

## پیش بینی بزرگای احتمالی زلزله با استفاده از روش ارگودیسیتی مطالعه موردی استان یزد

سیدعلی المدرسی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران\*

احسان امام جمعه: کارشناس ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۱/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱، صص ۸۹-۱۰۴

### چکیده

استان یزد، در مرکز کشور و در زون ایران مرکزی واقع شده است. این زون یکی از واحدهای اصلی و عمده ای است که به شکل مثلث در مرکز ایران قرار گرفته و جزء بزرگترین و پیچیده ترین واحدهای زمین شناسی به‌شمار می‌رود. منطقه مذکور، بر اثر حرکات کوهزایی، شدیداً دگرگون شده و در بر گیرنده گسل‌های مهم مانند (گسل دهشیر، گسل انار، گسل پشت بادام، شهر بابک و ....) است. مطالعات پیش بینی بزرگای زلزله احتمالی در استان یزد می‌تواند گام مؤثری در شناخت بهتر منطقه به منظور ارائه طرح‌های آمایشی و پهنه‌بندی مناطق خطر آفرین و نیز اتخاذ تدابیر حفاظتی در سازه‌های احداثی باشد. در این مقاله رفتار گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش شبیه سازی عددی (ارگودیسیتی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارگودیسیتی مدل سیر تحولات و تغییرات تاریخی یک پدیده است، بطوریکه بتوان این تغییرات را در فازهای فضایی طبقه بندی نمود. مهمترین ویژگی این تقسیم بندی، مبنای قرار گرفتن متوسط‌های یکسان میزان تغییرات فضایی، در طول هر مقطع زمانی از دوره تکوین است. متریک نوسان سازی (TM) تیرو مالای - مانتین یکی از متدهای قابل استفاده در پیش بینی سیستم‌های غیرخطی طبیعی است. که تعادل یا عدم تعادل سیستمی را با استفاده از کمیت گذاری گسل (کمیت فضایی - زمانی) مورد بررسی قرار می‌دهد و با یافتن فازهای زمانی میانگین تحولات رخ داده آن را معادل میانگین تحول فضایی که در اینجا بزرگای زلزله است فرض می‌نماید این روش فرصتی ارزنده در اختیار ما قرار داد تا عملکرد و برآورد توان لرزه زایی گسل‌های طبیعی به وسیله پارامترهای آماری گسل‌های منطقه را مورد بررسی قرار دهیم. بر اساس یافته‌های این پژوهش معلوم گردید که احتمال وقوع زلزله‌های با بزرگای بیشتر از  $m \geq 3$  در استان یزد وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: استان یزد، ارگودیسیتی، روش تیرو مالای - مانتین، گسل، بزرگای زلزله

### مقدمه

وجود می‌آیند) ولمن، ۱۹۷۸)، که یکی از اصلی ترین آثار آنها، لغزش به موازات صفحه گسیختگی و بروز خطراتی از قبیل ایجاد قابلیت لرزه خیزی در منطقه می‌باشد. این لغزش‌ها می‌تواند بصورت آرام یا ناگهانی باشد. لغزش‌های ناگهانی اغلب عامل ایجاد زلزله‌ها هستند که بستگی به مشخصه و دینامیک گسلها دارد.

از دیرباز پروسه گسل زایی در پوسته زمین یکی از عوامل پیچیده در بررسی عملکرد درونی زمین، در مقیاسهای متفاوت به شمار می‌رود. به عبارت ساده گسلها در اثر تغییر شکل در لایه‌های پوسته زمین با ایجاد تنش‌های موضعی و گسیختگی در سنگها به

پارامترهای عددی به ویژگی‌های هندسی، دینامیکی و گرمایی ماده مربوط می‌باشند. اگر سیستم‌ها به حال خود رها شوند مقادیر پارامترهای خود را آن قدر تغییر می‌دهند تا به حالت تعادل برسند و دیگر تغییری را نمی‌توان مشاهده کرد. (ولدنبرگ، ۱۹۷۲). نکته دیگر آنکه این میل خودبخودی به تعادل، فرآیندی است که از لحاظ زمانی نامتقارن است (ولدنبرگ، ۱۹۶۶) (تسامپو و همکاران، ۲۰۰۳). مثلاً، سیستم‌های غیر خطی رانشی آن قدر تغییر می‌کنند تا یکنواخت شوند. فرآیند «یکنواخت سازی» در مورد (گسل‌های طبیعی) نیز روی می‌دهد. اولین بار در سال ۱۹۹۳ ایده ارگودیک در سیستم‌های غیر خطی رانشی (گسل طبیعی) توسط متریک نوسان سازی<sup>۱۱</sup> (TM) تیرو مالای - مانتن<sup>۱۲</sup> فرمول‌گذاری شد. بر اساس تئوری متریک (TM)، فرگوسن و همکاران<sup>۱۳</sup> براساس مشاهدات موجود عملکرد چندین سیستم گسل طبیعی (کالیفرنیا<sup>۱۴</sup> بین سال‌های ۱۹۳۲ و ۲۰۰۴ در منطقه عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۴۰ درجه و طول جغرافیایی ۱۱۵- تا ۱۲۵-، شبه جزیره ایبرین<sup>۱۵</sup> و شمال غربی آمریکا در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ درجه شمال و بین طول جغرافیایی ۵ درجه تا ۱۵- درجه و شرق کانادا<sup>۱۶</sup> در منطقه عرض جغرافیایی ۴۲ تا ۵۱ درجه طول جغرافیایی ۶۰- تا ۸۵- درجه) را با استفاده از داده‌های مرکز زمین لرزه کالیفرنیا جنوبی<sup>۱۷</sup> (SCEC) و شبکه لرزه نگاری شمال کالیفرنیا<sup>۱۸</sup> (NCSN) مورد بررسی قرار دادند این

از این رو درک فیزیک گسل‌ها برای پیاده سازی متدهای پیش بینی زمین لرزه‌ها ضروری است. شبکه‌های گسل و زمین لرزه زیر مجموعه ای از سیستم‌های غیر خطی طبیعی، سیستم‌های آستانه ای رانشی می‌باشد (فرگوسن و همکاران، ۱۹۹۶. کی سی و همکاران، ۱۹۶۱. وایت و همکاران، ۱۹۶۵). برای پیش بینی چگونگی عملکرد گسلها می‌توان از روش شبیه سازی عددی (ارگودیسیتی<sup>۱</sup>) استفاده کرد. ارگودیسیتی<sup>۲</sup> در زبان یونانی به معنای کار یا انرژی و هودوس<sup>۳</sup> به معنای راه است (پین<sup>۴</sup>، ۱۹۸۵). به عبارت ساده ارگودیسیتی عبارتست از مدل سیر تحولات و تغییرات تاریخی یک پدیده بطوریکه بتوان این تغییرات را در فازهای مختلفی طبقه بندی نمود. مهمترین ویژگی این تقسیم بندی مبنای قرارگرفتن متوسط‌های یکسان میزان تغییرات، در طول هر مقطع از دوره تکوین است (ورنات و همکاران، ۲۰۰۶). بولتزمن<sup>۵</sup> برای اولین بار ایده ارگودیسیتی را فرموله نموده و از لغت ارگودیک<sup>۶</sup> استفاده کرد، البته برخی از ابعاد این تئوری به سال ۱۷۱۳ و قانون برنولی<sup>۷</sup> اعداد بزرگ باز می‌گردد، (براون<sup>۸</sup>، ۱۹۷۶، ۵۶). ساویگر<sup>۹</sup> (۵۴، ۱۹۵۲) ارگودیسیتی و جایگزینی مکان بجای زمان را در مطالعات مرتبط با روند تکامل شیب در امتداد بخشی از ساحل جنوب والز<sup>۱۰</sup> مورد بررسی قرار داد. پس از قرن هفدهم توصیف عددی سیستم‌های فیزیکی معمول گردید. (ولدنبرگ، ۱۹۶۸). این

1 Ergodicity

2 Ergo

3 hodos

4 Pain

5 Bultzman

6 Ergodic

7 Bernoulli

8 Brown

9 Savigear

10 Wales

11 fluctuation metric

12 Thirumalai-Mountain (TM)

13 Ferguson et al

14 California

15 Iberian peninsula

16 Eastern Canada

17 Southern California Earthquake Center

18 Northern California Seismic Network

### موقعیت جغرافیایی منطقه

استان یزد در مرکز کشور بین طولهای جغرافیایی ۴۸° ۵۲' و ۲۳° ۵۶' شرقی و عرضهای ۲۹° ۳۶' و ۲۲° ۳۳' شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آخرین تقسیمات کشوری (پایان اسفند ماه ۱۳۷۹) این استان دارای ۹ شهرستان، ۱۹ شهر، ۱۷ بخش و ۴۳ دهستان می باشد. مساحت این استان ۷۳۴۶۷ کیلومتر مربع است. مرکز استان شهر یزد می باشد که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۳۰ متر است. و دارای جمعیت ۸۲۸۴۰۱ نفر می باشد. شهرهای مهم استان شامل ابرکوه، اردکان، بافق، تفت، خاتم، صدوق، طبس، مهریز، میبد و یزد است و به لحاظ همسایگی استان یزد از شمال به استانهای سمنان و اصفهان؛ از جنوب به استان کرمان؛ از شرق به استانهای خراسان جنوبی و خراسان رضوی و از غرب به استانهای اصفهان و فارس محدود است.

### گسلهای استان یزد

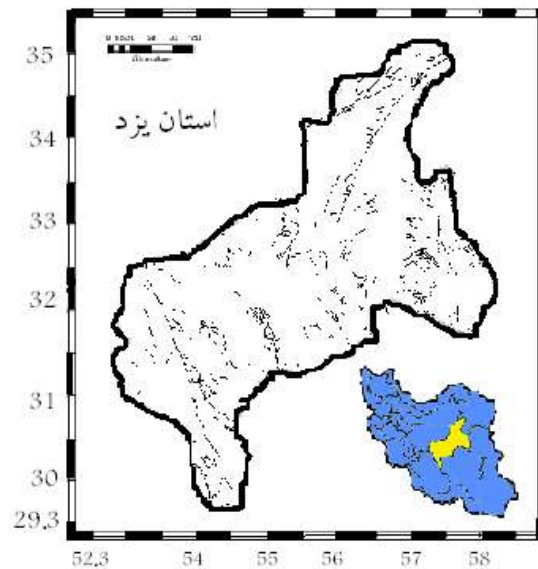
بیش از ۸۰ گسل مهم در ایران شناسایی شده اند که در حدود ۳۵ مورد از آنها همراه با پیشینه لرزه خیزی هستند. بررسی های زمین شناسی سطح الارضی نشانگر آن است که شهر یزد بر روی گسل چندان خطرناکی واقع نشده است. گرچه وجود گسلهای کوچکتر و کم خطرتری در این ناحیه محرز گردیده است و از سوی دیگر چندین گسل مهم نیز در محدوده استان یزد وجود دارد که از آن جمله می توان گسلهای دهشیر، بافت، پشت بادام، شهربابک و بخش شمالی نای بند را نام برد. (شکل ۲)

از نظر تکتونیکی گسل های دهشیر - بافت، پشت بادام و شهربابک گسل های مؤثر در این استان می باشد، به طوری که ژئومورفولوژی استان متأثر از آنها

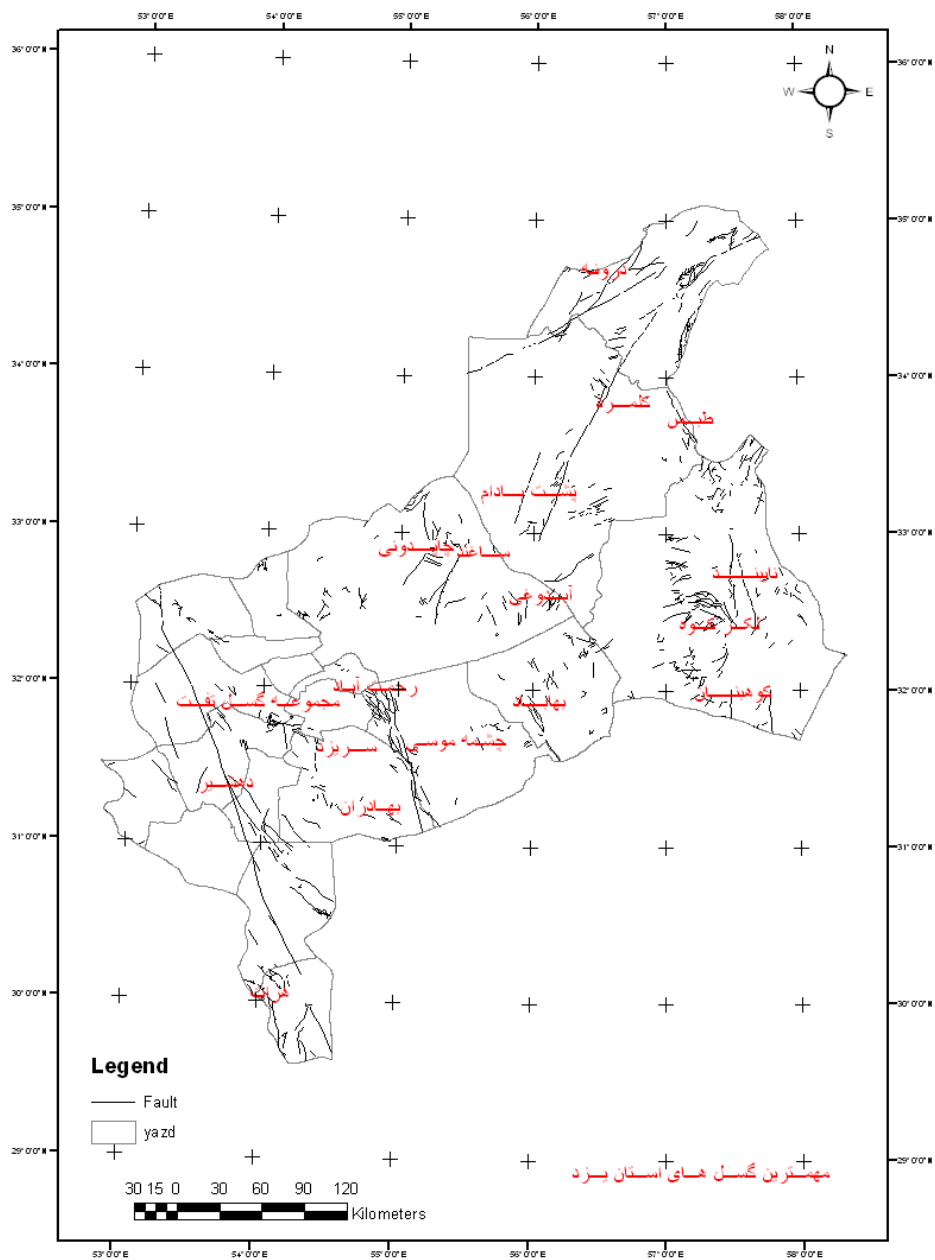
است ( [www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir) )

نتیجه حاصل شد که سیستم های گسل طبیعی برای دوره های طولانی زمانی برای بزرگی  $m \geq 4$  ارگودیک می باشند، و رویدادهای زمین لرزه ای بزرگ که می تواند به طور مستقیم سیستم را از ارگودیسیته خارج سازد شناسایی کرد این رویدادهای خیلی بزرگ سیستم را برای یک دوره از زمان از تعادل خارج می سازند که بعد از آن، حالت شبه تعادلی ایجاد می شود. این حالت را به عنوان تعادل برجسته شده یا نوسانی نامیده می شود (فرگوسن و همکاران، ۲۰۰۳).

هدف مقاله حاضر بررسی آستانه های ارگودیکی در سیستم گسل های استان یزد و تشخیص وجود تعادل نشان دار بر اساس ویژگی فرایند زمین لرزه است که تابعی از حدها و دقت داده ها و کاتالوگ های لرزه شناسی است، می باشد البته تست کردن فرضیه اخیر روش ارگودیکی مورد استفاده قرار می گیرد، روشی که به عنوان متریک (TM) تیرومالای -مانتین مشهور است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی گسل‌های استان یزد

روش مطالعه رفتار سنجی (ارگودیسیتی) در

شبکه‌های گسل طبیعی:

با این روش توان آزاد سازی انرژی توسط گسل‌های منطقه را با استفاده از متد متریک نوسان سازی TM

تیرو مالای - مانتین با توجه به تعداد رویدادهای زمین لرزه ای با بزرگی خاص یا بزرگتر برای یک دوره زمانی، کمیت گذاری و تاثیر آن را روی ویژگی‌های ارگودیک حادث شده در منطقه ی مورد تحقیق،

رسیدن به ارگودیک تناسب دارد. به طور خاص برای هر منطقه یا منطقه فرعی تحت بررسی، کاتالوگهایی تهیه شد تا رویدادهای زمین لرزه ای با توجه به موقعیت‌های مختلف مکانی (i) مورد بررسی قرار گیرد. بر همین اساس تعداد زمین لرزه‌هایی که دارای بزرگی خاص یا بزرگتر را مشخص و میزان  $N(t)$  را برای یک دوره زمانی خاص، بر اساس قانون گوتنبرگ - ریشتر محاسبه گردید.

قانون گوتنبرگ ریشتر براساس رابطه ذیل می‌باشد:

رابطه ۵

$$N(t) = a10^{-bm},$$

رابطه ۶

$$\text{or } \log N(t) = a - bm,$$

بطوریکه  $b \approx 1.0$  و  $a$  یک عدد ثابت در منطقه مورد نظر است

رابطه ۷

$$E(t) = 10^{cm} 10^d,$$

همینطور در رابطه (۷)  $E(t)$  میزان انرژی برای بزرگی یک زلزله خاص  $m$  (بر اساس ژول) با پارامترهای ثابت  $c \approx 1.44$ ،  $d \approx 5.24$  می‌باشد.

بنابراین

رابطه ۸

$$m = \frac{\log E(t) - d}{c}.$$

با جایگزین سازی داریم:

رابطه ۹

بررسی می‌شود. متریک نوسان  $\Omega_e(t)$ ، مطرح شده توسط تیرو مالای و ماننن براساس رابطه ذیل می‌باشد (تیرو مالای و ماننن، ۱۹۹۳) و (هولمز و همکاران، ۱۹۹۶).

رابطه (۱)

$$\Omega_e(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\varepsilon_i(t) - \bar{\varepsilon}(t)]^2,$$

به طور یک

رابطه (۲)

$$\varepsilon_i(t) = \frac{1}{t} \int_0^t E_i(t') dt'$$

متوسط زمانی، در خصوص اندازه متغیر  $E_i(t)$  می‌باشد

رابطه ۳

$$\bar{\varepsilon}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i(t)$$

رابطه (۳) متوسط مشابه مربوط به میانگین متوسط زمانی در کل سیستم می‌باشد که در رابطه (۱)  $\Omega_e(t)$  مقدار متریک (TM) محاسبه شده در زمان (t) قرارداد می‌شود. شروع کاتالوگ مطابق با زمان اولیه  $t = 0$  که  $E_i(t)$  مقدار انرژی ذره در زمان  $t$  و  $N$  تعداد رویدادها در طول دوره زمانی با بزرگی خاص یا بزرگتر می‌باشد. اگر سیستم در زمان‌های طولانی به طور موثر ارگودیک باشد  $\Omega_e(t) = \frac{D\varepsilon}{t}$ ، است. به طوریکه  $D\varepsilon$  پارامتر انتشار ارگودیسیتی مرتبط به مکانی است که مورد تحقیق قرار داده می‌شود و  $\frac{1}{\Omega_e(t)} = \frac{t}{D\varepsilon}$  با معکوس مقیاس زمان لازم برای

### تحلیل گسل‌های استان یزد به روش ارگودیسیتی:

در این پژوهش به منظور رفتارشناسی گسل‌های استان یزد (گسل دهشیر، گسل انار، گسل پشت بادام، شهربابک و ..... ) و بررسی توان لرزه زایی بر اساس شواهد یا توزیع آماری رویدادها در طول دوره زمانی مشخص از اطلاعات (سازمان ژئوفیزیک و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) و سازمان زلزله‌شناسی مرکز روسیه) (ISC) استفاده شد. و به همین جهت کاتالوگهایی از محدوده و مشخصات گسلها تهیه گردید، که هر کدام برای بررسی و احتمال ارگودیک در منطقه بر اساس تعداد رویدادهایی که در یک دوره زمانی با بزرگی خاص یا بزرگتر  $m \geq 3, \dots$ ،  $m \geq 2$  بوقوع پیوسته است، استفاده شد. و با کمیت گذاری گسلها (زمانی - فضایی) و بررسی توسط متد متریک نوسان (TM) تیرو مالای - مانتین منطقه مورد تحلیل قرار گرفت. ابتدا به وسیله کاتالوگ و قانون گوتنبرگ - ریشتر مقدار پارامتر لرزه ای (a, b) منطقه محاسبه و مقدار  $N(t)$  در هر سال محاسبه شد. سپس با استفاده از کاتالوگهای تهیه شده، نمودارهایی از تعداد رویداد در هر سال بر اساس بزرگیهای متفاوت تهیه و مقدار (TM) معکوس محاسبه گردید. برای محاسبه متوسط زمانی گسل‌ها از فرمول (۲) استفاده شد، که با انتخاب بازه‌های یک ساله افزایشی برای انتگرال گیری با جاگذاری اندازه رویدادها  $N(t)$  در هر سال، متوسط زمانی در طول دوره برای بزرگیهای خاص  $M \geq m$  بدست آمد. و متوسط مشابه در کل سیستم نیز از فرمول (۳) که مربوط به میانگین متوسط زمانی برای

$$\log N(t) = a - \frac{b(\log E(t) - d)}{c} = a' - b' \log E(t),$$

و

رابطه ۱۰

$$N(t) = 10^{a'} E(t)^{-b'},$$

در رابطه (۱۰)  $a'$  و  $b'$  نیز ثابت‌هایی می‌باشند که به منطقه و دوره زمانی مورد توجه بستگی دارند. به طور خاص b تقریباً نزدیک به عدد ۱ می‌باشد. و نیز پارامتر a میزان لرزه نگاری با بزرگی مشخص را برای منطقه خاص نشان می‌دهد. در متریک (TM)،  $E_i(t) \equiv N_i(t)$  است که تعداد رویدادهای بزرگتر از بزرگی m محاسبه شده برای هر سال در مکان i می‌باشد که بجای  $E_i(t)$  در معادله (۲) فوق جایگزین می‌شود. اندازه جعبه‌ها (محدوده انتخابی درگسلها با طول و عرض جغرافیایی مشخص) متفاوت است که برای هر جعبه تاثیرات تعداد رویدادهای زمین لرزه ای که در طول دوره زمانی برای هر سال رخ داده، روی ویژگی‌های ارگودیک حادث شده منطقه ی مورد تحقیق، بررسی می‌گردد. (کاناموری و همکاران، ۱۹۷۷) و (کاناموری و همکاران، ۱۹۸۱) و (تورکوتنه، ۱۹۹۷) و (آدامز و باشام، ۱۹۸۹). ضمناً کلیه محاسبات مربوطه برای گسلهای استان یزد انجام گرفت که بدلیل طولانی بودن موارد امکان ذکر آنها نیست لکن علاقه مندان می‌توانند با مراجعه به مرجع استفاده نمایند.) امام جمعه، ۱۳۸۹)

جدول ۱: نتایج داده‌های کاتالوگ یزد برای برازش خطی

(b-line)

m	N(m)	Log n(m)
2.5	237	2.374748346
2.6	227	2.356025857
2.7	220	2.342422681
2.8	210	2.322219295
2.9	194	2.28780173
3	188	2.274157849
3.1	179	2.252853031
3.2	163	2.212187604
3.3	151	2.178976947
3.4	143	2.155336037
3.5	125	2.096910013
3.6	115	2.06069784
3.7	109	2.037426498
3.8	99	1.995635195
3.9	92	1.963787827
4	84	1.924279286
4.1	73	1.86332286
4.2	67	1.826074803
4.3	59	1.770852012
4.4	57	1.755874856
4.5	47	1.672097858
4.6	36	1.5563025
4.7	31	1.491361694
4.8	22	1.342422681
4.9	16	1.204119983
5	15	1.176091259
5.1	7	0.84509804
5.2	6	0.77815125
5.5	2	0.301029995
6.4	1	0

شکل ۳: با استفاده از مقادیر بدست آمده در جدول (۱)، نمودار (b-line) گوتنبرگ - ریشتر با توجه به بزرگی‌های  $A: m \geq 2$  و  $B: m \geq 3$  بصورت زیر ترسیم گردید.

طول دوره می‌باشد محاسبه گردید. بر همین اساس مقادیر محاسبه شده توسط فرمولهای مذکور در فرمول (۱) جاگذاری و مقدار متریک (TM) و معکوس آن برای هر سال محاسبه و نمودار آن بر اساس طول دوره زمانی برای بزرگیهای  $m \geq 2, m \geq 3, \dots$  رسم شد. در نتیجه بر اساس نمودارهای مذکور احتمال ارگودیک و پیش بینی بزرگای زلزله احتمالی منطقه قابل بررسی گردید.

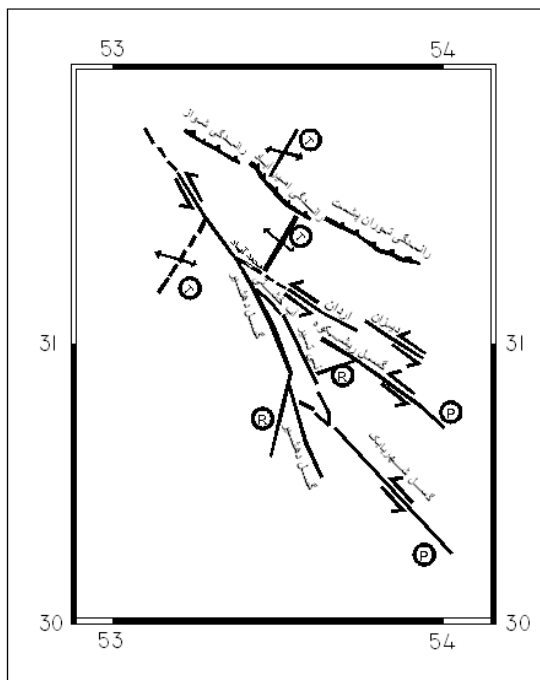
برای بررسی منطقه از کاتالوگ یکی از این گسلها (دهشیر - بافت، پشت بادام و شهر بابک) استفاده شد که در ادامه ذکر می‌شود.

#### داده‌های لرزه نگاری:

محاسبه پارامترهای منطقه ای با استفاده از قانون گوتنبرگ - ریشتر:

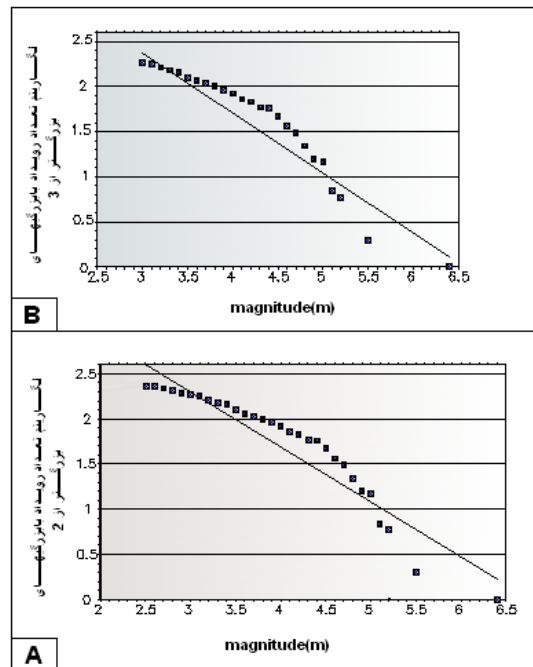
به منظور محاسبه پارامترهای لرزه ای (a, b) در استان یزد از قانون گوتنبرگ - ریشتر استفاده شد. بدین منظور از اطلاعات و مشخصات کاتالوگ‌های زمین لرزه ای با بزرگی خاص ( $m \geq 3, m \geq 2$ ) برای محدوده شعاعی ۲۰۰ کیلومتری از موقعیت جغرافیایی مرکزی استان (54.368, 31.896) استفاده شد. بدین ترتیب رویدادها بر اساس بزرگا دسته بندی شدند و سپس فراوانی و فراوانی تجمعی هر دسته محاسبه گردید. (جدول ۱)

روند گسل زاگرس است. این گسل در غرب استان یزد قرار دارد و گسلی است با راستای شمال غرب - جنوب شرق، شیب نزدیک به قائم و از نوع امتداد لغز راستگرد<sup>۲</sup> است، طول گسل حدود ۳۵۰ کیلومتر است که از جنوب غربی نائین شروع شده، از دهشیر می‌گذرد و تا شهر بافت ادامه و در محدوده عرض جغرافیایی ۵۳.۴۷ تا ۵۴.۳ درجه و طول جغرافیایی ۳۱.۹ تا ۳۰.۱۷ درجه قرار دارد. فعالیت هیدروترمال در اوایل کوتاه‌تر احتمالاً به خاطر دوباره فعال شدن گسل تحت حرکات کوه زایی بعد از پاسادین را بیان می‌کند (مهرنهاد و همکاران، ۱۳۷۸).



شکل ۴: امتداد و نحوه حرکت گسل‌های منطقه دهشیر

داده‌های لرزه‌شناسی مورد استفاده در آنالیز از مشاهدات موجود در منطقه یزد. بر اساس اطلاعات لرزه‌ای سازمان ژئوفیزیک و پژوهشگاه بین‌المللی



شکل ۳: نمودار (b-line) گوتنبرگ ریشتر (m≥3) و (m≥2)

سپس از رابطه (۵) برای بدست آوردن میزان پارامتر زمین لرزه ای (a, b) منطقه یزد با بزرگی خاص  $m \geq 3$  و دوره زمانی ۱۹۲۷ تا ۲۰۱۰ استفاده شد.

Gutenberg-Richter relationship:  $\text{Log}(N(m)) = a - bM$

$$3/897022926a =$$

$$0/608909832b =$$

با داشتن پارامترهای لرزه ای منطقه مورد نظر، میتوان مقدار  $N(t)$  برای رویدادها در هر سال را بدست آورده و مقدار آن را به جای  $E_i(t)$  در فرمول (۲) جایگزین نمود.

### گسل دهشیر:

گسل دهشیر - بافت از نظر گسترش آمیزه رنگی اهمیت زیادی داشته و روند آن همان

<sup>2</sup> Right slip fault

<sup>1</sup> afolitmelange



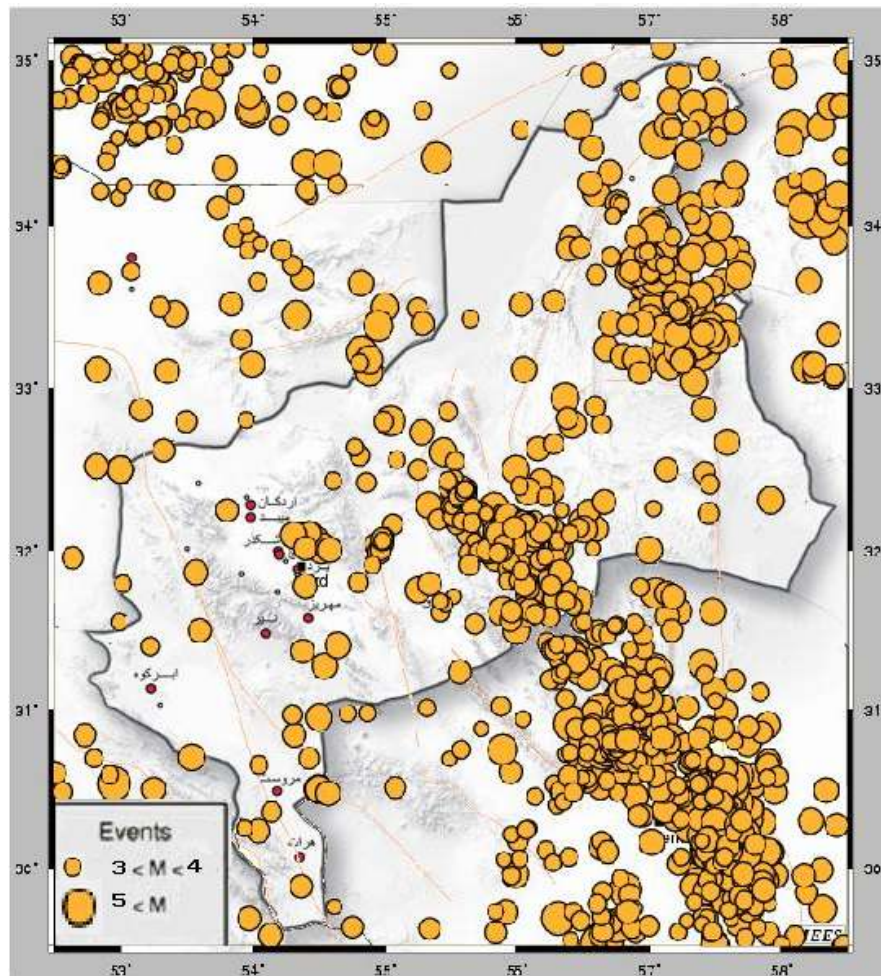
شکل ۵ جزئیات توزیع فضایی زمین لرزه‌ها در منطقه یزد برای دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ بطوریکه افزایش اندازه دایره نیز افزایش بزرگی را نشان می‌دهد. ( (www.geophysics.ut.ac.ir),(www.iiees.ac.ir) )

زلزله شناسی و مهندسی زلزله International Institute of Earthquake IIEES) و مرکز بین المللی زلزله شناسی، انگلستان International Seismological Centre,UK برای دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ تعیین گردید.

جدول ۲ مشخصات گسلهای فرعی مرتبط با گسل دهشیر (مهر نهاد و همکاران، ۱۳۷۸)

نام گسل	طول (KM)	شیب	روند	سازوکار	لرزه خیز بودن	فعالیت در کواترنر	زمان آخرین فعالیت
دهشیر	۲۸۰	قائم	N۱۶۰	فشارشی و امتداد لغز راستگرد	+	+	کواترنر
شهر بابک	۶۵	قائم	N۱۳۵	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر
شواز	۴۰	NE	N۱۳۰	فشارشی	-	+	کواترنر
امیرآباد	۱۵	NE	N۱۳۵	فشارشی	-	+	کواترنر
محمدآباد	۵	۴۵NE	N۱۳۵	فشارشی	-	+	کواترنر
دره زرشک	۱۰	NE	۱۲۵NS,N	فشارشی	-	+	کواترنر
توران پشت	۱۷	NE	N۱۲۰	فشارشی	-	+	کواترنر
دیزان	۶	قائم	N۱۱۵	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر
اردان	۱۰	قائم	N۱۲۰	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر
فی تیر	۵	قائم	N۱۶۰	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر
ریشکوه	۳۰	قائم	N۱۳۵	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر
آب خشتی	۴	قائم	N۱۳۰	امتداد لغز راستگرد	-	+	کواترنر

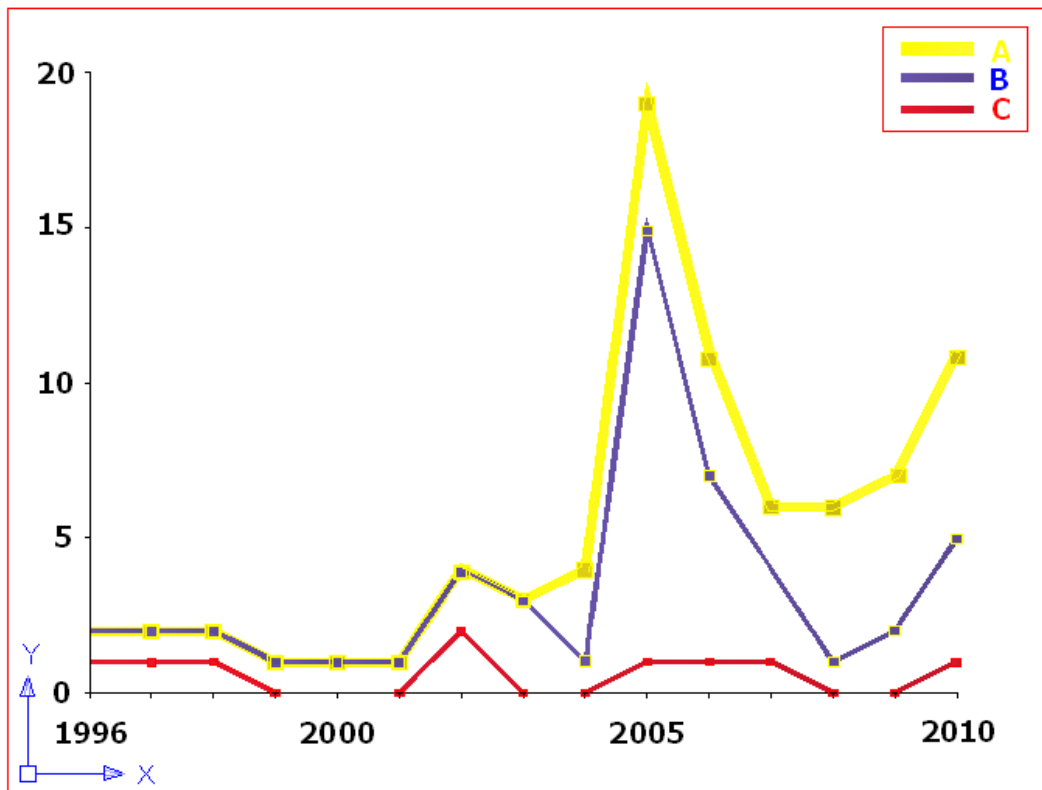




شکل ۵: جزئیات توزیع فضایی رویدادها

دهشیر با بزرگای (A:m≥2), (B:m≥3), (C:m≥4) نشان داده شده است.

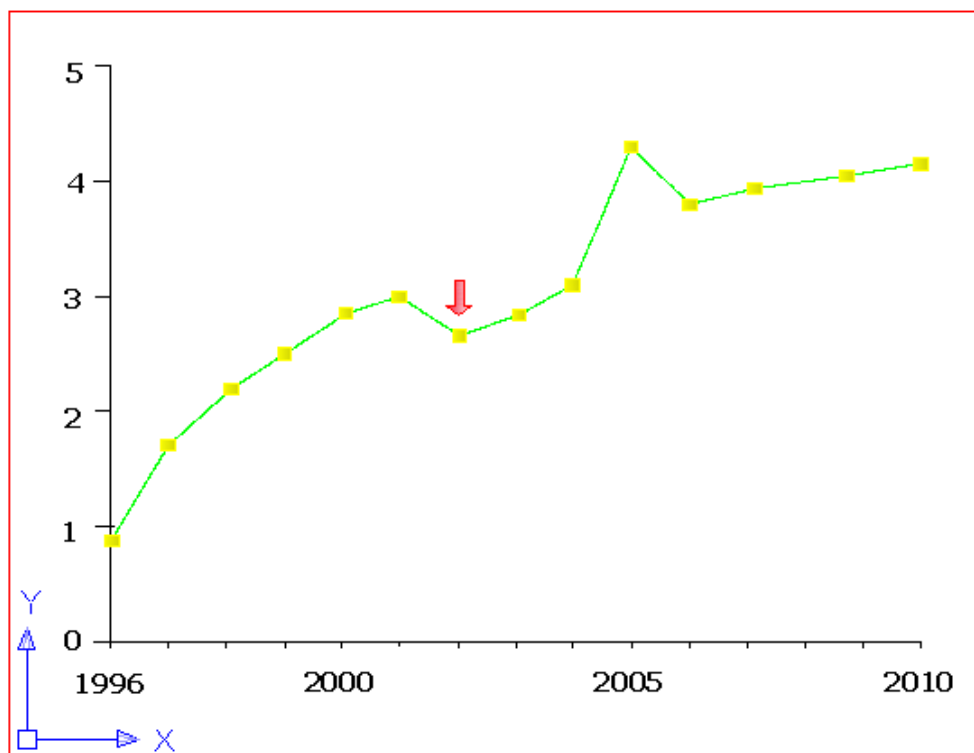
در شکل ۶ تعداد کلی رویدادهای زمین لرزه ای در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ برای کاتالوگ



شکل ۶: تعداد کلی رویدادهای زمین لرزه ای گسل دهشیر با بزرگی (A:  $m \geq 2$ ), (B:  $m \geq 3$ ), (C:  $m \geq 4$ )

متریک (TM) معکوس را برای تعدادی از رویدادهای زمین لرزه ای با بزرگی  $m \geq 2$  از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ در شکل ۷ نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می شود. سیستم برای قبل از سال ۲۰۰۱ ارگودیک می باشد و سپس برای دوره های کوتاه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ ارگودیک و سپس برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ و ارگودیک می باشد اما برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ ارگودیک نمی باشد.

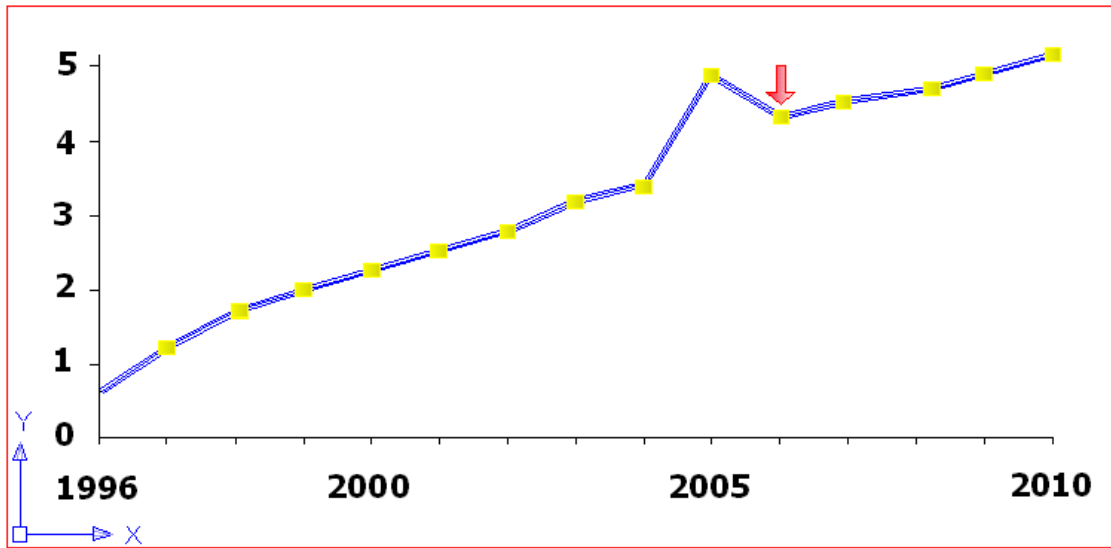
با عنایت در شکل مذکور معلوم می شود، با ایجاد ایستگاه و دستگاههای جدید ثبت رویدادها بادقت زیادتتر برای کاتالوگ مشخصات رویدادها در سال ۲۰۰۴ به بعد در نمودار (A:  $m \geq 2$ ) و (B:  $m \geq 3$ ) تغییر قابل توجهی ایجاد شده. لذا با ایجاد شبکه های پیوسته و دقیق برای تمام مناطق لرزه زای ایران می توان در بررسی سیستم های تعادلی به نتیجه های دقیقتری دست یافت.



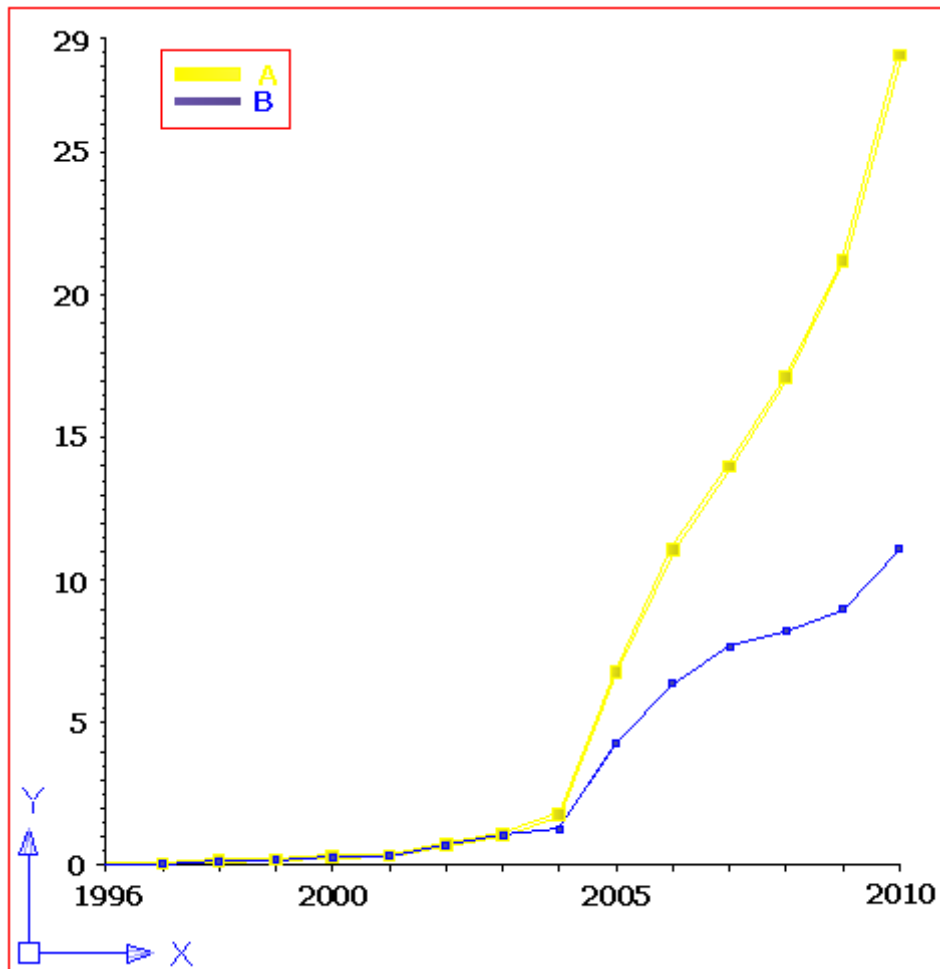
شکل ۷: (TM) متریک معکوس برای رویدادهای زمین لرزه با بزرگی  $m \geq 2$  از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰

می‌سازند که بعد از آن، حالت شبیه تعادلی ایجاد می‌شود. این حالت را به عنوان تعادل برجسته شده یا نوسانی نامیده می‌شود. در این بررسی بر اساس شکل‌های (۷ و ۸) و با توجه به اینکه تمام مناطق فضایی با احتمال یکسان نمونه گذاری شده است می‌توان چنین نتیجه گرفت که با اضافه کردن رویدادهای کوچک، سیستم ممکن است ارگودیک تر شود، به عبارت دیگر ارگودیسیتی به طور مستقیم به تعداد رویدادها مربوط نمی‌شود.

با دقت در شکل ۸ مشخص است که سیستم گسل دهشیر برای دوره زمان نسبتاً طولانی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ و رویدادهایی به بزرگی  $m \geq 3$  به طور موثر ارگودیک بوده. این دوره‌های تعادلی با رخداد زمین لرزه‌های بزرگ همراه می‌باشند، که با فلش در شکل ۸ نشان داده شده است. و شامل یک رویداد با بزرگی  $4/9$  در سال ۲۰۰۶ می‌باشد. این رویدادهای خیلی بزرگ سیستم را برای یک دوره زمانی از تعادل خارج



شکل ۸: TM متریک معکوس برای رویدادهای زمین لرزه با بزرگی  $m \geq 3$  از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰

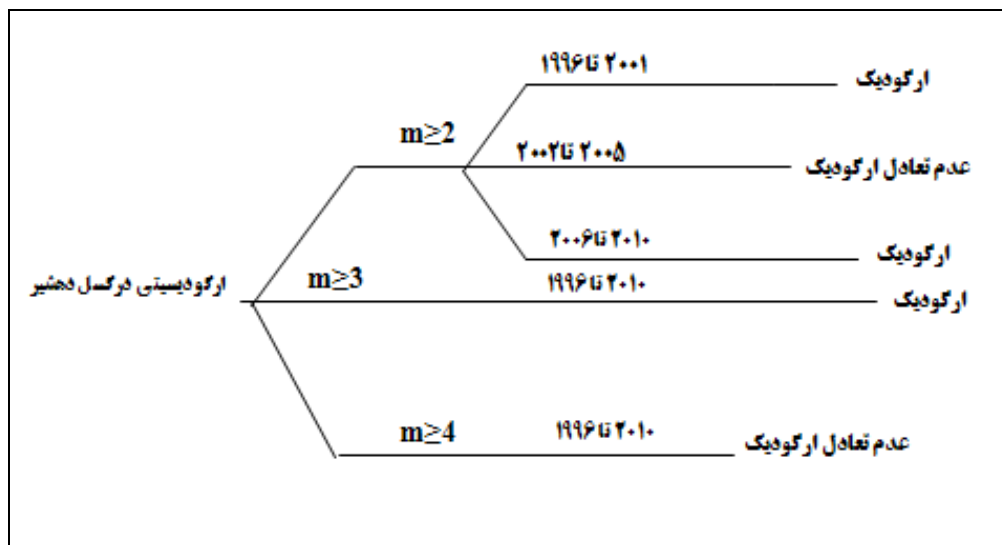


شکل ۹: واریانس فضایی گسل دهشیر برای رویدادهای زمین لرزه با بزرگی  $(A: m \geq 2)$ ,  $(B: m \geq 3)$  از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰

با توجه به مطالعات انجام گرفته به وسیله روش متریک تیرو مالای-مانتین برای نشانه گذاری و مشخص سازی وجود احتمال ارگودیک در سیستم گسل‌های منطقه (دهشیر، انار، پشت بادام، شهر بابک و شیرکوه)، با بهره گیری از مشخصات و داده‌های لرزه ای گسل دهشیر با استفاده از محدوده فضایی کامل از محدوده مختصاتی گسل دهشیر معلوم شد که رفتار ساختاری این گسل برای بزرگای  $m \geq 2$  در سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ و برای بزرگای  $m \geq 3$  در کل دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ ارگودیک می‌باشد و به علت عدم پیوستگی زمانی برای بزرگای بزرگتر از  $m \geq 4$  ارگودیک نمی‌باشد. (شکل ۱۰)

در شکل ۹، واریانس فضایی لرزه نگاری گسل دهشیر در بازه زمانی، از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ برای رویدادهای به بزرگی خاص  $(A:m \geq 2)$ ،  $(B:m \geq 3)$  و جعبه ای به اندازه محدوده گسل نشان داده شده است. همانطور که مشخص است روند شیب نمودار واریانس فضایی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۴ تقریباً ثابت بوده و از سال ۲۰۰۴ به بعد این روند با توجه به دیجیتالی سازی و کیفیت ثبت لرزه نگاری (شکل ۶  $(A:m \geq 2)$ )،  $(B:m \geq 3)$  تغییر کرده، ولی برای فاصله زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ مجدداً روند نمودار ثابت بوده که میزان تغییر در روند واریانس در این ۶ سال تقریباً ده برابر بالاتر نسبت به ۹ سال اول می‌باشد، لذا چنین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم در ابعاد فضایی با اندازه بزرگ با دوره‌های زمانی متفاوت ایستایی دارد.

نتیجه گیری



شکل (۱۰) وضعیت تعادل ارگودیک در بزرگای مختلف زلزله

قرار گیرد. در این بررسی با توجه به آنالیز و بررسی‌های رفتاری و تعادلی در منطقه بر اساس بزرگیهای مختلف می‌توان به این نتیجه دست یافت که احتمال و توان لرزه خیزی با بزرگی  $m=3$  در منطقه

در حقیقت دینامیک‌های غیر خطی باعث ایجاد زمین لرزه‌های بزرگ می‌شود و سیستم از دینامیک مکانی خود خارج می‌شود تا به دینامیک مکانی جدیدی وارد شود که در این مقطع مجدداً در حالت ارگودیک موثر

- D.W, II, and Richards. P.G (AGU, Washington, D.C., 1981), p. 1.
- Klein. W, Ferguson. C, and Rundle. J.B, in Reduction and Predictability of Natural Disasters, ed. by Rundle. J.B, Turcotte. D.L, and Klein. W, SFI series in the science of complexity, XXV (Addison-Wesley, Reading, MA, 1996) p. 223.
- Pain, A. D. M. 1985: "Ergodic" Reasoning In Geomorphology: Time for a Review of Term Prog. Phys. Geog.9.
- Savigear, R.A.G. 1952: Some observations on slope development in South Wales. Transactions, Institute of British Geographers 18, 31-51.
- Thirumalai. D, and Mountain. R.D, Phys. Rev. E 47, 479 (1993)
- Tiampo. K. F ,Rundle. J. B ,Klein. W , Holliday. J ,Sá Martins. J.S & ,Ferguson. C. D Ergodicity In Natural Earthquake Fault Networks
- Turcotte. D.L, Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, 2nd ed.(Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1997.)
- Tiampo, K. F., Rundle J. B., Klein W., Martins J.S., Ferguson C.D. 2003: Ergodic Dynamics in a Natural Threshold System. Physical Review Letters, Vol.91, N.23.
- Vernat.P et al 2006, Mechanical modeling of oblique convergence in the zagros Iran. Geophys. J. (2006) p. 165.
- White, J. F., and S. J. Gould. 1965. Interpretation of the coefficient in the allometric equation. Am. Nat. v.99 p. 5-18.
- Woldenberg, 1972: The hydraulic geometry described for the derivation of equation 3 is an example of dynamic al- lometry p. 2-3.
- Woldenberg, M.J. 1966: Horton's laws justified in terms of allometric growth and steady state in open systems. Geological Society of America Bulletin 77,431-34.
- برای گسلهای شیرکوه و پشت بادام نیز وجود دارد. در آنچه در این پژوهش انجام شد شناخت بهتر سیستم‌های غیر خطی رانشی بود، لذا با ایجاد شبکه‌های پیوسته و گسترده و تهیه کاتالوگ‌های دقیق برای تمام شکل‌های ایران می‌توان در رابطه با بررسی عملکرد سیستم‌های آستانه ای رانشی (گسلها) در تعادل یا عدم تعادل به نتیجه‌های ارزشمندی دست یافت، تا بتوان تمامی رخ دادهای غیر قابل پیشبینی را بر اساس روش تیرومالای - مانتین در قالب‌های زمانی فضایی شبیه سازی نمود.

## منابع

- امام جمعه، احسان، ۱۳۸۹، مدلسازی لرزه شناختی استان یزد با استفاده از مدل ارگودیک، پایان نام کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی یزد.
- مهرنهاد.حمید ومهر شاهی.داریوش،۱۳۷۸،تحلیل ساختاری وسایز موتکتونیکي گسل دهشیر،۶۵۷
- Adams. J.E, and Basham. P.W, Geoscience Canada, 16, n. 1, 3 (1989).
- Brown 1976: Ergodic theory and topological Dynamics. New York: Academic Press.
- Ferguson. C.D, Klein. W, and Rundle. J.B, Phys. Rev. E 60, 1359 (1999).
- Holmes. P, Lumley. J.L, Berkooz. G, Turbulence, Coherent Structures, Dynamical Systems and Symmetries, (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
- Kac. M, Uhlenbeck. G.E, and Hemmer. P.C, Math. J. Phys. 4, 216 (1961).
- Kanamori. H, Geophys. J. Res. 82, 2981 (1977).
- Kanamori. H, in Earthquake Prediction: An International Review, ed. by Simpson.

Wolman, M.G. and Gerson, R. 1978: Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes* 3, 189-208. © 1985.

Woldenberg, M.J. 1968: Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Geological Society of America Bulletin* 79, 1573-88.