامه همگن داده‌ها در دوره مورد بررسی، نمودار فراوانی بزرگی داده‌های گستره ترسیم و مقدار پارامترهای لرزه‌خیزی  $a$  و  $b$  محاسبه شد (شکل ---).

برای محاسبه مقدار  $b$ ، روش‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. از جمله می‌توان به دو روش کمینه مربعات وزن‌دار و بیشینه احتمال اشاره کرد. روش اول، خطی به منحنی پراکندگی فراوانی - بزرگی برازش می‌کند. این خط از نقطه‌ای که منحنی بیشینه انحنای خود را دارد آغاز، و تا رویدادی با بزرگی بیشینه ادامه می‌یابد. روش دوم، به دلیل اینکه به‌طور معکوس به میانگین بزرگی ارتباط دارد، روشی قدرتمند و متداول برای محاسبه مقدار  $b$  است (آکی ۱۹۸۱، اتسو ۱۹۹۹) در این روش برای محاسبه  $b$  از رابطه (۲-۳) استفاده می‌شود:

$$b = \log_{10}(e)/M - M_{min} \quad \text{رابطه ---}$$

که در  $M$ ، بزرگای میانگین و  $M_{min}$ ، کوچک‌ترین بزرگی است که همه رویدادهای پهنه، ثبت شده‌اند. به مقدار  $M_{min}$  اشاره می‌نماید. مقدار  $MC$  را می‌توان هم در هر حجم نمونه جداگانه اندازه‌گیری نمود و هم می‌توان با فرض ثبت همگن داده‌ها، مقدار آن را برای تمامی حجم نمونه محاسبه کرد (اسکلر و همکاران، ۲۰۰۴). مقدار  $MC$  به دست آمده برای کل منطقه مورد مطالعه ۳/۱ می‌باشد.

ما در این تحقیق،  $a$ -value و  $b$ -value را از روش بیشینه احتمال برآورد گردید مقدار کلی پارامتر  $a$  برابر ۵/۳۶۹ می‌باشد که سطح عمومی لرزه‌خیزی در ناحیه را در طول دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد و مقدار کلی  $b$  با روش بیشینه احتمال برابر ۰/۸۰ برآورد گردید.



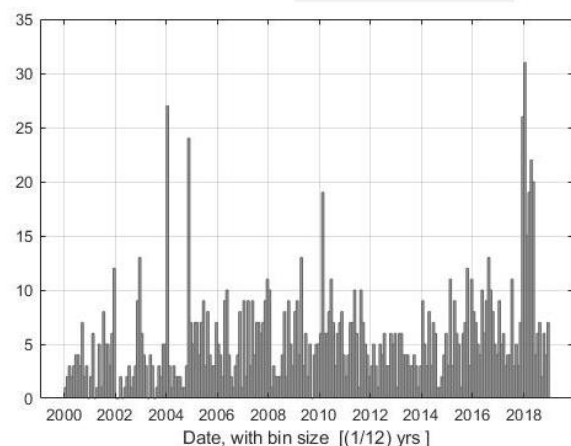
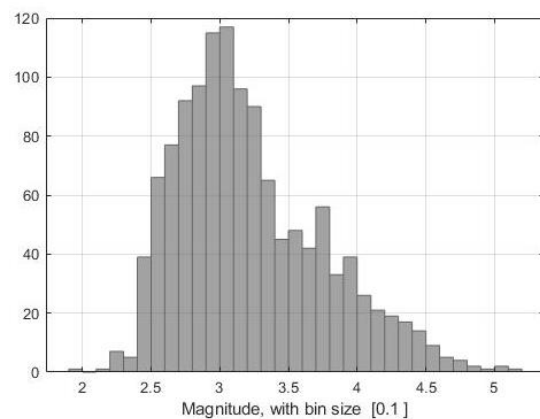
شکل - : تغییرات زمانی بزرگی کاملی فهرست‌نامه مورد استفاده در دوره

مورد بررسی

نمودار فراوانی بزرگی رویدادهای قبل و بعد از تعیین بزرگی کاملی (شکل ---)، تأثیر اعمال  $MC$  را بر فهرست‌نامه نشان می‌دهد. شیب ثابت نمودار فراوانی بعد از حذف رویدادهای کوچک‌تر از  $MC = 0.9$  نمایان‌گر یکنواختی گزارش رویدادها، می‌باشد.

#### - توزیع زمانی، بزرگی و عمق زمین‌لرزه‌ها

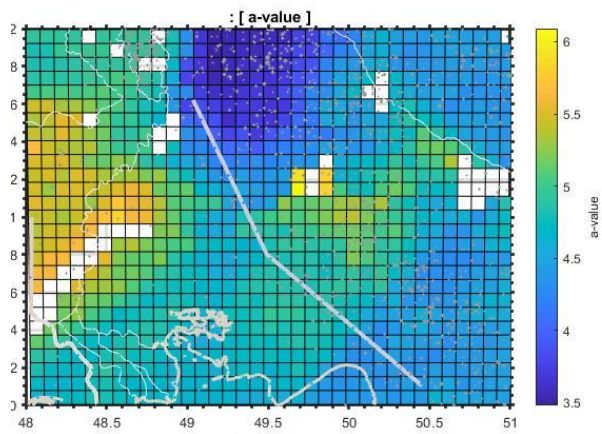
نمودار تجمعی بزرگی زلزله‌ها بر حسب تعداد و تعداد بر حسب سال و عمق اطلاعات کلی در مورد لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه می‌دهد. در بررسی بزرگی زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، نوسانات کم تا زیاد را در بازه زمانی مختلف نشان می‌دهد.



شکل (---) نمودار فراوانی بزرگی یا هیستوگرام بزرگی زلزله‌ها را بر حسب

تعداد و تعداد زمین‌لرزه‌ها بر حسب سال رخداد را نشان می‌دهد.

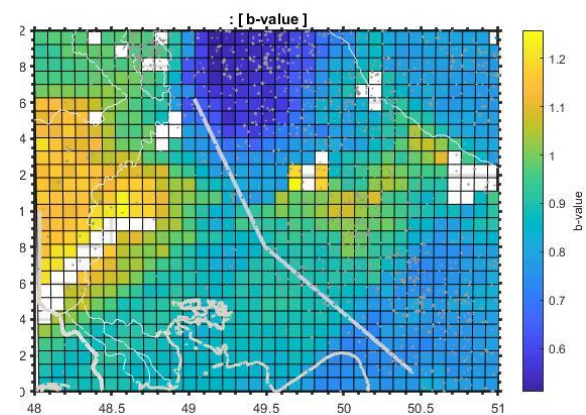




شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی a-value در منطقه مورد مطالعه در بازه

زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

نقشه b-value برای این منطقه در شکل (---) نشان داده شده است. تغییرات محلی b تقریباً از ۰/۵ تا ۱/۳ است و ناهمگنی شدیدی را در کل منطقه نشان می‌دهد. نقشه تغییرات مقدار b نشان‌گر ویژگی فراوانی - بزرگی زلزله‌ها و به عبارتی بیان‌گر توزیع تنش در منطقه است به گونه‌ای که مقادیر کم b-value منطبق بر نواحی هستند که تنش زیادی را تحمل می‌کنند و مقادیر بالای b-value منطبق بر مناطق با تنش کمتر است که این تجمع متفاوت تنش، منجر به دوره‌های بازگشت متفاوت زمین‌لرزه‌ها، در بخش‌های مختلف سیستم‌های گسلی این گستره می‌شود. در واقع این تجمع تنش در زمان‌های متفاوت بسته به سطح آسپریتی یا خزش در سطوح گسل‌ها با تخلیه تنش در سطوح متفاوت به صورت خزش یا زمین‌لرزه‌های با دوره بازگشت متفاوت همراه است.



شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی b در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

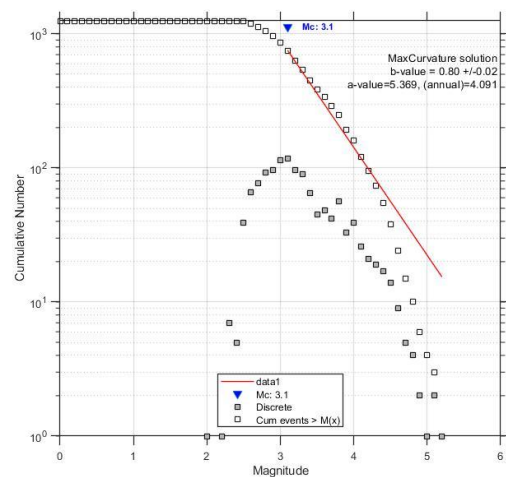
مقدار انحراف معیار b-value با استفاده از رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود

(آکی، ۱۹۶۵؛ شای و بالت ۱۹۸۲):

$$\sigma(b) = 2.3b^2\sigma(M)$$

$$\sigma(M) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - M)^2}{n(n-1)}}$$

که در آن،  $M_i$  بزرگی هر رویداد در بانک داده‌ها،  $M$ ، بزرگی میانگین و  $n$  تعداد رویداد می‌باشد. با استفاده از این رابطه میزان خطای اندازه‌گیری شده مقدار b محاسبه می‌گردد. میزان انحراف معیار b از ۰/۰۳ تا ۰/۱۴ می‌باشد، قابل قبول بودن یا نبودن بستگی به میانگین b دارد. معمولاً انحراف معیار اگر از نصف مقدار متغیر کمتر باشد این مقدار برای اکثر قسمت‌ها کمتر از ۰/۱۴ است. مورد قبول است. که این مقدار در محاسبات قابل قبول برای مقدارهای حساب شده می‌باشد.



شکل ۵- نمودار فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های گستره مورد پژوهش و

محاسبه مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی a و b

b-value توزیع زمین‌لرزه‌ها را برای محدوده بزرگی‌های مشاهده شده توصیف می‌کند و با توجه به ارتباطی که با عواملی مختلف زمین‌شناسی دارد، به دانسته‌های ما در زمینه ارزیابی زمین‌ساخت مناطق مختلف، کمک فراوانی می‌نماید.

#### a-value و b-value گستره مورد مطالعه

تهیه و بررسی نقشه توزیع فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در مقیاس محلی، یکی از ابزارهای مؤثر برای تحقیق درباره فعالیت لرزه‌خیزی یک ناحیه است و به خصوص نقشه مقدار - b اطلاعات مهمی را درباره لرزه‌زمین‌ساخت یک ناحیه ارائه می‌دهد.

اگرچه متوسط مقدار - b در حدود ۱ است (کاگان و جکسون، ۱۹۹۱)، اما در مطالعات اخیر ثابت شده است که ثابت‌های a و b در طول کمتر از چند کیلومتر نیز تغییر می‌کنند و بسته به رژیم زمین‌ساختی مقدار آن معمولاً بین حدود ۰/۶ تا ۱/۴ متغیر است (ویمر و کاتسوماتا، ۱۹۹۹) بنابراین در گام بعدی، به منظور بررسی تغییرات محلی تنش منطقه، نقشه a-value و b-value - با استفاده از روش ویمر (۱۹۹۶)، تهیه نمودیم. بدین منظور، ناحیه را به شبکه‌هایی به ابعاد ۰/۱ درجه در ۰/۱ درجه تقسیم کردیم و برای محاسبه مقدار b- هر شبکه، به روش بیشینه احتمال، از حداقل نزدیک‌ترین 55 زمین‌لرزه‌ای که با بزرگی بیشتر از Mc شبکه و در شعاع ۳۰ کیلومتری هر گره قرار دارند، استفاده کردیم. نقشه مقدار a نیز با روش فوق و با کمک رابطه ۳-۱، محاسبه شد. انتخاب این شعاع و حجم نمونه، به روش شبیه‌سازی تصادفی (ویمر و ویس، ۲۰۰۲)، انجام گرفت اگرچه انتخاب شعاع و مقیاس کوچک‌تر، اطلاعات دقیق‌تری از مقادیر پارامترهای a و b هر شبکه و ابعاد تنش‌گاه ارائه می‌کند، اما به دلیل جلوگیری از تأثیر خطای ناشی از تعیین محل زمین‌لرزه‌ها بر محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی، ناچار به انتخاب حداقل این شعاع هستیم (ویمر و ویس، ۲۰۰۲).

در گستره مورد تحقیق، این مقدار بین حدود ۳/۵ تا ۶ متغیر است. این نقشه، نشان می‌دهد رویدادها به طور یکنواخت در این پهنه توزیع نشده‌اند و این منطقه را می‌توان به چند بلوک زمین‌ساختی که دارای سطح لرزه‌خیزی بالا و متوسط و پایین است درجه‌بندی کرد.

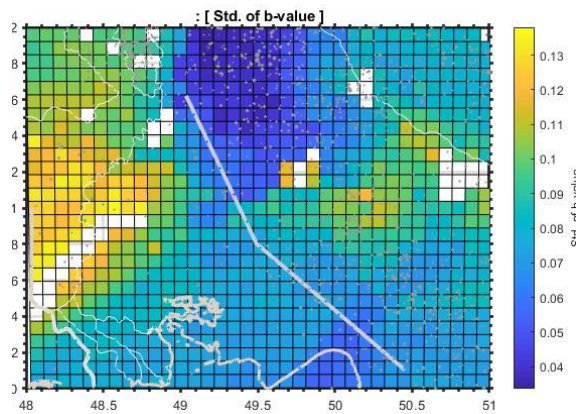


گرفت، برای یافتن محدوده تنش گاه‌ها که زلزله‌های متوسط تا بزرگ آینده در آن‌ها به وقوع خواهد پیوست، استفاده کرد. همچنین، بررسی مقدار  $b$  در طول زمان، با تغییرات روند کاهشی و افزایشی همراه بوده است. روندهای کاهشی نشان‌گر رخداد زلزله بعد از کاهش مقدار  $b$  در منطقه مورد مطالعه است.

مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد در گسلی نرمال (کششی)، مقدار  $b$  بیشتر از یک و در سیستم‌های امتدادلغز و رورنده، مقدار  $b$  کمتر از یک است (اسکلر و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار  $b$  محاسبه شده در این پژوهش، در بخش زیادی از گستره مورد مطالعه کمتر از یک است که بیان‌گر فعالیت گسل‌های امتدادلغز و راندگی در این گستره می‌باشد.

## مراجع

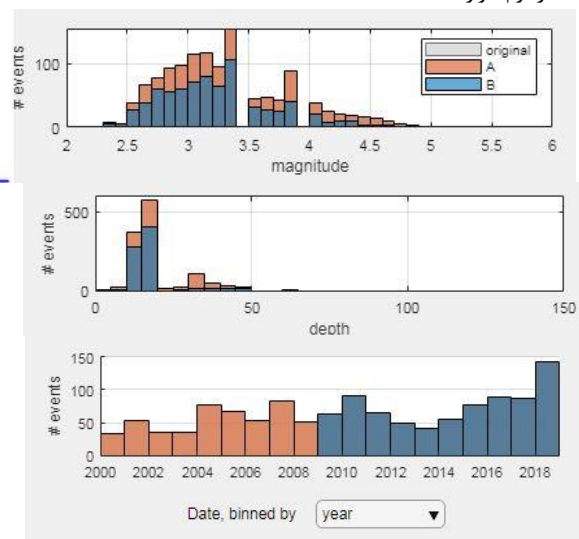
۱. افتخارزاد، ج. ۱، تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه نفت، ۱۳۵۹، شماره ۸۲، صفحه ۱۹-۲۸.
۲. آقایی، ع. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۸۳، صفحه ۵۸۴.
۳. توکلی‌زاده، ن. رحیمی، ب.، قائمی، ف.، تحلیل مکانی پارامتر  $b$ -value و بعد فرکتال در کمربند لرزه‌ای زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۵، صفحه ۹۸.
۴. چرچی، ع.، خطیب، م. م.، مظفر خواه، م.، برجسته، آ.، استفاده از تحلیل فرکتالی برای تعیین پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در شمال شرق خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۳۹۰، شماره ۱، صص ۳۷.
۵. حسن‌زاده، ب.، رحیمی، ب.، میرزایی، ن.، بررسی و تحلیل پارامترهای لرزه‌خیزی  $a$ ،  $b$  و بعد فرکتال در کپه داغ مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ف دانشگاه فردوسی مشهد، ۷۵ صفحه ۱۳۹۲.
۶. خداینده، ع. ا.، سلطانی، غ.، ع. و باباخانی، ع. ر.، نقشه زمین‌شناسی آستانرا به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۸۰.
۷. زمانی، آق آتابای، م.، سنجش کمی توزیع مکانی - زمانی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۳۸۵ درب آستانه (سیلاخور) باختر ایران، فصل‌نامه علوم زمین، ۱۳۸۵، شماره ۶۵، صص ۷-۹۷.
۸. علیزاده، ا. صفری، ر.، پارامترهای لرزه‌خیزی فرکتالی - زمانی زمین‌لرزه اهر - ورزقان، شمال باختری ایران، علوم زمین، ۱۳۹۲، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صفحه ۱۵۵ تا ۱۶۰.
۹. کلاته، س.، آق آتابای، م.، پهنه بندی فعالیت لرزه‌های کمربند چین‌خورده رانده زاگرس با استفاده از پارامترهای فرکتالی، فیزیک زمین و فضا، ۱۳۹۴، دوره ۴۱، شماره ۳، صفحه ۳۶۳.
۱۰. نبوی، م.، کتاب دیاچهای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵۵، صفحه ۱۰۹.
۱۱. نظری، ح. و شهیدی، ع. ر.، ۱۳۹۰ - زمین ساخت ایران البرز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین، صص ۹۷.
12. Aki, K., A probabilistic synthesis of precursory phenomena. Earthquake Prediction, 1981: p. 566-574.
13. Aki, K., Maximum likelihood estimate of  $b$  in the formula  $\log(N) = a - bM$  and its confidence limits. Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ, 1965. 43(237-239).
14. Alavi, M., Sedimentary and structural characteristics of the Paleo - Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 1991. 103(8): p. 983-992.
15. Ambraseys, N. N. & Melville C. P., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge Earth Series.
16. Berberian, M. and et al., Coseismic fault - related folding during South Golbaf earthquake of November 20, 1989, in southeast Iran., Geology., 1994.22: p. 531-534.
17. Berberian, M. and R.S. Yeats. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau., Bulletin of the Seismological Society of America 89, 1999: p. 120-139.
18. Berberian, M., Active faulting and tectonics of Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution, 1981: p. 33-69.
19. Berberian, M., Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II - III): In commemoration of the 50 th anniversary of the Pahlavi dynasty. 1976: Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran, Tectonin and Seismotectonic Section.
20. Berberian, M., et al., Field and teleseismic observations of the 1981 Golbaf-sirch earthquakes in SE Iran., Geophys. J.R. astra. Soc., 1984. 77:p. 809-838.



شکل ۳-۵: نقشه انحراف معیار  $b$ -value.

## ۵- نتیجه گیری

جداول نتایج مقایسه دو بازه ۲۰۰۹-۲۰۰۹ و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ با استفاده از نرم افزار



نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش تعداد زمین لرزه‌ها می‌تواند با توجه به وجود گسل‌های متعدد و امکان تشدید فشار بر آنها با افزایش میزان تزریق پساب و گاز در میدان بوده باشد.

یافتن چگونگی توزیع فراوانی بزرگی و بعد فرکتال زمین‌لرزه‌ها تهیه نقشه‌های ( $a$ -value و  $b$ -value)، و بررسی رابطه آن‌ها، یکی از روش‌های مناسب جهت ارزیابی لرزه‌زمین ساخت و پهنه‌بندی خطر وقوع زلزله یک گستره است.

مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی  $a$  و  $b$  کل گستره در طول دوره مورد بررسی نیز، بیانگر تغییرات عمده در دوازده از ۲۰۰۹-۲۰۰۹ (قبل از شروع تزریق سیالات) و ۲۰۰۹-۲۰۱۹ (پس از تزریق سیالات) است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان با تهیه نقشه‌های  $a$ -value و  $b$ -value و دوره‌ی بازگشت به روشی که در این پژوهش انجام